

РИБОГОСПОДАРСЬКА ГІДРОБІОЛОГІЯ І ІХТІОЛОГІЯ

УДК 502.251 (285):639.05(477)

НОВИЦЬКИЙ Р.О., д. б. н., проф., завідувач кафедри,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, 49009, Україна
e-mail: novitskyi.r.o@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0001-9373-5759

ХРИСТОВ О.О., директор,
ТОВ «Науково-дослідний та проектно-технологічний центр «Довкілля-Дніпро»,
пл. Новокодацька, буд. 7/91, 49068, Дніпро, Україна
e-mail: christoff@i.ua

КОБЯКОВ Д.О., аспірант,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, 49009, Україна
e-mail: kobiakov.d.o@dsau.dp.ua,
ORCID 0000-0002-7086-8337

ГАПІЧ Г.В., к. т. н., доц.,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, 49009, Україна
e-mail: hapich.h.v@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0001-5617-3566

КОВАЛЕНКО В.В., к. с.-г. н., доц.,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Сергія Єфремова, 25, Дніпро, 49009, Україна
e-mail: kovalenko.v.v@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0003-3865-597X

ГРИЦАН Ю.І., д. б. н., проф., завідувач кафедри,
Дніпровський державний технічний університет,
вул. Дніпробудівська, 2, Кам'янське, 51918, Україна
e-mail: gritsan@i.ua
ORCID 0000-0002-7443-0930

ХАРБАХ Х., д. б. н., проф.,
Університет прикладних наук, м. Хоф,
Альфонс-Гоппель-Плац, 1, Хоф, 95028, Німеччина
e-mail: harvey.harbach@hof-university.de

Ц и т у в а н н я: Новицький Р.О., Христов О.О., Кобяков Д.О., Гапіч Г.В., Коваленко В.В., Грицан Ю.І., Харбах Х., Рубік Х. Аспекти застосування біологічної меліорації на гідротехнічному каналі Дніпро-Донбас (Україна). *Гідробіол. журн.* 2026. Т. 62, № 3. С. 34—54.

РУБІК Х., доктор філософії,
Чеський університет природничих наук,
Камиска, 129, Прага, 16500, Чехія
e-mail: roubik@ftz.czu.cz
ORCID 0000-0002-7498-4140

АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ НА ГІДРОТЕХНІЧНОМУ КАНАЛІ ДНІПРО-ДОНБАС (УКРАЇНА)

На каналі Дніпро-Донбас проведено дослідження ефективності технології біологічної меліорації з використанням рослиноїдних риб. Визначено видовий склад гідробіонтів каналу Дніпро-Донбас (38 видів риб 10 родин), оцінено біологічну продуктивність ділянок каналу. На каналі Дніпро-Донбас у 2010—2023 рр. впроваджено заходи біомеліорації з використанням рослиноїдних риб — білого товстолобика *Hyporhamphichthys molitrix* та білого амура *Stenopharyngodon idella*, детритофага — строкатого товстолобика *Aristichthys nobilis*, бентофага — коропа *Syrpinus carpio*. Розраховано щорічний обсяг вилучення біологічної продукції біомеліорантами: рослиності — не менше 340 тон, фітопланктону — не менше 647 т, детриту — понад 600 т, молюска дрейсени — до 240 т. Встановлено, що багаторічна біомеліорація каналу значно покращила його пропускну здатність, підвищила якість водних ресурсів та зменшила витрати електроенергії на перекачування води в каналі (до 12 % при загальній вартості \$79 684/рік). Біомеліоративні заходи можуть бути невід'ємною частиною сучасних стратегій управління водними ресурсами в Україні в контексті зміни клімату. Практичний досвід, отриманий під час впровадження біомеліорації, може бути застосований на інших гідротехнічних об'єктах в Україні та світі.

Ключові слова: Україна, канал Дніпро-Донбас, іхтіофауна, біологічна меліорація, видовий склад, якість води, водна безпека.

Розвиток міст України, її промислових районів, зрошувального землеробства обумовлює зростання попиту на воду [18, 19, 35]. Для задоволення попиту в Україні побудовано 8 великих каналів загальною довжиною 1190 км, потужністю 21,1 млрд м³ води. Найбільшими гідромеліоративними спорудами України є Північно-Кримський канал довжиною 400,3 км, Головний Каховський магістральний канал — 129,7 км, Дніпро — Інгулець — 150,0 км, Дніпро — Донбас — 263,0 км, Дніпро — Кривий Ріг — 42,95 км [17, 30, 31]. Джерелом забору води для каналів є ріка Дніпро, яка на сьогодні представлена каскадом водосховищ [22, 36, 37].

Магістральний канал Дніпро-Донбас є штучною гідротехнічною спорудою, збудованою у 1970—1980 рр. з метою забезпечення водою східних регіонів України: Дніпропетровської та Харківської областей України, для зрошення у Полтавській області і для роботи промислових підприємств Донбасу. Перша черга каналу розпочала діяльність у 1982 р. Водогосподарський комплекс каналу підпорядкований Державному агентству водних ресурсів України (Держводагентство України).

За останні 30 років перекачування водних ресурсів з каналу зменшилося майже вдвідесятеро і становить 10—40 м³/с. Зменшення об'єму та швидкості водного потоку призвело до значних негативних змін у штучній водній екосистемі: замулення, надмірного розростання водної рос-

линності, погіршення якості та санітарних характеристик води тощо. Істотно змінився гідрологічний режим каналу. Під тиском цих факторів значно погіршилася екологічна ситуація на різних ділянках каналу. Спостерігалися значні втрати води, літнє та зимове падіння рівня розчиненого у воді кисню, явище «цвітіння» води через надмірний розвиток фітопланктону (рис. 1).

Погіршення якості води внаслідок евтрофікації впливає на санітарно-гігієнічні показники води, що надходить до водопровідної мережі міст і населених пунктів, чинить негативний вплив на здоров'я людей [9, 11, 20].

В Україні, де значна частина прісної води акумулюється у водосховищах [22, 34], проблема надмірного «цвітіння» водоростей, а також їх ефективного видалення з водосховищ і каналів стоїть надзвичайно гостро вже понад 50 років [5, 24].

Для боротьби з негативними наслідками евтрофікації каналу Дніпро-Донбас Держводагентство України використовувало стандартний набір заходів: скошування надводної рослинності, механічне очищення, доочищення води та застосування хімічних речовин для боротьби з біообростанням. Ці заходи потребували значних фінансових інвестицій: від 4,5 до 6,0 млн грн щорічно (\$130 000—\$170 000/рік) [26].

На сьогодні довести характеристики води у водосховищах до відповідних екологічних та санітарних норм технологічними засобами практично неможливо [10, 12]. Штучними методами протидіяти цвітінню водоростей на великих акваторіях неможливо і недоцільно.

Продукцію фітопланктону споживають нижчі гідробіонти, а також риби [21]. Для зменшення трофічного зв'язку доцільно інтродукувати в гідроекосистему планктоноїдних риб — фітопланктофагів, наприклад, білого товстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844. З 1960-х років для боротьби з надлишком вищої водної рослинності було запропоновано використовувати білого амура *Stenopharyngodon idella* Valenciennes, 1844, а для споживання детриту — строкатого товстолобика *Aristichthys nobilis* Richardson, 1846. Саме ці види здатні ефективно утилізувати первинну органіку, що утворюється у водоймах, покращуючи якість води [1, 8, 16].

Як відомо, комплекс заходів, спрямованих на поліпшення стану природних або штучних гідроекосистем за допомогою живих організмів (мікроорганізмів, безхребетних, риб тощо), називається біологічною меліорацією (біомеліорацією) [33].

Метою нашого дослідження є оцінка результатів реалізації пілотного для України проекту з біологічної меліорації гідротехнічного каналу Дніпро-Донбас (2010—2023 рр.). Завдання полягає не в повній ліквідації цвітіння водоростей як явища, а в пом'якшенні його негативних наслідків, регулюванні процесу росту мікроводоростей (ціанобактерій) та їх раціональному видаленні [23, 32]. Використання отриманих результатів досліджень та розробка ефективних рекомендацій щодо використання різних видів рослиноїдних риб під час біомеліорації каналу дозволить в



Рис. 1. Стан водних ресурсів каналу у серпні 2020 р.: *а* — масовий розвиток синьозелених водоростей (верхня ділянка каналу); *б* — пересихання траси каналу до Краснопавлівського водосховища (на дні траси каналу видно рослинність). Фото Р. Новіцького

подальшому впроваджувати такі заходи на інших водних об'єктах України та світу.

Матеріал і методика досліджень

Територія дослідження. Канал Дніпро-Донбас починається з головного водозабору (ГВЗ) на лівому березі Кам'янського водосховища (р. Дніпро). Рівень води в ГВЗ на 2 м вищий, ніж у каналі, що забезпечує самопливне надходження води до магістрального каналу. Подальший рух водних мас по всій акваторії каналу Дніпро-Донбас (рис. 2) забезпечують 12 насосних станцій, що забезпечують підйом води з р. Дніпро до місця впадіння в р. Сіверський Донець (Харківська обл., Україна). У межах траси каналу створено два водосховища: Орільківське (700 га) та Краснопавлівське (близько 3500 га).

У 2010—2023 рр. дослідження проводили по всій трасі каналу Дніпро-Донбас — від головного водозабору в Дніпропетровській області до греблі Краснопавлівського водосховища в Харківській області України (рис. 3). Загальна довжина досліджуваної акваторії каналу становить 202 км.

Методи. У 2014—2023 рр. відбирали гідрохімічні, гідробіологічні та іхтіологічні проби за стандартними методиками [2, 8, 13]. У різні сезони року на різних ділянках каналу, де проводилися біомеліоративні роботи, відібрали 98 проб води. Проби води аналізували за основними показниками якості природних вод [2].

Щорічно влітку та восени в акваторії каналу проводили моніторинговий лов іхтіофауни стандартним набором знарядь лову: зяброві сітки з вічком 21—110 мм, кожна довжиною 30—50 м (всього 10 шт.). У

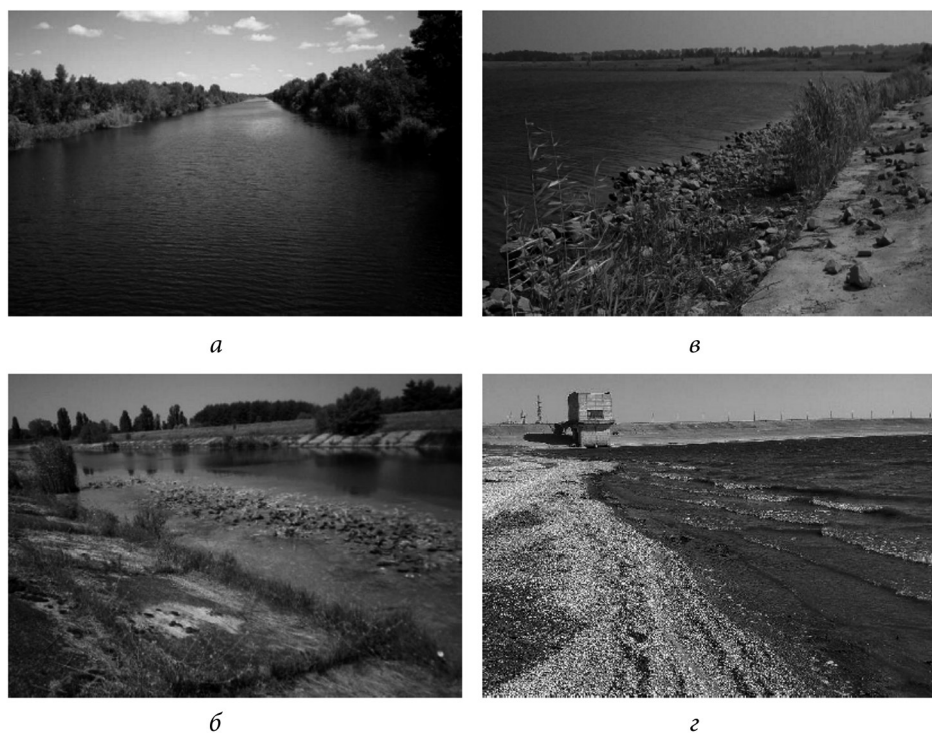


Рис. 2. Траса каналу Дніпро-Донбас (а, б); Орільківське (в) та Краснопавлівське (г) водосховища на трасі каналу. Фото Р. Новіцького

2014—2023 рр. було здійснено 234 обловів у різних частинах каналу. В уловах зареєстровано 18 видів статевозрілих риб (6 родин).

Влітку (липень — серпень) для лову використовували дрібновічковий мальковий невід довжиною 15 м і висотою 2 м (вічко 7,5 мм у крилах і 3 мм у кулі). Глибина відбору проб становила до 1,7 м. Одна проба відповідала площі від 100 до 150 м².

Відібрані зразки (3450 екземплярів молоді риб) фіксували у 4,5 % розчині формаліну. Іхтіологічні проби обробляли у лабораторії Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ).

Іхтіологічний матеріал також збирали з браконьєрських знарядь лову (верші, зяброві сітки), а улов рибалок-любителів аналізували за оригінальною авторською методикою [6]. Збір інформації проводили шляхом безпосереднього огляду уловів та їх зважування на місці лову, при цьому фіксували масу улову, кількість риб, що потрапили в улов, їх видовий склад. У різні сезони року в уловах рибалок було зафіксовано 20 видів риб.

Загалом у 2014—2023 рр. було досліджено понад 18 200 особин 34 видів риб (10 родин). Улов диференціювали за видами риб, визначали розміри тіла, масу тіла, стать, стадію статевої зрілості, відбирали проби

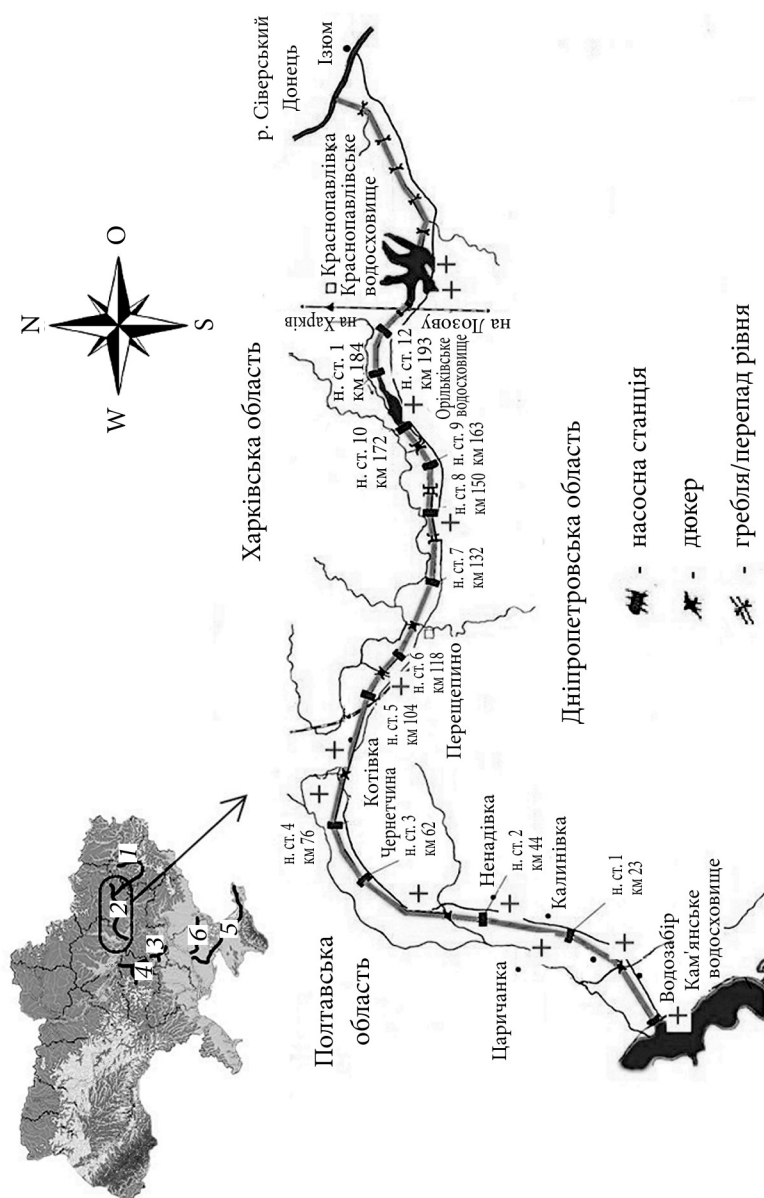


Рис. 3. Місця відбору проб на трасі каналу Дніпро-Донбас. * Найбільші канали в Україні: 1) Сіверський Донець-Донбас; 2) Дніпро-Донбас; 3) Дніпро-Кривий Ріг; 4) Дніпро-Інгулець; 5) Північно-Кримський канал; 6) Каховський. «+» — станції відбору проб

луски для визначення віку риб. При визначенні риб, їх систематичного положення та номенклатури назв застосовували визначники [16, 25].

Крім цього, стан каналу оцінювали за допомогою ПС відповідно до стандартизованих методик [15, 29, 32]. Нормалізований індекс різниці каламутності (NDTI) визначали за співвідношенням між завислими наночастинами та відбитою радіацією:

$$\text{NDTI} = \frac{I_R - I_G}{I_R + I_G},$$

де I_R та I_G означають вимірювання спектрального відбиття, отримані в червоній (видимій) та зеленій областях відповідно.

Нормалізований індекс різниці водоростей (NDAI) визначає наявність процесу заростання водойми водоростями та його стадію розвитку:

$$\text{NDAI} = \frac{I_G + 2I_{NIR} - I_B - I_R}{I_G + 2I_{NIR} + I_B + I_R} + 0,5,$$

де I_B , I_G , I_R , I_{NIR} — вимірювання спектрального відбиття, отримані в синьому, зеленому, червоному (видимому) та ближньому інфрачервоному діапазонах.

Статистичний аналіз. Результати обробляли та аналізували за допомогою статистичних методів [14] та пакетів прикладних програм Microsoft Excel для Windows і STATISTICA 10.0.

Результати досліджень

У перші роки існування магістрального каналу Дніпро-Донбас (1983—1990 рр.) дослідження на ньому проводили науковці Інституту гідробіології НАН України. За їхніми розрахунками усереднені показники біомаси водної рослинності двох водосховищ (Орільківського та Краснопавлівського з загальною площею обох 4200 га) на каналі — сягали 2271 т. Щорічна продукція фітопланктону сягала 27288 т. Було показано, що продуктивність зоопланктону та зообентосу є досить високою, їх розвиток достатній для отримання значної рибної продукції. Усереднений щорічний показник біомаси зоопланктону Орільківського та Краснопавлівського водосховищ на каналі — 903 т. [3, 4].

У 1980-х роках масовими представниками кормового (для риб) зообентосу у каналі були двостулкові молюски монодакна *Monodacna colorata* (Eichwald) та дрейсена бузька *Dreissena bugensis* Andr., з червів — *Oligochaeta*, з ракоподібних — бокоплавів. Загальна чисельність донних безхребетних макробентосу на початку каналу сягала 40 тис. екз/м² за біомаси до 13 кг/м² (за рахунок розвитку дрейсени). У двох водосховищах каналу Дніпро-Донбас запас дрейсени перевищував 1560 т. Усереднена біомаса «м'якого», продуктивного бентосу в Краснопавлівському водосховищі сягала 665 т, а в Орільківському — 42,35 т [3, 4].

Наведені ретроспективні дані свідчать про наявний біопродукційний потенціал на різних ділянках каналу Дніпро-Донбас і про загальну низькоєфективну організацію процесу вилучення гідробіонтів, надлишок яких може спричиняти погіршення якості води у каналі. Наприклад, надмірний розвиток синьозелених водоростей спричиняв «цвітіння» води і, як наслідок, — неодноразове виникнення заморів риби [7].

Різноманіття іхтіофауни каналу Дніпро-Донбас повністю залежало від проникнення різних риб з Кам'янського (стара назва — Дніпродзержинського) водосховища. На сьогоднішній день у складі іхтіофауни каналу Дніпро-Донбас зареєстровано 38 видів риби з 10 родин [7].

Вселення видів-біомеліорантів та його результати. Перше вселення риб-біомеліорантів у гідротехнічний канал здійснено у 2011 р. (4 види риби, вікова група — цьоголітки). У 2012 р. вселення було продовжено і суттєво збільшено за кількістю особин (табл. 1). У 2013 р. інтродукція здійснювалася тільки цьоголітками білого амура, але в значних обсягах. У 2017 р. вперше здійснено вселення підрощеної молоді (усереднена маса одного екз. — 1 г). Зменшення нормативної маси зарибку запропоновано внаслідок складної ситуації з посадковим матеріалом у країні.

Вселення підрощеної молоді масою 1 г має значні логістичні переваги, а також цей зарибок має невисоку собівартість порівняно з більш старшими групами (однолітки, однорічки, дволітки). Звичайно, потрібно враховувати високу смертність такої молоді риби, а також уникати вселення у ділянки водойми з високим пресингом хижаків.

Далекосхідні рослиноїдні риби — білий та строкатий товстолобики, білий амур, яких вселили в води України у ХХ ст. для боротьби з заростанням водойм і підвищення біопродуктивності, відмінно показали себе на малих ставках і озерах.

При комплексному зарибленні акваторії каналу видами-біомеліорантами розраховані наступні показники вилучення біологічної продукції. Зариблення білим товстолобиком прогнозовано забезпечує подальше вилучення у вигляді іхтіомаси або утилізування рибами, що залишилися в водоймі, не менше 647 т фітопланктону за вегетаційний сезон (рис. 4).

Важлива роль строкатого товстолобика у нейтралізації донних відкладів (детриту). За дотриманням обґрунтованих обсягів зариблення цим видом (див. табл. 1) можна прогнозовано щорічно вилучати з каналу понад 600 т донних відкладів.

Вселення обґрунтованої кількості біомеліоранта-бентофага — коропи європейського — дозволить щорічно вилучати з каналу до 240 т молюска дрейсени.

Беззаперечно, ці процеси вилучення біопродукції суттєво зменшать органічне забруднення водойми внаслідок відмирання вищої водної рослинності та нижчих водоростей, серйозно вплинуть на розвиток біоброктателів і, відповідно, підвищать якість води у каналі.

Ефективність проведеної біомеліорації (покращення якості води, зменшення заростання акваторії) доводять світліни ділянок каналу Дніпро-Донбас: нижче дюкера № 1 (Петриківська ділянка) та нижче на-

Таблиця 1

Обсяги вселення риб-біомеліорантів у акварію каналу «Дніпро-Донбас»

№ ділянки	Період зариблення														
	2011 р. (осінь)				2012 р. (осінь)*				2013 р. (весна)**		2013 р. (осінь)				
	вік	наваж-ка, г	млн. шт	тон	вік*	наваж-ка, г	млн. шт	тон	млн. шт	тон	млн. шт	тонаж-ка, г	тон		
1а	Короп	12—16	0,16	2,5	—	—	—	—	—	—	—	50	0+	0,110	5,53
	Амур білий	12—16	0,167	2,5	—	—	—	—	—	—	—	30	0+	0,028	0,85
	Товстолоб білий	12—16	0,102	1,53	—	—	—	—	—	—	—	100	0+	0,021	2,12
Всього по ділянці № 1а (Петриківська)		12—16	0,436	6,53	—	—	—	—	—	—	—	30-100	0+	0,159	8,50
1б	Короп	12—16	0,147	2,2	0+;1	20	0,77	15,4	0,46	9,24	—	—	—	—	—
	Амур білий	12—16	0,153	2,3	0+;1	20	0,29	5,7	0,17	3,42	—	—	—	—	—
	Товстолоб білий	12—16	0,1	1,5	0+;1	20	0,87	17,37	0,53	10,42	—	—	—	—	—
Всього по ділянці № 1б (Могилівська)		12—16	0,4	5,9	0+;1	20	1,93	38,5	1,16	22,86	—	—	—	—	—
2—3	Короп	12—16	0,127	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Амур білий	12—16	0,133	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Товстолоб білий	12—16	0,08	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продовження табл. 1

№ ділянки	Період зариблення													
	2011 р. (осінь)				2012 р. (осінь)*				2013 р. (весна)**		2013 р. (осінь)			
	вік	наваж-ка, Г	млн. шт	тон	вік*	наваж-ка, Г	млн. шт	тон	млн. шт	тон	йік	наваж-ка, Г	млн. шт	тон
Всього по ділянці 2 (Лисківсько-Пресображенська)	0+	12-16	0,34	5,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Короп	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Амур білий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Товстолоб білий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всього по ділянці 3 (Михайлівсько-Гупалівська)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всього по всіх ділянках	0+	12-16	1,18	17,53	0+;1	20	1,93	38,5	1,16	22,86	0+	30-100	0,159	8,5

Примітка. * Зимівля відбувалася у відокремленій акваторії в межах ділянки 16. Оскільки зариблення відбувалося без переміщення зарибку, вік зазначено сумарно, відповідно у 2012 р. — 0+ (цьоголітка), а навесні 2013 р. — 1 (однорічка); ** коефіцієнт природної смертності в 40 % після зимівлі 2012—2013 рр. прийнятий як мінімальний, з врахуванням ефективності всіх охоронних та біомеліоративних заходів.



Рис. 4. Результати біомеліоративної діяльності рослиноїдних риб на каналі у 2016—2017 рр.: *а* — розвиток фітопланктону на ділянці каналу після насосної № 2 (серпень 2016 р.); *б* — стан ділянки у серпні 2017 р.; *в* — заросла рослинністю акваторія ділянки після дюкера № 1 (липень 2016 р.); *г* — стан цієї ділянки каналу у серпні 2017 р. Фото В. Кузори

сосної станції (НС) № 2 (Преображенська ділянка) (рис. 5). Результати моніторингу каналу засобами дистанційного зондування Землі (зйомка 2017 р.) також підтверджують ефективність здійсненої біомеліорації на каналі (рис. 6).

Основними індексними показниками дистанційного зондування дзеркала води каналу у дослідженні використані: NDTI (нормалізований індекс різниці каламутності — Normalized Difference Turbidity Index), NDAI (нормалізований індекс різниці водоростей — Normalized Difference Algae Index) та NDVI (індекс нормалізованої диференціальної рослинності — Normalized Difference Vegetation Index) [30, 32]. Вказані індекси отримані на основі декодування та аналізу космічних зображень з супутника Sentinel-2 для «маски» водного дзеркала каналу Дніпро-Донбас для ділянок вище та нижче дюкера № 1 (див. рис. 6).

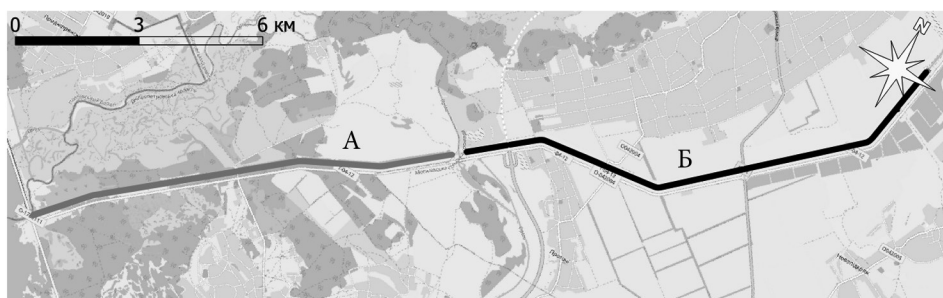


Рис. 5. Результати моніторингу ділянок акваторії каналу Дніпро-Донбас (2017 р.): А — нижче дюкера № 1 (Петриківська ділянка), Б — від дюкера № 1 до НС № 1 (Могилівська ділянка)

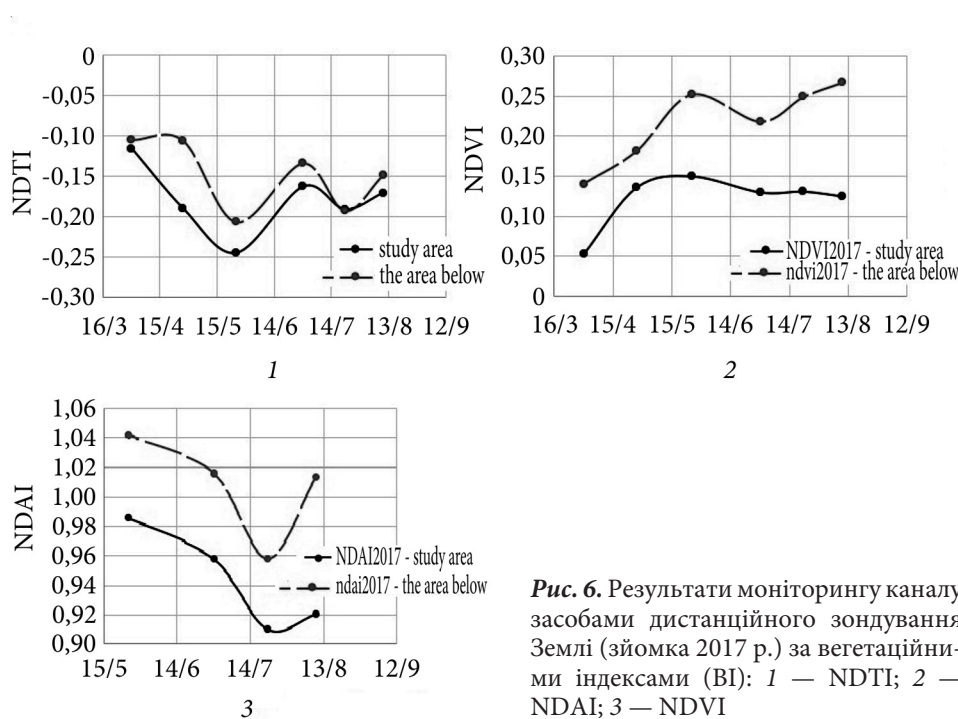


Рис. 6. Результати моніторингу каналу засобами дистанційного зондування Землі (зйомка 2017 р.) за вегетаційними індексами (BI): 1 — NDTI; 2 — NDAI; 3 — NDVI

Результати моніторингу 2017 р. акваторії каналу Дніпро-Донбас (табл. 2) свідчать про суттєву різницю між вегетаційними індексами на ділянках каналу без біомеліорації / з біомеліорацією. Так, значення альгоіндексу (NDAI) свідчить про ефективність «роботи» рослиноїдних видів риб на ділянці каналу Б. Індекс нормалізованої рослинності (NDVI) показав суттєво меншу щільність синьо-зелених водоростей, особливо наприкінці літа, як результат біомеліорації ділянки Б (рис. 7).

Відсутність відчутної різниці за NDTI, скоріше за все, доводиться тим, що в період кінець червня — початок липня були здійснені прокачування води по каналу Дніпро-Донбас, що вирівняло показники мутності

Таблиця 2

Значення індексів рослинності для ділянок А (Петриківська) та Б (Могилівська) каналу

Дати досліджень	NDTI		NDVI		NDAI	
	ділянка Б	ділянка нижче (А)	ділянка Б	ділянка нижче (А)	ділянка Б	ділянка нижче (А)
31.03.2017	-0,12	-0,11	0,06	0,11	—	—
27.04.2017	-0,19	-0,11	0,12	0,17	—	—
25.05.2017	-0,25	-0,21	0,17	0,24	0,99	1,04
29.06.2017	-0,16	-0,13	0,14	0,21	0,99	1,02
21.07.2017	-0,19	-0,19	0,15	0,24	0,91	0,99
10.08.2017	-0,17	-0,15	0,14	0,25	0,92	1,01

води на ділянках каналу А та Б (відповідно — Петриківська та Могилівська).

Вилучення надлишкової продукції за видами-біомеліорантами та туводними видами. Науково обґрунтоване вилучення надлишкової іхтіомаси є необхідним фінішним етапом біомеліорації. Це є регулюючим чинником і запобіжним заходом перешкоджанню повторного забруднення екосистеми каналу і погіршенню якості води. Крім того, впровадження біомеліоративного відлову старшовікових груп риб дозволяє додатково отримати якісну харчову продукцію.

Показники загальних обсягів вилучення місцевих і вселених риб за увесь період біомеліоративної діяльності на каналі наведені на рис. 8.

Зазначимо, що у 1987 році вченими Інституту гідробіології НАН України розрахована фактична рибопродуктивність Орільківського во-

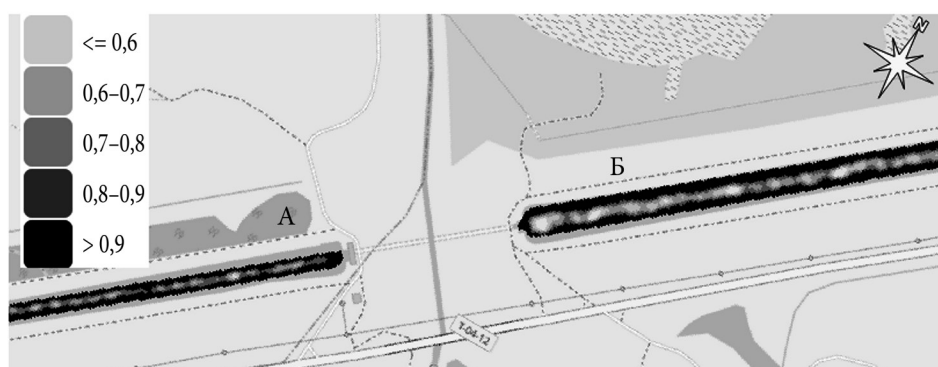


Рис. 7. Ділянка каналу біля дюкера № 1 — альгоіндекс NDAI на 10.08.2017 р. (зліва ділянка А, справа — Б)

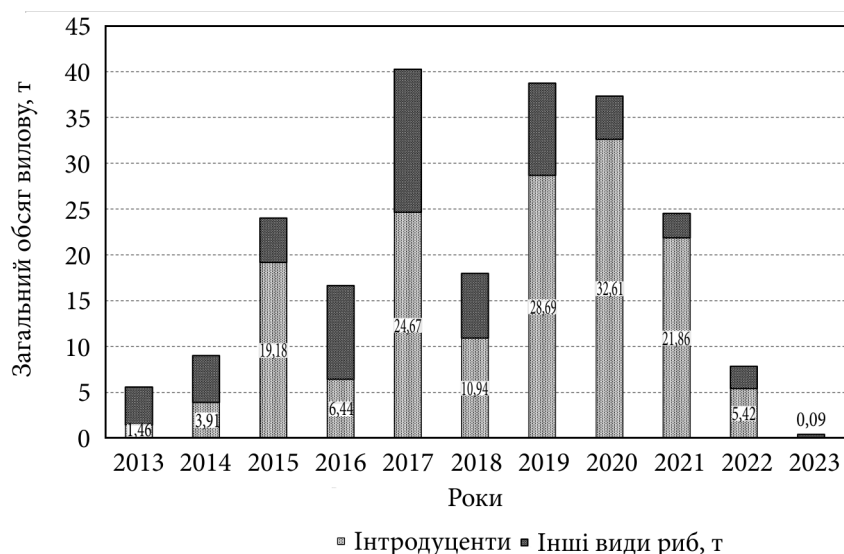


Рис. 8. Загальні обсяги біомеліоративного вилову риб на каналі Дніпро-Донбас у 2013—2023 рр. (з часткою інтродуцентів), т

досховища становила 93,54 кг/га [4], але за 35 років зменшилася майже у 5,5 разів і до 2015 року не перевищувала 15,16 кг/га.

Загальна фактична рибопродуктивність Краснопавлівського водосховища у 2015 р. сягала 18,26 кг/га, що майже втричі нижче розрахованого допустимого рівня. Науково обґрунтовані обсяги зариблення Орільківського та Краснопавлівського водосховищ у 2013 р. дали змогу значно наростити їхніомасу риб-біомеліорантів, що відобразилося на збільшенні їх уловів у 2014—2015 рр. (див. рис. 8).

Влітку 2016 р. майже третина стада рослиноїдних риб (білий товстолобик) була втрачена внаслідок вторинного забруднення під час прокачування води з Кам'янського водосховища по трасі каналу [7].

На акваторії ділянки магістрального каналу Дніпро-Донбас від головної водозабірної споруди (ГВС) до дюкеру № 1 на відстані 6 км 30.07—12.08.2016 р. спостерігалась загибель білого товстолобика *H. molitrix*. Сумарна кількість загиблих риб склала 14523 особин, загальна маса загиблих особин — 13,01 т. У результаті досліджень виявлено, що до загибелі біомеліорантів призвів критичний рівень органічного забруднення води в аванкамері каналу (біомаса відмерлих синьозелених водоростей сягала 3000 г/м³). При «залповому» надходженні органіки з аванкамери до ділянки № 1 (при прокачуванні води) для білого товстолобика виник токсичний ефект (при споживанні цих водоростей), і підсилення негативного впливу за рахунок ураження зябер риб та дефіциту кисню у організмі за високих температур води (+27 °С і вище) [7].

Для попередження подальших ексцесів і загибелі риб під час прокачування води по трасі каналу були запропоновані заходи нейтралізації

органіки в аванкамері каналу. У 2017—2023 рр. подібних випадків загибелі риб на каналі, викликаних надмірним розвитком фітопланктону і бактеріофлори, не спостерігалось.

Економічний ефект від провадження біомеліоративної діяльності на каналі Дніпро-Донбас. У 2019 р. проведені розрахунки економічної ефективності від біомеліоративної діяльності на каналі.

Розглядали трасу каналу Дніпро-Донбас від ГНС до насосної станції № 5, а також від насосної станції (НС) № 7 до насосної станції № 9 (загальна довжина 104,11 км). Для видалення водної рослинності по обох берегах, з урахуванням середньої ширини заростання акваторії водойми вищою водною рослинністю у 15 м (з кожного боку) і усередненій ширині каналу у 48,08 м, необхідно виконувати механізовані роботи на загальній площі у 156,363 га (1 563 634,15 м²).

Для виконання робіт з викошу рослинності необхідно застосування спеціальної водної техніки (наприклад, багатофункціональних косарок). Вручну такі роботи виконати вкрай важко. Для здійснення робіт з викошування застосовувалися невеликі водні косарки типу ЛК-12 (Білорусь) або BERKY 6410 (Germany). Продуктивність водної косарки BERKY 6410 складає до 7500 м²/год., ЛК-12 — 3000—8000 м²/год.

Отже, при середній продуктивності косарки у 0,5 га/год, для очищення від вищої водної рослинності 1,564 млн. м² акваторії каналу необхідно 312,73 годин роботи механізованої техніки однією косаркою із одним робітником. Орієнтовна вартість роботи косарки сягає 1900 грн/год, тобто загальний обсяг сезонних витрат сягнув би 594,19 тис. грн (\$21 220), не враховуючи заробітної плати робітника.

При застосуванні інших видів водної техніки, в тому числі універсального земснаряду «Watermaster Classik IV» із додатковим обладнанням для видалення рослинності загальні витрати на проведення робіт розраховані так. За середньої продуктивності земснаряду у 0,3 га/год., для очищення акваторії каналу від вищої водної рослинності необхідно 521,21 год. роботи земснаряду. Орієнтовна вартість робіт земснаряду (з оплатою праці водія) у 2015—2016 рр. складала 4250 грн./год., тобто загальний обсяг сезонних витрат сягав би 2 215,142 тис. грн (\$79 112). Зазначена сума не враховує витрати на вивезення скошеної рослинності за межі санітарної зони каналу у місця складування або на полігони твердих побутових відходів. Причому такі роботи необхідно здійснювати кожного року.

Натомість випуск у канал молоді білого амура *C. idella* на ту ж суму 2 215,142 тис. грн (\$79 112) потребує витрат тільки у перший рік зариблення. У наступні три роки його біомаса зростає (навіть попри природну смертність), що забезпечило, за розрахунками, вилучення не менше 1100 тон вищої водної рослинності.

Тобто, застосування тільки одного виду-біомеліоранта (білого амура як споживача водної рослинності) дозволяє заощадити зазначені кошти у повному обсязі — усереднено 2 215,142 тис. грн/рік (\$79 112/рік).

Економія електроенергії. За рахунок комплексної дії усіх видів-біомеліорантів спостерігається значне очищення траси каналу від водної рослинності, що обумовлює зниження витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями (НС № 1—3 та НС № 7—9).

Біомеліоративний ефект на каналі почав спостерігатися із 2012 р. В окремі роки (2011, 2014 та 2015 рр.) у зв'язку із незначними обсягами прокачування води і при незначному завантаженні насосів визначити економічний ефект було достатньо складно (відомо, що витрати електроенергії при дискретному режимі роботи насосних станцій значно зростають). Але в роки, коли проводився водообмін Краснопавлівського водосховища і завантаження насосів було більш стабільним, витрати електроенергії і її економія стають доступними для аналізу (2012, 2013, 2016 рр.).

Найбільш відчутна економія електроенергії простежувалася на НС № 1 (ділянка каналу від ГНС до НС № 1), де біомеліоративні роботи здійснювали у максимальному обсязі. У 2012 р. питома витрата електроенергії порівняно з 2010 р. знизилась на максимальну величину — на 1,43 кВт-год/тис. м³, у 2013 р. — на 1,84, у 2016 р. — на 2,03 кВт-год/тис. м³). З урахуванням об'ємів прокачування у 2012 р. — 158 448 тис. м³, у 2013 р. — 149 348, у 2016 р. — 128 176 тис. м³.

Отже, чиста економія електроенергії становить: у 2012 р. — 226 581 кВт-годин; у 2013 р. — 274 800 кВт-годин; у 2016 р. — 260 197 кВт-годин. Всього за три роки заощаджено 761 578 кВт-годин. Станом на лютий 2018 р. за середніми тарифами на електроенергію для Управління каналу Дніпро-Донбас (УКДД) загальна фінансова економія склала близько 1,6 млн. грн. (\$57 140). Усереднений показник економії електроенергії тільки по НС №1 в роки проведення водообміну складає 253 859 кВт-годин, або 533 104 грн./рік (\$19 040).

Запропонована технологія впливу на якість водного середовища забезпечила пропускну спроможність каналу, зменшення витрат електроенергії для прокачування води в каналі на 12 %. Отже, за розрахунками, завдяки біомеліорації середньорічна економія коштів Управління каналу Дніпро-Донбас за цінами 2018 р. склала 2 231 147 грн. (\$79 684).

Зазначене вище свідчить про ефективність провадження технології біомеліоративної діяльності на магістральному каналі Дніпро-Донбас та її подальші перспективи. Такі заходи, спрямовані на підвищення якості водних ресурсів, є надзвичайно важливими на тлі масштабної війни, розв'язаної російською федерацією в Україні.

Протягом усієї історії людства водні ресурси слугували основою для соціального та економічного розвитку будь-якої країни. Сьогоднішні реалії російсько-української війни підкреслюють гостру необхідність розробки комплексних стратегічних рішень для водної безпеки України, які призведуть до пом'якшення екологічних та економічних наслідків війни [19, 27, 28].

Забезпечення водою всіх секторів економіки на основі енергозбереження та ресурсозбереження є фундаментальним для сталого розвитку півдня України. Роль у постачанні дніпровської води до східних регіонів

України, підданих військовим діям, однієї з найкрупніших гідротехнічних споруд — каналу Дніпро-Донбас — є надважливою. Біологічний потенціал акваторії каналу Дніпро—Донбас також може забезпечувати продовольчу безпеку південних та східних регіонів України за рахунок вилучення і використання надлишкової іхтіомаси інтродукованих та туводних видів риби.

Висновки

Технологія біомеліорації на магістральному каналі Дніпро-Донбас є ефективною. Біологічна меліорація забезпечила використання рибами надлишку фітопланктону, зоопланктону, вищої водної рослинності, загальне покращення якості водних ресурсів, істотне поліпшення пропускної спроможності каналу, зменшення витрат електроенергії для прокачування води у каналі (на 12 %, або \$79 684).

Біомеліоративні заходи на каналі не лише поліпшили якість води, вони сприяли підтриманню видового біорізноманіття, стабілізації гідрологічного режиму, сталості екологічних послуг, які може надавати канал. Також уповільнилась деградація водойми.

Біологічна меліорація є інтегрованим компонентом сучасних стратегій сталого розвитку та управління природними ресурсами, а саме тому цей досвід можна застосовувати на всіх водоймах загального користування України, у тому числі й на магістральних гідротехнічних каналах. Біомеліоративні роботи будуть ефективні і в каскаді дніпровських водосховищ. Сучасні технології біомеліорації на водоймах загального використання, спрямовані на підвищення якості водних ресурсів, можуть бути запропоновані також іноземним користувачам і інвесторам.

Список використаної літератури

1. Бузевич І.Ю. Стан та перспективи рибогосподарського використання промислової іхтіофауни великих рівнинних водосховищ України: дис... докт. біол. наук. Київ, 2012. 297 с.
2. ДСТУ ISO 5667-4-2001. Якість води. Відбирання проб. Ч. 4. Настанови щодо відбирання проб із озер, штучних і природних водойм. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 10 с.
3. Коваль Н.В., Шевченко П.Г., Колесников В.Н. Видовой состав молоди рыб и некоторые черты формирования ихтиофауны канала Днепр-Донбасс. Киев, 1987. 19 с. Рукопись деп. в ВИНТИ, № 2161-В87.
4. Коваль Н.В., Шевченко П.Г., Колесников В.Н. Экология молоди рыб в зонах влияния водозаборных систем. Москва, 1994. 207 с. Рукопись деп. в ВИНТИ, № 2578-В94.
5. Лук'янець О.І., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. Прогнозні оцінки водного стоку річок України на основі стохастичних закономірностей його багаторічних коливань. Укр. географ. журн. 2021. № 4. С. 18—29. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.04.018>
6. Максименко М.Л., Бузевич І.Ю., Новіцький Р.О. Методика збору і обробки інформації для визначення кількісних та якісних характеристик любительського рибальства у водоймах України. Дніпро: ЛІРА, 2024. 72 с.
7. Новіцький Р.О., Махоніна А.В., Кочет В.М. та ін. Аналіз причин загибелі товстолобика білого *Hipophthalmichthys molitrix* у магістральному каналі «Дніпро-Дон-

- бас» та заходи щодо її попередження. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2019. Vol. 7, N 2. С. 102—106. <https://doi.org/10.32819/2019.71018>
8. Романенко В.Д. Методика гідроекологічних досліджень. Київ: Обереги, 2008. 201 с.
9. Akinnowo S.O. Eutrophication: causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environ. Challenges*. 2023. Vol. 12: 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
10. Arora N.K., Mishra I. Sustainable development goal 6: Global Water Security. *Environ. Sustainability*. 2022. Vol. 5. P. 271—275. <https://doi.org/10.1007/s42398-022-00246-5>
11. Bănăduc D., Curtean-Bănăduc A., Barinova S. et al. Multi-interacting natural and anthropogenic stressors on freshwater ecosystems: their current status and future prospects for 21st century. *Water*. 2024. Vol. 16, N 11: 1483. <https://doi.org/10.3390/w16111483>
12. Bănăduc D., Mărginean M., Dobre A. et al. Ignored dam-fish ecological relations and dam management activities risk knowledge capital — a protected area lotic ecosystem case study (Gura Golumbului Dam Lake, Nera/Danube Watershed). *Transylv. Rev. Syst. Ecol. Res*. 2024. Vol. 26, N 2. P. 91-100. <https://doi.org/10.2478/trser-2024-0012>
13. Bonar S.A., Hubert W.A. Standard methods for sampling North American freshwater fishes. Bethesda, Maryland: Amer. Fish. Soc., 2009. 335 p. <https://doi.org/10.47886/9781934874103>
14. Dubrovin V., Deineha L., Yatsenko A. Statistical analysis software. *Electrical Engineer. Power Engineer*. 2023. Vol. 3. P. 25—32. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2023-3-3>
15. Fedorovsky O.D., Khyzhniak A.V., Tomchenko O.V. Assessing aquatic environment quality of the urban water bodies by system analysis methods based on integrating remote sensing data. *Space Science and Technology*. 2021. Vol. 27, N 5(132). P. 11—18. <https://doi.org/10.15407/knit2021.05.011>
16. *FishBase. World Wide Web Electronic Publication* / Ed. by R. Froese & D. Pauly. 2024. www.fishbase.org
17. Gleick P., Vyshnevskiy V., Shevchuk S. Rivers and water systems as weapons and casualties of the Russia Ukraine War. *Earth's Future*. 2023. Vol. 11, N 10. <https://doi.org/10.1029/2023ef003910>
18. Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D., Dubov T. Water on fire: losses and the post-war future of ecosystem services from water resources of Ukraine. *Regio. Environ. Change*. 2024. Vol. 24, N 4. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02320-6>
19. Hapich H., Novitskyi R., Onopriienko D. et al. Water security consequences of the Russia-Ukraine war and the post-war outlook. *Water Security*. 2024. Vol. 21: 100167. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100167>
20. Hwang S.J. Eutrophication and the Ecological Health Risk. *Intern. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17, N 17: 6332. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176332>
21. Kelly L.A., Hassall C. The spatial ecology of phytoplankton blooms in UK canals. *Inland Waters*. 2018. Vol. 8, N 4. P. 422—433. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1482152>
22. Khilchevskiy V., Grebin V., Dubniak S., Zabokrytska M., Bolbot H. Large and small reservoirs of Ukraine. *J. Water Land Develop.* 2022. Vol. 52. P. 101—107. <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140379>
23. Le L.-T., Dao T.-V.-H., Tran G.-H. N. et al. Investigation of canal water quality, sanitation, and hygiene amongst residents living along the side of the canals — A cross — Sectional epidemiological survey at Ho Chi Minh city, Vietnam. *Case Stud. in Chem. Environ. Engineer*. 2024. Vol. 9: 100700. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100700>
24. Linnik P., Osadchyi V., Osadcha N. Photochemical processes in surface water bodies and their potential impacts on the chemical composition of water: A review. *Lakes & Reservoir Mgmt*. 2026. 62(3)

Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use. 2023. Vol. 28, N 1. <https://doi.org/10.1111/lre.12436>

25. Nelson J.S., Grande T.C., Wilson M.V.H. *Fishes of the World*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2016. 752 p. <https://doi.org/10.1002/9781119174844>

26. Novitskyi R.O., Khristov O.O., Hubanova N.L. et al. Zooplankton products on certain sections of the «Dnipro-Donbas» canal. *Theoret. Appl. Veterinary Medicine*. 2020. Vol. 8, N 2. P. 96—100. <https://doi.org/10.32819/2020.82013>

27. Novitskyi R., Hapich H., Maksymenko M. et al. Losses in fishery ecosystem services of the Dnipro River Delta and the Kakhovske reservoir area caused by military actions in Ukraine. *Frontiers in Environ. Sci*. 2024. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1301435>

28. Onopriienko D., Hapich H., Tkachuk A. et al. Fertigation with sprinklers: Food and water security on the Ukrainian steppe. *J. Ecol. Engineer*. 2025. Vol. 26, N 6. P. 150—161. <https://doi.org/10.12911/22998993/202346>

29. Osypov V., Bawa A., Osadcha N. et al. A High-resolution hydrological dataset for ukrainian river basins with an interactive web interface. *Geoscience Data J*. 2025. Vol. 12, N 4: e70027. <https://doi.org/10.1002/gdj3.70027>

30. Pichura V., Potravka L. Impact of war on natural and climatic transformation of territories in the irrigation zone of Ukraine. *Disc. Appl. Sci*. 2025. Vol. 7: 783. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07404-4>

31. Romashchenko M., Faybishenko B., Onopriienko D. et al. Prospects for restoration of Ukraine's irrigation system. *Water Intern*. 2025. Vol. 50, N 2. P. 104—120. <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2472718>

32. Rozpondek R., Wancisiewicz K., Kacprzak M. Gis in the studies of soil and water environment. *J. Ecol. Engineer*. 2016. Vol. 17, N 3. P. 134—142. <https://doi.org/10.12911/22998993/63476>

33. Shinde S.V., Sukhdhane K.S., Sawant S.S. et al. Amelioration of water quality and physiological performance of GIFT fish through the incorporation of *Lemna minor* and *Lamellidens marginalis* for ecological bioremediation in freshwater integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquacult. Intern*. 2024. Vol. 32. P. 7151—7171 <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01507-2>

34. Snizhko S., Didovets I., Bronstert A. Ukraine's water security under pressure: Climate change and wartime. *Water Security*. 2024. Vol. 23, 100182. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2024.100182>

35. Sudakov A., Pavlychenko A., Hapich H., Isakova M., Shumov A. Water supply from groundwater: new solutions for a battered-and-bruised Ukraine. *Water Supply*. 2025. Vol. 25, N 3. P. 617—627 <https://doi.org/10.2166/ws.2025.026>

36. Vyshnevsky V.I. Hydrological and hydrochemical regime of the Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J*. 2020. Vol. 56, N 4. P. 103—120. <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v56.i4.80>

37. Vyshnevskyi V., Shevchuk S., Komorin V. et al. The destruction of the Kakhovka dam and its consequences. *Water Intern*. 2023. Vol. 48, N 5. P. 631—647. <https://doi.org/10.1080/02508060.2023.2247679>

Надійшла 11.10.2025

R.O. Novitskyi, Dr. Sci (Biol.), Head of the Department,
Dnipro State Agrarian and Economic University,
Serhii Efremov St., 25, Dnipro, 49009, Ukraine
e-mail: novitskyi.r.o@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0001-9373-5759

O.O. Khristov, Director,
Limited Liability Company «Scientific Research and Project and Technology Center
«Dovkillya-Dnipro»,
Novokodatska Sq., 7/91, Dnipro, 49068, Ukraine
e-mail: christoff@i.ua

D.O. Kobyakov, postgraduate student,
Dnipro State Agrarian and Economic University,
Serhii Efremov St., 25, Dnipro, 49009, Ukraine
e-mail: kobiakov.d.o@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0002-7086-8337

H. V. Hapich, PhD,
Dnipro State Agrarian and Economic University,
Serhii Efremov Street, 25, Dnipro, 49009, Ukraine
e-mail: hapich.h.v@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0001-5617-3566

V.V. Kovalenko, PhD,
Dnipro State Agrarian and Economic University,
Serhii Efremov St., 25, Dnipro, 49009, Ukraine
e-mail: kovalenko.v.v@dsau.dp.ua
ORCID 0000-0003-3865-597X

Yu.I. Gritsan, Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department,
Dnipro State Technical University,
Dniprobudivska St., 2, Kamyanske, 51918, Ukraine
e-mail: gritsan@i.ua
ORCID 0000-0002-7443-0930

H. Harbach, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Hof University of Applied Sciences,
Alfons-Goppel-Platz, 1, Hof, 95028, Germany
e-mail: harvey.harbach@hof-university.de

H. Roubik, doc. Ing., PhD,
Czech University of Life Sciences,
Kamýcká, 129, Praha-Suchdol, 16500, Czech Republic
e-mail: roubik@ftz.czu.cz
ORCID 0000-0002-7498-4140

ASPECTS OF BIOLOGICAL AMELIORATION ON THE DNIPRO-DONBAS HYDRAULIC CANAL (UKRAINE)

The efficiency of biological amelioration technology using herbivorous fish was studied on the Dnipro-Donbas Canal. The species composition of the Dnipro-Donbas canal hydrobionts was determined (38 species, 10 families), its biological productivity was assessed. Measures for biological amelioration of the Dnipro-Donbas canal have been proposed and implemented (since 2010) using herbivorous fish — silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and grass carp *Ctenopharyngodon idella*, detritophage — bighead carp *Aristichthys nobilis*, benthophage — common carp *Cyprinus caprio*. The volume of annual extraction of biological products by these bioreclamation species of fish was calculated: vegetation — not less than 340 tons, phytoplankton — not less than 647 tons, detritus — more than 600 tons, Dreissena mollusc — up to 240 tons. It was found that long-term biomelioration of the canal significantly improved its capacity, improved the quality of water resources and reduced electricity consumption for pumping water in the canal (up to 12 % at a total

cost of \$79 684/year). The significance of the results obtained is an integral part of modern strategies for sustainable development and water management in Ukraine in the context of climate change and the aftermath of military operations. The practical experience gained during the implementation of biomelioration can be applied to other hydraulic facilities in Ukraine and around the world.

Keywords: *Ukraine, Dnipro-Donbas canal, fish fauna, biological amelioration, species composition, quality of water resources, water safety.*