

УДК [574.586:001.891.57] (282.247.32)

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

І.О. МОРОЗОВСЬКА, к. б. н., в. о. мол. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна

С.П. РОГАЛЬСЬКИЙ, к. х. н., зав. лабораторії,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України,
вул. Мурманська, 1, Київ, 02094, Україна

ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ УГРУПОВАНЬ ЗООПЕРИФІТОНУ НА ІНЕРТНОМУ СУБСТРАТІ І НЕОБРОСТАЮЧИХ ПОКРИТТЯХ В УМОВАХ ВОДОСХОВИЩА¹

Розглянуто особливості динаміки угруповань зооперифітону на експериментальних субстратах, виставлених на експозицію до 227 діб у затоці Канівського водосховища (р. Дніпро). Показана характерна для цього періоду суцесійна зміна угруповань з домінуванням ефатобіонтів з різними типами життєвої стратегії — колоніальних мохуваток, губок і дрейсенід. Встановлено, що у певні періоди суцесії, при зміні домінантів, представники різних видів використовують різні життєві стратегії. Дослідження динаміки показників рясності дозволили визначити покриття з антиобростаючими властивостями на основі корабельної емалі ХС-413, модифікованої катіонним біоцидом 1,3-дідодецилімідазолій тетрафторборатом (ДДІМ-ВF₄).

Ключові слова: водосховище, експериментальні субстрати, необростаючі покриття, угруповання перифітону.

Для угруповань перифітону суцесійні процеси мають особливо важливе значення. Угруповання постійно формуються наче заново [3, 8], на різних субстратах, що знову з'являються в водному середовищі.

¹ Робота виконана за рахунок бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230) «Розробка та апробація методології встановлення екологічного потенціалу водосховищ дніпровського каскаду в аспекті імплементації Водної рамкової Директиви в Україні», держ. реєстраційний № 0120U000172.

Ц и т у в а н н я: Протасов О.О., Морозовська І.О., Рогальський С.П. Динаміка формування угруповань зооперифітону на інертному субстраті і необростаючих покриттях в умовах водосховища. *Гідробіол. журн.* Т. 56, № 6. С. 38—55.

Динаміка угруповань може розглядатися у двох аспектах — циклічних і поступальних змін [8]. Роботами С.Н. Дуплакова та інших були закладені уявлення про дві основні стадії формування угруповань перифітону — якісних змін і кількісного зростання [5, 7, 16]. Однак такий підхід може йти врозріз із самою концепцією сукцесійних змін, оскільки відбуваються не лише кількісні зміни у біоценозах, але також змінюються склад, домінуючі види, аж до повної перебудови всього угруповання. Велике значення на початкових фазах розвитку угруповань мають процеси первинної колонізації твердих субстратів [13].

За допомогою методу експериментальних субстратів (ЕС) може бути досліджена динаміка угруповання перифітону через низку послідовних станів — від ювенільних на нових субстратах до клімакських [7, 8, 18]. Однак питання динаміки угруповань перифітону залишаються ще недостатньо дослідженими. Чинники антропогенного впливу можуть істотно змінити хід природної сукцесії [10]. Крім того, певну роль можуть грати кліматичні зміни.

Метою роботи було встановити закономірності формування угруповань зооперифітону на інертному субстраті і на необростаючому покритті в умовах водосховища.

Матеріал і методика досліджень

Як експериментальні субстрати використовували пластини з вініласту без покриття і з покриттями необростаючими композиціями, розміром 30×80×2 мм, розміщені у вертикальному положенні на рамкових стендах, які занурювали у воду на глибину близько 2 м, закріпивши до борту невеликої баржі. Відстань до берега становила близько 20 м. Всього у 2014—2015 рр. було виставлено і оброблено три серії експериментальних субстратів (47 пластин) з різною експозицією — від 22 до 227 діб. Постановку проводили наприкінці березня, на початку травня і червня, з послідовним зняттям до останньої зйомки на початку листопада.

Для порівняння використовували «фонові» угруповання перифітону, які відбирали з борту баржі поблизу установок з ЕС, що знаходилась у воді не один рік. Відбір фонових проб проводили у літній та осінній періоди 2014—2016 рр.

Для оцінки інтенсивності розвитку обростання на ЕС застосовували п'ятибальну шкалу: 1 бал — окремі організми, 2 — незімкнуте плямисте обростання, покриття до 50 %, 3 — одношарові колонії, однарусні поселення, покриття від 50 до 100 %, 4 — масивні колонії, багаторусні поселення на площі до 50 % субстрату, 5 — суцільне масивне обростання. Застосовувалися цілі і дробові значення оцінок, наприклад, при дуже слабкому обростанні — 0,5 бала. Також дробові оцінки були наслідком усереднення результатів оцінки обростання трьох і більше пластин. Оцінка інтенсивності обростання ЕС угрупованнями перифітону проводилася візуально при знятті субстратів, також при аналізі фотографій. Камеральну обробку проб зооперифітону здійснювали під стереомікроскопом МБС-10. Була досліджена динаміка формування угруповань на таких не-

обростаючих покриттях: ПУ-емаль + Zn 80 % + другий шар емалі і ПУ-лак УР167 + Zn 60 % (2014 р.), а також на покриттях на основі корабельної емалі ХС-413, які містили як модифікуючі домішки катіонні біоциди 1,3-діододещілімідазолій тетрафторборат (ДДІМ-ВF₄) (2014 р.) або 1,3-діоктилїмідазолій тетрафторборат (ДОІМ-ВF₄) (2015 р.). Як контроль було використано вініпласт і чисте покриття фарбою ХС-413, другий контроль (ХС-413) був описаний у нашій попередній статті [26]. Біоцидні покриття були отримані в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАНУ і в Інституті хімії високомолекулярних сполук НАНУ², характеристики покриттів були опубліковані раніше [11, 12, 24, 26].

Для опису таксономічного багатства безхребетних використовували термін НІТ — нижчий ідентифікований таксон [2]. У розрахунках кількісних показників гідробіонтів застосовували оригінальний пакет програм WaCo [6, 22], для графічного представлення даних використовували програмний пакет Microsoft Excel.

Виділення угруповань проводили на основі кластерного аналізу та подібності [21]. Назву угрупованню давали за ступенем домінування по деструкції.

Результати досліджень

Візуальні оцінки інтенсивності розвитку обростання показали існування певних етапів або стадій формування угруповань перифітону на ЕС. У період першої зйомки у всіх трьох серіях (27.06.2014 — 22 діб, 30.06.2015 — 55 діб, 21.05.2014 — 57 діб) субстрати на кінець експозиції були майже позбавлені обростання — ступінь його розвитку оцінювався у 0,25—0,5 бала. У невеликій кількості відмічено личинок хірономід і будиночки волохокрильців. На окремих субстратах зустрічалися поодинокі особини дрейсени, формувалися одношарові колонії мохуватки (до 50 % площі субстрату), у таких випадках ступінь обростання досягав 2,1 бала (табл. 1).

До початку серпня у всіх трьох серіях сформувалися масивні колонії мохуваток, що покривали субстрат на 90—100 %, ступінь обростання становив 3,2—4,0 бала. Важливо відзначити, що у першій і другій серії ЕС незалежно від того, що вони були виставлені у різний час (у березні і червні 2014 г.), на початку серпня сформувалася подібна структура із 100 %-м домінуванням мохуватки. До листопаду відбулася повна зміна домінанта, на субстратах була відмічена дрейсена (до 60 % покриття субстрату), невеликі колонії губок, ступінь обростання був оцінений у 2,0—4,0 бали (див. табл. 1). Таблиця була побудована лише на первинних візуальних оцінках, тому в ній не вказано видових назв гідробіонтів, визначення до виду яких проводилося при подальшому дослідженні.

Таким чином, у ході сукцесії відбулись істотні зміни у складі домінантів, загального габітусу обростання, його масивності і рясності.

² Покриття надані Н.М. Ласковенко.

Таблиця 1
 Характер обростання і оцінка інтенсивності його розвитку на ЕС (вініпласт) у трьох серіях тривалих експозицій у 2014—2015 рр.

| Серія і номер експозиції | Дата постановки | Дата зйомки | Експозиція, діб | Характер обростання | Ступінь розвитку обростання, бали |
|--------------------------|-----------------|-------------|-----------------|---|-----------------------------------|
| I-1 | 1—25.03.14 | 21.05.14 | 57 | Субстрати практично чисті, окремі будиночки личинок хірономід | 0,25 |
| II-1 | 2—5.06.14 | 27.06.14 | 22 | Окремі (до 10 екз. на одній пластині) будиночки личинок хірономід | 0,5 |
| III-1 | 3—06.05.15 | 30.06.15 | 55 | Мохуватка — одношарові колонії, місцями горбисті, дрейсени — окремі особини розміром 2—3 мм | 2,1 |
| I-2 | 25.03.14 | 27.06.14 | 94 | Колонії мохуваток 35 %, покриття одношарове, дрейсена розміром до 5 мм одинично, дрібні колонії губки | 2,5 |
| II-2 | 05.06.14 | 01.08.14 | 57 | 100 % покриття мохуватками, окремі пластини покритті тривимірними багатшаровими горбистими колоніями | 3,7 |
| III-2 | 06.05.15 | 16.07.15 | 71 | 50—100 % покриття мохуватками, місцями колонії горбисті, дрейсена одинично | 3,4 |
| I-3 | 25.03.14 | 1.08.14 | 129 | 100 % покриття мохуватками, окремі колонії губки, дрейсени розміром до до 8 мм одинично | 4 |
| II-3 | 05.06.14 | 26.08.14 | 82 | Майже повне відмирання колоній мохуваток, до 30 % чиста поверхня, сітчастий зоарій мохуваток до 80 %, окремі особини дрейсени | 1,3 |
| III-3 | 06.05.15 | 05.08.15 | 91 | 80—100 % покриття мохуватками, 50 % колоній відмирання | 3,2 |
| I-4 | 25.03.14 | 07.11.14 | 227 | Дрейсени до 18 мм довжиною, шітки, покриття 60 %, губок мало, мохуватки відсутні | 4 |

Продовження табл. 1

| Серія і номер експозиції | Дата постановки | Дата зйомки | Експозиція, діб | Характер обростання | Ступінь розвитку обростання, бали |
|--------------------------|-----------------|-------------|-----------------|--|-----------------------------------|
| II-4 | 05.06.14 | 26.09.14 | 113 | Поодинокі особини дрейсени, невеликі колонії губки, сітчасті зоарії мохуваток, з великою кількістю статобластів. | 1,8 |
| III-4 | 06.05.15 | 23.09.15 | 140 | 90 % покриття мохуватками, окремі дрейсени до 8 мм | 3,8 |
| II-5 | 05.06.14 | 07.11.14 | 155 | Окремі особини дрейсени до 18 мм, на деяких невеликі друзи, окремі зоарії мохуватки і невеликі колонії губок до 20 % | 2,3 |
| III-5 | 06.05.15 | 06.11.15 | 184 | Дрейсени довжиною до 20 мм, покриття до 25 %, поодинокі колонії губки | 2,0 |

Хоча бальна оцінка досить приблизна, вона дозволяє скласти уявлення про основні закономірності процесів формування обростання. Як впливає з рис. 1, кількість організмів перифітону найшвидше зростала при експозиції до 100—120 діб, тобто процес мав далеко не лінійний характер.

Габітуальна і бальна оцінки показують лише загальні тенденції, тому необхідний аналіз даних по чисельності і біомасі організмів. Динаміка кількісних і деяких функціональних показників перифітону на вініпласті представлені на рис. 2. Слід звернути увагу, що динаміка рясності у всіх серіях мала екстремуми, тобто зростання значень, а потім їх спад.

У першій серії першої експозиції (57 діб) було відмічено сім НІТ з шести груп (олігохети, гідри, гаммариди, корофіїди, тріхоптери, хірономіди). Загальна чисельність була 11 250 екз/м², біомаса — 4,6 г/м². За чисельністю домінували гідри (4000 екз/м², 35,6 %), *Stylaria lacustris* (L.) (1250 екз/м², 11,1 %), *Ecnomus tenellus* (Rambur) (1000 екз/м², 8,9 %), за біомасою *E. tenellus* (1,4 г/м², 30 %), *Hydra* sp. (1,2 г/м², 26,2 %), *S. lacustris* (0,6 г/м², 13,5 %). Таким чином, постійно прикріплених форм не відмічено.

У другій експозиції на 94-у добу було відзначено 12 НІТ з семи таксономічних груп. Була відмічена губка у невеликій кількості, мохуватки представлені двома видами: *Hyalinella punctata* Hancock і *Plumatella fungosa* Pallas, з яких по біомасі домінував другий — 66,9 г/м² (59,6 %), а біомаса *H. punctata* була незначною (0,1 г/м², 0,1 %). У порівнянні з попередньою експозицією з'явилося вісім нових НІТ. Дрейсена була представлена двома видами, з яких за чисельністю і біомасою переважала *Dreissena bugensis* Andr.,

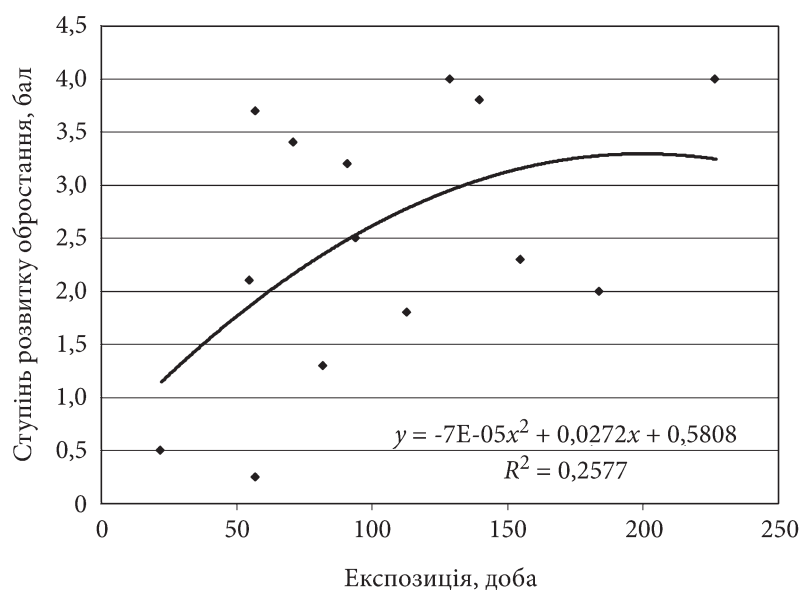


Рис. 1. Залежність інтенсивності обростання ЕС (вініпласт), оціненої в балах, від експозиції

(35250 екз/м² і 38,3 г/м², відповідно 67,5 і 34,1 %). Загальна чисельність становила 52250 екз/м², біомаса — 112,3 г/м².

У третій експозиції (129 діб) загальний габітус обростання визначали колонії мохуватки. Тут було відмічено десять НІТ з восьми таксономічних груп, зокрема, губка і мохуватки. Мохуватка *P. fungosa* домінувала за біомасою — 3401,3 г/м² (98,6 %). Відмічена дрейсена двох видів, чисельність яких була близькою (7,7—8,2 %). За біомасою переважала *D. polymorpha* Pallas — 17,2 г/м², біомаса *D. bugensis* становила 5,7 г/м². За чисельністю переважали хірономіди (10875 екз/м², 47,5 %). Загальна чисельність складала 22875 екз/м², біомаса — 3448,1 г/м².

Загальний габітус обростання у четвертій експозиції (227 діб) визначала дрейсена, потужні колонії мохуватки в основному відмерли, їх фрагменти у вигляді темних грудок у деяких місцях залишилися на субстраті. Було відмічено 11 НІТ. За біомасою переважали *D. polymorpha* — 980,3 г/м² (92,9 %), за чисельністю *Hydra* sp. (1417 екз/м², 9,2 %), *Chironominae* sp. jw. (2750 екз/м², 17,8 %), *D. polymorpha* (3083 екз/м², 20,0 %). Чисельність і біомаса *D. bugensis* були незначними. Загальна чисельність становила 15417±4174 екз/м², біомаса — 1055,6±242,8 г/м².

У другій серії ЕС при експозиції 57 діб (дата зйомки 1.08.2014) два види дрейсени були представлені майже порівну. У цьому угрупованні було відзначено 11 НІТ з семи таксономічних груп (губка, олігохети, гаммаріди, волохокрильці, хірономіди, дрейсена, мохуватки). Загальна чисельність становила 27 000 екз/м², біомаса — 1167,2 г/м². За чисельністю

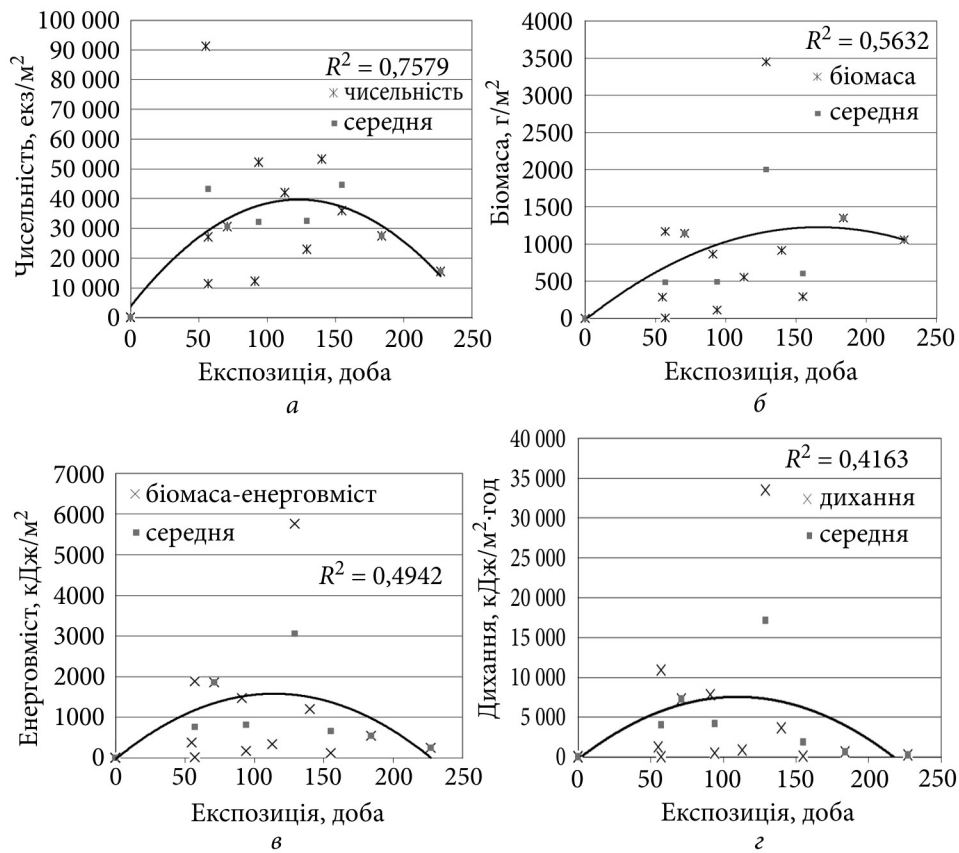


Рис. 2. Чисельність (а), біомаса (б), енерговміст (в) і енергія, розсіяна при диханні (з) у трьох серіях експериментальних субстратів

домінували Naididae sp. (8875 екз/м², 32,5 %) і *D. polymorpha* (5500 екз/м², 20,4 %), за біомасою — мохуватка *P. fungosa* — (1077,3 г/м², 92,3 %).

У подальшому (за 113 діб) крім особин дрейсени, що продовжували рости, з'явилися невеликі колонії губки і мохуватки. Чисельність становила 42 тис. екз/м², біомаса — 554,4 г/м². Тут було відмічено 12 НІТ з восьми груп. На відміну від попередньої експозиції відмічені корофіїди. За чисельністю домінували хірономіди (19625 екз/м², 46,7 %) і олігохети (9125 екз/м², 21,7 %), за біомасою — *D. polymorpha* і *P. fungosa* (відповідно 413,0 і 116,3 г/м²). В останній експозиції цієї серії (155 діб) було відзначено найбільшу кількість НІТ — 19 з восьми груп. Загальна чисельність була 36 тис. екз/м², біомаса — 290,6 г/м². За чисельністю домінували Naididae sp. — 13 458 екз/м², *Hydra* sp. — 4125 екз/м², за біомасою — *D. polymorpha* (250 г/м², 85,9 %).

У третій серії ЕС у перших чотирьох експозиціях (55, 71, 91, 140 діб) за диханням домінувала *P. fungosa*. Крім цього, на 71—140-у добу крім *P. fungosa*, був відмічений другий вид мохуватки — *H. punctata* (від 1,3 % на 55

добу до 7,3 % на 140 добу за диханням). При експозиції 184 діб було відзначено домінування декількох видів, зокрема *D. polymorpha* (44,9 %) і *P. fungosa* (33,2 %).

Кількість НІТ у п'яти експозиціях було приблизно однаковою — 11—16. Кількість таксономічних груп коливалося від шести до восьми. При експозиції 55 діб за чисельністю домінувала *D. bugensis* — (45 250 екз/м², 52,1 %), за біомасою *P. fungosa* (153,8 г/м², 53,7 %). При експозиції 71 доба за чисельністю домінували Naididae sp. (10 тис. екз/м², 32,7 %) і *D. bugensis* (6875 екз/м², 22,4 %), за біомасою — *P. fungosa* (1052,5 г/м², 92,3 %). При експозиції 91 доба за чисельністю домінували личинки хірономід *L. nervosus* (2750 екз/м², 22,7 %), дрейсена *D. polymorpha* (1625 екз/м², 13,4 %), Gammaridae sp. (1500 екз/м², 12,4 %). За біомасою домінувала мохуватка (823,75 г/м², 95,3 %). При експозиції 140 діб домінантами за чисельністю були *D. polymorpha* (13 250 екз/м², 24,9 %) і малощетинкові черви Naididae sp. (12 250 екз/м², 23,0 %). За біомасою також домінувала мохуватка (832,6 г/м², 69,4 %). В останній експозиції (184 діб), як і на 91-у добу, за чисельністю домінували *D. polymorpha* (9125 екз/м²) і Gammaridae sp. (3500 екз/м²), але замість личинок хірономід були відмічені олігохети (4000 екз/м²). За біомасою домінувала *D. polymorpha* (1027,8 г/м², 76,2 %).

Виділення угруповань. На підставі оцінки подібності та побудови кластера подібності відносних показників дихання, на всіх покриттях і у контролі (вініпласт), у трьох серіях експериментальних субстратів було виділено вісім угруповань. Їх характеристики представлені в таблиці 2.

Угруповання Gammaridae sp. + *Hydra* sp. + *E. tenellus* (угруповання 1), яке було відмічено на вініпласті і одному покритті (ХС-413/ДДІМ-BF₄) при експозиції 57 діб (друга декада травня), характеризувалося найменшою кількістю НІТ (див. табл. 2, рис. 3). Чисельність і біомаса тут були найнижчими (7375±5480 екз/м² і 2,7±2,6 г/м²). Чисельність на покритті у 3,5 рази, біомаса — у шість раз менше, ніж на вініпласті. Показники НІТ-різноманітності були досить високими — до 2,4 біт/г. Просторова структура була простою, переважали рухливі екоморфи.

Друге угруповання *L. nervosus* + *P. pararostratus* + *D. bugensis* (угруповання 2) було відмічено лише раз (експозиція три місяці, зйомка у першій декаді серпня) на покритті ХС-413/ДОІМ-BF₄ і налічувало 14 НІТ. У цьому угрупованні немає чітко вираженого домінанта. При цьому біомаса на покритті ХС-413/ДОІМ-BF₄ (угруповання 2) була більше, ніж на покритті ХС-413/ДДІМ-BF₄ (угруповання 1) у 26 раз.

При порівнянні кількісних показників між угрупованнями 1 і 2 можна відмітити, що чисельність у другому угрупованні була в 1,2 разу більше, ніж у першому, а біомаса — у 7 раз більше, у зв'язку з тим, що в цьому угрупованні з'явилися прикріплені форми (два види дрейсени). Завдяки присутності ефаптонних ценоекоморф просторова структура угруповання 2 складніша, ніж угруповання 1, де структура була одноярусна нестратифікована.

Таблиця 2
Характеристика угруповань перифігона на вінілпласті і необростаючих покриттях (середнє±стандартне відхилення, діапазони показників)

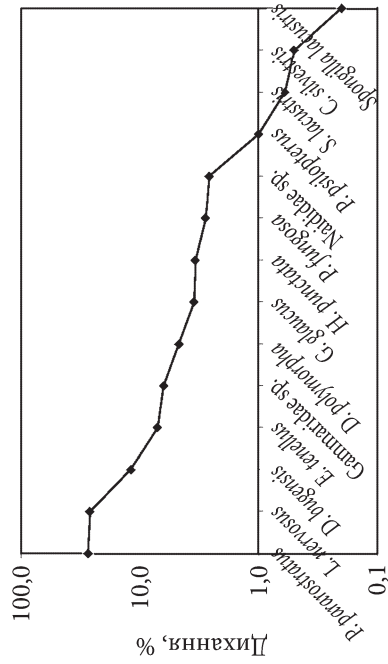
| Угруповання | Дата зйомки | Експозиція, доба | Субстрат | N, екз/м ² | V, г/м ² | B, кДж/м ² | R, кДж/м ² ·год | H _N | H _B | H _R | Кількість НІТ |
|---|--|------------------|--|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 Gammaridae sp.+ <i>Hydra</i> sp.+ <i>E. tenellus</i> | 21.05.2014 | 57 | Вінілпласт, ХС-413 /ДІМ-BF ₄ | 7375±5480 | 2,7±2,6 | 10,8±11,0 | 23,7±26,9 | 1,724—2,242 | 1,125—2,368 | 1,620—2,352 | 7 |
| 2 <i>L. nervosus</i> + <i>P. pararostratus</i> + <i>D. bugensis</i> | 05.08.2015 | 91 | ХС-413/ДОІМ-BF ₄ | 9444±2776 | 19,0±10,1 | 32,4±16,5 | 159,8±80,2 | 2,307—3,093 | 2,145—2,901 | 2,148—2,816 | 14 |
| 3 <i>P. fungosa</i> | 1.08.2014 16.07.2015 5.08.2015 | 57—129 | Вінілпласт, ХС-413/ДОІМ-BF ₄ ПУ-емаль+Zn80 %, ПУлакУР167+Zn60 % | 20822±8440 | 1441,0±883,1 | 2390,8±1491,6 | 12280,6±9216,0 | 2,244—3,404 | 0,033—1,685 | 0,056—1,377 | 17 |
| 4 <i>P. fungosa</i> + <i>H. punctata</i> + <i>D. bugensis</i> | 27.06.2014 30.06.2015 23.09.2015 | 55—140 | Вінілпласт, ХС-413/ДОІМ-BF ₄ | 50150±22338 | 941,9±1050,7 | 987,5±829,4 | 3019,8±2453,0 | 1,538—2,669 | 0,979—2,544 | 1,082—2,359 | 17 |
| 5 <i>P. fungosa</i> + <i>D. polymorpha</i> | 26.09.2014 | 113 | Вінілпласт, ПУ-емаль+Zn80 %, ПУлакУР167+Zn60 % | 35778±7351 | 270,5±265,6 | 179,2±143,0 | 450,1±351,1 | 2,094—2,431 | 0,961—1,628 | 1,655—2,064 | 13 |
| 6 <i>D. polymorpha</i> + <i>P. fungosa</i> | 06.11.2015 | 184 | Вінілпласт, ХС-413/ДОІМ-BF ₄ | 24500±4934 | 1321,7±450,6 | 537,5±60,7 | 610,3±70,0 | 2,115—3,061 | 0,814—4,589 | 1,614—2,022 | 17 |

Продовження табл. 2

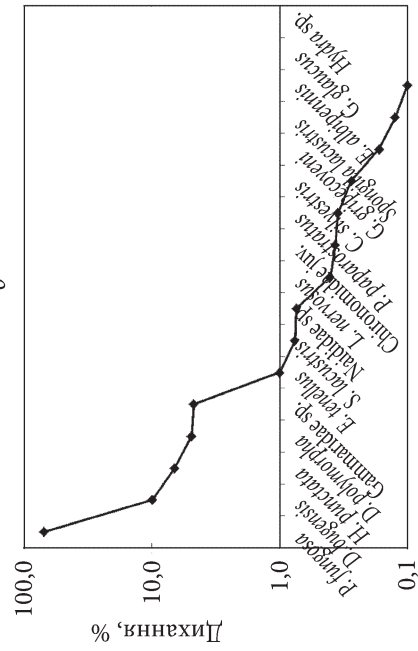
| Угрупування | Дата зйомки | Експозиція, доба | Субстрат | N, екз/м ² | B, г/м ² | B, кДж/м ² | R, кДж/м ² ·год | H _N | H _B | H _R | Кількість НІТ |
|---|-------------|------------------|--|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| 7 <i>D. polymorpha</i> + <i>S. lacustris</i> + <i>L. nervosus</i> | 07.11.2014 | 155— 227 | Вініпласт, ХС-413/ДДІМ-ВF ₄ , ПУ-емаль+Zn80%ПУлакУР167 + Zn60 % | 25479± 12707 | 400,3± 446,0 | 122,7± 94,4 | 110,1±85,4 | 2,511 | 0,858 | 1,851 | 22 |
| | | | | 12375 | 2,9 | 5,0 | | 13,1 | 1,556 | 2,900 | |
| 8 <i>D. bugensis</i> + <i>P. fungosa</i> + <i>H. punctata</i> + Chironomidae sp. | 27.06.2014 | 94 | ХС-413/ДДІМ-ВF ₄ | 12375 | 2,9 | 5,0 | 13,1 | 1,556 | 2,598 | 2,900 | 10 |

Угрупування *P. fungosa* (угруповання 3) відрізнялося великою зустрічальністю: відмічено сім раз при експозиції з 57 до 129 діб в усіх серіях. Це угруповання зустрічалося на вініпласті і на трьох покриттях (ХС-413/ДОІМ-ВF₄, ПУ-емаль + Zn80 %, ПУ-лакУР167 + Zn60 %, але слід підкреслити, що лише у кінці липня — на початку серпня, в інші місяці воно не відмічено. Для цього угруповання характерно майже 100 % домінування одного виду — мохуватки *P. fungosa* (рис. 3, в). Чисельність була досить високою (20 822±8440 екз/м²), біомаса досягала 1441,0± 883,1 г/м². На покритті ПУ-емаль + Zn80 % загальна чисельність була у 2,3 разу нижче, ніж на вініпласті (11 333 екз/м² на покритті проти 27 000 екз/м² на вініпласті), а на ПУ-лакУР167 + Zn60 % — в 1,3 разу (19 333 екз/м² на покритті проти 27 000 екз/м² на вініпласті). У той же час біомаса на цих покриттях була в 1,5 і 2,0 рази вище (відповідно 1714,7 і 2447,0 г/м² проти 1167,2 г/м² на вініпласті). Для просторової структури була характерна висока складність масивних тривимірних колоній мохуваток, загальний габітус угруповання визначали ефаттонні ценоекморфи.

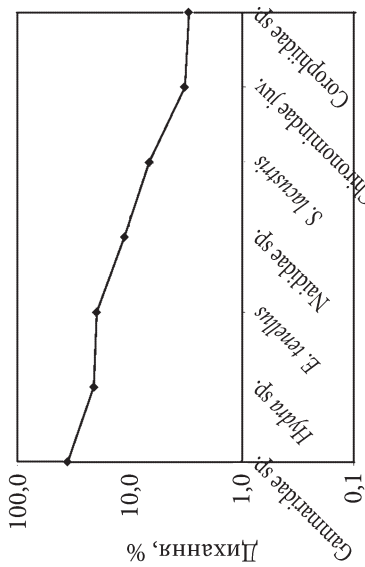
Угрупування *P. fungosa* + *H. punctata* + *D. bugensis* (угруповання 4) було відмічено тричі на вініпласті (55, 94, 140 добу експозиції) і двічі на одному покритті (ХС-413/ДОІМ-ВF₄) в експозиції 55, 94 і 140 діб при зйомці у кінці червня (55, 94 діб)



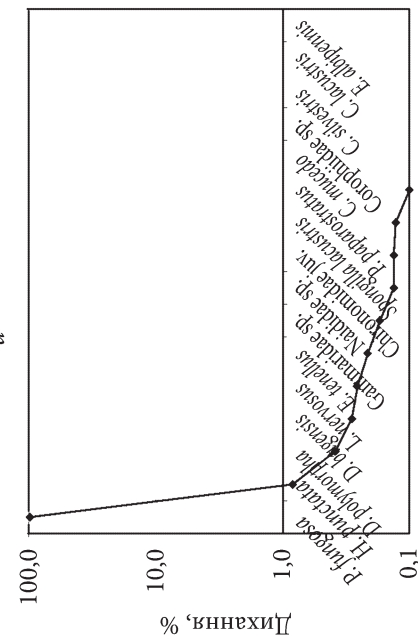
Розподіл НПТ
б



Розподіл НПТ
2



Розподіл НПТ
в



Розподіл НПТ
г

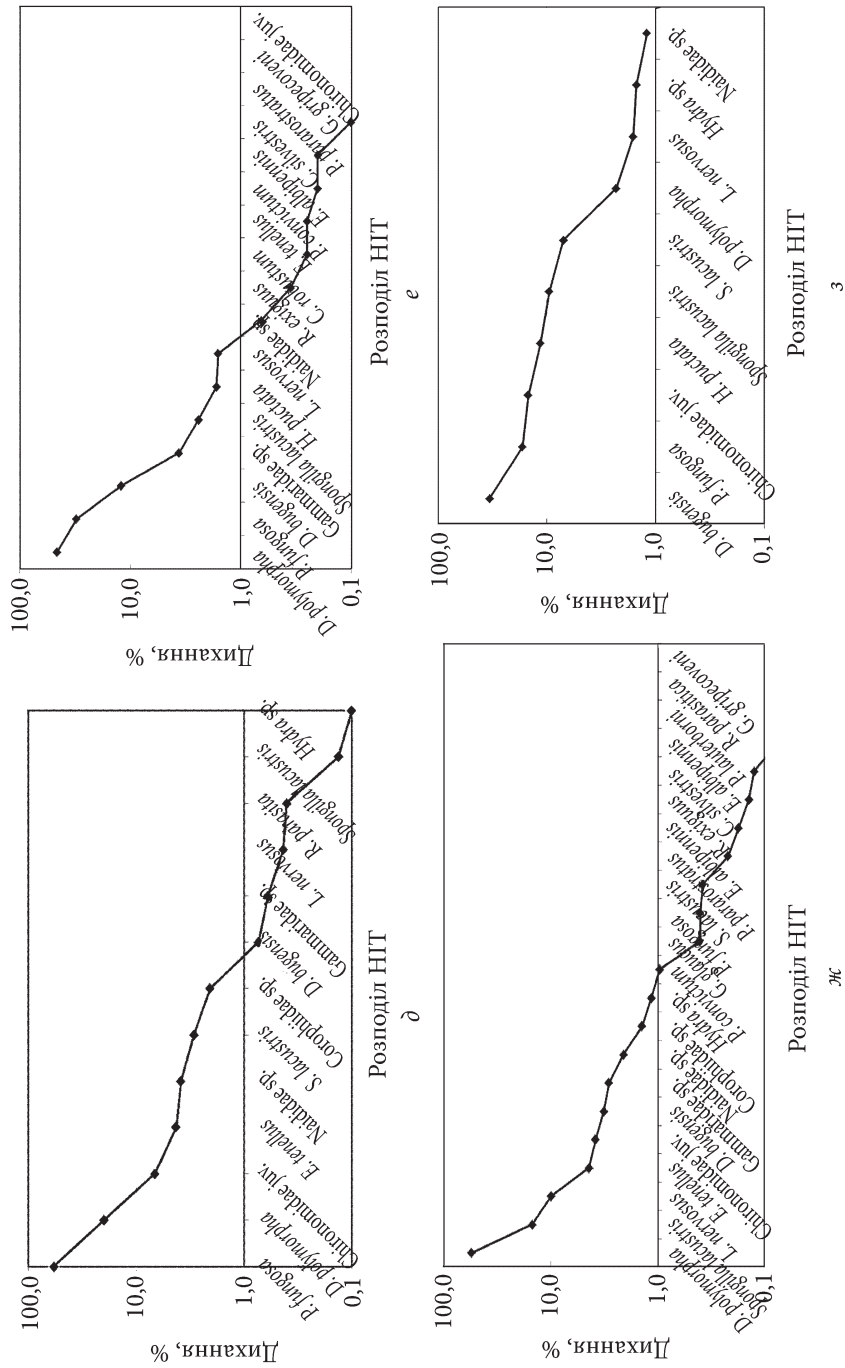


Рис. 3. Криві домінування-різноманіття восьми угруповань. а — Gammaridae sp. + Hydra sp. + E. tenellus; б — L. nervosus + P. paratarostratus + D. bugensis, в — P. fungosa; г — P. fungosa + H. punctata + D. bugensis; д — P. fungosa + D. polymorpha; е — D. polymorpha + P. fungosa; ж — D. polymorpha + S. lacustris + L. nervosus; з — D. bugensis + P. fungosa + H. punctata + Chironomidae sp.

і у кінці вересня (140 діб). У цьому угрупованні частка мохуватки *P. fungosa* за диханням становила 69,9 % (рис 3, з) і характер кривої домінування-різноманітності був іншим, ніж в угрупованні 3. Розподіл був більш вирівняним, тому значення індексу НІТ-різноманітності вищі: в угрупованні 3 — 0,033—1,685 біт/г, в угрупованні 4 — 0,979—2,544 біт/г. Чисельність у цьому угрупованні, на відміну від біомаси, була найбільшою і становила $50\,150 \pm 22\,338$ екз/м² (див. табл. 2). Оскільки і у ньому домінували ефаптонні ценоекоморфи, просторова структура була складною трьохвимірною.

На покритті ХС-413/ДОІМ-BF₄ загальна чисельність на 55-ту добу становила 13 833 екз/м², біомаса — 34,1 г/м², на вініпласті біомаса була у 8,4 разу більше, ніж на покритті (286,1 г/м²). На 140-у добу чисельність і біомаса на покритті були відповідно в 1,1 і 2,8 разу більше, ніж на вініпласті.

Угруповання *P. fungosa* + *D. polymorpha* (угруповання 5) було відмічено на вініпласті і двох покриттях і зустрічалося всього тричі у вересні 2014 р. (113 діб) на різних ЕС. У цьому угрупованні відмічено 13 НІТ. Чисельність становила $35\,778 \pm 7351$ екз/м², біомаса — $270,5 \pm 265,6$ г/м². Частка мохуватки у диханні становила 57,8 %, дрейсени — 20,0 %. У цьому угрупованні кількісні показники на вініпласті були вище, ніж на покриттях, особливо велика різниця (20 раз) була відзначена між біомасою на вініпласті і на покритті ПУ-емаль+Zn80 % — 544,4 г/м² проти 28,0 г/м² на покритті.

Угруповання *D. polymorpha* + *P. fungosa* (угруповання 6) зустрічалося двічі — на вініпласті і на покритті ХС-413/ДОІМ-BF₄ на початку листопада (184 доби). У цьому угрупованні частки дрейсени і мохуватки за диханням були близькими (відповідно 45,9 і 30,6 %). Крім *D. polymorpha* тут була відмічена і *D. bugensis* (12,1 % дихання). Кількісні показники у контролі і на покритті практично не відрізнялися (27500 — 22500 екз/м² і $1349,0$ — $1303,6$ г/м²).

Угруповання *D. polymorpha* + *S. lacustris* + *L. nervosus* (угруповання 7) зустрічалося п'ять раз (два на вініпласті на 155 і 227 добу і тричі на покриттях: ПУ-емаль + Zn80 %, ПУ-лакУР167 + Zn60 % на 155 добу і ХС-413/ДДІМ-BF₄ на 227 добу). Це угруповання, як і попереднє, було відмічено на початку листопада, але, на відміну від нього, було найбільш багатим за кількістю НІТ — 22 (див. табл. 2). Чисельність в угрупованнях 6 і 7 приблизно однакова ($24\,500$ — $25\,479$ екз/м²), а біомаса була більшою в угрупованні 6 (див. табл. 2).

Угруповання *D. bugensis* + *P. fungosa* + *H. punctata* + Chironomidae sp. (угруповання 8) було відзначено один раз у кінці червня (94 доби) на покритті ХС-413/ДДІМ-BF₄. У цьому угрупованні відмічено десять НІТ. Чисельність була 12375 екз/м², біомаса — 2,9 г/м². Лише у цьому угрупованні першим домінантом була *D. bugensis*.

Структура угруповань може бути представлена у вигляді так званих кривих домінування-різноманітності [1, 17]. На кривих (рис. 3, а—з) можна бачити, що найменша кількість НІТ налічується в угрупованнях

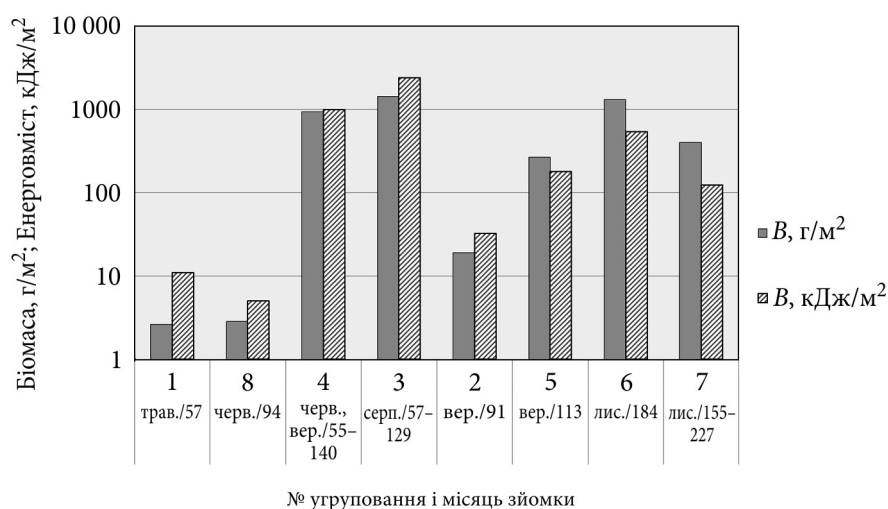


Рис. 4. Показники рясності в угрупованнях 1—8, сформованих при різній експозиції (вказано: місяць/експозиція) і у різні періоди на ЕС

Gammaridae sp. + *Hydra* sp. + *E.tenellus* і *D. bugensis* + *P. fungosa* + *H. punctata* + Chironomidae sp., а найбільша — в угрупованні *D. polymorpha* + *S. lacustris* + *L. nervosus* (див. рис.3, ж). Можливо, це збільшення стало наслідком поширеності цього угруповання (воно виділено на підставі даних 12 проб).

Таким чином, загальна картина сукцесійних змін і перебудов перифітону на ЕС у Канівському водосховищі може бути представлена наступним чином. При відносно невеликій експозиції у весняний період формується угруповання з домінуванням рухомих форм (рис. 4) і невисокими показниками рясності (угруповання Gammaridae sp. + *Hydra* sp. + *E. tenellus*). Можливо, склад таких угруповань досить випадковий. До серпня формувалося угруповання з домінуванням мохуватки (*P. fungosa*), яке досить швидко відмирало. До осені формувалися угруповання, в яких домінували дрейсеніди, переважно *D. polymorpha*. У фонових угрупованнях, за нашими даними, відмічене домінування *D. bugensis* та значні показники біомаси: у червні 2014 р. — 1698,3 г/м², у червні 2015 р. — 2745,0 г/м², у листопаді 2016 р. — 1528,1 г/м² [24]. Структура угруповань більше залежала від сезонності і експозиції, ніж від якості субстрату, проте на деяких тестованих субстратах показники рясності були нижче, ніж у контролі (рис. 5, 6).

Для того, щоб виявити необростаючі властивості кожного покриття, була проведена оцінка інтенсивності обростання кожної окремої пластини у балах (за п'ятибальною шкалою) у порівнянні з контролем, де інтенсивність обростання була прийнята за 100 % (див. табл. 1, рис. 5—6).

Інтенсивність на покритті ХС-413/ДОІМ-BF₄ характеризувалася нижчими показниками при експозиції 55 (зйомка 30.06.2015) і 91 (зйомка 05.08.2015) доба, на покриттях ПУ-емаль+цинк, ПУ-лакУР167+цинк —

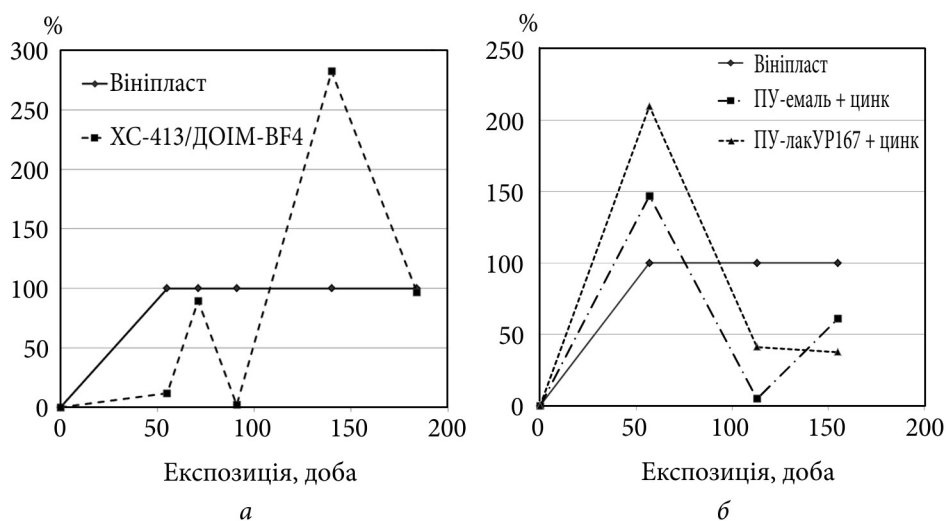


Рис. 5. Порівняння інтенсивності обростання субстратів XC-413/ДДИМ-ВF₄ (а), ПУ-емаль + цинк, ПУ-лакУР167 + цинк (б) з інтенсивністю обростання на вініпласті (контроль)

при експозиції 113 (зйомка 26.09.2014) і 155 (зйомка 07.11.2014) діб (див. рис. 5).

З рисунка 6 видно, що обростання покриттів XC-413/ДДИМ-ВF₄ при всіх експозиціях було значно меншим ніж у контролі. Отримані результати свідчать про значно вищу ефективність дії катіонного біоциду ДДИМ-ВF₄ на прісноводні угруповання макрообростання у порівнянні з іншими. Слід зазначити, що результати попередніх мікробіологічних досліджень симетричних імідазолієвих солей, до яких належать використані біоциди, свідчать про вищу антимікробну активність сполук з коротшими вуглеводневими замісниками С₆ і С₈ проти бактерій [19, 25] і грибів [20] у порівнянні з ДДИМ-ВF₄. Очевидно, зворотна залежність ефективності цих сполук як антифоулянтів від довжини алкільних радикалів може бути зумовлена вищою біологічною активністю ДДИМ-ВF₄ проти водних макроорганізмів, а також стійкістю до вимивання із захисного покриття завдяки низькій водорозчинності [26].

Обговорення і висновки

Існує два концептуальних положення, на підставі яких будуються основні моделі динаміки угруповань перифітону. Перша модель базується на спостереженнях і результатах, які показували досить швидке формування основного складу угруповань, а потім — в основному кількісні зміни [4, 16]. За цією моделлю відбувалася сукцесія і у певних наших дослідженнях [23]: у випадку, коли велігери дрейсени осідали, досить швидко ставали прикріпленими особинами і до них, зі збільшенням біомаси, поступово переходило повне домінування. Цей характер форму-

вання був відмічений у перифітоні у Київському водосховищі [23], а також у водоймі-охолоджувачі Хмельницької АЕС [14]. Однак, за умови існування інших потенційно доміантних видів гідробіонтів, також і з життєвою стратегією експлерентів, можливі інші сценарії сукцесії. У відповідному каналі ХАЕС таким «додатковими» доміантом була інвазивна губка *Eunapius carteri* (Bowerbank) [14], в цьому дослідженні у Канівському водосховищі доміантами були мохуватки (до трьох видів в різних угрупованнях). Ця модель

сукцесії заслугоує на увагу з точки зору концепції життєвих стратегій [9, 15]. Тимчасові, так би мовити, доміанти, безумовно, були віолентами, вони істотно модифікували середовище проживання інших організмів. Однак їм частково властива і стратегія експлерентів, оскільки їх «успіх» у сукцесійному процесі забезпечувався великою кількістю зачатків (личинки, гемули, статобласти), і відтак швидким зростанням колоній. Доміант, який приходив їм на зміну (у нашому випадку це два види дрейсенід), певний час використовував патіентну стратегію, стратегію переживання. Подібна картина спостерігалася і в угрупованнях морського перифітону. Якщо у Чорному морі незалежно від тривалості сукцесії на експериментальних субстратах до осені формувалося угруповання мідії [3], то у Білому морі [15] сукцесійний «успіх» мідій або асцидій визначався сукупністю погодних факторів. Слід відмітити, що у фонових умовах у перифітоні на дослідженій ділянці Канівського водосховища було відмічено лише угруповання з домінуванням дрейсенід обох видів. Лише у 2014 р. переважала *D. bugensis* (1698,3 г/м², 93,6 % загальної біомаси), а у 2015—2016 рр. — *D. polymorpha* (2900,0—3811,6 г/м², 65,2—70,1 %) [24].

Основний масив даних був отриманий нами при дослідженні перифітону на інертному субстраті. На необростаючих покриттях характер сукцесійних змін був подібним, хоча у деяких випадках менш динамічним. Серед досліджених покриттів найефективнішими були зразки на основі корабельної фарби ХС-413 з домішкою катіонного біоциду ДДІМ-ВF₄ (розробка покриття Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії).

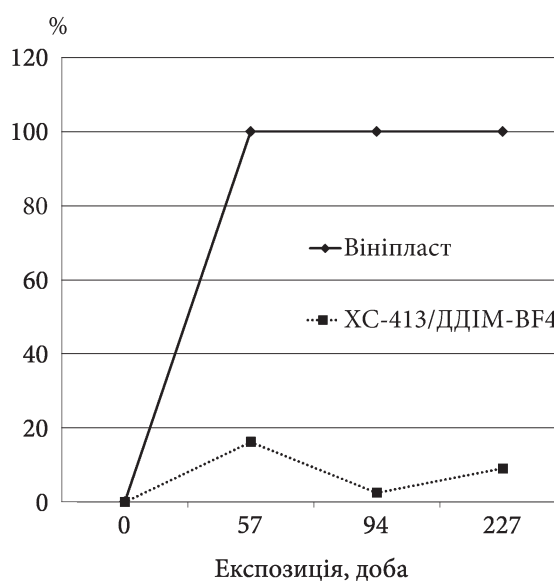


Рис. 6. Порівняння інтенсивності обростання субстратів ХС-413/ДДІМ-ВF₄ з інтенсивністю обростання на вініпласті (контроль)

Отримані результати у цілому свідчать про перспективність модифікації захисних покриттів підводних конструкцій катіонними біоцидами контактної дії, які запобігають прикріпленню макроформ обростання і практично не виділяються у водне середовище. Останній чинник важливий з точки зору відсутності негативного впливу таких покриттів на довкілля.

Слід зауважити, що метод експериментальних субстратів може бути використаний для оцінки деяких важливих параметрів якості водного середовища. Зокрема, є підстави вважати, що значний розвиток мохуваток у перифітоні на ЕС є відгуком контурної підсистеми екосистеми водосховища на зміни його трофічного статусу у бік евтрофування, можливо, за умови кліматичних змін. Окрім того, біологічні перешкоди, зумовлені розвитком обростання у техноекосистемах, можуть розглядатися як досить небезпечна екосистемна антипослуга.

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.* М., 1997. С. 278—282.
3. Брайко В.Д. Обрастание в Черном море. Киев: Наук. думка, 1985. 123 с.
4. Дуплаков С.Н. Материалы к изучению перифитона. *Тр. Лимнол. станции в Косине.* 1933. вып. 16. С. 3—160.
5. Кафтаникова О.Г. Беспозвоночные каналов СССР. Киев: Наук. думка, 1975. 164 с.
6. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. К.: Логос, 2006. 408 с.
7. Скальская И.А. Зооперифитон водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск, 2002. 256 с.
8. Протасов А.А. Пресноводный перифитон. Киев: Наук. думка, 1994. 307 с.
9. Протасов А.А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. Киев: Академперіодика, 2011. 704 с.
10. Протасов А.А., Силаева А.А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. Киев, 2012. 274 с.
11. Протасов А.А., Морозовская И.А., Гурьянова Г.А., Ласковенко Н.Н. Исследование полимерных необрастающих покрытий в условиях Каневского водохранилища. *Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. Вип. Гідроекологія.* 2015. № 3—4. С. 561—565
12. 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. *Ядерная энергетика та довкілля.* 2018. Т.1. С. 54—58.
13. Раилкин А.И. Колонизация твердых тел бентосными организмами. СПб: Изд-во С.Петербур. гос. ун-та, 2008. 427 с.
14. Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / под ред. А.А. Протасова. Киев, 2011. 234 с.
15. Халаман В.В. Жизненные стратегии беломорских организмов-обрастателей. *Перифитон и обрастание: теория и практика.* Материалы междунар. научно-практич. конф. Санкт-Петербург, 22—25 окт. 2008 г. СПб. 2008. с. 44—46.

16. Шарапова Т.А. Зооперифитон внутренних водоемов Западной Сибири. Новосибирск: Наука. 2007. 167 с.
17. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 324 с.
18. Artificial substrates. J. Ed. Cairns. Collingwood: Ann Arbor Scie. Publ. 1982. 279 p.
19. Hodyna D., Kovalishyn V., Rogalsky S. et al. Antibacterial activity of imidazolium-based ionic liquids investigated by QSAR modelling and experimental studies. *Chem. Biol. Drug Des.* 2016. Vol. 88, N 3. P. 422—433.
20. Hodyna D., Kovalishyn V., Rogalsky S. et al. Imidazolium ionic liquids as potential anti-Candida inhibitors. QSAR modelling and experimental studies. *Curr. Drug Discov. Technol.* 2016. Vol. 88, N 2. P. 109—119.
21. Pielou E.C. The interpretation of ecological data. New York: Wiley, 1984. 25 p.
22. 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.* 1999. Т. 278. С. 132.
23. Protasov A.A., Guryanova G.A., Sylayeva A.A., Laskovenko N.N. Zooperiphyton dynamics on the experimental substrata in the near-dam section of the Kiev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 5. P. 80—90.
24. Protasov A.A., Morozovskaya I.A., Laskovenko N.N., Rogalskiy S.P. Composition and structure of zooperiphyton on the experimental substrates in the Kaniv Reservoir. The many-year aspect. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 5. P. 3—19.
25. Rogalsky S.P., Davydenko V.V., Dzhuzha O.V. et al. Plasticizer for polyvinyl chloride with antimicrobial activity based on the ionic liquid 1,3-dihexylimidazolium dioctyl sulfosuccinate. *Vopr. Khimii i Khim. Tekhnologii.* 2018, N 5. P. 131—139.
26. 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.

Надійшла 03.07.2020

A.A. Protasov, Dr. Sci (Biol.), Prof., Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: labtech-hb@ukr.net
ORCID 0000-0002-0204-2007

I.O. Morozovska, PhD (Biol.), acting Junior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine

S. P. Rogalsky, PhD (Chem.), Head of Lab.,
Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the NAS of Ukraine
1 Murmanska St., Kyiv, 02094, Ukraine

DYNAMICS OF FORMATION OF ZOOPERIPHYTON COMMUNITIES ON INERT SUBSTRATE AND ANTIFOULING COATINGS IN THE RESERVOIR

The features of the dynamics of zooperiphyton communities on experimental substrates exposed for up to 227 days in the Gulf of Kanev Reservoir (river Dnieper) are considered. A distinctive succession of communities which was not observed before, with dominance of ephaptobionts different on life strategy — colonial bryozoans, sponges, and zebra mussels has been shown. It was established that at certain periods of succession, when changing dominants, representatives of different species use different life strategies. The study of the dynamics of abundance indicators allowed us to determine coatings with anti-fouling properties, namely, based on ship paint XC-413 modified with cationic biocide DDIM-BF₄.

Keywords: reservoir, experimental substrates, antifouling coatings, periphyton communities.