

ЕВТРОФІКАЦІЯ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА УКРАЇНИ: ОГЛЯД ПИТАННЯ

А.В. КУРОВСЬКА,

здобувач наукового ступеня доктора філософії

зі спеціальності 101 «Екологія»,

E-mail: an.vs.kovpak@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-0588-1041>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
Україна, м. Київ*

Анотація. Актуальність роботи пов'язана із наявними процесами евтрофікації у водоймі Київського водосховища, які з кожним роком все посилюються. Дослідження проводилися на основі матеріалів лабораторних досліджень восени 2021 року (до початку повномасштабного вторгнення росії на територію України) та восени 2023 року (після повномасштабного вторгнення). Мета роботи передбачала визначити основні причинно-наслідкові зв'язки підсилення процесів евтрофікації водойми Київського водосховища, які наявні нині. Встановлено, що евтрофікація Київського водосховища відбувається у природних та антропогенних умовах. В ході аналізу було виокремлено основні причини природної (перенесення поживних речовин за рахунок повеней та паводків, посилення абразійних процесів, зміна клімату та температурного режиму) та антропогенної евтрофікації (сільськогосподарський та міський дренажі, військова діяльність). Аналізуючи причинно-наслідкові зв'язки інтенсифікації процесів евтрофікації, нами підкреслено основні наслідки від антропогенної навантаження для водойми водосховища для водної біоти (зміна трофічних зв'язків у водній екосистемі, мор риб, зменшення водного біорізноманіття), галузей народного господарства (погіршення естетичної цінності та якості води для водокористування, рекреації та сільського господарства), а також безпосередньо уточнено, що головними наслідками для водойми в цілому є токсичність води (поява ціанобактерій, що є шкідливими для біоти та людей; зниження розчиненого кисню у водоймі, що зумовлює несприятливі умови для функціонування біоти).

Ключові слова: Київське водосховище, евтрофікація, точкові джерела забруднення, дифузні джерела забруднення, зміна клімату, поживні речовини, якість води.

Вступ.

В Україні всі сфери господарської діяльності (водопостачання, зрошення, риборозведення, рекреація тощо) напряму залежать від ефективності функціонування водної політики (Strokal V.P., 2021), яка має забезпечувати якісною та безпечною водою у достатній кількості (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022a). Однією із причин погіршення якості води як для народного господарства, так і для водних об'єктів є посилення у водоймах процесів антропогенного евтрофування (Dmitrieva, O. et al., 2023; Mishra R.K., 2023).

Зокрема, Київське водосховище займає найвище положення у каскаді Дніпровських водосховищ та відноситься до категорії «великих» водосховищ України (Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V., 2021). Київське водосховище – це динамічна гідросистема, яка виникла на місці затопленої заплави та берегових терас річок Дніпро та Прип'ять (Zub, L.M., Tomchenko, O.V., 2015). Інтенсифікація сільськогосподарства та зміна клімату вважаються основними чинниками, що підсилюють прояви небезпеки акумуляції біогенних речовин в результаті ґрунтово-ерозійних процесів та провокують «цвітіння» води при підвищенні температури повітря (Pichuga, V.I., 2016). Проте варто зазначити, що антропогенний вплив на водойму Київського водосховища відбувається постійно, носить системний характер та проявляється через внутрішні (точкові та дифузні забруднення, сповільнення русла течії, деградація ландшафтів) та зовнішні впливи (військові дії, руйнування водної інфраструктури, нестабільна економічна ситуація, низький рівень соціальних

заходів, неспроможність забезпечення високоефективних технологій очищення стічних вод) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Багато вчених-науковців займаються питаннями, що стосуються екологічного стану водосховищ. У працях Дмитрієва О.О., Цапко Н.С., Мельник Л.В., Ємельянов С.П. розкриті наукові підходи та принципи дослідження процесів евтрофікації складових навколишнього середовища та обґрунтоване використання пігментів фітопланктону щодо оцінювання ступеня евтрофування водойм (Dmitrieva, O. et al., 2023). Суходольська І.Л. та Ковальова І.В. досліджували вплив вмісту сполук нітрогену у водоймах та його вплив на фітопланктон у водоймах (Kovalova, I.V., & Sukhodolska, I.L., 2023). Вченими зроблений аналіз водойм з використанням методики оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно-зваженого індексу якості води ділянки р. Дніпро (Bezsonny, V.L., 2023). Також вченими досліджується питання розвитку процесів евтрофікації компонентів довкілля та наслідки даного процесу у вигляді «цвітіння», що може призвести до деградації природних водних біоценозів, популяцій і навіть в цілому екосистеми (Dmitrieva O.O. and others, 2023; Akinnowo S.O., 2023). Екологічні, статистичні та інтегральні методи аналізу процесів евтрофікації досліджували вчені з Великої Британії та Китаю (Zhang, Y., Li, M., Dong, J. and others, 2021), Нідерландів та Австрії (Strokal M., Kahil T., Wada Y., Albiac J., Kroeze C.,

2020; Suresh K., Tang T., van Vliet M., Bierkens, M.F., 2023). Підхід моделювання та оптимізації, заснований на складному індексі евтрофікації для визначення навантаження, розподіленого кількома поживними речовинами наведено у працях зарубіжних вчених (Yang Y., Li K., Liang, & Wang X., 2024; Akinnowo S.O., 2023). Вплив процесів евтрофікації на якість питної води також є актуальною темою науковців (Mishra R K., 2023), які зосереджують увагу на вагомості очищення евтрофної води для питних цілей, оскільки вважають що евтрофна вода становить серйозну загрозу для здоров'я тварин, людей.

Відповідно до сказаного, якість водойми Київського водосховища потребує більш значної уваги для дослідження, оскільки забезпечує водою 2/3 частини Київської області. Зважаючи на проблеми евтрофікації, які наявні у водоймі водосховища, дане питання потребує більш детального аналізу на виявлення основних причинно-наслідкових зв'язків підсилення процесів евтрофікації, які прогресують у даній водоймі.

Матеріали і методи дослідження.

Дослідження проводилися на основі матеріалів лабораторних досліджень восени 2021 року (до початку повномасштабного вторгнення росії на територію України) та восени 2023 року (після повномасштабного вторгнення). **Мета роботи** передбачала визначити основні причинно-наслідкові зв'язки підсилення процесів евтрофікації водойми Київського водосховища, які наявні нині. Основними завданнями роботи було виокремити причини появи процесів

природної та антропогенної евтрофікації у водоймі водосховища; зробити аналіз основних наслідків появи процесів евтрофікації водойми та відобразити їх основні проблеми для видів природокористування та водної екосистеми.

Результати дослідження та їх обговорення.

Київське водосховище має важливе значення для регулювання річкового стоку в нинішніх реаліях (Stryberko, A.V., 2022). Слід зазначити, що дане водосховище виконує ряд важливих функцій, зокрема водно-регуляторну, захисну, водогосподарську, рибогосподарську, екологічну функції (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). Деякі із функцій переплітаються із потребами народного господарства, зокрема водогосподарська функція відповідає за потреби як водопостачання, зрошення та риборозведення (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021a; Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a).

Зокрема вчені називають водосховища р. Дніпра «евтрофними водосховищами» (Dmitrieva O.O. and others, 2023), які є джерелами водопостачання для 2/3 частини України. Відповідно, процес евтрофування посилює у водоймі процеси евтрофікації – «цвітіння водойм» – інтенсивного розмноження фітопланктону у водоймі, який спричинює значні екологічні наслідки для всіх сфер господарської діяльності (риборозведення, водопостачання, зрошення, напування тварин тощо) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021a; Boyd C.E., & Boyd C.E., 2020). Варто уточнити, що саме забруднювачі водойми є продуктами життєдіяльності планктону і погіршення якості води. Ці процеси

найбільше притаманні озерам та водосховищам, адже відносна нерухомість водного середовища сприяє накопиченню у водній товщі біогенних елементів (Stryberko, A. V., 2022).

Варто зазначити, що протягом останніх 50 років динаміка різноманіття фітопланктону Київського водосховища постійно зростає. За даними досліджень (Scherbak, V.I., 2015) таксономічний склад фітопланктону, який присутній у водоймі Київського водосховища складає Cyanophyta, Euglenophyta, Diphyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta. Частка синьо-зелених водоростей складає 10-14%. В ході досліджень вчених, було зазначено, що сукцесія фітопланктону Київського водосховища характеризується як зелено-діатомово-синьозелена (Scherbak, V.I., 2015).

Евтрофікація є серйозною екологічною проблемою водойми Київського водосховища, що виникає коли надлишок поживних речовин потрапляє у водойму, що відповідно призводить до надлишку простих рослин (фітопланктону). Цей процес має серйозні наслідки для якості води та водної екосистеми Київського водосховища (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021a; Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022b).

З цією метою нами було проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки посилення процесів евтрофікації, які ми спостерігаємо протягом останніх років дослідження. Основний наголос було зроблено на аналізі вмісту поживних речовин (сполук азоту та фосфору), рівня забезпеченості водойми розчинним киснем (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021a; Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022b).

Варто зазначити, що на якість водойми Київського водосховища

впливають як антропогенна евтрофікація, так і природна (табл.1, рис.1). Природна евтрофікація відбувається через природні процеси і є повільнішою, її можна прослідкувати в часі та в динаміці враховуючи статистичні дані попередніх досліджень науковців. Проте антропогенна евтрофікація характеризується прискореним процесом, який має більш виражений характер.

Слід відмітити, що основними причинами посилення процесів природної евтрофікації є зміна клімату, зокрема підвищення рівня температури повітря, що спричинило збільшення кількості нерівномірних опадів, наявність безморозного періоду (2021 рік), появу нетипової посухи у періоди весни та восени (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021b; Snizhko, S., 2021). Дані процеси спонукали до появи паводків та повенів, які у свою чергу спричинили посилення абразійних процесів на правому березі водосховища, зарегульованості у неглибоких місцях водойми, до зменшення глибини водойми.

Антропогенна евтрофікація водойми має чітко виражений характер. Зокрема нами було прослідковано вплив антропогенних чинників на водойму водосховища (сільськогосподарський дренаж, міський дренаж, війна) у 2021 році та в 2023 році. На рисунку 1В та 1Г за 2021 рік дослідження – схематично наведені основні антропогенні чинники та фото місць дослідження. На фото можемо прослідкувати часткові процеси евтрофікації, мор риб у місцях біля с. Казоровичі, наявність поживних речовин. Слід зазначити, що вплив річок Кізка та Ірпінь має важливе значення, оскільки у їхніх водах містяться поживні речовини та інші за-

1. Евтрофікування Київського водосховища

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
Причина: Затоплення або перенесення поживних речовин: сезони повені та паводки, які спричинили до переміщення поживних речовин із землі до водойми, та відкладення їх на дні водосховища, утворюючи осади.		Причина: Сільськогосподарський дренаж: с.г. практика передбачає використання добрив, багатих сполуками азоту та фосфору, які під час дощу змиваються з полів до водойми водосховища	
Наявність проблеми:	Прогнозуємо що це відбувається на правій стороні водосховища, оскільки на цій території присутні обвали та осипи (від с. Сухолуччя до с. Старі Петрівці), наявні абразійно-зсувні та абразійно-обвальні процеси абразії (від меж с. Міжгір'я до с. Старі Петрівці) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). Під час досліджень спостерігали абразійні процеси	Наявність проблеми:	Вздовж правого берега водосховища розміщені приватні сільські населені пункти (Нові Петрівці, Старі Петрівці, Лютіж, Демидів, Казаровичі, Димер, Глібівка), в яких ведеться локальна сільськогосподарська діяльність (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Відповідно не передбачено ніяких контролюючих заходів щодо використання добрив селянами.
Наслідки:	Сповільнення руслу річки (швидкості течії) Накопичення біомаси на дні річки (зменшується глибина руслу)	Наслідки:	Неконтрольоване надходження поживних речовин у водойму водосховища
Причина: Зміна клімату та температур: збільшення кількості нерівномірних опадів за останні 10 років, коливання температур (від дуже високих до низьких, або наявність безморозного періоду, як це було у 2021 році)		Причина: Міський дренаж: у містах та сільських населених пунктах утворюється значна кількість стічних вод, дощових стоків і промислових відходів, які багаті поживними речовинами та забруднювачами	
Наявність проблеми:	Київське водосховище має транзитну (стокові види течій – правий берег водосховища) та нетранзитну зону течій (водні маси – лівий берег водосховища) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). За даними (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b) з 2016 р. спостерігається підвищення температури повітря в середньому на +1,7 ° C вище норми. Залежність від температури повітря прослідковується за показниками поживних речовин у воді. В період з високими температурами повітря (влітку) процеси евтрофікації посилюються. Зберігається тенденція до збільшення інтенсивності опадів (грудень 2019 р	Наявність проблеми:	Вздовж правого берега водосховища 75% присадибних приватних ділянок не мають централізованого водовідведення (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Відповідно вивіз комунальних стічних вод з вигрібних ям не контролюється, наявність облаштованих вигрібних ям згідно вимог не контролюється. На правому березі знаходяться с.г. та промислові підприємства (ТОВ «Чіпси Люкс», ТОВ «Агромас»). Ліва сторона водосховища представлена зеленою лісосмугою та базами відпочинку (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Нажаль протягом досліджень (2020-2023 рр.) ми не змогли отримати інформацію про

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
	випало півторарічні норми опадів (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b) та появи нетипової посухи (Snizhko, S. and others, 2021).		наявність системи очистки стічних вод на підприємствах які безпосередньо скидаються у водойму водосховища. Також вздовж лівої сторони ми постійно спостерігали не-санкціоновані сміттєзвалища, які розміщені були за 50-100 метрів від водойми.
Наслідки:	Відбулися зміни у моделях циркуляції води, що спричинили до зменшення швидкості течій, чим самим зумовивши процеси зарегульованості водосховища (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b)	Наслідки:	В пробах води, які були відібрані біля підприємств та вздовж лівого берегу водосховища за 2021-2022 роки спостерігали значне перевищення поживних речовин та наявність сміття у водоймі (пластику) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Прогнозуємо що дана ситуація сприяла збільшенню біогенного навантаження у водоймі, оскільки в одній із точок відбору проб (с. Казаровичі, 2021 р.) було знайдено мор риб. В іншій точці (за 10 км від Київської ГЕС по дамбі) у 2021 році спостерігали наявність замулення, появи незначної кількості ціанобактерій, проте восени 2023 року – наявність водоростей збільшилася у водоймі суттєво і ми спостерігали значні посилені процеси евтрофікації.
		Причина: Військові дії: руйнування водної інфраструктури, що призводить до масових затоплень територій, виносу поживних речовин та різного роду забруднювачів до водойми, водного дефіциту для всіх видів народного господарства	
		Наявність проблеми:	Слід зазначити, що з початку повномасштабного вторгнення росії прибережні зони водосховища, дамби, гідротехнічні споруди постійно зазнають впливу. З метою захисту м. Києва, 25 лютого 2022 року була зруйнована дамба, що захищала долину р. Ірпінь від затоплення. Відповідно, після руйнування відбулося значне затоплення сіл Демидів і частково с. Козаровичі,

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
			в тому числі – затоплені меліоровані угіддя. Затоплена ділянка в наявності і нині, тобто ситуація з 2022 року по 2023 рік включно не змінилася. На цій ділянці можемо спостерігати як населення ловить рибу (Strokal, V.P. and others, 2023).
		Наслідки:	З полів відбувся змив великої кількості органічних, біогенних речовин, відходів різного характеру (покришки, пластикові пляшки, скло, тверді побутові відходи) (Strokal, V.P. and others, 2023). Підтвердженням цього є наявність лабораторних досліджень, в яких порівняно із 2021 роком (до руйнування дамби) вміст поживних речовин збільшився до 3 разів) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022с).
Загальні наслідки:			
Для водної біоти (екосистема):		– Зміни у видовому складі (трофічних зв’язках) водної біоти – Загибель риби внаслідок зменшення кількості розчиненого кисню у воді – Зменшення біорізноманіття за рахунок пригнічення їх росту за рахунок активного цвітіння водоростей	
Для галузей народного господарства (види водокористування)		– Погіршення естетичної цінності водойми. Зокрема надмірний ріст водоростей може призвести до помутніння та каламутності води, появи неприємного запаху і зміни кольору, що може зробити воду непридатною для рекреаційних заходів. – Погіршення якості води та її доступності. Вміст поживних речовин зумовлює біогенне забруднення водойми, що створює загрозу для використання даної води у галузях сільського господарства (рослинництво та тваринництво) та в рибній галузі.	
Для водної екосистеми та в сферах господарства		– Токсичність води - поява токсинів ціанобактерій (мікроцистини) є шкідливими для водної флори та фауни та становлять небезпеку для здоров’я людини при попаданні в середину або через прямий контакт із забрудненою водою. Також токсичність води спричинює дефіцит води у всіх галузях господарства. – Зниження розчиненого кисню, що пригнічує розвиток та розмноження водної біоти, а також впливає на рибну галузь господарства. Зокрема у міру зростання популяції водоростей товстий шар на поверхні води може блокувати сонячне світло, це заважає зануреним водним рослинам фотосинтезувати та виробляти кисень	

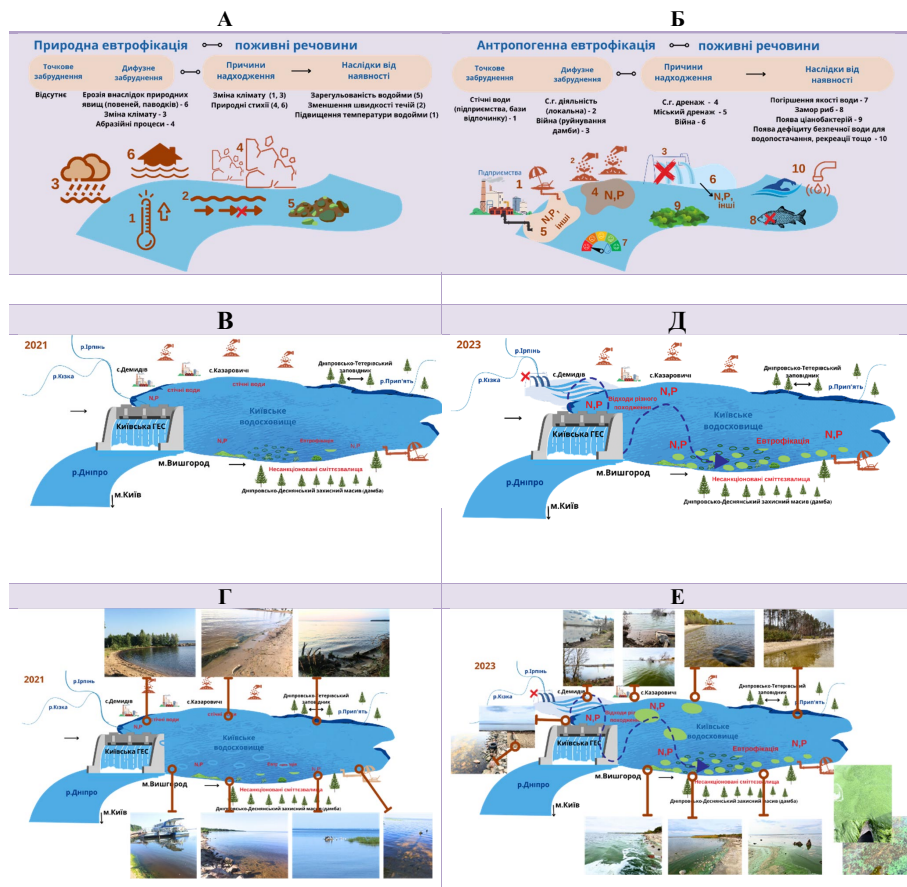


Рис.1. – Схематичне зображення причинно-наслідкових зв'язків інтенсифікації процесів евтрофікації водойми Київського водосховища (А – причини та наслідки від природної евтрофікації; Б – причини та наслідки від антропогенної евтрофікації; В, Г – вплив на водойму антропогенного навантаження відповідно до досліджень восени 2021 року (причини та наслідки наведені у табл.1); Д, Е - вплив на водойму антропогенного навантаження відповідно до досліджень восени 2023 року (причини та наслідки наведені у табл.1)).

бруднювачі, які перевищують встановлені норми (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Після повномасштабного вторгнення росії на територію країни (24.02.2022 р.) естетичний вигляд та якість водойми водосховища суттєво погіршилися (див. рис. 1Д та 1Е). Як бачимо з фото, процеси антропогенної евтрофікації суттєво погірши-

лися. З схеми (рис. 1Д) ми бачимо як руйнування дамби що біля с. Казарівської вплинула на стан водойми. Варто сказати, що дамба була зруйнована 25 лютого 2022 року, відбулося затоплення територій та відповідно виніс поживних речовин та інших відходів із приватного сектору селян до водойми водосховища, і нині ми спостерігаємо

що на місці розливу – затоплені меліоративні угіддя – так і залишилися вони затопленими (табл. 1) (Strokal, V.P. and others, 2023; Strokal, V.P., Kovpak, A. V., 2022c; Strokal V., Kurovska A., & Strokal M., 2023). Нами спрогнозовано, що за рахунок стокових течій та водних мас, поживні речовини та відходи з затопленої території потрапивши до водойми водосховища – надійшли до протилежної сторони водосховища (ліва сторона) і зумовили масове розмноження ціанобактерій уздовж прибережної лівого берега водосховища на глибині водойми до 2 метрів. Також у деяких ділянках водойми (від с. Казаровичі, в сторону до с. Демидів) зустрічаються покритишки у водоймі та відходи різного походження. В ділянці (за Казаровицькою дамбою в сторону с. Демидів, де відбулося затоплення територій) водойма мала вигляд «киплячої води» (спостереження проводили 19 жовтня 2023 р.).

Варто зазначити, що військова діяльність досить суттєво впливає на стан водойми. Науковцями кафедри екології агросфери та екологічного контролю Національного університету біоресурсів і природокористування України були зроблені ґрунтовні дослідження щодо впливу зруйнованої водної інфраструктури (дамби, греблі, комунальні станції тощо) на стан природних водних ресурсів та їхню якість. Зокрема ними обґрунтовано, що якісний стан води суттєво погіршується під час руйнування дамб та каналізаційних очисних станцій (Strokal, V.P., 2023).

Висновки.

Евтрофікація Київського водосховища відбувається у природних та антропогенних умовах. В ході аналізу

було виокремлено основні причини природної (перенесення поживних речовин за рахунок повеней та паводків, посилення абразійних процесів, зміна клімату та температурного режиму) та антропогенної евтрофікації (сільськогосподарства для водної біоти (зміна трофічних зв'язків у водній екосистемі, мор риб, зменшення водного біорізноманіття), галузей народного господарства (погіршення естетичної цінності та якості води для водокористування, рекреації та сільськогосподарства), а також безпосередньо уточнено, що головними наслідками для водойми в цілому є токсичність води (поява ціанобактерій, що є шкідливими для біоти та людей; зниження розчиненого кисню у водоймі, що зумовлює несприятливі умови для функціонування біоти).

Зробивши огляд проблеми евтрофікації Київського водосховища можна сказати, що евтрофікація водойми водосховища перебуває на етапі «цвітіння водоростей», якому передують етап надходження поживних речовин до водойми, та наступним є – виснаження кисню у водоймі й створення «мертвих зон». Щоб не допустити перехід процесу евтрофікації до наступних етапів необхідно проводити ряд заходів, зокрема мінімізувати забруднення з точкових джерел, таких як стічні води; зменшити надходження поживних речовин від сільської практики (сільський дренаж) та інших дифузних джерел забруднення.

У продовженні досліджень передбачено продовження ґрунтового аналітичного аналізу вмісту поживних речовин у водоймі, та на основі його – конкретизація чинників впливу на якість води для видів користування (сільське господарство, рекреація, питні цілі).

References

1. Sryberko, A.V. (2022). Kyiv Reservoir from the project to the present. Materials of the Student Scientific Conference of the Odessa State Environmental University (May 11-18, 2022, Odesa). Available at: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11409/1/%D0%A1%D0%9D%D0%9A_%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D0%B0_%202022_205.pdf (in Ukraine)
2. Strokal V.P., Kovpak A.V. (2022a). Anthropogenic impacts on water quality of the Kyiv reservoir (part 1: hydrological, geological, and biological characteristics). *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, № 1-2(13). Available at: [http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.006](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.006) (in Ukrainian)
3. Dmitrieva, O., Tsapko, N., Melnik, L., Emelyanov, S. (2023). Use of phytoplankton pigments to assess the degree of eutrophication of water bodies. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. № 4(49). Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.8> (in Ukrainian)
4. Strokal, V. (2021). Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 18(1), 67-87. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1943815X.2021.1930058> (in English)
5. Scherbak, V.I. (2015). Phytoplankton succession in the Kyiv water reservoir and assessment of its transboundary section. Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: *Biology*, Vol.64, №13-4, 2015, p. 757-760. Available at: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5946/1/Scherbak.pdf> (in Ukrainian)
7. Khilchevskiy, V. K., & Hrebin, V. V. (2021). Large and small reservoirs of Ukraine: regional and basin features of distribution. *Hidrolohii, hidrokhimii i hidroekologii. Bioresursy ta ekolohii vodoim*, №2(60). 6-17. Available at: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1> (in Ukrainian)
8. Strokal, V. P. and others (2023). The implications of the Russian-Ukrainian war on the state of natural resources in Ukraine: the monograph / V.P. Strokal, Ye.M. Berezhniak, O.I. Naumovska, L.V. Vagaliuk, M.M. Ladyka, G.A. Serbeniuk, S.P. Palamarchuk, S.D. Pavliuk // Under the general editorship of V. P. Strokal. Kyiv: Publishing Center of NUBIP of Ukraine, 210 p. Available at: <https://dglip.nubip.edu.ua/handle/123456789/10632> (in Ukrainian)
9. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2021a). Causes of nutrient pollution in the Dnieper river basin: theoretical syntheses. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. №2 (35). pp. 37-44. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6> (in Ukrainian)
10. Zub, L.M., Tomchenko, O.V. (2015). The formation of vegetation cover and some features of the hydrochemical regime of the Kyiv Reservoir. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. №1(8). pp. 21-31. Available at: http://eco.j.dea.kiev.ua/archives/2015/8/8_2015.pdf (in Ukrainian)
11. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2022b). Anthropogenic impacts on water quality of Kyiv reservoir (part 2: water quality and pollution sources). *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, 13(3-4). pp.46-66. Available at: [http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13\(3-4\).2022.073](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.073) (in Ukrainian)
12. Pichura, V.I. (2016). Spatio-temporal trends of changes in the trophic state of reservoirs of the Dnipro River. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 4(76). Available at: <https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri/article/view/188> (in Ukrainian)
13. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2021b). Ecolog-

- ical assessment of water quality for different water uses: the upstream sub-basin of the Dnieper and Desna rivers *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, № 2(12). pp. 24-40. Available at: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003> (in Ukrainian)
14. Snizhko, S. (2021). Analysis of the impact of climate change on the water resources of Ukraine (full report based on project results) / Snizhko S., Shevchenko O., Didovets Yu. // Center for Environmental Initiatives "Ekodia", 68 p. Available at: <https://ecoaction.org.ua/vodnist.html> (in Ukrainian)
15. Stokral, V.P., Kovpak, A.V. (2022c). Military conflicts and water: consequences and risks. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, 5(44). Available at: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/5/14.pdf> (in Ukrainian)
16. Stokral, V., Kurovska, A., & Stokral M. (2023). More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 20(1), 2281920. Available at: <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920> (in English)
17. Kovalova, I.V., & Sukhodolska, I. L. (2023). Water quality assessment of the Stubelka River based on phytoplankton indicators. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (6), pp.125-135. Available at: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.13> (in Ukrainian)
18. Bezsonny, V.L. (2023). Methodology for assessing the ecological state of a reservoir based on the entropy-weighted water quality index. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, №2(47). pp.44–48. Available at: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/29752> (in Ukrainian)
19. Dmitrieva, O.O., Tsapko, N. S., Koldoba, I.V., Lysov, B.V., & Teliura, N.O. (2023). Environmental monitoring of eutrophication process in water bodies across Ukraine. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, №3(48). pp.143-147. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.23> (in English)
21. Boyd, C.E., & Boyd, C.E. (2020). Eutrophication. *Water Quality: An Introduction*, 311-322. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23335-8_15 (in English)
22. Zhang, Y., Li, M., Dong, J., Yang, H., Van Zwielen, L., Lu, H., ... & Wang, H. (2021). A critical review of methods for analyzing freshwater eutrophication. *Water*, 13(2), 225. Available at: <https://doi.org/10.3390/w13020225> (in English)
23. Stokral, M., Kahil, T., Wada, Y., Albiac, J., Bai, Z., Ermolieva, T., ... & Kroeze, C. (2020). Cost-effective management of coastal eutrophication: A case study for the Yangtze river basin. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104635. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104635> (in English)
24. Suresh, K., Tang, T., van Vliet, M., Bierkens, M. F., Stokral, M., Sorger-Domenigg, F., & Wada, Y. (2023). Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. *Environmental Research Letters*. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acd071/meta> (in English)
25. Yang, Y., Li, K., Liang, S., Lin, G., Liu, C., Li, J., ... & Wang, X. (2024). A simulation-optimization approach based on the compound eutrophication index to identify multi-nutrient allocated load. *Science of The Total Environment*, 906, 167626. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167626> (in English)
26. Akinawo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, Consequences, Physical, Chemical and Biological Techniques for Mitigation Strategies. *Environmental Challenges*, 100733. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733> (in English)

27. Mishra, R. K. (2023). The effect of Eutrophication on Drinking Water. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 4(1), 7-20. Available at: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0096> (in English)
-

Kurovska A. (2024)

EUTROPHICATION OF THE KYIV RESERVOIR OF UKRAINE: REVIEW

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 61-72.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48299>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.005](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.005)

Abstract. It is known that the process of eutrophication in freshwater (especially in lakes and reservoirs) is increasing every day. That is why the relevance of this research is related to the existing processes of eutrophication in the Kyiv Reservoir of Ukraine. The research was conducted on the basis of laboratory research materials in 2021 year (before starting russian-Ukrainian war – 24.02.2022) and in 2023 year (after 600 days starting russian-Ukrainian war). The main aim of the research was to determine the main cause-and-effect relationships of strengthening eutrophication processes of the Kyiv Reservoir, which are currently available. It has been established that eutrophication of the Kyiv Reservoir occurs under natural and anthropogenic conditions. During the analysis (2021-2023 years), we identified the main causes of natural (transportation of nutrients due to floods, increased abrasion processes, climate change) and anthropogenic eutrophication (agricultural and urban activities, military activities). Analyzing the cause-and-effect relationships of the intensification of eutrophication processes, we emphasized the main consequences of the anthropogenic load on the water body of the reservoir for aquatic biota (change in trophic relationships in the aquatic ecosystem, reduction of aquatic biodiversity), for different branch of human activities (deterioration of the aesthetic value and water quality for water use, recreation and agriculture). Also, we highlighted the implications of eutrophication for the reservoir such as water toxicity that can influence the water bodies and biota (the appearance of cyanobacteria, which are harmful to biota and people).

Keywords: Kyiv Reservoir, eutrophication, point sources of pollution, diffuse sources of pollution, climate change, nutrients, water quality.
