УДК 574.52
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.9

ГІДРОХІМІЧНИЙ СТАТУС ПОСТ-МІЛІТАРНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ С. МОЩУН, КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Циганенко-Дзюбенко І.Ю.[1], **Гандзюра В.П.**[2], **Алпатова О.М.**[1], **Демчук Л.І.**[1], **Хом'як І.В.**[3], **Вовк В.М.**[4]
[1]Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
[2]Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ
[3]Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул Пушкінська, 42, 10002, Житомир
[4]Громадська організація «Фонд сталого розвитку України»
вул. Мукачівська, 6, 04074, м. Київ
ke_miyu@ztu.edu.ua, gandzyura@gmail.com, alpatova-o@ukr.net,
ke_dlm@ztu.edu.ua, ecosystem_lab@ukr.net, vovkvadim1983@gmail.com

Стаття присвячена дослідженню гідрохімічного статусу пост-мілітарних водних екосистем с. Мощун Київської області. Встановлено, що потенційними джерелами забруднення водойм внаслідок воєнних дій є скид токсичних речовин через аварії на різнотипних підприємствах, потрапляння у воду трупів людей і тварин, пошкодження міських очисних споруд, забруднення вірусами, іншими мікроорганізмами в результаті терористичних актів. Проведено гідрохімічний аналіз води досліджуваних водойм і хімічний аналіз донних відкладів. За результатами аналізу розподілу хімічних елементів виявлено забруднення як водного середовища, так і донних відкладів важкими металами. У водному середовищі рибогосподарської та рекреаційної водойм виявлено есенціальні важкі метали Fe2+, Mn2+, Cu2+, Al3+. Встановлено, що за усіма позиціями є значні перевищення. Виявлено 10 важких металів у складі донних відкладів, зокрема Al3+ (на рибогосподарській водоймі 237±1,896 мг/кг, на рекреаційній – 298±2,380 мг/кг) та Fe2+ (на рибогосподарській водоймі 360,5±4,326 мг/кг, на рекреаційній – 466,5±5,6 мг/кг). Більш забрудненим виявилось рибогосподарське озеро. З'ясовано, що серед усього катіонного складу в донних відкладах є не просто сполуки важких металів, а неесенціальні та трасові, які мають яскраво виражений токсичний ефект та порушують гомеостаз та енантіостаз екосистем. Вивчення гідрохімічної специфіки малих водних масивів, дозволило оцінити особливості впливу геохімічних умов на стан вод і ступінь антропогенного навантаження на водойми. Результати дослідження дозволять кількісно оцінити наслідки впливу воєнних дій на екосистеми та розробити відновлювальні заходи щодо екосистем, які різною мірою зазнали потужного впливу воєнних дій, а також забезпечити визначення рівня якості води для збереження здоров'я місцевого населення. *Ключові слова:* водойми, водні екосистеми, воєнні дії, важкі метали, токсичність, хімічний аналіз води.

Hydrochemical status of post-military water ecosystems of the village Moshchun, Kyiv region. Tsyganenko-Dzyubenko I. Yu., Ghandzyura V., Alpatova O., Demchyk L., Khomyak I., Vovk V.

The article is devoted to the study of the hydrochemical status of the post-military water ecosystems of the village Moschun, Kyiv region. It has been established that potential sources of water pollution as a result of military operations are the release of toxic substances due to accidents at various enterprises, human and animal corpses entering the water, damage to city sewage treatment plants, contamination by viruses and other microorganisms as a result of terrorist acts. A hydrochemical analysis of the water of the investigated reservoirs and a chemical analysis of bottom sediments were carried out. According to the results of the analysis of the distribution of chemical elements, contamination of both the water environment and bottom sediments with heavy metals was revealed. Essential heavy metals Fe2+, Mn2+, Cu2+, Al3+ were found in the aquatic environment of fishing and recreational reservoirs. It was established that there are significant excesses for all positions. 10 heavy metals were detected in bottom sediments, in particular Al3+ (in a fish-farming pond 237±1.896 mg/kg, in a recreational pond – 298±2.380 mg/kg) and Fe2+ (in a fish-farming pond 360.5±4.326 mg/kg, in a recreational pond – 466.5±5.6 mg/kg). The fishing lake turned out to be more polluted. It was found that among the entire cation composition in the bottom sediments there are not just compounds of heavy metals, but also non-essential and trace metals, which have a pronounced toxic effect and disrupt the homeostasis and enantiostasis of ecosystems. The study of the hydrochemical specificity of small water bodies made it possible to assess the peculiarities of the influence of geochemical conditions on the state of water and the degree of anthropogenic load on reservoirs. The results of the research will make it possible to quantify the consequences of the impact of hostilities on ecosystems and to develop restorative measures for ecosystems that have been strongly affected by hostilities to varying degrees, as well as to determine the level of water quality to preserve the health of the local population, to form monitoring and water use programs. *Key words:* reservoirs, water ecosystems, military actions, heavy metals, toxicity, chemical analysis of water.

Постановка проблеми. Масштаби воєнних дій в Україні не мають аналогів з часів другої світової війни. Вони відбуваються на фоні загострення кліматичної кризи та системно взаємодіють із пов'язаними з нею факторами. Воєнні дії – це комплекс антропогенних факторів прямої та опосередкованої дії на довкілля. Це масштабні переміщення транспортних засобів та постійні вибухи, бомбардування, що при-

зводять до широкого фізичного пошкодження чутливих ландшафтів і біорізноманіття. Використання вибухової зброї спричиняє викиди в атмосферу, забруднення води, повітря, землі, утворення пожеж, підпалів тощо. Шкодочинність від використання вибухівки, активних обстрілів, які довкілля України переживає щодня, применшити неможливо. Такі дії, окрім яскраво вираженого пірогенного ефекту мають і токсичний ефект. Є всі підстави стверджувати про необхідність системного аналізу наслідків для антропогенно трансформованих екосистем внаслідок воєнних дій [1].

Потенційними джерелами забруднення водойм внаслідок воєнних дій є скид токсичних речовин у результаті аварій на різнотипних підприємствах, потрапляння у воду трупів людей чи тварин, пошкодження міських очисних споруд, забруднення вірусами, іншими мікроорганізмами в результаті терористичних актів тощо. Будь яка з цих подій може призвести до того, що вода становитиме небезпеку для здоров'я людей і тварин, а, оскільки річка є основним джерелом прісної води, санітарно-гігієнічна ситуація в містах може досягти критичного стану.

Критичної уваги потребує використання речовин, які де факто є елементами хімічної зброї (токсичні та радіоактивні компоненти), що часто використовуються військом ворога або залишаються на полі бою.

Актуальність дослідження. Дослідження впливу воєнних дій на довкілля є актуальним науковим та соціально-політичним завданням, вирішення якого необхідне для моделювання та прогнозування майбутніх змін у навколишньому середовищі, виставлення об'єктивних судових претензій до країни-агресора, розробки заходів, пов'язаних із відновленням порушених воєнними діями екосистем та забезпечення здоров'я населення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Оскільки світ ще не стикався з такими масштабами бойових дій в умовах розвитку біосфери, то важливим є розробка нових алгоритмів моделювання змін в екосистемах в умовах війни, прогнозування наслідків змін у них й оцінки завданої шкоди природним екосистемам та спільнотам, що з ними пов'язані. Для цього має застосуватись системний аналіз екологічного стану водойми. Екологічний стан – поняття, що не має однозначного тлумачення. Утім не можна обійти увагою Водну рамкову директиву 200/60/ЄС, підписану урядом України, і покликану наблизити вітчизняні нормативні документи до західноєвропейських.

За Водною рамковою директивою, екологічний стан водойм – це сукупність біотичної, гідроморфологічної та хімічної (ширше – фізико-хімічної) складових. Згідно з Директивою екологічний стан визначають за низкою показників: відмінний, добрий, помірний, посередній, поганий. Відповідне оцінювання здійснюється за даними моніторингу, який має стосуватись трьох вище перелічених складових [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему забруднення солями важких металів, як важливий фактор токсичності водного середовища, досліджували вітчизняні і зарубіжні вчені.

М. Ю. Євтушенко та С. В. Дудник трактують водну токсикологію як науку про токсичні властивості водного середовища по відношенню до представників біоти водойм, яка вивчає джерела і шляхи надходження токсичних речовин у водойми, їхню міграцію, трансформацію і акумуляцію у водних екосистемах, вплив токсикантів на життєдіяльність гідробіонтів на організменному, популяційному, біоценотичному і екосистемному рівнях [3].

В. І. Вишневський у своїй науковій праці «Водойми Києва» [2] дослідив вплив міста на водні об'єкти. О. М. Арсан [4] вивчав особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни. В. Д. Романенко [5] розглядав склад, закономірності формування і особливості функціонування водних екосистем, а також фізико-хімічні фактори, які визначають якість води та біопродуктивність водойм різного типу.

В. А. Алєксєєв [6] запропонував малакотоксикологічні методи досліджень, що сприяло становленню та розвитку нового напрямку водної токсикології. Шкодочинність в екології, як здатність певного чинника знижувати стан благополуччя системи, досліджували В. П. Гандзюра та В. В. Грубінко [1].

Певний інтерес мають дослідження Д. А. Вискушенко [7] про вплив солей міді та цинку на озерного прудовика, одного з найбільш поширених у водоймах України черевоногих молюсків. Д. О. Янович та Т. М. Швець [8] дослідили шляхи надходження хрому та його сполук до водних об'єктів, обґрунтували необхідність здійснення контролю вмісту Cr (VI) в гідроекосистемах з огляду на його токсичність.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Незважаючи на наявність наукових розробок за досліджуваною проблематикою, більш глибокого вивчення вимагає проблема забруднення водного середовища внаслідок воєнних дій і визначення гідрохімічного статусу пост-мілітарних водних екосистем.

Новизна. На основі проведеного гідрохімічного аналізу води і хімічного аналізу донних відкладів водних екосистем с. Мощун Київської області виявлено негативний вплив на них воєнних дій, зокрема забруднення солями важких металів, а також визначено гідрохімічний статус цих пост-мілітарних водних екосистем.

Виклад основного матеріалу. За даними Генерального Штабу ЗСУ від 18.07.2022 р. 23 березня 2022 р. російські війська застосували над північно-західною околицею Києва заборонені фосфорні боєприпаси. Орієнтовна зона ураження – Гостомель-Ірпінь Київська область (рис. 1).

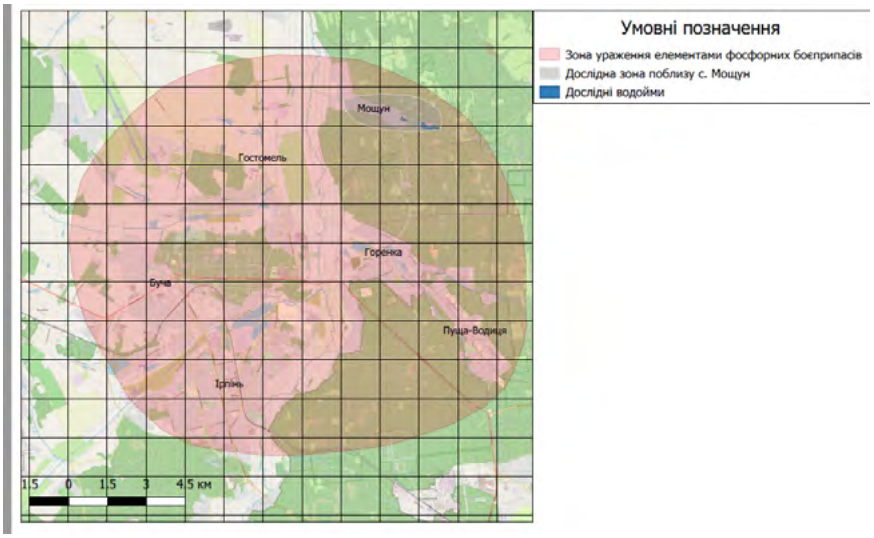

Рис. 1. Зона ураження елементами фосфорних боєприпасів Київської області 23.03.2022 р. за даними Генерального Штабу ЗСУ від 18.07.22 р.

Використання таких видів зброї проти мирного населення є злочином проти людяності та порушенням Женевських конвенцій. Використання агресивних хімічних компонентів, а саме фосфорних боєприпасів має дуже негативний вплив як на навколишнє середовище, так і на людей. Вони спричиняють пожежі та хімічні опіки. Горіння фосфору також може призвести до загибелі тварин, рослин і всього навколо, оскільки фосфор у реакції з киснем дуже швидко загоряється, у поєднанні із водою утворює кислоти та високотоксичний фосфін, а при взаємодії із вуглецевими сполуками – органофосфати.

Військова техніка впливає на навколишнє середовище як і уламки снарядів, тобто домішки металів можуть забруднювати ґрунтові та підземні води. Залишки боєприпасів забруднюють як едафотоп, так і гідротоп неесенціальними (слідовими) важкими металами. На токсичність речовин для гідробіонтів впливає присутність інших сполук, форми досліджуваної речовини, жорсткість води, світловий і температурний режими, концентрація кисню, pH, швидкість течії, освітлення, наявність комплексоутворювачів, синергізм та стан біологічних об'єктів. Токсичність може визначатися здатністю металів до концентрування [1; 6; 7; 8; 9].

Метали в організмі тварин впливають на багато життєво важливих органів, тканин, структур, у тому числі і зябра. Ці токсиканти змінюють функцію крові, серця водних тварин, пошкоджують вплив на зябра, порушують біохімічні процеси. Все це відображається на загальному функціональному стані гідробіонтів і їх диханні [5].

До групи неесенціальних хімічних елементів віднесені такі важкі метали (ВМ) як Hg^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}, Bi^{3+}, As^{2+}. Вони відомі як високотоксичні, тобто такі, що викликають негативні зміни у життєдіяльності

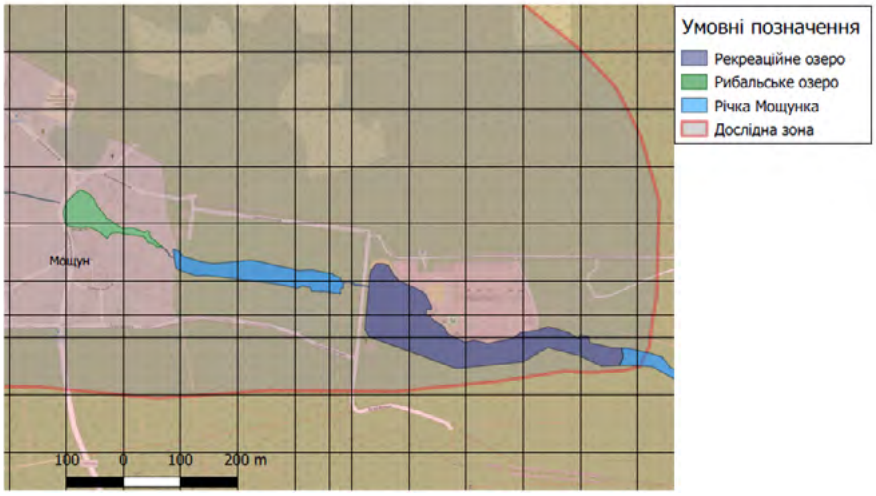

Рис. 2. Водні об'єкти в межах дослідної зони поблизу с. Мощун Київської області

організмів на продукційному, енергетичному та речовинному рівнях за дуже низьких концентрацій, а їхня біологічна роль не визначена [10].

Важкі метали є протоплазматичними отрутами, токсичність яких зростає із збільшенням атомної маси. Механізм токсичної дії катіонів металів на флору різний і зумовлює: зниження активності ферментів; утворення хелатів зі звичайними метаболітами та порушення обміну речовин; взаємодію з клітинними мембранами і зміну їх проникності та інших властивостей; конкуренцію з хімічними елементами, необхідними для живлення рослин; порушення функціонування ферментних систем та загибель рослин.

У військовій техніці є багато пального, що призводить до горіння, забруднення повітря, ґрунтів і водних ресурсів. Небезпечним є потрапляння техніки в річки й озера, бо окислення металу може призвести до забруднення води.

У липні 2022 року відповідно до чинних методичних рекомендацій проведено відбір проб річкових вод та донних відкладів з водойм рибальського та рекреаційного озер с. Мощун Київської області (рис. 2).

Ще більшого наукового інтересу додає той факт, що дві водойми походять із одного каскаду штучно створених озер та мають різнотипне значення для дослідженої території, а саме одне озеро є виключно рибогосподарським, а інше – окреслене як рекреаційне через наявність рекреаційно-реабілітаційної бази «Пуща Водиця», яка під час окупації використовувалась як сховище від обстрілів та опорний штаб захисників ТРО.

Хімічний аналіз проведено за встановленими стандартними гідрохімічними та аналітико-хімічними методиками. Кількісне та якісне визначення вмісту сполук важких металів здійснено за допомогою Атомно-емісійної спектрометрії (АЕС). Це багатокомпонентний метод, придатний для одночасного визначення кількох елементів, у той час як за допомогою атомно-абсорбційній спектрометрії можна визначати лише окремі елементи. Це перспективний метод для скринінгових екологічних досліджень. Переваги даного методу: відносно малі матричні ефекти, широкий діапазон вимірювань (1:10000), висока продуктивність (значно вища, ніж при використанні ААС). Недоліки: можливість появи спектральних перешкод, перекривання емісійних ліній деяких елементів [11].

Вміст сульфатів у поверхневих водах зумовлений процесами вивітрювання гірських порід, підземним стоком, окисненням речовин рослинного та тваринного походження, окисно-відновними процесами та господарською діяльністю людини. Значення середньорічного вмісту сульфатів у пробах води коливається від 11 мг/дм^3 до 14 мг/дм^3 в межах норми.

Розчинений кисень та pH води. Хіміко-біологічний стан водотоків значною мірою зумовлює розчинений кисень, що абсорбується з атмосфери або утворюється у процесі фотосинтезу. Витрати кисню пов'язані з хімічними та біологічними процесами, диханням гідробіонтів, а тому рівноважний вміст може відображати екологічний стан води. У досліджуваних водоймах вміст розчиненого кисню спостерігався у межах норми і становив 5,61 мгO_2/дм^3 у рекреаційній водоймі та 5,17 мг O_2/дм^3 у Рибальському озері відповідно. Щодо водневого показника (pH), то він може змінюватися внаслідок втрати вуглекислоти та біохімічних процесів, але в період забору значення не виходили за нормативні межі 7,26 – 7,28.

Хімічне споживання кисню (ХСК) – показник, що характеризує ступінь та динаміку самоочищення річкових вод. Коливання вмісту у двох водоймах ХСК відбувається у межах нормативних значень (9,2 мгO_2/дм^3 у Рибальському озері та 9,3 мгO_2/дм^3 у рекреаційній водоймі відповідно).

Важливим комплексом показників якості поверхневих вод є біогенні речовини, основними з яких є сполуки азоту та фосфору – чинники процесів як природного, так і антропогенного евтрофування. Азотовмісні сполуки утворюються у воді, внаслідок потрапляння в них гумусових та інших речовин. Згідно з даними дослідження вміст мінеральних сполук азоту у воді за період спостережень не перевищував нормативне значення.

У пробах води з рекреаційної водойми наявні поліфосфати 1,21 мг/дм^3, з рибальського озера – 0,86 мг/дм^3.

На відміну від природного евтрофування, що є звичним розвитком цілого ряду сукцесійних процесів, антропогенна евтрофікація – різке посилення первинного продукування у водоймах через надлишкове потрапляння біогенів внаслідок діяльності людини – супроводжується появою комплексу порушень у стані екосистеми. Останнє спричиняє ряд серйозних негативних явищ, наприклад, зниження прозорості води та дефіцит кисню в придонних шарах, як результат – появу явища «цвітіння» водо-

Таблиця 1

Катіонний склад ВМ у гідротопах досліджених водойм с. Мощун

Водойма	**Середній вміст ВМ, мг/кг**			
	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Cu^{2+}	Al^{3+}
ГДК*	**≤0,1**	**≤0,01**	**≤0,001**	**≤0,04**
Рибогосподарська	0,2±0,002400	0,015±0,000084	0,05±0,000190	0,06±0,000480
Рекреаційна	0,15±0,001800	0,001±0,000006	0,04±0,000152	0,02±0,000160

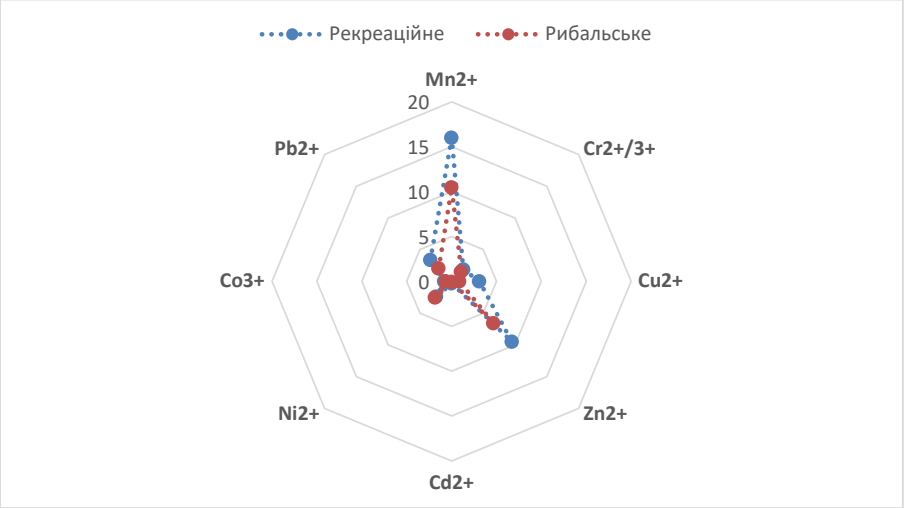

Рис. 3. Розподіл ВМ (мг/кг) у донних відкладах досліджених водних об'єктах с. Мощун (окрім Al^{3+} та Fe^{2+})

ростей, інтенсивний розвиток деяких макрофітів (нитчастих водоростей чи повітряно-водних рослин) та значне погіршення якості води.

Вміст натрію, калію, фторидів, марганцю, кальцію, магнію у пробах води у період досліджень не перевищував нормативні значення цих показників. Вміст заліза, алюмінію відрізняється від нормативного значення. Найбільше перевищення сполук міді спостерігається на рибальській водоймі (у 50 разів) та на рекреаційній водоймі (у 40 разів) (табл. 1). Нормативні значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) приведені згідно з НД: СанПіН 4630-88 та «Узагальненим переліком гранично допустимих концентрацій та орієнтовно-безпечних рівнів впливу (ВЗУВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм».

Одним з найбільш об'єктивних і надійних показників стану забруднення водного середовища та загального рівня техногенного навантаження на нього є вміст забруднюючих речовин у донних відкладах. Вони формуються в результаті седиментації завислого у воді матеріалу і його взаємодії з водною фазою й акумулюють в собі солі винесених поверхневими водами забруднюючих речовин, продуктів вітрової ерозії ґрунтів, важких сполук, що утворюються в приземній атмосфері, а також тверду фазу промислових та побутових стоків.

Тому, будь-які зміни антропогенного навантаження в межах водозборів, що тягнуть трансформацію екосистемних зв'язків і викликають незворотні зміни в будові і складі донних відкладень є важливою складовою в системі екологічної безпеки регіону та індикатором динаміки антропогенезу.

З одного боку, це сприяє самоочищенню водного середовища, оскільки акумулюються різні екотоксиканти, в тому числі сукупності мікроелементів, з іншого – є джерелом вторинного забруднення водойм і індикатором динаміки антропогенеза та рівня екологічної безпеки регіону, оскільки саме донні відклади відображають зміни в багаторічному надходженні мікроелементів до водних екосистем [4].

На рис. 3 показано розподіл ВМ у донних відкладах досліджених водних об'єктах с. Мощун (окрім Al^{3+} та Fe^{2+}). Вміст кадмію, марганцю та свинцю не перевищує встановлених нормативів гранично допустимих концентрацій: Cd^{2+} 0,23 мг/кг у рекреаційній водоймі та 0,063 мг/кг у Рибальському озері, Mn^{2+} 15,99 мг/кг та 10,46 мг/кг, Pb^{2+} 3,34 мг/кг та 2,03 мг/кг відповідно.

За даними Держекоінспекції та ГО «Українська природоохоронна група» після детонації боєприпасів, ракет та іншої вибухівки до всіх елементів довкілля найбільше потрапляє сполук сірки, алюмінію, цинку. Після найтяжчого періоду окупації, ави-

Таблиця 2

Катіонний склад ВМ у донних відкладах досліджених водойм с. Мощун

Водойма	Fe^{2+}	Mn^{2+}	$Cr^{2+/3+}$	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cd^{2+}	Ni^{2+}	Al^{3+}	Co^{3+}	Pb^{2+}
	Середній вміст ВМ, мг/кг									
Рибальська	360,5 ± 4,326	10,46 ± 0,059	1,513 ± 0,004	0,86 ± 0,001	6,6 ± 0,079	0,063 ± 0,001	2,58 ± 0,031	237 ± 1,896	0,625 ± 0,016	2,03 ± 0,037
Рекреаційна	466,5 ± 5,600	15,99 ± 0,090	1,864 ± 0,005	3,1 ± 0,040	9,5 ± 0,100	0,23 ± 0,005	2,41 ± 0,030	298 ± 2,380	0,789 ± 0,019	3,34 ± 0,060

абомбардувань та активних артилерійських обстрілів Київщини та с. Мощун у тому ж числі пройшло близько півроку. Як наслідок забруднюючі речовини частково або повністю мігрували з аеро-, гідро- та едафотопів у донні відклади до водойм, які знаходились безпосередньо в межах зони бойових дій, а також територій, які суміжні з нею. Також потрібно зауважити, що в межах Ірпінської, Гостомельської та Бучанської об'єднаних територіальних громад знаходиться досить широка гідромеліоративна система, річка Ірпінь, а також інші різнотипні водні об'єкти.

За результатами дослідження у донних відкладах виявлено залізо (загальне) 466,5 мг/кг у рекреаційній водоймі та 360,5 мг/кг у рибальському озері, хром, мідь, цинк, нікель, алюміній та кобальт. У порівнянні з кількістю інших сполук ВМ, кількість алюмінію у обидвох випадках є великою, а саме в рекреаційному озері 298,0 мг/кг, рибогосподарському – 237,00 мг/кг (табл. 2). Однак навіть через значну кількість алюмінію та цинку вміст цих показників у донних відкладах не нормується.

Головні висновки:

1. Аналіз розподілу хімічних елементів показує забруднення як водного середовища, так і донних відкладів важкими металами.

2. У водному середовищі рибогосподарської та рекреаційної водойм були виявлені есенціальні важкі метали Fe^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+}. За усіма позиціями є значні перевищення ГДК $_{риб./госп.}$. Більш забрудненим виявилось рибогосподарське озеро.

3. Попри відсутнє нормування вмісту сполук важких металів у складі донних відкладів виявлено значний якісний катіонний склад, а саме 10 важких металів. Серед них найбільшою кількістю характеризуються Al^{3+} (на рибогосподарській 237±1,896 мг/кг, та на рекреаційній – 298±2,380 мг/кг) та Fe^{2+}(на рибогосподарській 360,5±4,326 мг/кг, та на рекреаційній – 466,5±5,6 мг/кг. Варто зазначити, що серед всього катіонного складу в донних відкладах є не просто сполуки важких металів, а неесенціальні та трасові, які мають яскраво виражений токсичний ефект та порушують гомеостаз та енантіостаз екосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Гідрохімічна специфіка малих водних масивів, які визначають характер та особливості режимів середніх і великих річок, дозволить оцінити як особливості впливу геохімічних умов на стан вод, так і ступінь антропогенного навантаження на водойми, що, в свою чергу, дасть можливість сформувати програми моніторингу та водокористування.

Література

1. Гандзюра В. П., Грубінко В. В. Концепція шкодочинності в екології. Київ-Тернопіль : Вид-во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008. 144 с.
2. Вишневський В. І. Водойми Києва. К. : Ніка-Центр, 2021. 280 с.
3. Євтушенко М. Ю., Дудник С. В. Водна токсикологія: підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 606 с.
4. Арсан О. М. Особливості формування сучасного еколого-токсикологічного стану водойм урбанізованих територій та його можливі зміни. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія Біологія.* 2010. № 2 (43). С. 14–17.
5. Романенко В. Д. Основи гідроекології: підручник. К. : Обереги, 2001. 728 с.
6. Алексеев В. А. Основные принципы сравнительно-токсикологического эксперимента. *Гидробиологический журнал*. 1981. Т. 17. № 3. С. 92–100.
7. Выскушенко Д. А. Реагирование прудовика озерного на воздействие сульфата меди и хлорида цинка. *Гидробиологический журнал*. 2002. Т. 38. № 4. С. 86–92.
8. Янович Д. О., Швець Т. М. Хром у гідроекосистемах та його вплив на біоту водойм (огляд). *Гидробиологический журнал.* 2017. Т. 53, № 2. С. 70–87.
9. Malacea I. A. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol*. 2003. № 1 (65), pp. 79–92.
10. Євтушенко М. Ю., Дудник С. В. Водна токсикологія: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 606 с.
11. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: ОНИКС 21 век: Мир, 2004. 216 с.