

## ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ СІЛЬСЬКОЇ МІСЦЕВОСТІ РІВНЕНЩИНИ

Г.Д. Крупко<sup>1</sup>, І.Л. Суходольська<sup>2</sup>, Д.В. Лико<sup>2</sup>, І.В. Басараба<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Рівненська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»  
(с. Шубків, Рівненська обл., Україна)

e-mail: [kрупко\\_gd@ukr.net](mailto:kрупко_gd@ukr.net); ORCID: 0000-0002-1506-1258

<sup>2</sup> Рівненський державний гуманітарний університет (м. Рівне, Україна)

e-mail: [iryua.sukhodolska@rshu.edu.ua](mailto:iryua.sukhodolska@rshu.edu.ua); ORCID: 0000-0001-7502-3061

e-mail: [dariia.lyko@rshu.edu.ua](mailto:dariia.lyko@rshu.edu.ua); ORCID: 0000-0003-0184-0549

e-mail: [ilona.basaraba@rshu.edu.ua](mailto:ilona.basaraba@rshu.edu.ua); ORCID: 0000-0001-6720-0419

*Стаття присвячена оцінці якості підземних вод сільських населених пунктів Гоцанського (Рівненського) р-ну Рівненської обл. Проаналізовано вміст біогенних (купрум, цинк) та небіогенних (плюмбум, кадмій) важких металів у воді колодязів сіл Садове, Жаланка, Ючин, Тучин та артезіанських свердловин с. Тучин впродовж 2012–2018 рр. Наведено основні джерела забруднення води важкими металами. Виявлено, що вміст  $Cu^{2+}$  та  $Zn^{2+}$  у воді колодязів не перевищував допустимі значення впродовж всього періоду дослідження. Однак, за вмістом  $Pb^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  якості води колодязів не відповідає нормативним показникам. Так, встановлено, що вміст кадмію перевищує гранично допустимі концентрації у колодязях всіх досліджуваних сіл, а концентрація плюмбуму в колодязях сіл Садове й Тучин у 1,37 та 2,07 рази відповідно. За оптимальних концентрацій біогенні важкі метали необхідні для забезпечення життєдіяльності та регулювання фізіологічних процесів усіх живих організмів. Однак тривале споживання питної води забрудненої важкими металами негативно впливає на організм і може викликати гострі та хронічні захворювання. Дія важких металів залежить від концентрації, особливостей та інтенсивності їх потрапляння, швидкості поглинання, утримання і виведення, а також загального стану здоров'я людини. Вода артезіанських свердловин с. Тучин за вмістом купруму, цинку, плюмбуму та кадмію відповідає встановленим допустимим нормам впродовж 2012–2018 рр. і придатна до споживання та використання. Очевидно, що використання більш глибоких підземних водних горизонтів забезпечує жителів с. Тучин якісною питною водою. Необхідно розробити та реалізувати дієві заходи для покращення якості води колодязів тих населених пунктів, де зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ .*

**Ключові слова:** *якість води, захворювання, купрум, цинк, плюмбум, кадмій, джерела нецентралізованого водопостачання, токсична дія на організм.*

### ВСТУП

Більшість мешканців сільських населених пунктів для питних та господарсько-побутових потреб використовує воду колодязів та артезіанських свердловин, яка не проходить належної очистки та може бути шкідливою для здоров'я. Основними причинами забруднення підземних вод, окрім геохімічних особливостей територій, є неправильне облаштування септиків, місць для зберігання жому та компосту (на відстані менше ніж 20 м), поганий технічний стан колодязів, порушення правил

зберігання і використання пестицидів, мінеральних, органічних добрив, засобів захисту сільськогосподарських культур, неправильне утримання свійських тварин та птиці, недотримання технологій зберігання гною, утилізації тваринницьких і побутових відходів, промислова діяльність. Зазначені чинники зумовлюють забруднення та засмічення води різними речовинами. Найчастіше вода підземних джерел не відповідає якості за вмістом біогенних та небіогенних важких металів (ВМ) [1; 2].

В оптимальних концентраціях біогенні важкі метали регулюють фізіологічні процеси та впливають на функції всіх тканин

організму. Важкі метали входять до складу ферментів, вітамінів, гормонів, проявляють протизапальну, антиалергічну дію та є каталізаторами обмінних процесів [3]. Однак підвищені концентрації біогенних та небіогенних важких металів викликають мутагенні, гено- та цитотоксичні ефекти у рослин, тварин та людей. Токсичність важких металів проявляється структурно-функціональними порушеннями, що зумовлюють гострі та хронічні захворювання чи летальні наслідки. Очевидно, що вплив на живі організми залежить від їх загального стану, концентрації елементу, форм знаходження, шляхів та інтенсивності потрапляння, швидкості поглинання, депонування і виведення [3; 4].

Найпоширенішими забруднювачами гідроекосистеми вважають купрум, цинк, плумбум та кадмій, які використовуються у багатьох технологічних процесах, сільському господарстві, промисловості, що зумовлює їх швидке та постійне надходження до водних об'єктів. Вже за відносно низьких концентрацій  $Pb^{2+}$  і  $Cd^{2+}$  проявляють високу токсичність. Їх негативний вплив на різні організми неодноразово доведено експериментально [4; 5].

Внаслідок дії високих концентрацій кадмію та плумбуму пригнічуються ріст рослини, змінюється водний баланс, проявляється хлороз, вповільнюється процес фотосинтезу тощо. Крім того,  $Pb^{2+}$  найбільше впливає на нирки, печінку та центральну нервову систему, а  $Cd^{2+}$  руйнує еритроцити крові, спричиняє захворювання нирок, викликає гастрит і анемію [4–6].

Купрум та цинк є відомими кофакторами та активаторами ферментів. Вони забезпечують збереження цілісності клітинних мембран, беруть участь у процесах клітинного дихання, впливають на інтенсивність фотосинтезу, азотний обмін тощо. Здійснюючи дезактивацію вільних радикалів, купрум та цинк знижують ризик виникнення різноманітних захворювань і сповільнюють процеси старіння [3; 7].

Щорічні моніторингові дослідження вмісту важких металів стосуються, насамперед, поверхневих водних об'єктів. Під-

земні джерела досліджуються менше, згідно з вибіркоким плановим контролем або позаплановим за чіткої обґрунтованої необхідності. Недостатній контроль за якістю води підземних джерел (колодязів та артезіанських свердловин) створює загрозу для рослин, тварин, а також для здоров'я та життя людей.

З огляду на зазначене, **мета дослідження** — визначити вміст важких металів у колодязях, артезіанських свердловинах, шляхи їх надходження та вплив на організм і здоров'я людини.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Інтенсивне антропогенне навантаження зумовлює збільшення у поверхневих та підземних водах концентрації важких металів. Останні не піддаються деструкції, а переходять з одних компонентів до інших, що забезпечує їх постійне знаходження у водних об'єктах у різних формах та концентраціях. У більшості наукових роботах, присвячених оцінці забруднення середовища важкими металами, наголошено на негативному впливі високих концентрацій елементів на всі живі організми. Небезпека споживання води забрудненої важкими металами та її вплив на здоров'я населення детально описана Андрушишиною І.М. [8], яка аналізує найпоширеніші захворювання, що виникають за перевищення нормативних концентрацій важких металів у воді, й показує фізіологічні зміни за умови їхнього дефіциту.

Механізм дії важких металів найчастіше пов'язують з їх низькою біофільністю ( $Cu^{2+} - 0,068$ ,  $Zn^{2+} - 0,24$ ,  $Pb^{2+} - 0,0625$ ,  $Cd^{2+} - 0,154$ ) та тривалим періодом виведення. Наприклад, час напіввиведення  $Cd^{2+}$  з організму людини сягає 10–30 років. У природних умовах період напіввиведення важких металів значно більший (для  $Cd$  становить 155 років, для  $Zn$  — до 500 років, а для  $Pb$  — до декількох тисяч років). Саме тому важкі метали можуть бути виявлені на тих територіях, де фактично відсутній наразі вплив різних галузей виробництва чи споживання [6; 9–11].

Вміст ВМ у підземних водах різних регіонів України досліджували більшість науковців, зокрема територію Прикарпаття Грубінко В.В. [12] та Нечитайло Л.Я. [13], Київщини – Войтенко Л. [14], Шуми-гай І.В. [15], Полтавщини – Коваль В.В. [6], Вінниччини – Чоботар В. [16] та ін. Автори фіксували перевищення важких металів у питній воді, що насамперед пов'язано з інтенсивним розвитком сільського господарства й промисловості, особливостями геологічного складу порід, надходженням із поверхневим стоком, внесенням під плододі дерева високих концентрацій фосфорних добрив та фунгіцидів, що містять у своєму складі ці елементи [6].

Забруднення важкими металами питної води різних регіонів України свідчить про важливість та необхідність подальшого дослідження не лише з метою виявлення основних чинників потрапляння елементів, але і розробки та запровадження механізмів, що дасть можливість покращити екологічний стан водних об'єктів.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час дослідження Рівненською філією ДУ «Держгрунтохорона» відібрано проби води у 25 контрольних створах закритих водних об'єктів (шахтні колодязі та артезіанські свердловини) сільських населених пунктів Гошанського (Рівненського) р-ну Рівненської обл. Проби відбирали один раз на рік у весняний період упродовж 2012–2018 рр. Проаналізовано 200 проб води, з яких 176 відібрано у колодязях (сіл Садове, Жалянка, Ючин, Тучин), а 24 – в артезіанських свердловинах (с. Тучин).

Аналіз води здійснювали згідно із загальноприйнятими методами. Воду фільтрували через мембранний фільтр із діаметром пор 0,45 мкм, концентрували у 10 разів та визначали вміст ВМ методом атомно-абсорбційної спектроскометрії на спектрофотометрі С-115 М1 за відповідної довжини хвилі, яка відповідала максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів згідно зі стандартними методиками

[17]. Концентрацію (С) металів виражали в мг/дм<sup>3</sup> досліджуваних зразків.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Найістотнішим аспектом дії важких металів на живі організми є здатність утворювати комплекси з іншими фізіологічно активними речовинами (білками, вітамінами, ферментами, амінокислотами, пептидами та гормонами). Завдяки цим особливостям біогенні важкі метали підвищують опір до зовнішніх несприятливих факторів, активізують процес фагоцитозу, зумовлюють антиоксидантний ефект та здійснюють значний вплив на ріст і розвиток організму [3].

Моніторинг підземних вод та порівняння середнього вмісту біогенних (купрум, цинк) та небіогенних (плюмбум, кадмій) важких металів у воді колодязів та артезіанських свердловин сільських населених пунктів Рівненщини здійснювали з метою виявлення фактичних рівнів забруднення ґрунтових вод та прийняття рішень щодо охорони водних джерел.

Порівнюючи отримані результати (рис. 1–5) підземних вод у досліджуваних районах, можна зробити певні висновки.

**Вміст важких металів у воді колодязів.** Найвищі концентрації  $\text{Cu}^{2+}$  у підземних водах с. Садове зафіксовано у 2012 р. і 2014 р., що становить 0,0126 мг/дм<sup>3</sup> та 0,0140 мг/дм<sup>3</sup> відповідно (див. рис. 1). А найнижчий вміст даного хімічного елементу виявлено у 2015 р., що сягає 0,0055 мг/дм<sup>3</sup>. Однак його концентрація у воді колодязів с. Жалянка навіть ще менша, ніж у воді колодязів с. Садове. Так, найвищий вміст  $\text{Cu}^{2+}$  у воді колодязів с. Жалянка виявлено у 2012 р., що становить 0,0100 мг/дм<sup>3</sup>. Також упродовж наступних років (2013–2018 рр.) концентрація  $\text{Cu}^{2+}$  у воді колодязів с. Жалянка зменшується та варіює у межах 0,0040–0,0064 мг/дм<sup>3</sup>.

У підземних водах с. Ючин зафіксовано вищі концентрації  $\text{Cu}^{2+}$ , ніж у водах сіл Садове та Жалянка. Так, уміст  $\text{Cu}^{2+}$  у 2012 р. становить 0,0149 мг/дм<sup>3</sup>, далі знижується у 2013 р. до 0,0125 мг/дм<sup>3</sup> та досягає най-

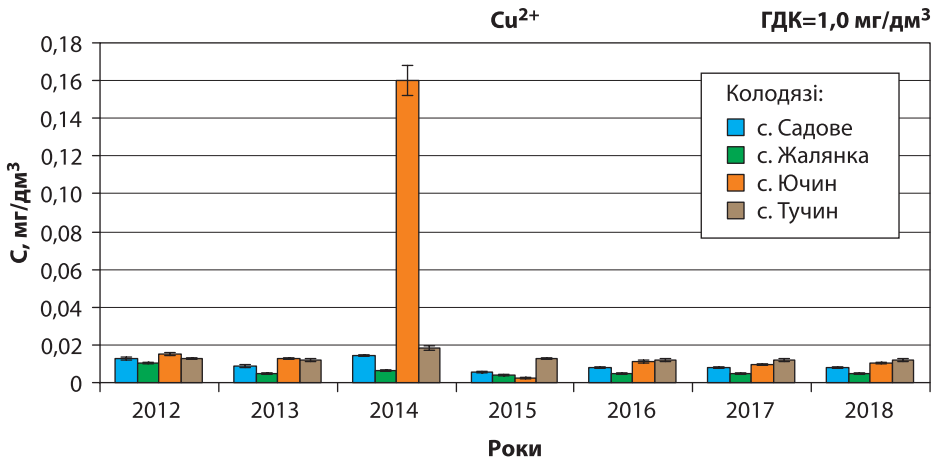


Рис. 1. Динаміка вмісту  $\text{Cu}^{2+}$  у підземних водах сіл Рівненщини

вищої за весь період дослідження концентрації у 2014 р. ( $0,1600 \text{ мг/дм}^3$ ).

Щодо вмісту  $\text{Cu}^{2+}$  у воді колодязів с. Тучин, то варто зауважити, що різких коливань показників не зафіксовано. Зокрема, концентрація  $\text{Cu}^{2+}$  у 2012–2013 рр. змінюється в межах  $0,0120$ – $0,0125 \text{ мг/дм}^3$ . Найвищий вміст  $\text{Cu}^{2+}$  у воді колодязів с. Тучин виявлено у 2014 р., що становить  $0,0180 \text{ мг/дм}^3$ . Упродовж 2015–2018 рр. концентрація  $\text{Cu}^{2+}$  у воді колодязів с. Тучин практично не змінюється та сягає  $0,0120$ – $0,0130 \text{ мг/дм}^3$ .

Варто зауважити, що найнижчий вміст  $\text{Cu}^{2+}$  зафіксовано у 2015 р. в усіх колодязях, за винятком с. Тучин. Високі концентрації  $\text{Cu}^{2+}$  спостерігалось у 2014 р. у більшості колодязів, за винятком с. Жаліанка, однак, перевищень нормативних показників упродовж дослідження не виявлено (ГДК(Cu)= $1,0 \text{ мг/дм}^3$ ).

Відомо, що потрапляння  $\text{Cu}^{2+}$  до водних об'єктів найчастіше зумовлено інтенсивним використанням пестицидів та фунгіцидів. Колодязі сіл Садове, Жаліанка, Ючин та Тучин розміщені досить близько до земельних угідь, які постійно чи систематично обробляються та використовуються під посіви сільськогосподарських культур. Тому необґрунтоване застосування добрив для підвищення врожайності культур та неправильне використання пестицидів із метою

знищення, регуляції та припинення розвитку шкідливих організмів, призводить до потрапляння важких металів, у т. ч. і купруму, до ґрунтів та водних об'єктів. Окрім того, збільшення концентрації купруму може відбуватися внаслідок інтенсивного використання препаратів на присадибних ділянках для захисту плодкових дерев від хвороб і шкідників не лише навесні, але й упродовж року. Також,  $\text{Cu}^{2+}$  може надходити з промисловими стоками та внаслідок використання стічних вод для зрошення [18].

Дослідження води також характеризувалося на вміст цинку. Найвищі концентрації останнього зафіксовано у 2012 р. у підземних водах сіл Садове та Жаліанка, що становить  $0,1800 \text{ мг/дм}^3$  та  $0,3400 \text{ мг/дм}^3$  відповідно, а найнижчі — у 2013 р., що сягають  $0,0200 \text{ мг/дм}^3$  й  $0,0100 \text{ мг/дм}^3$  відповідно (див. рис. 2). Окрім того, в 2014 р. у воді колодязів цих двох сіл концентрація  $\text{Zn}^{2+}$  збільшувалася у 4 та 17 разів порівняно з попереднім роком.

Щодо підземних вод у селах Ючин та Тучин, то в них спостерігаються подібні закономірності щодо зміни вмісту  $\text{Zn}^{2+}$ . Так, концентрація останнього у 2013 р. знижується до 8,8 та 6,0 разів відповідно. Загалом, істотних змін концентрації даного важкого металу впродовж 2016–2018 рр. у воді колодязів не виявлено.

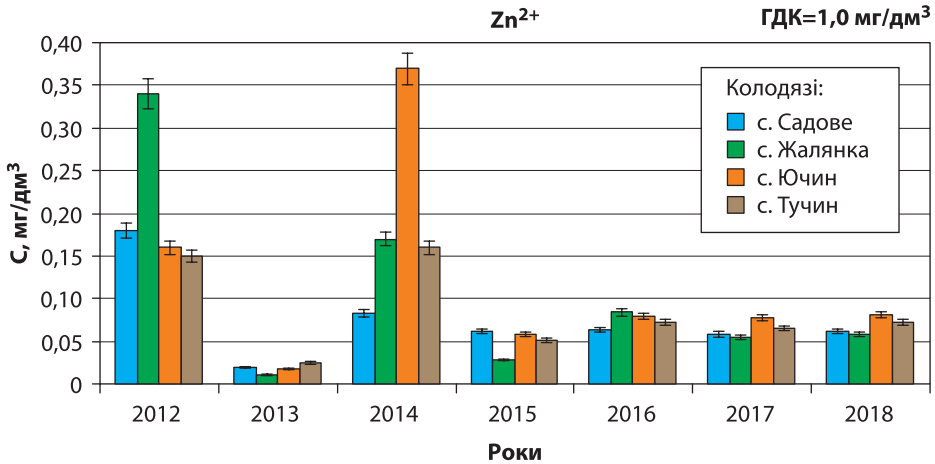


Рис. 2. Динаміка вмісту  $Zn^{2+}$  у підземних водах сіл Рівненщини

Слід зауважити, що найнижчі концентрації  $Zn^{2+}$  у воді досліджених колодязів зафіксовано у 2013 р. Найвищий вміст  $Zn^{2+}$  у воді колодязів сіл Садове та Жаліанка виявлено у 2012 р., сіл Ючин та Тучин — у 2014 р. Однак перевищень гранично допустимих концентрацій  $Zn^{2+}$  не зафіксовано (ГДК=1,0 мг/дм<sup>3</sup>).

Відомо, що цинк — другий за поширеністю мікроелемент, який надходить у водні об'єкти зі стічними водами металургійних комбінатів, гальванічних цехів машинобудівної та електротехнічної промисловості, збагачувальних підприємств, виробництва мінеральних фарб, заводів мінеральних добрив, внаслідок руйнування і розчинення мінералів та гірських порід. Ймовірними джерелами потрапляння елемента до підземних вод досліджуваних колодязів є застосування добрив для позакореневого підживлення культур та для передпосівної обробки їх посівного матеріалу, що містять у своєму складі цинк. Окрім того, значні концентрації даного хімічного елемента можуть надходити до водних об'єктів з атмосферними опадами [7; 19].

Ще одним важким металом, який характеризується високою токсичністю та потребує особливого контролю в усіх водних об'єктах, є свинець. Концентрація останнього у воді колодязів с. Садове у 2012–2013 рр. варіює в межах 0,0310–

0,0350 мг/дм<sup>3</sup>, однак перевищення ГДК незначне (див. рис. 3). Найвищий вміст  $Pb^{2+}$  у підземних водах с. Садове виявлено у 2014 р., що становить 0,041 мг/дм<sup>3</sup> та перевищує ГДК у 1,37 раза (ГДК=0,03 мг/дм<sup>3</sup>). Впродовж 2015–2018 рр. вміст хімічного елемента змінюється в межах 0,0300–0,0306 мг/дм<sup>3</sup>.

Подібно результатів щодо цинку, також у 2012 і 2014 рр. у підземних водах сіл Ючин та Тучин вміст п्लомбуму сягав до 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Впродовж 2015–2018 рр. вміст  $Pb^{2+}$  у воді колодязів досліджуваних сіл змінюється в межах 0,0270–0,0272 мг/дм<sup>3</sup> та 0,0380–0,0500 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Крім цього, в с. Тучин найвища концентрація  $Pb^{2+}$  у 2014 р. сягає 0,0620 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищувала ГДК у 2,1 раза.

Загалом, найвищі концентрації даного важкого металу впродовж усього періоду дослідження виявлено в 2014 р. у воді колодязів сіл Садове, Жаліанка та Тучин, а у 2012 і 2016 рр. — у воді колодязів с. Ючин.

Істотними джерелами надходження п्लомбуму до водних об'єктів є стічні води промислових та комунальних підприємств, спалювання вугілля та вихлопні гази двигунів. Найімовірнішими причинами, що призводять до потрапляння  $Pb^{2+}$  у воду колодязів, є продукти згоряння дизельного палива та вплив діючого військового

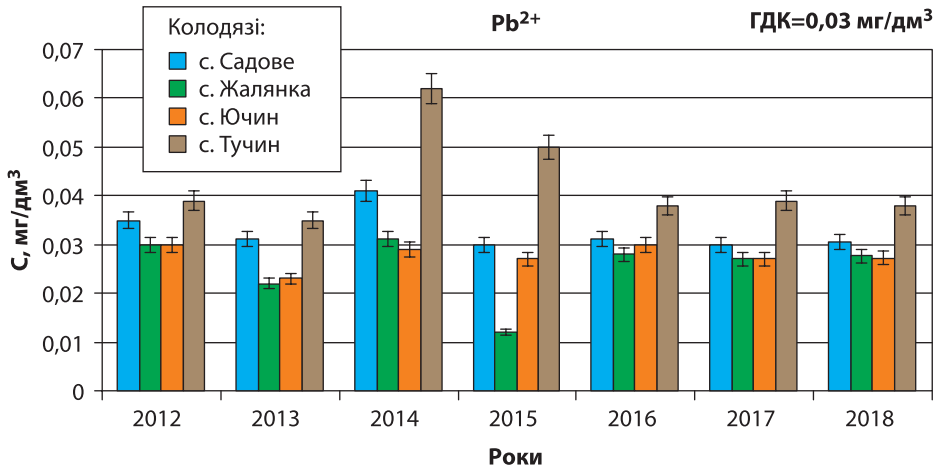


Рис. 3. Динаміка вмісту Pb<sup>2+</sup> у підземних водах сіл Рівненщини

полігону с. Тучин. Pb<sup>2+</sup> має тривалий період напіввиведення, тому накопичується в різних середовищах. Його надходження з вихлопними газами двигунів відбувається постійно, оскільки усі сільські населені пункти розташовані поблизу автомагістралі Чоп–Київ, м. Рівне та смт Гоща. Крім того, проведення тренувань на діючому військовому полігоні с. Тучин передбачає використання різного виду озброєння, що призводить до забруднення важкими металами ґрунтів та водних об’єктів [6; 20].

Серед важких металів високу токсичність здатен проявляти також кадмій. Кон-

центрація останнього у підземних водах с. Садове впродовж 2012–2014 рр. варіює у межах 0,0022–0,0026 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 2,2–2,6 раза (ГДК=0,001 мг/дм<sup>3</sup>) (див. рис. 4). У 2014 р. було виявлено найвищий вміст Cd<sup>2+</sup> у воді даного колодязя, що становить 0,0038 мг/дм<sup>3</sup> та перевищує ГДК у 3,8 раза. Впродовж 2016–2018 рр. концентрація Cd<sup>2+</sup> у воді колодязів с. Садове варіює в межах 0,0016–0,0019 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 1,6–1,9 раза.

Також перевищення ГДК Cd<sup>2+</sup> зафіксовано у воді колодязів с. Жалянка. Так, у 2012–2014 рр. уміст кадмію варіює від

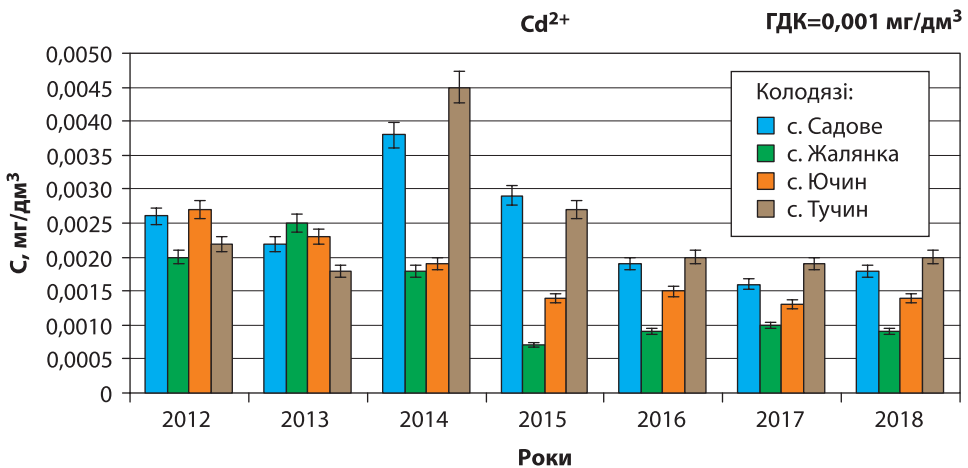


Рис. 4. Динаміка вмісту Cd<sup>2+</sup> у підземних водах сіл Рівненщини

0,0018 до 0,0025 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 1,8–2,5 раза. А впродовж наступних 2015–2018 рр. уміст Cd<sup>2+</sup> змінюється в межах 0,0007–0,0010 мг/дм<sup>3</sup> та знаходиться в межах ГДК.

Щодо с. Ючин, то концентрація Cd<sup>2+</sup> у підземних водах у 2012 р. сягає 0,0027 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 2,7 раза. У наступні роки дослідження вміст кадмію зменшується, хоча і перевищує ГДК. Зокрема, у 2013 і 2014 рр. концентрація Cd<sup>2+</sup> становить 0,0023 мг/дм<sup>3</sup> і 0,0019 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 2,3 і 1,9 раза відповідно. Впродовж 2015–2018 рр. вміст Cd<sup>2+</sup> змінюється в межах 0,0013–0,0015 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує нормативні показники.

Перевищення ГДК зафіксовано впродовж усього періоду дослідження у воді колодязів с. Тучин. У 2012–2014 рр. концентрація кадмію у воді колодязів с. Тучин варіює в межах 0,0018–0,0045 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 1,8–4,5 раза. Впродовж 2016–2018 рр. концентрація Cd<sup>2+</sup> у воді колодязів с. Тучин змінюється в межах 0,0019–0,0027 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 1,9–2,7 раза.

Загалом, перевищення ГДК Cd<sup>2+</sup> виявлено впродовж усього періоду дослідження у воді колодязів трьох сіл, зокрема Садове, Ючин та Тучин. А у воді колодязів с. Жаллянка перевищення ГДК зафіксовано впродовж 2012–2014 рр.

Відомо, що основними джерелами надходження кадмію у водні об'єкти є промисловість (виробництво барвників, нікель-кадмієвих акумуляторів, пластмас, добрив, антикорозійного покриття металів), сільське господарство (інтенсивне використання добрив і пестицидів, стічних вод для іригаційних робіт), спалювання деревини та побутових відходів, атмосферні опади, продукти згоряння дизельного палива [6; 21; 22]. Перевищення ГДК кадмію у воді колодязів усіх населених пунктів свідчить про забруднення елементом значної території. Вагомими чинниками надходження кадмію є використання фосфатних та інших добрив, які містять високі концентрації металу, вихлопні гази автотранспортних засобів та діючий полігон для військових навчань і випробувань різних видів озброєння у с. Тучин.

**Вміст важких металів у воді артезіанських свердловин.** Підвищені концентрації важких металів можуть містити підземні води більш глибоководних горизонтів, що пов'язано з геологічними особливостями територій їхнього залягання. Однак концентрація усіх досліджених важких металів у воді артезіанських свердловин с. Тучин не перевищує ГДК. Загалом, вміст Cu<sup>2+</sup> у воді артезіанських свердловин с. Тучин у 2012 р. сягає 0,0086 мг/дм<sup>3</sup>, у 2013 р. — 0,0150, а у 2014 р. — 0,0090 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 5).

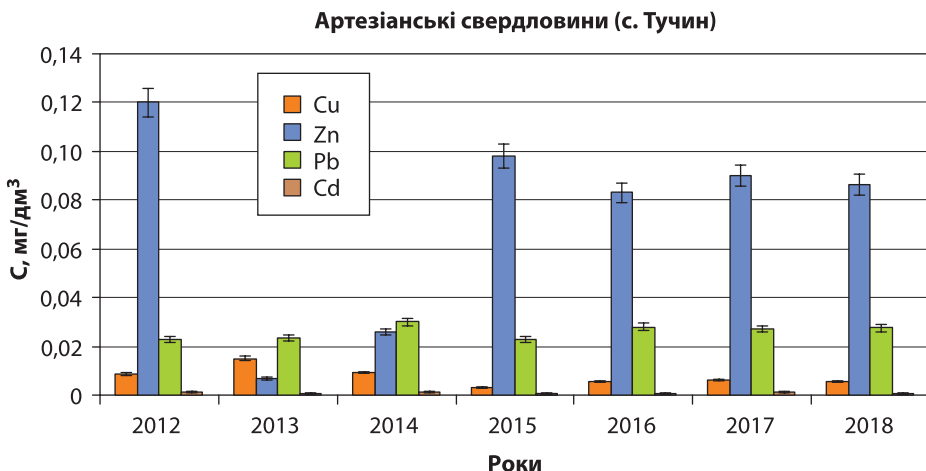


Рис. 5. Динаміка вмісту важких металів у воді артезіанських свердловин с. Тучин

Впродовж 2015–2018 рр. концентрація купруму варіює в межах 0,0028–0,0059 мг/дм<sup>3</sup>. У воді артезіанських свердловин найвищі та найнижчі концентрації цинку зафіксовано у 2012 і 2013 рр., що становлять 0,1200 мг/дм<sup>3</sup> і 0,0068 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. У 2014 р. концентрація цинку зростає у 3,8 раза, порівняно з попереднім роком, та сягає 0,0260 мг/дм<sup>3</sup>. Упродовж 2015–2018 рр. уміст Zn<sup>2+</sup> у воді артезіанських свердловин с. Тучин варіює в межах 0,0830–0,0980 мг/дм<sup>3</sup>.

Найнижчий вміст Pb<sup>2+</sup> у воді артезіанських свердловин с. Тучин виявлено у 2012 р. та 2015 р., що становить 0,0230 мг/дм<sup>3</sup>, а найвищий — у 2014 р., що сягає 0,0300 мг/дм<sup>3</sup>. Впродовж 2016–2018 рр. вміст Pb<sup>2+</sup> у воді артезіанських свердловин с. Тучин істотно не змінюється та варіює в межах 0,0270–0,0280 мг/дм<sup>3</sup>. Найвищу концентрацію Cd<sup>2+</sup> у воді артезіанських свердловин виявлено у 2012 р., 2014 р., 2017 р., що має показники 0,0010 мг/дм<sup>3</sup>, а найнижчу — у 2013 р. — 0,0008 мг/дм<sup>3</sup>. У 2015 р., 2016 р. та 2018 р. концентрація кадмію становить 0,0009 мг/дм<sup>3</sup>.

Важливою умовою збереження здоров'я людей є використання лише якісної води. Згідно з отриманими результатами, якість питної води артезіанських свердловин с. Тучин є цілком придатною і безпечною для споживання та використання.

Тривале споживання питної води, що не відповідає якості за нормативними показниками, небезпечно для здоров'я людини, оскільки зумовлює виникнення нових чи загострення існуючих хронічних захворювань. Очевидно, що підвищені концентрації хімічних елементів, зокрема важких металів у питній воді зумовлюють не лише до певних фізіологічних змін, а й формування патологічних станів. Також негативний вплив на організм людини відчутний за нестачі біогенних металів у питній воді. Першими ознаками такої дії є загальна слабкість, порушення координації рухів та погіршення зору. Вже за доволі тривалого дефіциту елементів проявляються захворювання опорно-рухової, ендокрин-

ної, нервової та інших систем організму [3; 8].

Купрум — незамінний елемент для усіх живих організмів. Надважлива роль Cu<sup>2+</sup> у складі ферментів, що активізують антиоксидантний захист організму. З питною водою людина щодня споживає Cu<sup>2+</sup> 12,44%, з їжею — 87,06, з повітря потрапляє — 0,5% від загального його надходження. Біологічна засвоюваність купруму в шлунково-кишковому каналі сягає 10–30%. Високі концентрації Cu<sup>2+</sup> у живих організмах виявляють дуже рідко, оскільки він не проявляє кумулятивних властивостей та має відносно низьку токсичність. Така особливість пов'язана зі швидкістю поглинання, утримання та виведення купруму. Однак його високі концентрації викликають алергічні реакції та анемію, подразнюють слизові оболонки, негативно впливають на печінку, нирки, капіляри й центральну нервову систему [3; 6; 8; 23; 24].

У різноманітних біологічних процесах цинк виступає структурним, каталітичним, внутрішньоклітинним і міжклітинним сигнальним компонентом. Щодня з питною водою людина споживає 7,09% Zn<sup>2+</sup>, з їжею — 92,2, з повітря потрапляє — 0,71% від загального його надходження. Засвоюваність Zn<sup>2+</sup> у шлунково-кишковому каналі сягає 20–40%. Недостатня кількість цинку зумовлює захворювання нервової (полінейропатія), серцево-судинної (артеріальна гіпертензія, ішемічна хвороба) та ендокринної систем, деформацію кісток, погіршення зору тощо. Токсичність Zn<sup>2+</sup> проявляється за перевищення нормативних концентрацій, що пригнічують окиснювальні процеси, викликають анемію та функціональні розлади шлунково-кишкового каналу [8; 15; 19; 25].

Фізіологічна роль Pb<sup>2+</sup> в організмі так і не визначена. Зазвичай акцентовано на його канцерогенному та токсичному впливах. Відомо, що з питною водою людина щодня споживає 11,76% плумбуму, з їжею — 86,28, з повітря потрапляє — 1,96% від загального його надходження. Біологічна засвоюваність Pb<sup>2+</sup> у шлунково-кишковому каналі найменша серед



усіх металів та становить лише 0,4–0,7%. Однак, навіть за таких умов, перевищення ГДК  $Pb^{2+}$  є шкідливою для усіх живих організмів. Зокрема, надходження високих концентрацій плумбуму з питною водою зумовлює пригнічення ферментативних реакцій, порушення обміну речовин, роботи нирок, розвиток розсіяного склерозу, свинцевої енцефалонейропатії, погіршення психологічного стану та інших небезпечних для здоров'я наслідків. Особливо небезпечною є здатність плумбуму входити до складу кісткової системи, замінюючи кальцій [3; 8; 15; 25; 26].

Кадмій — це метал, який проявляє високу токсичність навіть за низьких концентрацій та надходить до організму через шлунково-кишковий канал, органи дихання та шкіру, а далі відбувається абсорбція  $Cd^{2+}$  безпосередньо у кров. Після потрапляння в кров більшість кадмію транспортується у зв'язаному вигляді з білками, такими як альбумін і металотіонеїн. Щодоби з питною водою людина споживає 7,36%  $Cd^{2+}$ , з їжею — 92,02, з повітря потрапляє — 0,62% від загального його надходження. Засвоюваність кадмію у шлунково-кишковому каналі сягає лише 4–5%. Однак хронічне отруєння  $Cd^{2+}$  призводить до пригнічення центральної нервової системи. Також негативно впливає на кістки, серцево-судинну та дихальну системи, викликаючи різні захворювання. Однією з найвідоміших є хвороба ітай-ітай, яка зумовлює низьку мінералізацію, розм'якшення кісток та відповідно високу частоту переломів [6; 8; 10; 14; 21; 22; 24].

Реакції рослин на високі чи низькі концентрації важких металів доволі різноманітні. Відомо, що рослини можуть акумулювати важкі метали у значно більших концентраціях, ніж вони присутні у середовищі їхнього проживання. Однією з причин такого накопичення є особливості використання цих елементів у фізіологічних процесах, а іншою — захист рослин від знищення шкідниками. Однак дуже високі концентрації важких металів все-таки негативно впливають на процес фотосинтезу та азотний обмін рослин, що

супроводжується зниженням вмісту хлорофілів і каротиноїдів, проявами хлорозу тощо. Також негативно впливає на рослини низький вміст важких металів. Типовими ознаками нестачі останніх є зниження росту і розвитку рослин.

Рослини також реагують на зміни концентрації купруму в середовищі. Найбільше високі концентрації  $Cu^{2+}$  впливають на азотний обмін рослин, мінеральне живлення, процеси росту, інтенсивність фотосинтезу й роботу ферментів. Підвищення у рослин вмісту цинку викликає хлороз, зміну метаболічних процесів, зниження вмісту  $Chl\ a$  і  $b$ , а також відношення  $a/b$ . Також негативно впливають на рослини і низькі концентрації цинку у тканинах, що порушують насамперед процеси фотосинтезу, дихання та азотного обміну [7].

Плюмбум — це токсичний для рослин, тварин, мікроорганізмів та людей елемент. Його висока токсичність виявлена і підтверджена для багатьох рослин. Насамперед, плумбум впливає на проростання насіння, ріст, процес фотосинтезу, мінеральне живлення, ферментативну активність рослин тощо. Ефекти дії плумбуму на рослини помітні вже за низьких концентрацій. Водночас завдяки клітинним механізмам, рослини можуть брати участь у детоксикації важких металів та проявляти високу стійкість до їхнього впливу. Зазвичай така особливість характерна для рослин-гіперконцентраторів і залежить від вмісту металу в середовищі та можливостей його акумуляції різними вегетативними органами [4].

Слід зазначити, що  $Cd^{2+}$  змінює метаболізм і функції купруму, цинку, феруму та кальцію. Внаслідок сильної фітотоксичної дії кадмію відбувається пригнічення росту рослин, що часто зумовлює їх загибель. Першими симптомами токсичного впливу є затримка росту та хлороз у рослин [5; 13].

Отже, для зменшення концентрацій важких металів у воді колодязів необхідно обґрунтовано використовувати добрива і пестициди на всіх прилеглих територіях, обов'язково стежити за термінами їх вне-

сення, враховуючи вегетаційний період, стан та розвиток рослин, погодні умови тощо. Також важливо оцінити ступінь враження шкідниками та хворобами плодів дерева на присадибних ділянках і не застосовувати хімічні засоби без потреби з метою профілактики. Щоб зменшити потрапляння важких металів, що надходять із вихлопними газами автотранспортних засобів, варто поступово переходити на електроавтомобілі або ж використовувати за можливості більш якісне пальне.

### ВИСНОВКИ

Вміст  $\text{Cu}^{2+}$  та  $\text{Zn}^{2+}$  у воді колодязів сільських населених пунктів Рівненщини впродовж усього періоду дослідження знаходиться в межах оптимальних значень. Виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій  $\text{Pb}^{2+}$  у воді колодязів сіл Садове (у 1,02–1,37 раза) та Тучин

(у 1,17–2,07 раза), а  $\text{Cd}^{2+}$  у воді колодязів сіл Садове (у 1,6–3,8 раза), Жаліянка (у 1,8–2,5 раза), Ючин (у 1,3–2,7 раза) та Тучин (у 1,8–4,5 раза). Найзабрудненішою є вода колодязів с. Тучин. Тривале її використання призведе до виникнення гострих та хронічних захворювань. Погіршення якості води колодязів відбувається внаслідок використання добрив, потрапляння продуктів згоряння дизельного палива та впливу військового полігону.

Глибокі підземні водні горизонти є більш захищеними від подібних забруднень, тому вода артезіанських свердловин с. Тучин, за вмістом усіх важких металів, відповідає нормативним показникам і придатна до споживання та використання. Важливо реалізувати заходи для покращання якості води колодязів, у яких зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$ .

### ЛІТЕРАТУРА

- Петрук В.Г., Гайдей Ю.А., Вовк О.С. Аналіз стану якості питної води у колодязях м. Вінниця та Вінницької області. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2011. № 8 (48). С. 119–123.
- Давидюк Г.В., Шкарівська Л.І., Клименко І.І., Довбаш Н.І. Моніторингові дослідження природних вод у межах сільського населеного пункту Київської області. *Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International scientific and practical conference (May 25–27, 2022)*. Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2022. С. 24–26.
- Трахтенберг І.М., Чекман І.С., Линник В.О. та ін. Взаємодія мікроелементів: біологічний, медичний і соціальний аспекти. *Вісник Національної академії наук України*. 2013. № 6. С. 11–20.
- Askova D.G. Heavy metals and their general toxicity on plants. *Plant Science Today*. 2018. Vol. 5 (1). P. 15–19. DOI: <https://dx.doi.org/10.14719/pst.2018.5.1.355>
- Zhang J. and Shu W.S. Mechanisms of heavy metal cadmium tolerance in plants. *Zhi wu Sheng li yu fen zi Sheng wu xue bao. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*. 2006. Vol. 32 (1). P. 1–8.
- Коваль В.В., Наталочка В.О., Ткаченко С.К., Міненко О.В. Динаміка забруднення вод сільськогосподарського призначення солями важких металів в умовах Полтавщини. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 1. С. 40–44. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.10>
- Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: моногр. Київ: Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.
- Андрусишина І.М. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури). Вода і водоочисні технології. *Науково-технічні вісті*. 2015. № 1 (16). С. 22–31.
- Федорова Г.В. Практикум з біогеохімії для екологів: навч. посіб. Київ: КНТ, 2007. 288 с.
- Delgado-González C.R. et al. Advances and applications of water phytoremediation: a potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18 (10). P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105215>
- Яковишина Т.Ф. Екологічне оцінювання техногенезу важких металів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 3 (204). С. 28–35.
- Бриндзя І.В., Грубінко В.В. Сезонна динаміка вмісту важких металів у воді колодязів на території Прикарпаття. *Науковий вісник Чернівецького університету. Сер.: Біологія (Біологічні системи)*. 2014. № 6 (2). С. 197–204.
- Нечитайло Л.Я. Вміст кадмію і цинку в екосистемі Прикарпаття та вплив кадмієвої інтоксикації на мікроелементний статус організму експериментальних тварин. *Медицина та клінічна хімія*. 2018. Т. 20. № 4. С. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2018.v0.i4.9797>
- Войтенко Л., Бузинна О., Жук Т. та ін. Якість води децентралізованих джерел аграрних територій України. *Проблеми та перспективи розвитку*

- науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії: матеріали XI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Переяслав-Хмельницький, 27–28 лют. 2015). Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 21–23.
15. Шумидай І.В., Єрмішев О.В., Манішевська Н.М. Екологічна оцінка забруднення важкими металами підземних вод Київщини. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 1. С. 88–97. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244>
  16. Чоботар В. Порівняльна оцінка якості питної води окремих населених пунктів Могилів-Подільського району Вінницької області. *Науковий журнал «Біологічні системи: теорія та інновації»*. 2020. Т. 11. № 3. С. 63–73. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2020.03.007>
  17. Набиванєць Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванєць Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка, 2007. 456 с.
  18. Adrees M., Ali Sh., Rizwan M. et al. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22 (11). P. 8148–8162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5>
  19. Kambe T., Tsuji T., Hashimoto A. and Itsumura N. The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. *Physiological reviews*. 2015. Vol. 95 (3). P. 749–784. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2014>
  20. Bordeleau G., Martel R., Ampleman G. and Thiboutot S. Environmental impacts of training activities at an air weapons range. *Journal of environmental quality*. 2008. Vol. 37 (2). P. 308–317. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0197>
  21. Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup Ch. et al. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of occupational Medicine and Toxicology*. 2006. № 1 (1). P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22>
  22. Антоняк Г.Л., Білецька Л.П., Бабич Н.А. Кадмій в організмі людини і тварин. Надходження до клітин і акумуляція. *Біологічні студії*. 2010. № 4 (2). С. 127–140.
  23. Athar M. and Vohora S.B. Heavy metals and environment. In: Man and environment series (Ed: P.K Ray). Wiley Eastem Ltd. New Delthi, 1995. P. 1–195.
  24. Sharma R.K. and Agrawal M. Biological effects of heavy metals: an overview. *Journal of environmental Biology*. 2005. Vol. 26 (2). P. 301–313.
  25. Надточій П.П., Мислява Т.М. Екологічна безпека: навч. посіб. Житомир: вид-во «ДАЕУ», 2008. 284 с.
  26. Martin S. and Griswold W. Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*. 2009. № 15. P. 1–6.

## REFERENCES

1. Petruk, V.H., Haidei, Yu.A. & Vovk, O.S. (2011). Analiz stanu yakosti pytnoi vody u kolodiazakh m. Vinnytsi ta Vinnytskoi oblasti [Analysis of the quality of drinking water in wells in the city of Vinnytsia and Vinnytsia region]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu — Collection of scientific works of the Vinnytsia National Agrarian University*, 8 (48), 119–123 [in Ukrainian].
2. Davydiuk, H.V., Shkarivska, L.I., Klymenko, I.I. & Dovbush, N.I. (2022). *Monitorynhovi doslidzhennia pryrodnykh vod u mezhhakh silskoho naselenoho punktu Kyivskoi oblasti [Monitoring studies of natural waters within a rural settlement of the Kyiv region]*. *Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International scientific and practical conference* (pp. 24–26). Perfect Publishing. Vancouver. Canada [in Ukrainian].
3. Trakhtenberh, I.M., Chekman, I.S., Linnyk, V.O. et al. (2013). Vzaemodiia mikroelementiv: biolohichniy, medychnyi i sotsialnyi aspekty [Interaction of microelements: biological, medical, and social aspects]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy — Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 11–20 [in Ukrainian].
4. Ackova, D.G. (2018). Heavy metals and their general toxicity on plants. *Plant Science Today*, 5 (1), 15–19. DOI: <https://dx.doi.org/10.14719/pst.2018.5.1.355> [in English].
5. Zhang, J. & Shu, WS. (2006). Mechanisms of heavy metal cadmium tolerance in plants. *Zhi wu Sheng li yu fen zi Sheng wu xue xue bao — Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 32 (1), 1–8 [in Chinese].
6. Koval, V.V., Natalochka, V.O., Tkachenko, S.K. & Minenko, O.V. (2012). Dynamika zabrudnennia vod silskohospodarskoho pryznachennia soliamy vazhkykh metaliv v umovakh Poltavshchyny [Dynamics of contamination of waters of agricultural setting by heavy metals of Poltav region]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii — Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 40–44. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.10> [in Ukrainian].
7. Dudnyk, S.V. & Yevtushenko, M.Iu. (2013). *Vodna toksykolohiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhnie praktychne zastosuvannia: monohrafiia [Water toxicology: basic theoretical positions and their practical application]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Andrusyshyna, I.M. (2015). Vplyv mineralnoho skladu pytnoi vody na stan zdorovia naselennia (ohlid literatury) [The influence of the mineral composition of drinking water on the health of the population (literature review)]. *Voda i vodochysni tekhnolohii. Naukovotekhnichni visti — Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 1 (16), 22–31 [in Ukrainian].
9. Fedorova, H.V. (2007). *Praktykum z bioheokhimii dia ekolohiv [Workshop on biogeochemistry for ecologists]*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Delgado-González, C.R. et al. (2021). Advances and applications of water phytoremediation: a potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water. *International Journal*

- of *Environmental Research and Public Health*, 18 (10), 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18105215> [in English].
11. Yakovyshyna, T.F. (2015). Ekolohichne otsiniuvannia tekhnohenezu vazhkykh metaliv [Environmental assessment of the technogenesis of heavy metals]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury — Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 3 (204), 28–35 [in Ukrainian].
  12. Bryndzia, I.V. & Grubinko, V.V. (2014). Sezonna dynamika vmistu vazhkykh metaliv u vodi kolodiaziv na terytorii Prykarpattia [Seasonal dynamics of heavy metals content in the well water of precarpathian region]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. Seria: Biolohiia (Biological systems) — Scientific Herald of Chernivtsy University. Series: Biology (Biological Systems)*, 6 (2), 197–204 [in Ukrainian].
  13. Nechytailo, L.Ia. (2018). Vmist kadmiu i tsynku v ekosystemi Prykarpattia ta vplyv kadmiivoi intoksykatsii na mikroelementnyi status orhanizmu eksperymentalnykh tvaryn [The content of cadmium and zinc in the ecosystem of Ciscarpathian region and the impact of cadmium intoxication on the trace element status of the body of experimental animals]. *Medychna ta klinichna khimiia — Medical and Clinical Chemistry*, 20 (4), 60–65. DOI: <https://doi.org/10.11603/mch.2410-681X.2018.v0.i4.9797> [in Ukrainian].
  14. Voitenko, L., Buzyinna, O., Zhuk, T. et al. (2015). Yakist vody detsentralizovanykh dzherel ahrarykh terytorii Ukrainy [Water quality of decentralized sources of agricultural territories of Ukraine]. *Problemy ta perspektyvy rozvytku nauky na pochatku tretoho tysiacholittia u krainakh Yevropy ta Azii: materialy XI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii [Problems and prospects of the development of science at the beginning of the third millennium in the countries of Europe and Asia: materials of the XI International scientific and practical internet conference]*. (pp. 21–23). Pereyaslav-Khmelnytskyi [in Ukrainian].
  15. Shumyhai, I.V., Yermishev, O.V. & Manishevskia, N.M. (2021). Ekolohichna otsinka zabrudnennia vazhkykh metalamy pidzemnykh vod Kyivshchyny [Environmental assessment of pollution heavy metals in groundwater of Kyiv]. *Ahroekolohichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 88–97. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244> [in Ukrainian].
  16. Chobotar, V. (2020). Porivnialna otsinka yakosti pytnoi vody okremykh naselenykh punktiv Mohyliv Podilskoho raionu Vinnyskoi oblasti [Comparative assessment of drinking water quality of individual settlements of Mogils-Podilsky district of Vinnitsa]. *Naukovyi zhurnal Biolohichni systemy: teoriia ta innovatsii — Scientific journal Biological systems: theory and innovation*, 11 (3), 63–73. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2020.03.007> [in Ukrainian].
  17. Nabyvanets, B.I., Osadchyi V.I., Osadcha, N.M. & Nabyvanets, Yu.B. (2007). *Analitychna khimiia pov-erkhnevyykh vod [Analytical chemistry of surface waters]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
  18. Adrees, M., Ali, Sh., Rizwan, M. et al. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (11), 8148–8162. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5> [in English].
  19. Kambe, T., Tsuji, T., Hashimoto, A. & Itsumura, N. (2015). The physiological, biochemical, and molecular roles of zinc transporters in zinc homeostasis and metabolism. *Physiological reviews*, 95 (3), 749–784. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2014> [in English].
  20. Bordeleau, G., Martel, R., Ampleman, G. & Thiboutot, S. (2008). Environmental impacts of training activities at an air weapons range. *Journal of environmental quality*, 37 (2), 308–317. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0197> [in English].
  21. Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, Ch. et al. (2006). The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of occupational Medicine and Toxicology*, 1 (1), 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1186/1745-6673-1-22> [in English].
  22. Antoniuk, H.L., Biletska, L.P. & Babich, N.A. (2010). Kadmiu v orhanizmi liudyny i tvaryn. Nadkhodzhennia do klityn i akumulatsiia [Cadmium in human and animal organism. Intake and accumulation in cells]. *Biolohichni studii — Studia Biologica*, 4 (2), 127–140 [in Ukrainian].
  23. Athar, M. & Vohora, S.B. (1995). Heavy metals and environment. In: *Man and environment series* (Ed: P.K Ray). Wiley Eastem Ltd. New Delhi. 1–195 [in English].
  24. Sharma, R.K. & Agrawal, M. (2005). Biological effects of heavy metals: an overview. *Journal of environmental Biology*, 26 (2), 301–313 [in English].
  25. Nadtochiy, P.P. & Myslyva, T.M. (2008). *Ekolohichna bezpeka [Ecological safety]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
  26. Martin, S. & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1–6 [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 25.08.2022