



УДК 543.42+628.16

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.11>

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ МЕТОДОМ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЇ СПЕКТРОМЕТРІЇ

К. А. Нестерова<sup>1</sup>, О. І. Хижан<sup>2</sup>, А. Г. Галстян<sup>3</sup>

Регулярний моніторинг елементного складу водних ресурсів є необхідним для підтримки екологічного балансу та охорони навколишнього середовища. Забруднення води важкими металами перетворилося на глобальну проблему, особливо небезпечну через їх токсичність для живих організмів навіть у надзвичайно низьких концентраціях. Тому ефективне та надійне виявлення важких металів у навколишній воді є дуже важливим. Дослідження проведено в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, акредитованій за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Метою дослідження було визначення вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, у водних зразках з різних джерел Київської області для оцінки їх якості та відповідності нормативним стандартам. Одним із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, є атомно-емісійна спектроскопія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та оперативністю, що робить його придатним для аналізу неорганічних речовин у водних зразках. На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води зроблено наступні висновки, що концентрації кобальту (Co), кадмію (Cd), свинцю (Pb), нікелю (Ni), хрому (Cr) та міді (Cu) у зразках води є незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Згідно проведених аналізів, концентрації цинку (Zn), мангану (Mn), молибдену (Mo), арсену (As), вісмуту (Bi) та ртуті (Hg), також є в межах встановлених нормативів. Результати дослідження показують, що водні об'єкти Київської області знаходяться у стабільному стані з точки зору вмісту важких металів. Постійний контроль дозволяє своєчасно виявляти та реагувати на можливі зміни у складі води, запобігаючи негативним наслідкам для екосистем та здоров'я населення.

**Ключові слова:** важкі метали, вода, елементний склад, забруднення.

<sup>1</sup> аспірант кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: nesterova.katarzyna@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-4081-4570

<sup>2</sup> доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: olenakhzyhan@nubip.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-2986-3251

<sup>3</sup> завідувач кафедри загальної, органічної та фізичної хімії  
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)  
e-mail: aggaalst@nubip.edu.ua  
ORCID: 0000-0001-8475-8166

## DETERMINATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF WATER BODIES OF THE KYIV REGION BY THE METHOD OF ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

**K. A. Nesterova, O. I. Khyzhan, A. G. Galstyan.**

*Regular monitoring of the elemental composition of water resources is necessary to maintain the ecological balance and protect the environment. Water pollution by heavy metals has become a global and particularly serious problem due to toxicity to living organisms even at very low concentrations. Therefore, effective and reliable detection of heavy metals in ambient water is very important. The study was conducted in the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of the NUBiP of Ukraine, accredited according to the DSTU ISO/IEC 17025 standard. The purpose of the study was to determine the content of chemical elements, including heavy metals, in water samples from various sources in the Kyiv region to assess their quality and compliance with regulatory standards. One of the modern methods that has been used for the qualitative and quantitative assessment of the content of chemical elements, including heavy metals, is atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-AES), which is characterized by high sensitivity, accuracy and responsiveness, which makes it suitable for the analysis of inorganic substances in water samples. Based on the comparative analysis of the elemental composition of the water samples, the following conclusions were drawn that the concentrations of cobalt (Co), cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr) and copper (Cu) in the water samples are negligible. This indicates that the level of these metal ions in the water is acceptable and does not exceed the normative values. According to the analyzes carried out, the concentrations of zinc (Zn), manganese (Mn), molybdenum (Mo), arsenic (As), bismuth (Bi) and mercury (Hg) are within the established standards. The results of the study show that the water bodies of the Kyiv region are in a stable state from the point of view of the content of heavy metals. Continuous monitoring allows timely detection and response to possible changes in water composition, preventing negative consequences for ecosystems and public health.*

**Key words:** *elemental composition, heavy metals, pollution, water.*

### **Вступ**

Посилення антропогенної діяльності призвело до забруднення водних об'єктів, що безумовно має значний вплив на водне біорізноманіття та призводить до дефіциту води. Не зважаючи на те, що хімічні речовини необхідні для нашого повсякденного життя, деякі з них становлять небезпеку для живих організмів. Точки надходження небезпечних речовин у поверхневі води включають сільське господарство, побутові скиди, промислові скиди, очисні споруди та атмосферні опади (через дощі і пил). Причому, сільське господарство є значним джерелом забруднення через використання пестицидів, гербіцидів та добрив, які змиваються дощем у річки і озера. Промислові скиди, що включають важкі метали, органічні речовини та інші шкідливі сполуки потрапляють у водні об'єкти під час виробничих процесів. Становити небезпеку можуть, навіть, атмосферні опади, що містять забруднюючі речовини з повітря, які також потрапляють у водні об'єкти. В зв'язку з цим, важливо впроваджувати ефективні заходи з моніторингу та контролю якості води з метою зменшення впливу забруднення на водні екосистеми і забезпечення безпеки водних ресурсів для майбутніх поколінь.

У Європейському Союзі діють Рамкова водна директива (2000/60/EC) (WFD), Директива про стандарти якості навколишнього середовища (2008/105/EC) (EQSD) та її нещодавня редакція Директиви 2013/39/EU. Стандарти якості навколишнього середовища (EQS) включають 45 хімічних речовин у поверхневих водах (річках, озерах, перехідних і прибережних водах). Важкі метали, пестициди, поліароматичні вуглеводні, сполуки, хлоралкани, полібромовані біфенілові ефіри, а також діоксини та діоксиноподібні сполуки включені до цього списку (O'Hara et al., 2021). Все більше занепокоєння викликає можливість так званих «коктейльних ефектів», за яких суміші цих речовин та інших хімічних речовин, наприклад, природних солей і органічних сполук, взаємодіють, що призводить до утворення токсичних сумішей (Luoa et al., 2021; O'Hara et al., 2021).

Антропогенні зміни впливають на всі водні об'єкти, і в останні роки склад підземних вод також помітно змінився (Lase et al., 2021). Незважаючи на те, що підземні води відносно добре захищені від забруднення, в них все одно можуть міститися забруднюючі речовини, включаючи важкі метали, у значних кількостях. Дослідження

показали, що вміст заліза та цинку у воді перевищує рекомендовані величини, тоді як концентрації інших токсичних речовин значно нижчі від граничних параметрів. Зокрема, питна вода з досліджуваних колодязів у Київській області відноситься до II стадії забруднення (Шумигай та ін., 2021). Вченими (Грубінко та ін., 2021) описано дослідження по забрудненню антропогенних водойм важкими металами, такими як залізо, кадмій, кобальт, марганець, мідь, ртуть, свинець, цинк тощо і встановлено, що вміст металів у воді має сезонні коливання. Збільшення вмісту важких металів пов'язане із вторинним забрудненням води в різні сезони року. Концентрація важких металів у донних відкладах часто перевищує фонову, що пригнічує процеси самоочищення у придонному шарі води. Метали, що містяться в кристалічній решітці мінералів, утримуються в донних відкладах найміцніше, тоді як метали, адсорбовані на поверхні частинок, утримуються найслабкіше. Високий вміст важких металів у мулі пов'язаний з формуванням комплексів з органічними речовинами природного походження навесні та із закінченням вегетаційного періоду взимку та восени, коли залишки організмів осідають на дно водойми, віддаючи біогенні елементи.

Дослідження (Гапій, 2023) водопровідної, криничної та води зі свердловин проводили в межах Львівської області. За підвищення рівня мінеральної частки у питній воді спостерігалось збільшення в ній концентрації важких металів – свинцю, кадмію, цинку та міді. Побутове доочищення питної води (криничної, зі свердловини та водопровідної) сприяло зниженню мінеральної її частки, що позитивно відобразилось і на зниженні в ній важких металів, зокрема, свинцю у 1,5–2,5 рази, кадмію у 1,6–2,0, цинку у 1,6–2,7 та міді у 1,9–3,0 рази.

Співіснування важких металів і органічних речовин у промислових стоках є серйозною проблемою, оскільки ці забруднювачі мають різний склад і властивості, що ускладнює їх ефективне видалення з води навіть застосуванням різноманітних технологій. Органічні сполуки та важкі метали часто існують у змішаній матриці у промислових відходах (Timothy et al., 2021). Було порівняно кілька потенційних матеріалів для процесу очищення і визначено, що тирса має хорошу структуру і придатна для процесів очищення води (Meez et al., 2021).

Дослідження (Lorena, 2021) демонструють адсорбційно-десорбційну поведінку важких металів у водних середовищах. Мінералогічний склад осадів виявився найважливішим фактором, що впливає на ці процеси, через його вплив на питому поверхню та ємність катіонного обміну. Тверді частинки органічних речовин виявилися найбільш впливовими в адсорбції важких металів у річковому середовищі. Позитивна взаємозалежність між зв'язуванням іонів та вивільненням важких металів вказує на значний вплив катіонного обміну на рухливість цих металів у водних середовищах. Вміст токсичних металів у поверхневих водоймах було досліджено на різних континентах та оцінено їхні середні концентрації. Найвищі допустимі значення вмісту токсичних металів у питній воді, рекомендовані ВООЗ: Cr (5 мкг/л), Mn і Fe (1000 мкг/л), Co і Cd (100 мкг/л), Ni (70 мкг/л), Cu (3000 мкг/л), Zn (5000 мкг/л), As (50 мкг/л) і Hg (1 мкг/л). Серед проаналізованих токсичних металів найвища концентрація Fe виявлена в Азії, Pb – в Південній Америці, Mn – в Океанії (Kumar, 2024). Існує декілька методів визначення важких металів у водному середовищі, але методика індуктивно-зв'язаної плазмової мас-спектрометрії (ICP-MS), є ефективним інструментом для дослідження впливу токсичних елементів на якість води та забезпечення здоров'я людини (Yüksel et al., 2021). Індуктивно-зв'язана плазмова мас-спектрометрія (ICP-MS) є сучасним методом, що дозволяє визначати надзвичайно низькі концентрації елементів у водних зразках, забезпечуючи високу точність та надійність результатів (Сахно, 2023).

#### **Матеріал і методи**

Дослідження проводили в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, акредитованій за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Одним із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, є атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, забезпечує точне визначення вмісту елементів завдяки високій роздільній здатності та мінімальній втраті аналіту. Дозволяє проводити швидкі аналізи і отримувати результати майже в реальному часі. Підготовку проб для визначення елементного складу води проводили згідно з ДСТУ ISO 11885:2005 (ISO

11885:1996, IDT) «Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою». Вимірювання елементного складу досліджуваних проб зразків води проводили на атомно-емісійному спектрофотометрі з індуктивно-зв'язаною плазмою, межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. В якості стандарту використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Mercks KGaA, Німеччина.

#### Результати та їх обговорення

Метою даного дослідження є вивчення елементного складу зразків проб води водоем регіону Київської області. В роботі проведено визначення вмісту елементів у водних зразках методом ICP-AES. Особливе значення для визначення концентрацій має використання методу ICP, який входить в декілька стандартів як ДСТУ, так і США, який характеризується високою чутливістю, точністю та здатністю одночасного визначення багатьох елементів. Досліджено вміст елементів (Ag, Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn, Be, Mo, Se, Ti, V, As, Hg, S, P) у водних зразках методом ICP-AES для оцінки рівня забруд-

нення та забезпечення екологічної безпеки. Зразки води фільтрували через мембранні фільтри для видалення зважених часток. Відфільтровані зразки піддавали кислотному розчиненню з використанням концентрованої нітратної кислоти для забезпечення повного розчинення елементів. Для калібрування приладу використовували серію стандартних розчинів з відомими концентраціями елементів. Калібрувальні розчини готували шляхом послідовного розведення багатоелементного стандартного розчину. Підготовлені зразки аналізували на приладі, де відбувається збудження атомів елементів. Збуджені атоми випромінюють світло з характеристичними довжинами хвиль, які детектуються спектрометром. Інтенсивність випромінювання пропорційна концентрації елементів у зразку. Отримані спектри аналізували за допомогою програмного забезпечення, яке порівнює інтенсивність сигналів з калібрувальною кривою для визначення концентрації елементів у зразках.

На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води, представлених у таблиці 1, можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів, кобальту (Co),

Таблиця 1

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону С

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
Кальцій, Ca	29,32	±6,26	0,01
Натрій, Na	21,22	±4,10	0,01
Магній, Mg	13,99	±2,91	0,01
Ферум, Fe	0,07	±0,05	0,01
Калій, K	6,92	±1,36	0,01
Стронцій, Sr	0,19	±0,05	0,01
Бор, B	0,07	±0,03	0,01
Барій, Ba	0,04	±0,01	0,01
Літій, Li	0,04	±0,01	0,01
Манган, Mn	0,014	±0,004	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Бісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd,	<0,001	-	0,001
Арсен, As,	<0,001	-	0,001
Селен, Se,	<0,001	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

кадмію (Cd), свинцю (Pb), нікелю (Ni), хрому (Cr) та міді (Cu). Концентрації цих елементів у зразках води виявляються незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Концентрації купруму (Cu), цинку (Zn) та мангану (Mn) є достатньо низькими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

Присутність цих мікроелементів у воді не перевищує допустимі рівні. Вміст молібдену (Mo), арсену (As), вісмуту (Bi) та ртуті (Hg) також знаходиться в межах норми, що свідчить про відсутність значного забруднення цими металами.

На основі результатів елементного аналізу води, представлених у таблиці 2, встановлено, що концентрації Co, Cd, Pb, Ni, Cr, Cu,

Таблиця 2

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону D

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
Кальцій, Ca	32,43	±4,21	0,01
Натрій, Na	21,14	±3,75	0,01
Магній, Mg	11,59	±2,02	0,01
Ферум, Fe	0,08	±0,03	0,01
Калій, K	6,17	±1,47	0,01
Стронцій, Sr	0,27	±0,05	0,01
Бор, B	0,07	±0,03	0,01
Барій, Ba	0,04	±0,03	0,01
Літій, Li	0,04	±0,02	0,01
Марганець, Mn	0,015	±0,005	0,01
Алюміній, Al	<0,010	-	0,01
Цинк, Zn	<0,010	-	0,01
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,001
Вісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

Таблиця 3

Результати елементного аналізу зразків води Київської області регіону E

Хімічний елемент	Масова частка, мг/дм <sup>3</sup>	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4
Кальцій, Ca	49,73	±10,07	0,01
Натрій, Na	25,25	±5,12	0,01
Магній, Mg	19,76	±4,19	0,01
Калій, K	13,94	±3,08	0,01
Ферум, Fe	1,73	±0,49	0,01
Стронцій, Sr	0,43	±0,17	0,01
Цинк, Zn	0,16	±0,12	0,01
Марганець, Mn	0,18	±0,06	0,01
Бор, B	0,12	±0,05	0,01
Літій, Li	0,06	±0,01	0,01
Алюміній, Al	0,05	±0,01	0,01
Барій, Ba	0,05	±0,01	0,01

Продовження таблиці 3

1	2	3	4
Хром, Cr	<0,010	-	0,01
Свинець, Pb	<0,010	-	0,01
Купрум, Cu, мг/дм <sup>3</sup>	<0,010	-	0,01
Нікель, Ni, мг/дм <sup>3</sup>	<0,010	-	0,01
Кобальт, Co	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,01
Аргентум, Ag	<0,010	-	0,01
Вісмут, Bi	<0,010	-	0,01
Молібден, Mo	<0,010	-	0,01
Кадмій, Cd	<0,0010	-	0,001
Миш'як, As	<0,0010	-	0,001
Селен, Se	<0,0010	-	0,001
Ртуть, Hg	<0,0005	-	0,0005

As знаходяться в межах норми або виявляються в незначних кількостях. Це свідчить про те, що ці метали присутні у воді на безпечному рівні, не перевищуючи нормативних значень. Крім того, лабораторний контроль показав, що досліджувані проби води містять низькі концентрації мікроелементів. Концентрація купруму коливається в межах 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, вміст цинку становить 0,01 мг/дм<sup>3</sup>, а концентрація мангану становить 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

Вміст Mo, Cd, As, Bi у воді також менше 0,01 мг/дм<sup>3</sup>. Це є позитивним показником якості води, оскільки такі концентрації відповідають допустимим нормам. Концентрація ртуті виявлена менше 0,005 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає нормативам і не є проблемою для якості водних ресурсів.

На основі досліджень елементного складу зразків води, представлених у таблиці 3, можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів. Концентрації цих елементів у зразках води виявляються незначними. Це свідчить про те, що рівень цих іонів металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Концентрації Cu, Zn, Mn є достатньо низь-

кими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм<sup>3</sup>.

#### Висновки

Результати дослідження елементного складу води показують, що водні об'єкти Київської області не мають значних забруднень важкими металами. Концентрації кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому, міді, купруму, цинку, мангану, молібдену, арсену, вісмуту та ртуті є прийнятними та відповідають встановленим нормативам. Це свідчить про стабільний стан водних ресурсів у регіоні та їхню придатність для використання без необхідності вжиття негайних заходів щодо зниження концентрацій цих металів.

Дослідження та моніторинг важких металів у водах Київської області є критично важливими для захисту довкілля та здоров'я населення. Отримані дані стануть основою для розробки ефективних заходів з контролю та зниження забруднення водних ресурсів, що сприятиме забезпеченню їхньої якості та безпеки для всіх видів використання. Продовження регулярного моніторингу якості води є важливим для підтримання екологічної стабільності та вчасного виявлення можливих змін у складі водних об'єктів.

#### Список використаної літератури

- ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 60 с.
- ДСТУ 7369:2013. Національний стандарт України. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 18 с.
- ДСТУ EN ISO 17294-2:2019. Якість води. Використання мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС). Частина 2. Визначення 62 елементів (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 40 с.
- ДСТУ ISO 17294-1:2015. Якість води. Застосування мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІСР-МС). Частина 1. Загальні настанови (ISO 17294-1:2004, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 24 с.

Гапій О.А. Вплив рівня мінералізації питної води на концентрацію в ній важких металів. Львівський НУП, 2023. 59 с.

Грубінко В.В., Андрусишин Т.В., Ткач Н.М., Мадай І.І. Забруднення води Верхньо-Івачівського водозабору важкими. *Ternopil Biosci.* 2021. С. 63–75.

Сахно Т.В., Семенов А.О., Сахно Ю.Е. Показники якості води та їх вимірювання. *Якість та безпечність продукції у внутрішній і зовнішній торгівлі й торговельне підприємство: сучасні вектори розвитку і перспективи – 2023.* матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції. ПДАУ, 2023. С. 250–253.

Шумидай І.В., Єрмішев О.В., Манішевська Н.М. Екологічна оцінка забруднення важкими металами підземних вод Київщини. *Агроекологічний журнал.* 2021. № 1. С. 89–96. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244>.

ASTM D5673-16. Standard Test Method for Elements in Water by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016. 10 p.

Kumar A., Kumar V., Pandita S., Singh S., Bhardwaj R., Varol M., Rodrigo-Comino J. A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *J. Environ. Chem. Eng.* 2023. Vol. 11 (3). P.109964. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964>.

Lace A., Cleary J.A. Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors.* 2023. Vol. 9. P. 60. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9040060>.

Li Y., Huang H., Cui R., Wang D., Yin Z., Wang D., Zheng L., Zhang J., Zhao Y., Yuan H., Dong J., Gu X., Sun B. Electrochemical sensor based on graphdiyne is effectively used to determine Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in water. *Sens. Actuators B Chem.* 2021. Vol. 332. P. 129519. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129519>.

Lorena. M., Buddhi W., Godwin A., Prasanna E., Ashantha G. Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Res.* 2021. Vol. 202. P. 117386. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117386>.

Luoa P., Xu C., Kanga S., Huoa A., Lyua J., Zhoua M., Nover D. Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Sci. Technol.* 2021. Vol. 84. (10–11). P.3072. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.335>.

Meez E., Rahdar A., George Z. Kyzas Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules.* 2021. Vol. 26. P. 4318. <https://doi.org/10.3390/molecules26144318>.

O'Hara T., Singh B. Electrochemical Biosensors for Detection of Pesticides and Heavy Metal Toxicants in Water: Recent Trends and Progress. *ACS EST Water.* 2021. Vol. 1 (3). P. 462–478. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00125>.

Timothy O., Opeyemi A., Oyewo D. Onwudiw Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review. *Chemosphere.* 2021. Vol. 262. P. 128379. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128379>.

Yüksel B., Ustaoglu F., Arica E. Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. *Assay Aquat. Sci. Eng.* 2021. Vol. 36 (4). P. 181–192. <https://doi.org/10.26650/ASE2020845246>.

## References

DSanPiN 2.2.4-171-10. (2010). Gigiyenichni vimogi do vodi pitnoyi, priznachenoyi dlya spozhivannya lyudinoyu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorov'ya Ukrayiny [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2014). DSTU 7369:2013. Natsionalnyi standart Ukrainy. Stichni vody. Vymohy do stichnykh vod i yikhnikh osadiv dlya zroshuvannya ta udobryuvannya [DSTU 7369:2013 National Standard of Ukraine. Sewage. Requirements for wastewater and its sediments for irrigation and fertilization]. Kyiv : DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2019). DSTU EN ISO 17294-2:2019. Yakist vodi. Viktoristannya mas-spektrometriyi z induktivno-zv'yazanoyu plazmoyu (IZP-MS). Chastina 2. Vznachennya 62 elementiv (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT) [DSTU EN ISO 17294-2:2019 Water quality. Using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Part 2. Definition of 62 elements (EN ISO 17294-2:2016, IDT; ISO 17294-2:2016, IDT)]. Kyiv : DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

UkrNDNC. (2015). DSTU ISO 17294-1:2015. Yakist vodi. Zastosuvannya mas-spektrometriyi z induktivno-zv'yazanoyu plazmoyu (ICP-MS). Chastina 1. Zagalni nastanovi (ISO 17294-1:2004, IDT) [DSTU ISO 17294-1:2015 Water quality. Application of inductively coupled plasma mass

spectrometry (ICP-MS). Part 1. General guidelines (ISO 17294-1:2004, IDT)]. Kyiv: DP «UkrNDNC» [in Ukrainian].

Gapij, O.A. (2023). Vpliv rivnya mineralizaciyi pitnoyi vodi na koncentraciyu v nij vazhkih metaliv [The influence of the level of mineralization of drinking water on the concentration of heavy metals in it]. *Lvivskij NUP [Lviv NUP]*, P. 59 [in Ukrainian].

Grubinko, V.V., Andrusishin, T.V., Tkach, N.M., & Madaj, I.I. (2021). Zpbrudnennya vodi Verhno-Ivachivskogo vodozaboru vazhkimi [Water pollution of the Verkhnyo-Ivachyv water intake is severe]. *Ternopil Biosci*, P. 63–75 [in Ukrainian].

Sahno, T.V., Semenov, A.O., & Sahno, Yu.E. (2023). Pokazniki yakosti vodi ta yih vimiryuvannya [Water quality indicators and their measurement]. *Yakist ta bezpechnist produkciyi u vnutrishnij i zovnishnij torgivli j torgovelnе pidpriyemnictvo: suchasni vektori rozvitku i perspektivi – 2023. [Quality and safety of products in domestic and foreign trade and trade entrepreneurship: modern vectors of development and prospects – 2023]. materiali II Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi [materials of the II International Scientific and Practical Conference]. PDAU, P. 250–253 [in Ukrainian].*

Shumigaj, I.V., Yermishev, O.V., & Manishevskya, N.M. (2021). Ekologichna ocinka zabrudnennya vazhkimi metalami pidzemnih vod Kiyivshini [Ecological assessment of heavy metal contamination of underground waters of Kyiv region]. *Agroekologichnij zhurnal [Agroecological journal]*, Vol. 1, 89–96. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2021.227244> [in Ukrainian].

ASTM International. (2016). ASTM D5673-16. Standard test method for elements in water by inductively coupled plasma – mass spectrometry. West Conshohocken, PA : ASTM International [in English].

Kumar, A., Kumar, V., Pandita, S., Singh, S., Bhardwaj, R., Varol, M., & Rodrigo-Comino, J. (2023). A global meta-analysis of toxic metals in continental surface water bodies. *J. Environ. Chem. Eng.*, Vol. 11 (3), p. 109964. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109964> [in English].

Lace, A., & Cleary, J. (2021). A Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors*. Vol. 9, P. 60. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9040060> [in English].

Li, Y., Huang, H., Cui, R., Wang, D., Yin, Z., Wang, D., Zheng, L., Zhang, J., Zhao, Y., Yuan, H., Dong, J., Gu, X., & Sun, B. (2021). Electrochemical sensor based on graphdiyne is effectively used to determine Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> in water. *Sens. Actuators B Chem.*, Vol. 332, P. 129519. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129519> [in English].

Lorena, M., Buddhi, W., Godwin, A., Prasanna, E., & Ashantha, G. (2021). Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Res.*, Vol. 202, P. 117386. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117386> [in English].

Luoa, P., Xu, C., Kanga, S., Huoa, A., Lyua, J., Zhoua, M., & Nover, D. (2021). Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Sci. Technol*, Vol. 84 (10–11), P. 3072 <https://doi.org/10.2166/wst.2021.335> [in English].

Meez, E., Rahdar, A., & George, Z. (2021). Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules*, Vol. 26, P. 4318. <https://doi.org/10.3390/molecules26144318> [in English].

O'Hara, T., & Singh, B. (2021). Electrochemical Biosensors for Detection of Pesticides and Heavy Metal Toxicants in Water: Recent Trends and Progress. *ACS EST Water*, Vol. 1 (3), P. 462–478. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00125> [in English].

Timothy, O., Opeyemi, A., & Oyewo, D. (2021). Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review. *Chemosphere*, Vol. 262, P. 128379. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128379> [in English].

Yüksel, B., Ustaoglu, F., & Arica, E. (2021). Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. *Assay Aquat Sci Eng.*, Vol. 36 (4). P. 181–192. <https://doi.org/10.26650/ASE2020845246> [in English].

Отримано: 25.07.2024

Прийнято: 12.08.2024