

5. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnol.* 1973. V. 7. №1/4. P. 1–218.
6. Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 1994. 28. P. 117–133.

УДК 628.194:628.11

**ОЧИЩЕННЯ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО СТАВУ ВІД ВАЖКИХ
МЕТАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОВОДОРОСТІ
CHLORELLA VULGARIS**

Чвалюк Г. В., Грубінко В. В., Тиха С.Я.

Тернопільський національний педагогічний університет імені
Володимира Гнатюка

E-mail: 0986372888g@gmail.com; v.grubinko@gmail.com;
tycha@gmail.com

Водні екосистеми України нині зазнають значного техногенного навантаження. Забруднення та виснаження акваторії прісноводних річок та ставків призводить до погіршення екологічного стану прибережних районів і зниження їх рекреаційного потенціалу [11].

Забруднення води важкими металами спричинене швидкою індустріалізацією та урбанізацією. Видалення іонів важких металів з природної води має першочергове значення для чистого навколишнього середовища та здоров'я людини, оскільки метали як правило токсичні та канцерогенні. Адсорбція є одним із найефективніших засобів очищення забруднених вод. Процес адсорбції має такі переваги, як доступність, низька вартість і екологічність [13].

Актуальними є дослідження, що пов'язані з вивченням реактивності та самопідтримання угруповань гідробионтів, які забезпечують продуктивність і пластичність гідроекосистеми, її стійкість до забруднення та самоочищуючу здатність. Такі дослідження з одного боку дозволяють прогнозувати можливі наслідки забруднень, а з іншого – моделювати сукцесії та планувати заходи щодо відновлення природного статусу гідроекосистеми, оскільки саме в умовах стійкості водойм

ефективно підтримують якість води та рекреаційний і ресурсогосподарський потенціал [10].

Актуальними є дослідження, пов'язані з видаленням та очищенням води від важких металів екологічними методами, а саме за допомогою мікроводоростей, наприклад зеленої *Chlorella vulgaris*.

Важкі метали потрапляють у воду р. Серет, а далі – у став, насамперед, з ґрунту, де нагромаджуються при надмірному застосуванні різних агрохімікатів, органічних добрив і змивів з полів у сільському господарстві та прибережних населених пунктів. У процесі їх взаємоперетворень (комплексоутворення, гідролізу, осадження, нітрифікації, денітрифікації) утворюються шкідливі для природного середовища і людини сполуки важких металів (ВМ), нітрати, нітрити і сполуки аміаку. Додатковим джерелом забруднення ними води є побутові стоки, що містять важкі метали, рештки білкових речовин, амінокислоти (ці органічні речовини містять в своєму складі азот) у суміші з іншими хімічно активними сполуками (кислотами, жирами). Контролюючі служби виявили надходження таких стоків у Тернопільський став через зливні дощові колектори з берегової зони житлового сектору [7].

Очевидно, що вода, яка надходить у став, привносить до нього різноманітні забруднення. З атмосферними опадами у водойму потрапляють токсиканти, що викидаються в повітря промисловими підприємствами, котельнями міста та транспортом. Найчастіше це: оксиди сірки, азоту, фосфору, карбону; свинець; органічні речовини; особливо сполуки важких металів.

Встановлено, що сучасний видовий склад фітопланктону Тернопільського водосховища включає 8 відділів: Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Xantophyta, Dinophyta, Cryptophyta. Провідна роль належить відділу Chlorophyta, оскільки, зокрема порядок Chlorococcales, інтенсивно вегетує, унаслідок прогрівання водних мас та незначного водообміну [9].

Для аналізу хімічного забруднення води важкими металами ми обрали ряд мікроелементів-важких металів і провели порівняльний аналіз їх вмісту у різних ситуаціях, з допомогою

чого можна оцінити надходження, трансформацію і накопичення забруднюючих агентів.

У вересні 2023 року нами було проведено дослідження з визначення коефіцієнту накопичення та кількості акумульованих важких металів у клітинах зелених мікроводоростей *Chlorella vulgaris*.

Інтенсивність надходження ВМ у клітини водоростей залежить від біологічних особливостей фітопланктону, виду металу та сезонних гідрохімічних чинників [9].

На основі порівняльного аналізу даних, проведених в процесі досліджень нативної води ставу та гранично допустимих концентрацій згідно нормативів ДСТУ вмісту важких металів у воді ставу, питної води в Україні та фасованої води з пунктів розливу та бюветів було складено таблицю (таблиця 1).

Таблиця 1

Важкі метали	Вміст металів у хлорелі (висушені і знезолені водорості), мг/дм ³ [1]	Вміст металів у воді ставу, ГДК, мг/дм ³ , [2]	Вміст металів у воді ставу в точці забору, мг/дм ³ , [5]	Норми вмісту металів у питній воді в Україні, ГДК, мг/дм ³ , [6]	Вміст металів у питній воді фасованої, з пунктів розливу та бюветів ГДК, мл/дм ³ , [4]	Коефіцієнт накопичення ВМ у хлорелі порівняно з водою ставу
Mg	46,5	40	10,13	0	80	4,59
Cd	0,001	0,001	0,0005	0,001	0,001	2
Co	0,003	0,1	0,002	0,1	0,1	1,5
Cu	1,295	1	0,15	1	1	8,63
Pb	0,115	0,03	0,01	0,03	0,01	11,5
Ni	0,32	0,1	0,0008	0,02	0,02	400
Mn	7,15	0,1	0,0002	0,5	0,05	35750
Zn	50,5	1	0,0005	5	1	101000
Fe	36,25	0,3	0,002	1	0,2	18125

Згідно з даними досліджень (рис. 1) видно, що найбільше накопичення у клітинах зеленої мікроводорості відбулося магнію, цинку та заліза, а найменше – кадмію, кобальту і нікелю.

Відхилення від ГДК у воді ставу становлять показники

таких важких металів як магній, цинк, ферум.

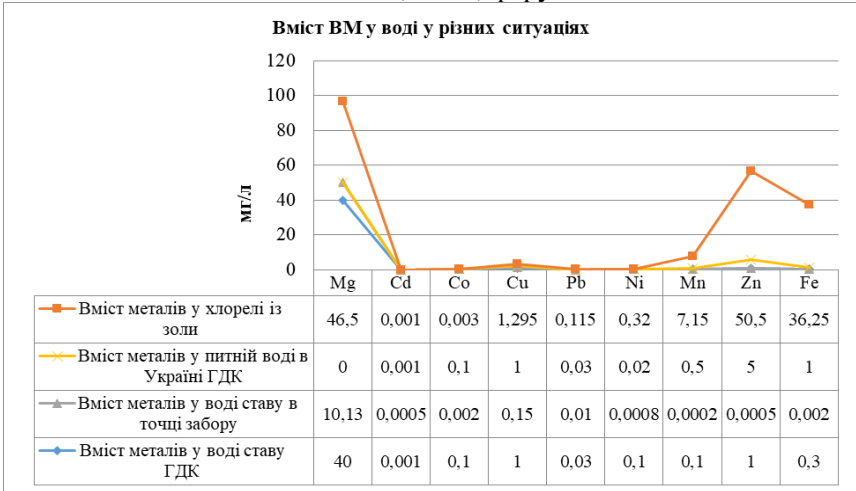


Рис. 1 Вміст важких металів у різних ситуаціях

Гідробіонти здатні накопичувати в організмі забруднюючі речовини, які знаходяться у воді. При цьому коефіцієнт їх накопичення може зростати порівняно з водою у тисячі – десятки тисяч і більше разів (рис. 2 а, б). Таке явище отримало назву біоаккумуляція або біоконцентрування. Накопичення забруднюючих речовин у гідробіонтів зростає при проходженні по трофічних ланцюгах [10]. Для кращої наочності ми розділили важкі метали за величиною порядків коефіцієнту накопичення на 2 рисунки, де у магнію, кадмію, кобальту, купрум, свинцю коефіцієнт накопичення ВМ становить від одиниць, до десятків разів, зокрема свинець акумулював у 11,5 разів, тоді як кобальт лише 1,5 рази. А метали нікель, манган, цинк та ферум здатні накопичуватись проти градієнту концентрації у сотні разів. Зокрема коефіцієнт накопичення нікелю у хлорелі становив 400 разів, а ось цинку аж 101 тисяча порівняно з вмістом металу у воді.

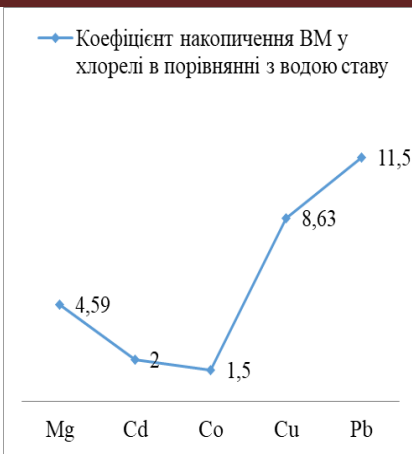


Рис. 2 а) Коефіцієнт накопичення важких металів у хлорелі порівняно з водою ставу, що вимірюється в одиницях

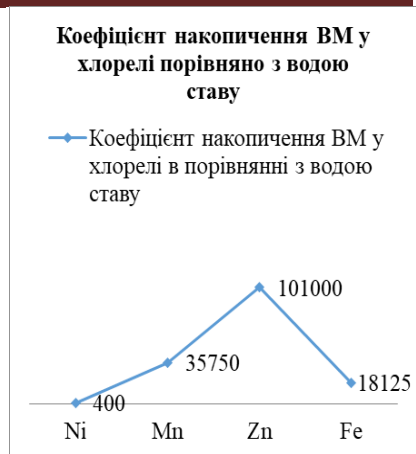


Рис. 2 б) Коефіцієнт накопичення важких металів у хлорелі порівняно з водою ставу, що вимірюється в сотнях і тисячах

Коефіцієнт накопичення = $\frac{\text{Вміст металів у водоростях озолених клітин хлорелі, мг/дм}^3}{\text{Вміст металів у воді ставу в точці забору, мг/дм}^3}$

Інтенсивний розвиток фітопланктону у водоймах супроводжується підвищенням показника рН середовища, що зумовлює гідратацію і випадання розчинених форм Fe і Mn, що раніше знаходилися у воді. Як відомо, гідроксиди цих металів є добрими сорбентами для Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd та інших металів. Тому «цвітіння водойм» призводить до зменшення маси біологічно доступних форм мікроелементів у воді і переведення їх в осади. Саме з цим пов'язана парадоксальна, на перший погляд, обставина – більший вміст мікроелементів (Fe, Zn, Cu, Cd, Ni, Co) у фітопланктоні під час першого спалаху його розвитку, ніж у період наступного і, згодом, зниження інтенсивності фотосинтезу [10].

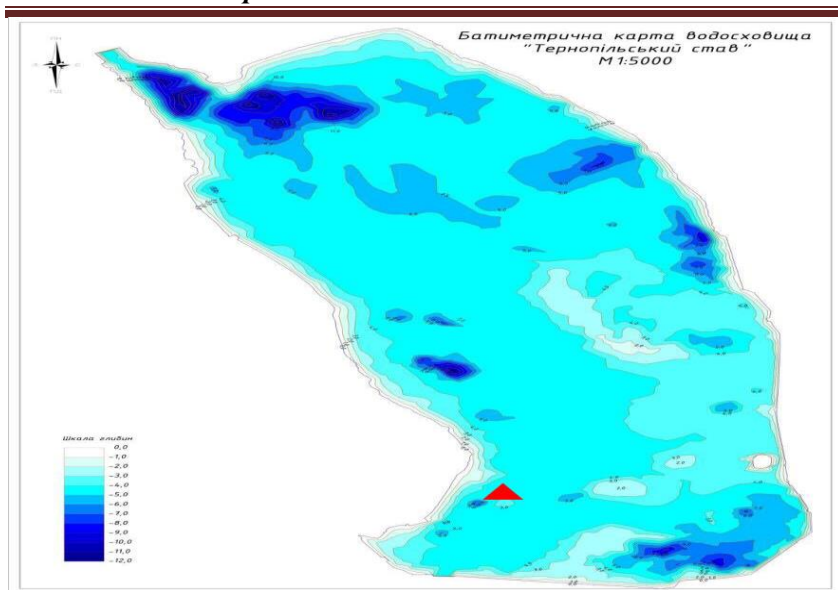


Рис. 3 Точка забору води для проведення досліджень

Концентрація ВМ (крім Co , Pb) зростає у вересні (рис. 2 а). З зниженням температури повітря і води восени починають відмирати макрофіти, в екосистемі зменшується біомаса. Рослини, поглинувши деяку кількість ВМ, за течією води опускаються в нижні ділянки водойми і там, відмираючи, викликають вторинне забруднення води, віддаючи їй ВМ, біогенні елементи та органічні речовини. Уміст Co і Pb восени зменшився. Свинець (рис. 2 а) у вересні акумулювався в інших елементах середовища (прибережний мул, ґрунти). Кобальт, як відомо, належить до числа найбільш важливих біологічно-активних речовин. Тому можна передбачити, що упродовж весни, літа та осені сполуки кобальту були використані водною біотою (рис. 2 а).

Восени, коли встановлюється сезонна гомотермія, як і під час весняної гомотермії, створюються умови і для вертикального динамічного перемішування, вода і придонні шари поновлюються. Це також сприяє підвищенню концентрацій важких металів у воді.

Зі зниженням температури води з'являються холодноводні види діатомових – *Melosira*, *Diatoma*. У цей час вегетують також і

синьо-зелені водорості. Зрозуміло, що вегетація у період осені не така активна, як влітку, тому концентрація Co, Pb, Cd у вересні зменшується (рис. 1). Під кінець осені концентрація ВМ у воді збільшується, що можна пояснити тим, що адсорбція швидкоростучими молодими культурами в цілому слабша, ніж «старими» культурами (найбільше таких у серпні та листопаді).

Згідно з попередніми дослідженнями кількісне співвідношення ВМ металів у воді можна подати рядами:

квітень – Pd<Cd<Cu<Co;
травень – Pb<Cd<Co<Cu;
липень – Cd<Cu<Co<Pb;
серпень – Cd<Cu<Co<Pb;
вересень – Cd<Co<Pb<Cu;
листопад – Co<Cd<Cu<Pb;
лютий – Cd<Co<Cu<Pb [7].

Водорості можуть накопичувати ВМ до таких кількостей, що на декілька порядків перевищують їх вміст у воді. Активно накопичуючи ВМ, водорості можуть впливати на розподіл їх у трофічному ланцюзі, і на вертикальний та горизонтальний транспорт по акваторії.

Процес адсорбції ВМ на завислих речовинах має виключно важливе екологічне значення, виступаючи, з одного боку, як фактором концентрування токсикантів, а з іншого – показником самоочищення водойми. Адсорбція металів завислими речовинами водойми і осадження в донні відклади призводить до зниження токсичності води.

До числа факторів гідрохімічної природи, що впливають на характер накопичення ряду металів у гідробіонтах, потрібно також віднести концентрування деяких мікроелементів і їх включення у метаболічні процеси разом із залізом [10].

Згідно з даними роботи [16], в клітинах водоростей одночасно протікають два процеси: надходження металів, можливо, прямо пропорційне їх концентрацій в розчині, і виведенні металів, що зростає при підвищенні їх концентрацій в організмі. Отже, вміст металів у водоростях можна розглядати як результат протилежних процесів – накопичення і виведення. Утримання Cd рослинними клітинами складає в середньому тиждень.

Залізо присутнє в досить високій концентрації у воді (0,19 мг/дм³), утворюючи нерозчинні продукти гідролізу (зазвичай гідроксид заліза), адсорбує багато мікроелементів групи важких і перехідних металів, насамперед кобальт. Саме з цим, на наш погляд, можна пов'язати інтенсивне накопичення у фітопланктоні деяких мікроелементів, а також значну кореляцію між вмістом металів у гідробіонтах із концентрацією заліза у воді. Це і свідчить про істотну роль геохімічних (фізико-хімічних) чинників у біологічній акумуляції мікроелементів.

Значні кількості мікроелементів під час активного розвитку фітопланктону (влітку) утилізуються ним, а із відмиранням водоростей вони знову повертаються у воду. Спостерігається своєрідний колообіг мікроелементів у системі «водойма – фітопланктон – водойма».

Загалом, водорості, активно накопичуючи та перерозподіляючи ВМ у трофічному ланцюзі гідроекосистеми, частково очищують воду. У зв'язку з цим природні популяції фітопланктону з успіхом можуть бути використані як індикатори накопичення токсичних речовин для контролю рівня забруднення поверхневих вод та проведення заходів з санітарного очищення води.

Отже, найбільш важливими складовими водного середовища перерозподілу важких металів є водорості. Вода ж є середовищем, яке зв'язує складові екосистеми, де іони металів та їхні сполуки перебувають невеликий період часу, допоки не акумулюються у інші складові водного середовища – наприклад, у макрофіти чи тваринні організми [8].

Значна частина видів фітопланктону є індикаторами органічного забруднення води, складаючи для водосховища від 59% до 65% [12]. Погіршення якості води пов'язане зі зниженням інтенсивності процесів самоочищення водних мас, провідна роль в яких належить водоростям.

Значному підвищенню концентрації металу влітку сприяє також збільшення випаровування і використання води. На відміну від інших забруднювачів, таких як нафтові вуглеводні, домашні та муніципальні відходи, сліди металів можуть почати накопичуватися до небезпечних кількостей непомітно. Важкі метали описуються як металеві елементи з вищою щільністю, ніж

у води [15]. Вони також включають металоїди, такі як миш'як, які можуть викликати токсичність при низьких рівнях впливу, виходячи з уявлення про те, що важкість і токсичність пов'язані [14]. Останніми роками забруднення навколишнього середовища цими металами стає все більшою проблемою для навколишнього середовища та здоров'я людини.

Важкі метали є особливо проблематичними, оскільки вони не розкладаються. Метали давно поширені на Землі, і майже 75% від загальної кількості елементів у періодичній таблиці класифікуються як метали. Важкі метали становлять більшість забруднювачів, визначених Агентством з охорони навколишнього середовища США як слідові неорганічні забруднювачі [13].

Зв'язування важких металів у комплекси з розчинними органічними речовинами, адсорбція їх на завислих частках, утворення комплексів з гуміновими кислотами, фульвокислотами та глинистими речовинами є основною причиною низького вмісту «вільних іонів» як однієї з найтоксичніших форм. Вплив процесів адсорбції та комплексоутворення на міграційну рухливість та співвідношення їх форм є очевидним. Порівнюючи результати наших досліджень з фоновими значеннями (табл. 1) можна стверджувати, що «Тернопільський став» є забрудненою водоймою, особливо цинком і манганом.

Список літератури

1. Вміст металів у водоростях – дані отримані у лабораторії на базі ДНУ НТК «Інституту монокристалів» НАН України Відділу аналітичної хімії: за допомогою атомно-емісійного спектрографічного методу за допомогою спектрографа ДФФС-8.
2. Вміст металів у воді ставу – Дані Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води. Грубінко В.В., Гуменюк Г.Б., Волік О.В., Свинко Й.М., Маккарті Ф.М.Г. - Екосистема зарегульованої водойми в умовах урбонавантаження: на прикладі Тернопільського водосховища / за ред. В.В. Грубінка. Тернопіль: Вектор, 2013. 201 с.
3. Зміни кількості важких металів у ставі в порівнянні з нормами ДСанПіН (державні санітарні норми та правила)
4. Вміст металів у питній воді фасованої, з пунктів розливу

- та бюветів Згідно НАКАЗУ № 341 від 18.02.2022 Зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 07 березня 2022 р. за № 304/37640 ЗМІНИ до додатку 2 до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», - URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0304-22#Text>
5. Вміст металів у воді ставу в точці забору. Бицора Л. О., Капуста Т. Я. Дослідження Тернопільського водосховища. моніторинг присутності металів у воді та донних відкладах // Моделювання еколого-географічних систем : матеріали звітної наукової конференції викладачів, аспірантів, магістрантів, студентів кафедри геоecології та методики навчання екологічних дисциплін та НДЛ. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2021. С. 64-67.
 6. Вміст металів у питній воді в Україні - Нормативи на питну воду. Яка повинна бути вода?: Нормативи якості питної води в Україні і країнах ЄС (порівняльна таблиця) - URL: <https://himanaliz.ua/uk/normativi-na-pitnu-vodu-yaka-povinna-bu/>
 7. Грубінко В.В., Гуменюк Г.Б., Волік О.В., Свинко Й.М., Маккарті Ф.М.Г. Екосистема зарегульованої водойми в умовах урбонавантаження: на прикладі Тернопільського водосховища / за ред. В.В. Грубінка. Тернопіль: Вектор, 2013. 201 с.
 8. Гуменюк Г. Б. Сезонна динаміка вмісту і міграції міді, кобальту, кадмію та свинцю в екосистемі Тернопільського ставу / Г. Б. Гуменюк // Наукові записки Тернопільського держ. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. 2001. Т. 2 (13). С. 190–193.
 9. Дворак О.В. Фітопланктон Тернопільського водосховища та його роль у формуванні фітостоку річки Серет : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня. канд. біол. наук : 03.00.17. К., 2006. – 21 с.
 10. Романенко В. Д. Основи гідроекології : підручник. К. : Обереги, 2001. С. 426–429.
 11. Самчук А.І., Попенко Е.С., Огар Т.В. Поглинання важких металів та селену водоростями акваторії Чорного моря. Геологія і корисні копалини Світового океану. 2014. № 1.

- С. 115-120.
12. Щербак В. І. Оцінка впливу Тернопільського водосховища на фітопланктон річки Серет // Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. «Екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес». Харків, 2004. С. 23–28.
 13. Deniz Türkmen, Monireh Bakhshpour, Semra Akgönüllü, Süleyman Aşır, Adil Denizli. Heavy Metal Ions Removal From Wastewater Using Cryogels: A Review. *Front. Sustain.* 23 March 2022 Sec. Sustainable Chemical Process Design Volume 3 – 2022. Doi <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.765592> – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2022.765592/full>
 14. Duffus J. H. From the journal "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*. Doi :<https://doi.org/10.1351/pac200274050793>. URL : <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200274050793/html>
 15. [Tchounwo P. B.](#), [Clement G. Y.](#), [Patlolla A.K.](#), [Sutton D.J.](#) Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum* 2012:101:133-64. Doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6. PMID: 22945569. PMCID: [PMC4144270](#)
 16. Revis N.J. P., Merks A.G. A. Heavy metal uptake by plankton and other particles // *Chem. Speciation @ Bioavailability*. 1989. Vol. 1, № 1. P. 31–37.

УДК 639.311:[574.5:581.526.325]

**ВИДОВА СТРУКТУРА ТА КІЛЬКІСНИЙ РОЗВИТОК
ФІТОПЛАНКТОНУ НАГУЛЬНИХ СТАВІВ
ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Чужма Н. П., Базасва А. М., Григоренко Т. В.

Інститут рибного господарства НААН України, м. Київ

E-mail: n_chuzhma@ukr.net

Відомо, що фітопланктону належить провідне значення у функціонуванні водних екосистем. Вивчення флористичної структури та кількісного розвитку фітопланктону рибницьких