

УДК 001.892:628.1:62-757.5

**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

**І.О. МОРОЗОВСЬКА**, к. б. н., мол. наук. співроб.,  
Інститут гідробіології НАН України,  
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна  
e-mail: miris\_ka@ukr.net  
ORCID 0000-0003-1795-7485

## ЕКСПРЕС-ОЦІНКА РОЗВИТКУ ОБРОСТАНЬ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ТА В ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УМОВАХ

---

*Розглянуто нові методичні підходи до оцінки розвитку угруповань перифітону, що створюють обростання в технічних системах водопостачання, а також для оцінок ефективності необростаючих властивостей експериментальних захисних покриттів. Проведено аналіз результатів досліджень експериментальних субстратів в затоці Канівського водосховища (р. Дніпро). Введено поняття формули обростань, що дозволило уніфікувати опис та характеристику обростань в певних умовах. Запропоновані методичні прийоми можуть бути використані в гідробіологічному моніторингу технооекосистем, в експериментальних дослідженнях стосовно різних заходів обмеження обростання.*

**Ключові слова:** перифітон, обростання, експериментальні субстрати, формула обростання, антиобростаючі покриття, технооекосистема.

Проблема обростання гідроспоруд, плавзасобів, систем водопостачання та водопідготовки добре відома в прикладній і технічній гідробіології [3—6, 8]. У плані розроблення цієї проблеми можна виділити кілька напрямів і ключових питань. Їх можна сформулювати таким чином:

- оцінка кількісного розвитку, динаміки формування угруповань;
- виявлення біотичних взаємодій у біоценозах, толерантності тих чи інших організмів, що обростають до факторів середовища, включно з факторами, пов'язаними з експлуатацією технічних систем;

---

Ц и т у в а н н я: Протасов О.О., Морозовська І.О. Експрес-оцінка розвитку обростань в технічних системах та в експериментальних умовах. *Гідробіол. журн.* 2025. Т. 61, № 4. С. 87—98.

— розроблення заходів з контролю за обростанням, зниження інтенсивності обростання як окремими гідробіонтами, так і розвитком цілісних біоценозів;

— розроблення методів і заходів щодо підвищення біопозитивних ефектів (інтенсифікація процесів самоочищення, отримання біоресурсів) завдяки діяльності організмів обростання;

— розроблення методів гідробиологічних досліджень, а також практичних експрес-методів оцінки якісних і кількісних характеристик обростання як у природних умовах, так і в умовах техноекосистем.

Дослідження організмів і угруповань перифітону як окремого еколого-топічного угруповання гідробіонтів, а також обростання як технічного явища взаємодії техноекосистем з гідробіонтами мають досить довгу історію [2, 6].

Методи дослідження обростання різноманітні [1, 11], проте вони досить трудомісткі та вимагають достатньої кваліфікації фахівців, тоді як на практиці існує необхідність швидкої та адекватної оцінки розвитку обростання, що може бути корисним для розв'язання завдань, зазначених вище. Наш багаторічний досвід взаємодії гідробиологів і практиків у галузях енергетики та водопостачання показав, що існує необхідність розроблення досить простих і ефективних інформативних методів оцінки обростання за відсутності у технічних працівників базових гідробиологічних знань. Крім того, в гідробиологічних дослідженнях часто необхідно провести попередній експрес-аналіз перед більш детальним, поглибленим гідробиологічним вивченням.

Метою даної роботи було розробити метод експрес-оцінки розвитку обростання в різних умовах, включно з оцінкою ефективності заходів зі зниження негативного впливу обростань.

### Матеріал і методика досліджень

Як матеріал для розробки методичних підходів було взято дані досліджень 2024 р. на Канівському водосховищі. Дослідження проводили в одній із заток водосховища нижче за течією від м. Києва, у районі острова Водників (50°20'28.78"С, 30°35'21.56"В).

Згідно з нашими попередніми даними, вініпласт в якості субстрату для експериментів можна використовувати як контрольний, тому що на ньому було зареєстровано найбільш інтенсивний розвиток обростання [7, 9, 10]. Субстратом з найбільш антиобростаючими властивостями була оцинкована сталь (далі — цинк), тому в даному експерименті ми використали ці субстрати. Крім того у 2024 р. були використані субстрати з антиобростаючим покриттям, з вмістом у основній фарбі ПФ 115П ундеценової кислоти 7 % (Und7%)<sup>1</sup>, а також субстрати, покриті чистою (без домішок) фарбою ПФ115П.

<sup>1</sup> Розробка Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України, отриманий матеріал випробувань більш ретельно обробляється.

Постановка стендів була проведена 24 травня 2024 р., зйомка — на 31-, 61-, 91-шу, 118-ту та 178-му добу. Температура води коливалася від 7,5 °С (у листопаді) до 28,6 °С (у липні).

Стенд для експонування пластин являв собою металеву рамку розміром 40×40 см з клітинками розміром 10×10 см, в кожній з яких було закріплено по три експериментальних субстрата розміром 2,5×8 см. На стенд субстрати вивішували з борту баржі, у вертикальній орієнтації. Фотофіксацію та відбір проб проводили з обох сторін субстрату: з затемненої сторони (в бік тіні від баржі, сторона субстрату А) та зі світлої сторони (сторона Б). В одному ряду стенда для кожного типу субстрата було по 12 пронумерованих пластин.

Для статистичних обрахунків та графічного представлення даних використовували програмний пакет Microsoft Excel.

### Результати досліджень та їх обговорення

Першим кроком оцінки розвитку обростання має бути візуальний огляд з подальшим описом. Він може проводитись як на натурному матеріалі в польових умовах або в умовах систем водопостачання, так і після огляду за фотознімками (рис. 1—3). Наявність фотографій обростань має бути обов'язковою для протоколу оцінки обростання як біологічних перешкод.

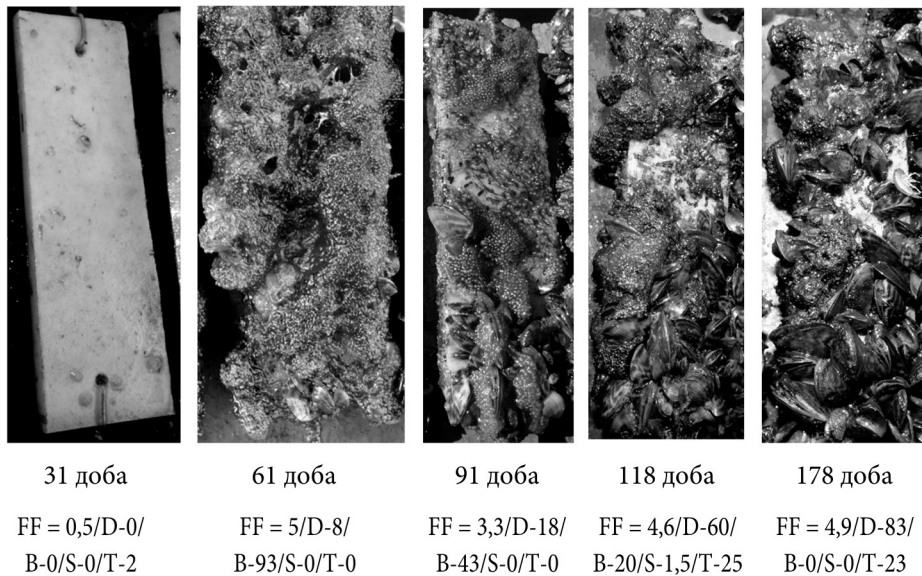
У попередніх дослідженнях [7, 9, 10] ми використовували вербальну схему опису обростання. Наприклад, обростання, що формувалися на експериментальних субстратах на вініпласті та Und7% (див. рис. 2, 3) можна описати наступним чином (табл. 1).

Як видно з таблиці, сам опис досить громіздкий і не уніфікований, проте несе досить багато інформації і має бути використаний для протоколів опису оцінки обростання. Для уніфікації та спрощення опису ми пропонуємо використовувати формулу обростання (FF). Ця формула включає в себе загальну кількісну оцінку обростання в балах, частку по-

Таблиця 1

Оцінка обростання на експериментальних субстратах

Назви субстратів	Експозиція, доба	Характер обростання
Вініпласт	31	Поодинокі організми не більше 1—5 мм
Вініпласт	91	Щітки дрейсени з покриттям 70 %, колонії мохуватки — 20 % покриття
Вініпласт	178	Суцільне тривимірне покриття щітками дрейсени 95 %
Und7%	31	Поодинокі окремі організми розміром не більше 1—5 мм
Und7%	91	Друзи дрейсени, 55 % покриття, мохуватка — 40 %
Und7%	178	Тришарове покриття дрейсною, 98 %, окремі колонії мохуватки — 5 %



**Рис. 1.** Загальний габітус і динаміка обростання організмами перифітону субстрата з вініпласту, субстрат № 11

криття субстрату основними організмами. Оцінка в балах проводиться за 5-бальною шкалою:

1 бал — окремі організми, не більше 1—5 мм за розміром, покриття субстрату до 5 %,

2 бали — незімкнуте, плямисте обростання, окремі колонії, покриття 6—20 %,

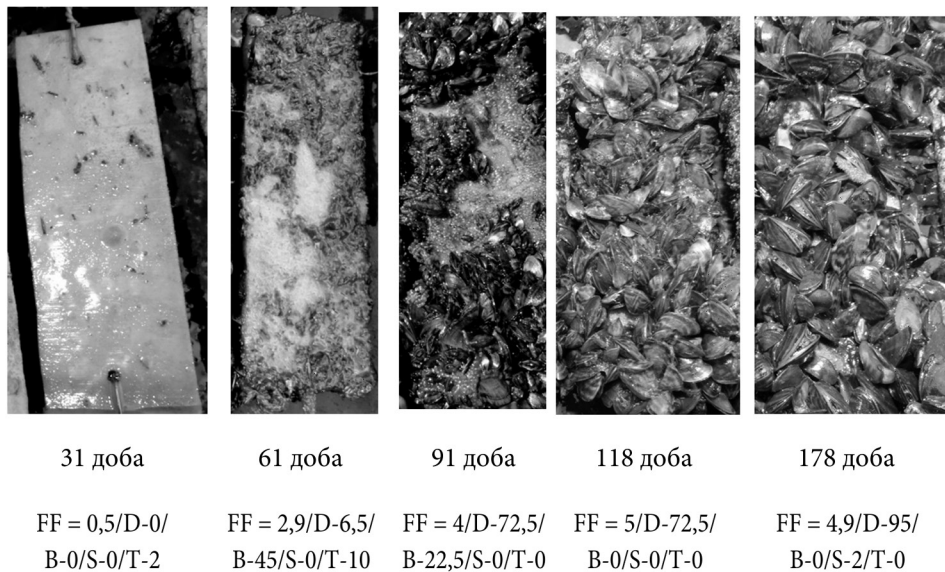
3 бали — одношарові колонії, одноярусні поселення, групи колоній, покриття 20—50 %,

4 бали — масивні колонії, двовимірні обростання з колоній і скупчення організмів (наприклад, щітки дрейсени), покриття субстрату 51—100 %,

5 балів — суцільне тривимірне масивне обростання з окремих організмів та колоній.

Застосовували цілі і дробові величини оцінок, наприклад, при дуже слабкому обростанні — 0,1—0,5 бали, при не повністю покритому субстраті — 4,8 бали. Також дробові оцінки можуть бути наслідком усереднення результатів оцінки обростання декількох пластин.

У формулах (див. рис. 1—3) надано інформацію про склад основних груп гідробіонтів та оцінку кількісного розвитку обростання. Наприклад, на вініпласті (див. рис. 2) при експозиції 31 доба рясність/інтенсивність обростання оцінено в 0,5 балів, а на 118-ту добу — 5 балів. Слід зазначити, що порівняння субстратів демонструє нерівномірність розвитку обростання, так на фото 1 на субстраті, що експонувався 61 добу, відмічено живі тривимірні колонії мохуваток, а на іншому субстраті (див. рис. 2) зареєстровано тільки рештки колоній мохуваток, що свідчить про те, що



**Рис. 2.** Загальний габітус і динаміка обростання організмами перифітону субстрата з вініпласту, субстрат № 12

під розвитку мохуваток до другої декади липня в цьому році практично пройшов, живі колонії залишилися на окремих субстратах.

Попередні дослідження показали, що основними організмами, що формують обростання на субстратах є: дрейсеніди двох видів (*Dreissenidae*, D), мохуватки (*Bryozoa*, B), губки (*Spongia*, S), рухомі форми (*Oligochaeta*, *Chironomidae*, O-Ch), ракоподібні (*Gammaridae*, *Corophiidae*, G-C), черевоногі молюски (*Gastropoda*, G), також зустрічаються рештки організмів, детрит (T).

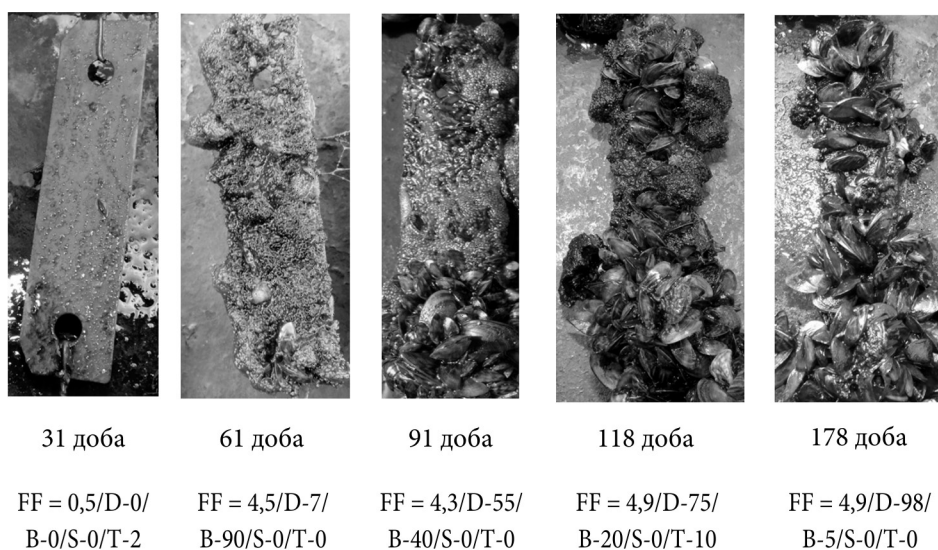
Наприклад, на 61-шу добу покриття мохуваткою досягало 90 %, а на 118-ту добу — лише 20 %, рештки колоній склали детритні маси (10 %) (див. рис. 3).

Отже, за допомогою короткої формули ми можемо як якісно, так певною мірою і кількісно оцінити обростання експериментальних субстратів. Як було встановлено нами [7], між бальною оцінкою та біомасою є значна кореляція (рис. 4).

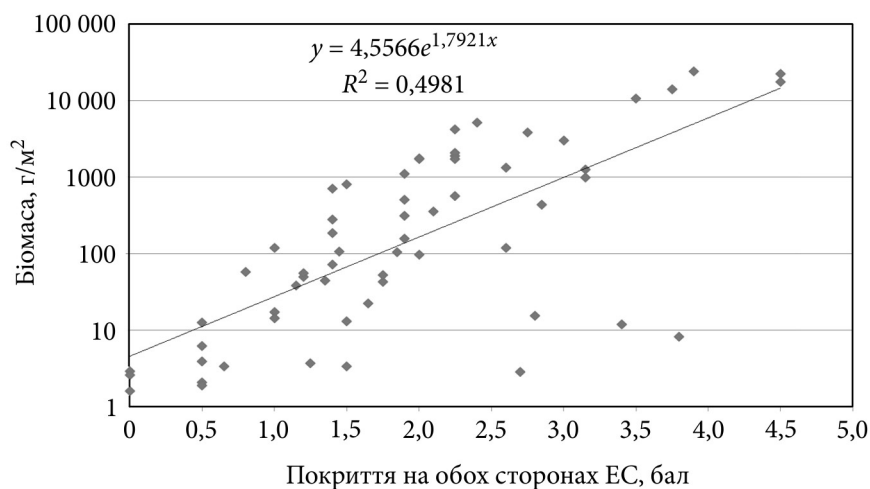
Отримана залежність показує, що з кожним балом практично на порядок збільшується біомаса, тобто бальна оцінка — це є адекватна кількісна оцінка розвитку обростання.

Експозиція на ЕС проводилася в таких умовах, що вертикальні субстрати були більш освітлені з одного боку і менш освітлені з другого боку, тому що затінялися бортом баржі, на якій було закріплено стенд. За допомогою бальної оцінки можна зробити оцінку впливу цих біотопічних відмінностей (табл. 2).

Як видно з таблиці 2, обростання на темній стороні в більшості випадків було дещо більшим, як на світлій стороні. Так, на 178-му добу на



**Рис. 3.** Динаміка обростання організмами субстрату на покритті з вмістом ундеценової кислоти (Und7%)



**Рис. 4.** Залежність між значеннями бальної оцінки обростання та біомасою організмів

цинку на темній стороні обростання було в 1,5 рази більшим, як на світлій. Відмічені деякі пластини, на яких обростання на обох сторонах було майже однаковим, таке обростання було відмічено на пластині з вініласту на 61-шу добу. Взагалі стандартна похибка була досить високою. У подальших бальних оцінках можемо зробити усереднення показників по стороні А та Б.

Оскільки зйомка ЕС проводилась кілька разів за період літнього та осіннього сезону можемо зробити оцінки розвитку обростання та динаміки на різних субстратах (рис. 5).

На основі аналізу даних бальної оцінки виявлено кілька варіантів такої динаміки:

1 — дуже повільне зростання за перший період експозиції, в даному випадку за 31 добу на всіх субстратах,

2 — така повільна динаміка спостерігається і далі на найменш обростаючому субстраті — оцинкованій сталі,

3 — різке зростання рясноти обростання на другому етапі розвитку (від 31-ї до 61-ї доби) на інших субстратах,

4 — коливання значень обростання на двох рівнях: для цинку — на рівні 1,5 балів, для інших субстратів — від 3,8 балів з подальшим невеликим зростанням до 4,5 балів.

Як бачимо, динаміка на різних субстратах має свою специфіку, відмічено незначне обростання на цинку в усі періоди дослідження. Водночас для інших субстратів, крім цинку, середній бал був в період від 61-ї до 178-ї доби від 3,8 (для ПФ115П) до 4,1 (Und7%) балів. Тобто були близькі значення, до того ж при значній нерівномірності розподілу обростання на окремих субстратах значення CV (%) були досить великі (від 19,8 для Und7% до 30,8 % для ПФ115П). Отже, запропоновані антиобростаючі покриття не були достатньо ефективними.

Крім загальної оцінки інтенсивності обростання важливо отримати дані щодо кожної групи обростання та оцінити участь цих організмів у

Таблиця 2

**Бальна оцінка обростання на двох сторонах експериментального субстрату**  
(затемнена сторона — А, освітлена сторона — Б)

Назви субстратів	Експозиція, доба	Сторона А, середня $M \pm \sigma$	Сторона Б середня $M \pm \sigma$
Вініпласт	61	3,57±0,86	3,52±0,89
	91	4,10±0,84	3,70±1,16
	178	4,45±0,57	4,26±0,94
Und7%	61	4,10±0,83	3,53±0,96
	91	4,38±0,74	4,06±0,83
	178	4,38±0,57	4,26±0,88
ПФ115П	61	3,81±0,98	3,56±1,04
	91	3,74±1,32	3,49±1,63
	178	4,14±0,97	4,06±0,98
Цинк	61	1,20±0,61	1,33±0,60
	91	1,51±1,14	1,21±0,68
	178	1,17±0,42	0,91±0,30

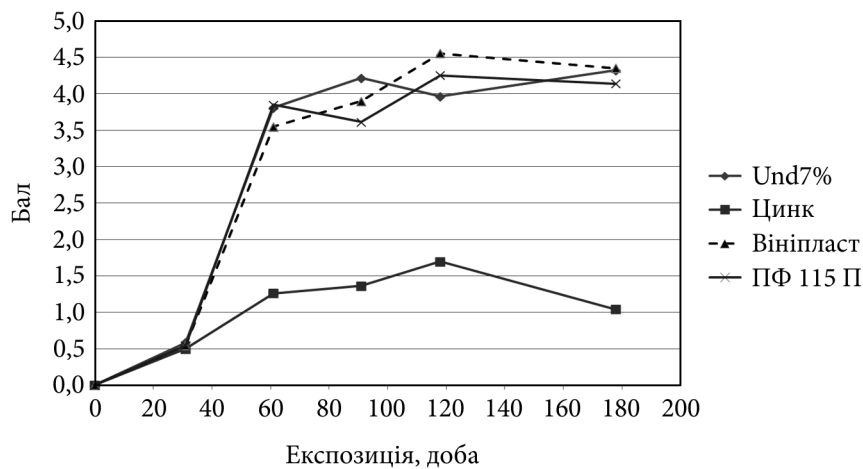


Рис. 5. Динаміка інтенсивності обростання на різних субстратах на обох сторонах, в балах

формуванні обростання субстратів. Як видно з формул (див. рис. 1—3) основними організмами були дрейсеніди та мохуватки. Динаміка обростання дрейсеною різних субстратів на освітленій та затемненій стороні відрізнялася (табл. 3). На субстратах обростання нею на затемненій стороні було більшим на 30—60 %, ніж на освітленій стороні.

Обростання мохуваткою мало іншу закономірність (див. табл. 3). На субстратах, крім цинку, обростання мохуваткою було більшим на стороні

Таблиця 3

Динаміка обростання дрейсеною та мохуватками (у відсотках покриття субстрату) на обох сторонах субстрату (затемнена сторона — А, освітлена сторона — Б)

Назви субстратів	Експозиція, доба	Дрейсена		Мохуватка	
		Сторона А, середня $M \pm \sigma$	Сторона Б, середня $M \pm \sigma$	Сторона А, середня $M \pm \sigma$	Сторона Б, середня $M \pm \sigma$
Вініпласт	61	15,1±8,4	9,4±4,5	51,1±26,4	60,0±22,4
	91	69,3±26,4	30,9±25,7	17,0±13,9	42,4±31,6
	178	90,0±7,5	53,4±35,1	0	0
Und7%	61	7,1±3,6	3,9±4,3	71,9±21,8	69,3±17,5
	91	60,8±21,1	20,4±22,6	56,7±24,7	61,3±29,3
	178	90,6±10,0	51,6±31,4	0	0
ПФ115П	61	8,9±7,5	4,1±2,0	75,2±11,6	70,9±10,9
	91	47,9±34,7	24,0±22,6	32,0±30,1	44,3±34,9
	178	65,9±39,1	56,0±43,7	0	0

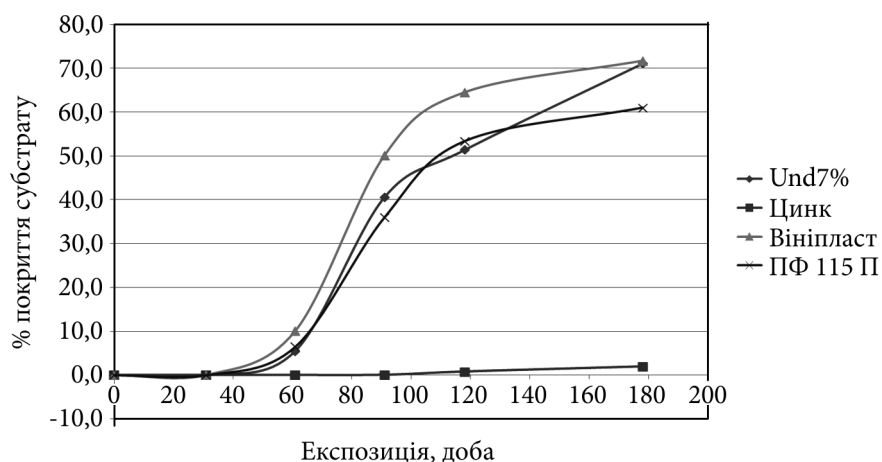


Рис. 6. Динаміка обростання дрейсеною різних субстратів

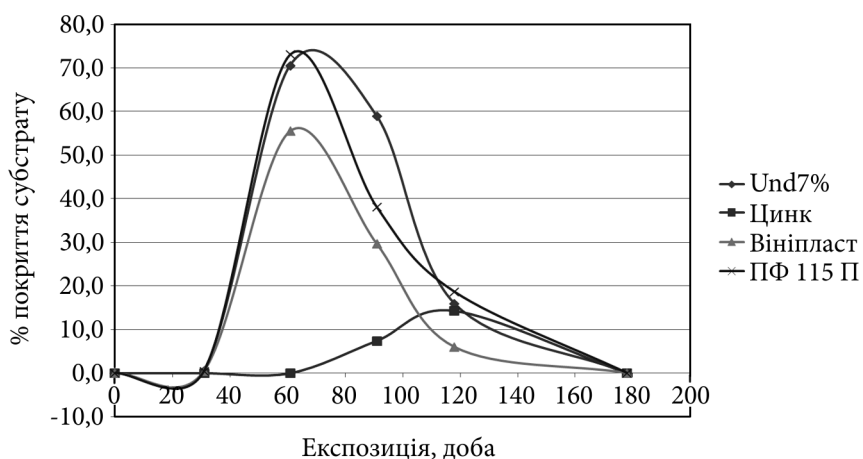


Рис. 7. Динаміка обростання мохуваткою різних субстратів

Б (освітлений), за виключенням субстрату ПФ115П на 61-шу добу та цинку на 91-шу добу, де обростання мохуваткою було більшим на затемненій стороні (сторона А).

Динаміку обростання дрейсеною та мохуваткою представлено на рисунках 6, 7.

Обростання дрейсеною на субстратах йшло, поступово збільшуючись з 31-ї до 61-ї доби, з подальшим наростанням на 91-шу — 178-му добу.

Як було зауважено вище, хоча максимальний розвиток мохуватки *Plumatella fungosa* Pallas був на 61-шу добу, на деяких субстратах масивні колонії відмерли раніше. На місці живих колоній залишилися відмерлі мохуватки (відмічені як детрит — Т).

Таблиця 4

## Співвідношення загальної бальної оцінки необростаючого покриття до контрольних субстратів — вініпласту та оцинкованої сталі

Доби	Вініпласт	Цинк	Und7%	Відношення (%) Und7%/Вініпласт	Відношення (%) Und7%/Цинк
31	0,54	0,50	0,58	108	117
61	3,55	1,26	3,81	107	302
91	3,90	1,36	4,22	108	310
118	4,56	1,70	3,96	87	234
178	4,35	1,04	4,32	99	416

На субстратах з оцинкованої сталі відмічено деякий невеликий підйом рясності обростання (рис. 7), але слід зауважити, що він був за рахунок появи великих колоній мохуватки *Pectinatella magnifica* Leidy (до 6 см в діаметрі) на самому стенді. Ці колонії частково розрослися на деякі пластини, що дало при усередненні бальної оцінки по кожній пластині підвищення показників покриття.

Ще одним завданням даної роботи було запропонувати експрес-методику оцінки ефективності антиобростаючих заходів, в даному випадку ефективності певної добавки до фарби. Як видно з таблиці 4, даний субстрат не має суттєвого антиобростаючого ефекту.

### Висновки

Запропонована методика дозволила отримати необхідні дані та зробити якісні та кількісні оцінки обростання, а саме:

— коротко, уніфіковано та досить інформативно описати характер обростання за допомогою формули;

— оцінити ступінь розвитку, рясноту розвитку обростання за допомогою шкали бальних оцінок. На основі шкали може бути для кожного типу техноекосистем та систем водопостачання розроблено систему оцінки загроз від обростання, наприклад: оцінка 3—4 бала = загроза середнього рівня, оцінка 4,5—5,0 балів = загроза високого рівня;

— встановити, що окремі групи гідробіонтів по-різному реагують на такі фактори середовища, як освітлення. Це може бути враховано у розробці методів оцінки заходів боротьби з обростанням, а також для розробки біопозитивних конструкцій (різних пристроїв на яких організми перифітону відіграють позитивну роль, наприклад у самоочищенні);

— встановити особливості динаміки розвитку обростання, зокрема залежно від характеру субстрата;

— встановити особливості розвитку окремих найбільш важливих груп гідробіонтів;

— зробити висновки відносно антиобростаючих властивостей одного з варіантів покриття.

Ретельне гідробіологічне дослідження перифітонних угруповань у рамках проведення натурального експерименту, безумовно надасть нові важливі дані щодо їхнього складу. Буде докладно виявлено динаміку розвитку, особливості реакції окремих видів гідробіонтів на різні фактори середовища, включно з антропогенними. Однак для практичних цілей еколого-технічного моніторингу запропонована експрес-методика може бути цілком достатньою і досить інформативною.

Список використаної літератури

1. Artificial substrates / Ed. by Cairns J. Collingwood Ann Arbor Scie. Publ. 1982. P. 279.
2. Biofouling / Ed. by Simone Durr, Jeremy C. Thomason. 1st ed. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication: The Atrium, Southern Gate, Chichester, United Kingdom. 2010. 420 p. ISBN 978-1-4051-6926-4 2010 628.9 6-dc22
3. Cover E., Harrel R. Sequences of colonization, diversity, biomass, and productivity of macroinvertebrates on artificial substrates in freshwater canal. *Hydrobiologia*. 1978. Vol. 59, N 1. P. 81—95.
4. Jenner H., Whitehouse J., Taylor C., Khalanski M. Cooling water management in European power stations / Biology and control of fouling. *Hydroecologie appliquée*. 1998. Vol. 10, N 1—2. P. 1—225.
5. Jun Chan, Shing Wong. Biofouling types, impact, and anti-fouling. Nova Science Publishers, New York, 2010. 347 p.
6. Marine fouling and its preventions. US Naval Inst. / Woods Hole Oceanogr. Inst. 1952. 388 p.
7. Morozovska I.O., Rogalskiy S.P., Dzhuzha O.V. et al. Zooperiphyton on anti-fouling coatings and changes of its coenotic structure. *Hydrobiol. J.* 2024. Vol. 60, N 3, P. 91—109.
8. Moshchenko A.V., Zvyagintsev A.Yu. Distributional characteristics of macrofouling organisms on ocean-going ships of the Far East sea basin. *Ocean & Polar Research*. 2001. Vol. 23, N 4. P. 323—335.
9. Protasov O.O., 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. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 55, N 5. P. 3—19.
10. Protasov A.A., Morozovska I.O., Rogalskiy S.P. Dynamics of zooperiphyton communities' development on inert substrate and antifouling coatings in the reservoir. *Ibid.* 2021. Vol. 57, N 2. P. 36—53.
11. Sladečková A. Limnological investigation methods for the periphyton («Aufwuchs»). *The Botanical Review*. 1962. Vol. 28, N 2. P. 286—350.

Надійшла 14.01.2025

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

I.O. Morozovska, PhD (Biol.), Junior Researcher,  
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,  
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine,  
e-mail: miris\_ka@ukr.net  
ORCID 0000-0003-1795-7485

RAPID ASSESSMENT OF FOULING DEVELOPMENT IN TECHNICAL SYSTEMS  
AND IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

New methodological approaches for assessing the development of periphyton communities that create fouling in technical water supply systems, as well as for assessing the effectiveness of antifouling properties of experimental protective coatings are considered. The results of studies of experimental substrates in the bay of the Kanev reservoir (Dnieper River) were analyzed. The concept of fouling formula was introduced, which allowed to unify the description and characterization of fouling in certain conditions. The proposed methodological techniques can be used in hydrobiological monitoring of technoecosystems, in experimental studies of various measures to limit fouling.

**Keywords:** *periphyton, fouling, experimental substrates, fouling formula, antifouling coatings, techno-ecosystem.*