

УДК 543.42:628.16

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3>

Катерина НЕСТЕРОВА

аспірант кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

ORCID: 0000-0003-4081-4570

Олена ХИЖАН

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

ORCID: 0000-0002-2986-3251

Андрій ГАЛСТЯН

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

ORCID: 0000-0001-8475-8166

Бібліографічний опис статті: Нестерова, К., Хижан, О., Галстян, А. (2024). Визначення елементного складу водних об'єктів атомно-емісійною спектроскопією. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 17–25, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3>

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЮ СПЕКТРОМЕТРІЄЮ

Метою даного дослідження є аналіз елементного складу зразків проб води з водойм Київської області. Результати дозволять визначити вміст та розподіл важких металів у поверхневих водах регіону, що є важливим для розробки заходів з охорони, раціонального використання та відтворення водних ресурсів. Дослідження проводилося в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, яка є акредитованою за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Вимірювання елементного складу зразків води проводили за допомогою атомно-емісійного спектрофотометра з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES). Це дозволяє точно визначати концентрації різних хімічних елементів у водних зразках. Межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм³. Це забезпечує виявлення навіть дуже низьких концентрацій елементів у водних пробах. Для забезпечення точності і відтворюваності результатів використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Merck KGaA, Німеччина. Аналіз водних об'єктів Київської області показав незначний вміст важких металів, що є позитивним показником з точки зору екологічної ситуації в регіоні. Це свідчить про задовільний стан водних ресурсів, який не потребує негайних заходів для мінімізації забруднення. Вміст важких металів у водних об'єктах Київської області є низьким, що позитивно впливає на екологічну ситуацію в регіоні. Дані про елементний склад води дозволяють оцінювати ризики забруднення сільськогосподарської продукції та прогнозувати ймовірність безпечного вирощування екологічно чистої продукції. Результати дослідження є важливим кроком для збереження природного середовища та забезпечення здоров'я мешканців регіону. Таким чином, регулярний моніторинг елементного складу водних ресурсів є необхідним для підтримки екологічного балансу та забезпечення безпеки навколишнього середовища.

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

Kateryna NESTEROVA

Postgraduate Student of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041

ORCID: 0000-0003-4081-4570

Olena KHYZHAN

Candidate of Chemical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041

ORCID: 0000-0002-2986-3251

Andriy GALSTYAN

Doctor of Chemical Science, professor, Head of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041

ORCID: 0000-0001-8475-8166

To cite this article: Nesterova, K., Khyzhan, O., Galstyan, A. (2024). Vyznachennia elementnoho skladu vodnykh ob'ektiv atomno-emisiinoiu spektrometriieiu [Determination of the elemental composition of water bodies by atomic emission spectrometry]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 17–25, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3>

DETERMINATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF WATER BODIES BY ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

The aim of this study is to analyze the elemental composition of water samples from bodies of water in the Kyiv region. The results will allow determining the content and distribution of heavy metals in the surface waters of the region, which is important for developing measures for the protection, rational use, and restoration of water resources. The study was conducted at the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of NUBiP of Ukraine, which is accredited according to the DSTU ISO/IEC 17025 standard. The elemental composition of the water samples was measured using an inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer (ICP-AES). This method allows for precise determination of the concentrations of various chemical elements in water samples. The detection limit for most elements is 0.01 mg/dm³, ensuring the detection of even very low concentrations of elements in water samples. To ensure the accuracy and reproducibility of the results, a multi-element standard solution IV from Merck KGaA, Germany, was used. The analysis of water bodies in the Kyiv region showed a low content of heavy metals, which is a positive indicator of the ecological situation in the region. This indicates a satisfactory state of water resources, which does not require immediate measures to minimize pollution. The content of heavy metals in the water bodies of the Kyiv region is low, which positively affects the ecological situation in the region. Data on the elemental composition of water allow assessing the risks of agricultural product contamination and predicting the likelihood of safely growing environmentally clean products. The results of the study are an important step for the preservation of the natural environment and ensuring the health of the region's residents. Thus, regular monitoring of the elemental composition of water resources is necessary to maintain ecological balance and ensure environmental safety.

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

Актуальність проблеми. Забруднення довкілля важкими металами дійсно є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. Іони важких металів, як кадмій (Cd²⁺), свинець (Pb²⁺), ртуть (Hg²⁺) та інші, стають основними джерелами забруднення водних ресурсів, що має серйозні наслідки як для екологічної рівноваги, так і для здоров'я людей. Більшість важких металів є канцерогенами та мають токсичні властивості, що можуть спричинити

різноманітні хвороби та патологічні стани при накопиченні в організмі. Наприклад, свинець може впливати на нервову систему та когнітивні функції, кадмій – на нирки та кістки, а ртуть – на нервову систему та нирки. Масовий викид важких металів у природні водойми за останні кілька десятиліть став глобально поширеним явищем, особливо внаслідок промислової діяльності, сільського господарства, видобутку корисних копалин та інших антропогенних

джерел. Токсичність важких металів обумовлена їх здатністю до біоаккумуляції, тобто накопичення в організмах, що призводить до підвищення їх концентрації у харчових ланцюгах. Це означає, що навіть незначні концентрації важких металів у навколишньому середовищі можуть стати значним ризиком для здоров'я людей і тварин у довгостроковій перспективі (Василенко, 2022, с.4; Мусінкевич, 2020. С 14). З огляду на потенційне накопичення в різних частинах організму та нездатність до біологічного розкладання, іони важких металів стають серйозною загрозою для здоров'я. Вони можуть спричиняти кілька небезпечних ризиків для здоров'я, таких як рак, хронічні захворювання, порушення розвитку у дітей та інші.

Забруднення екополутантами, включаючи важкі метали, є складною проблемою, що залежить від природних та антропогенних факторів. Останні десятиліття характеризуються постійним зростанням антропогенного впливу на навколишнє середовище, що зумовлено збільшенням кількості джерел забруднення, таких як промислові підприємства, побутові відходи та транспорт. Викиди з підприємств часто містять важкі метали, які потрапляють у воду через стічні води. Побутові відходи, особливо несанкціоновані звалища, також є джерелами важких металів, що можуть проникати у ґрунтові та поверхневі води. Викиди транспортних засобів містять метали, такі як свинець та кадмій, які можуть осідати на дорогах і змиватися дощовими водами у водні об'єкти.

Забруднення водних ресурсів важкими металами безпосередньо впливає на якість і безпеку сільськогосподарської продукції. Оскільки вода є основним ресурсом для зрошення, підвищений вміст шкідливих речовин у воді може призводити до накопичення цих речовин у рослинах. Це не лише погіршує якість продукції, але й становить загрозу для здоров'я людей, які споживають цю продукцію.

Елементний склад води є однією з основних характеристик її якості, тому моніторинг цього складу є надзвичайно важливим для забезпечення екологічної безпеки. Постійний моніторинг дозволяє вчасно виявляти підвищені концентрації шкідливих речовин і вживати заходів для запобігання їхньому накопиченню.

Забезпечення чистоти водних ресурсів є ключовим елементом для збереження екологічного

балансу та здоров'я населення, тому моніторинг і вжиття відповідних заходів повинні бути пріоритетом для сучасного суспільства.

Вимірювання концентрації важких металів та фізико-хімічних параметрів води є важливим для визначення якості водних ресурсів і оцінки їх впливу на здоров'я людей та стан навколишнього середовища. Особливо це актуально для центральної частини України, де забруднення може мати значні соціальні та екологічні наслідки.

Основною метою дослідження є визначення елементного складу води в центральній частині України, щоб оцінити еколого-геохімічну ситуацію в регіоні. Це дозволить розробити заходи для попередження погіршення стану ґрунтів і забезпечення безпеки водних ресурсів. Дослідження спрямоване на отримання нових даних про концентрацію важких металів та інші фізико-хімічні параметри води. Це дозволить краще зрозуміти поточний стан водних ресурсів. Аналіз отриманих даних допоможе оцінити екологічну ситуацію в центральній частині України, визначити джерела забруднення та їх вплив на довкілля. Дослідження дозволить встановити, чи є окремі елементи природного походження або вони потрапили у воду внаслідок антропогенної діяльності.

Встановлення елементного складу води в центральній частині України є важливим кроком для оцінки еколого-геохімічної ситуації регіону. Це дослідження має наукову новизну та практичне значення, оскільки дозволяє отримати нові дані про якість водних ресурсів, визначити джерела забруднення та розробити ефективні заходи для охорони довкілля і забезпечення здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення довкілля важкими металами є значною проблемою, яка має серйозні наслідки для екосистем і здоров'я людей. Велика частина токсичних речовин потрапляє до навколишнього середовища через неадекватне поводження з відходами, включаючи скидання у каналізацію, сміттєзвалища та водойми (Сталінська, 2023. с. 82) Лабораторні дослідження проб води показали, що концентрації свинцю (Pb) і хрому (Cr) перевищують допустимі межі, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ). Це свідчить про критичне забруднення досліджуваних водних об'єктів (Kumar, 2020, с. 146).

Токсичні метали, такі як свинець (Pb), мідь (Cu), залізо (Fe), нікель (Ni), ртуть (Hg) і цинк (Zn), часто містяться в харчових стічних водах. Вони не тільки спричиняють токсичне або хронічне отруєння у водних організмів, але й становлять загрозу для всього навколишнього середовища. Води, забруднені цими металами, використовуються для поливу, що призводить до накопичення токсичних речовин у ґрунтах, роблячи їх небезпечними для рослин і тварин (Jingxi, 2020, с.2).

Забруднення важкими металами є однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасного світу. Розподіл важких металів у довкіллі залежить не тільки від близькості джерел викидів, але й від різних екологічних умов. Забруднювачі з різних джерел потрапляють у ґрунт через зрошення, атмосферні опади, стік, тверді відходи та компост. З розвитком індустріалізації забруднення ґрунту, води та повітря постійно зростає, що призводить до серйозних екологічних і приносить шкоду здоров'ю. Основні джерела забруднення важкими металами включають видобуток і переробку важких металів, викиди від промислових підприємств і транспорту потрапляють у воду та ґрунт через атмосферні опади та стічні води. Важкі метали можуть потрапляти в ґрунт через зрошення, використання компосту та інших органічних відходів. Важкі метали, такі як кадмій (Cd), хром (Cr), ртуть (Hg), свинець (Pb), мідь (Cu) та арсен (As), мають високу токсичність і складно біологічно розкладаються. Вони широко поширені в атмосфері, воді та ґрунті, що робить їх одними з найбільш небезпечних забруднювачів. Ртуть (Hg), потрапляючи в організм, ртуть може завдати значної шкоди мозку, нервовій системі та зору. Кадмій (Cd), впливає на серцево-судинну систему, спричиняє високий кров'яний тиск, ураження кісток, печінки та нирок. Свинець (Pb) може руйнувати нервову систему плода, викликаючи вроджену розумову відсталість. Важкі метали можуть потрапляти в організм через вдихання, споживання їжі або через шкіру. Після потрапляння вони накопичуються в організмі, завдаючи серйозної шкоди здоров'ю. Основні прояви токсичності включають канцерогенез, деформацію і мутацію клітин.

Забруднення важкими металами є серйозною загрозою для екосистем і здоров'я людей. Ефективна боротьба з цим явищем вимагає

комплексного підходу, включаючи регулювання викидів, покращення технологій очищення, постійний моніторинг та підвищення обізнаності населення. Тільки таким чином можна забезпечити збереження екологічної рівноваги та здоров'я майбутніх поколінь (Mengting, 2020, с. 5748).

Забруднення важкими металами в навколишньому середовищі є серйозною проблемою, і на сьогоднішній день зростає необхідність у надійних методах виявлення цих токсичних речовин. Згідно з дослідженням (Ding, 2021, с.7215), електрохімічне виявлення важких металів є особливо вигідним завдяки своїй високій чутливості та ефективності. Електрохімічні методи виявлення важких металів, таких як Hg(II), Cd(II), As(III), Pb(II), UO₂(II), Tl(I), Cr(VI), Ag(I) та Cu(II), мають низку переваг у порівнянні з традиційними методами. Електрохімічні методи дозволяють виявляти навіть незначні концентрації важких металів у воді, ґрунті та інших зразках (Кислова, 2021, с.54, Крупко, 2022, с.96). Їх можна адаптувати для моніторингу якості води для забезпечення безпечного вирощування рослин і тваринництва. Електрохімічні методи можуть значно покращити моніторинг забруднення важкими металами в різних середовищах та сприяти зменшенню їхнього негативного впливу на здоров'я людей та довкілля (Ding, 2021, с. 7215).

Методика індуктивно зв'язаної плазмової мас-спектрометрії (ICP-MS), запропонована Bayram Yüksel та колегами (Yüksel, 2021, с. 181), є ефективним інструментом для дослідження впливу токсичних елементів на якість води та забезпечення здоров'я людини. В рамках цього дослідження були кількісно оцінені концентрації токсичних металів, таких як As, Pb, Cd, Hg, Sb, Al і Ni, у поєднанні з іншими елементами, такими як Se, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn і Co, з використанням попередньо валідованого метода ICP-MS.

ICP-MS дозволяє визначати надзвичайно низькі концентрації елементів у водних зразках, що є критично важливим для оцінки забруднення та пов'язаних ризиків для здоров'я людини. Методика дозволяє одночасно визначати широкий спектр як токсичних металів, так і інших важливих елементів, що робить її універсальною для екологічних досліджень. Валідований метод забезпечує високу точність

і надійність результатів, що є важливим для наукових і практичних застосувань. Для кількісної оцінки ризиків були обрані ключові токсичні метали, які мають значний вплив на здоров'я людини. Арсен (As) – відомий канцероген, що може викликати рак шкіри, легень, сечового міхура та нирок. Свинець (Pb) викликає нейротоксичні ефекти, особливо небезпечний для розвитку нервової системи у дітей. Кадмій (Cd) викликає ураження нирок та кісток, також є канцерогеном. Ртуть (Hg) є нейротоксин, який впливає на центральну нервову систему. Стибій (Sb) може викликати подразнення шкіри та дихальних шляхів. Нікель (Ni) викликає алергічні реакції та має канцерогенні властивості. Методика ICP-MS, запропонована Bayram Yüksel та колегами, є ефективним засобом для кількісного аналізу концентрацій важких металів у водних зразках. Регулярний моніторинг і оцінка ризиків на основі отриманих даних допоможуть забезпечити захист екологічного середовища та здоров'я людини від негативного впливу токсичних металів (Bayram Yüksel, 2021, с. 181).

Метою дослідження є вивчення елементного складу зразків проб води водойм регіону Київської області. Моніторинг важких металів є необхідною умовою та ключем до запобігання та контролю забруднення важкими металами.

Моніторинг забруднення навколишнього середовища дозволяє описати конкретний вміст забруднюючих речовин у певному місці в просторі, що є важливим для оцінки рівня забруднення, допомагає визначити рівень забруднення водойм та потенційну загрозу для екосистеми та здоров'я людини, забезпечує основні дані для розробки та впровадження заходів з управління та зниження рівня забруднення, допомагає вжити реабілітаційних заходів на певній ділянці, що може передбачати обробку води перед її споживанням.

Результати дослідження допоможуть визначити вміст та розподіл важких металів у поверхневих водах Київської області, що є важливою передумовою для розробки та впровадження заходів з охорони, раціонального використання та ефективного відтворення водних ресурсів. Це дозволить зменшити ризики для здоров'я людини та забезпечити екологічну безпеку регіону.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводилося в Українській лабораторії

якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, яка є акредитованою за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Ця акредитація підтверджує високий рівень компетентності та надійності лабораторії в проведенні різних видів аналізів, включаючи визначення кількісного вмісту елементів, в тому числі важких металів, у зразках води з водних об'єктів Київської області. Один із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, це атомно-емісійна спектроскопія з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та оперативністю, що робить його ідеальним для рутинного аналізу як органічних, так і неорганічних речовин у водних зразках. ICP-AES дозволяє виявити навіть низькі концентрації важких металів у водних розчинах. Забезпечує точне визначення вмісту елементів завдяки високій роздільній здатності та мінімальній втраті аналіту. Дозволяє проводити швидкі аналізи і отримувати результати майже в реальному часі.

Використання ICP-AES у дослідженнях гарантує високу якість аналізів та надійність отриманих даних, що є важливим для подальших наукових досліджень та екологічного моніторингу водних ресурсів.

Підготовку проб для визначення елементного складу води проводили згідно з ДСТУ ISO 11885:2005 Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ISO 11885:1996, IDT).

Вимірювання елементного складу досліджуваних проб зразків води проводили на атомно-емісійному спектрофотометрі з індуктивно зв'язаною плазмою. Цей прилад є сучасним і дозволяє проводити точне визначення концентрацій різних хімічних елементів у водних зразках. Межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм³. Цей метод здатний виявляти навіть дуже низькі концентрації елементів у водних пробах. В якості стандарту використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Mercks KGaA, Німеччина. Використання стандартних розчинів дозволяє забезпечити точність і відтворюваність результатів аналізів. Атомно-емісійна спектрофотометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою відома своєю високою точністю і відтворюваністю

результатів. Це є важливим аспектом для наукових досліджень і екологічного моніторингу, де необхідно мати надійні дані про концентрації хімічних елементів у воді.

Результати та їх обговорення. Київська область, знаходячись на межі Полісся та Лісостепу, має важливе сільськогосподарське значення в Україні, що обумовлює значення лабораторного контролю водних ресурсів в цьому регіоні. Антропогенне навантаження на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси, значно підвищує концентрацію важких металів у поверхневих і підземних водах. Це явище має серйозні екологічні наслідки через те, що важкі метали не розкладаються природним шляхом і можуть залишатися у середовищі тривалий час. Важкі метали можуть існувати у водних екосистемах у різних формах, включаючи розчинені іони, колоїдні частинки та сполуки, зв'язані з органічними і неорганічними матрицями. Їх постійна присутність, навіть у низьких концентраціях, може становити загрозу для здоров'я людей і тварин, оскільки багато з них мають токсичні властивості.

Забруднення важкими металами може мати різні джерела, включаючи промислові викиди, сільськогосподарські стоки, недбале поводження з відходами та природні процеси. Для зниження рівня забруднення вод важкими металами необхідні комплексні підходи, які включають систематичний моніторинг концентрацій металів, регулювання викидів забруднюючих речовин, впровадження ефективних технологій очищення води та реставрацію забруднених водних об'єктів.

Вивчення концентрацій важких металів у водних об'єктах Київської області є важливим для збереження екологічної стабільності та здоров'я громадян, а також для забезпечення раціонального використання водних ресурсів в регіоні.

За результатами елементного аналізу води (таблиця 1), який був проведений на досліджуваних водних об'єктах Київської області, були зроблені наступні висновки щодо вмісту важких металів. Концентрація кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому, міді і арсену знаходиться в межах норми або виявляється

Таблиця 1

Елементний аналіз зразків проб води Київської області регіону А

Найменування показників	Результати випробувань	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм ³
Масова частка кальцію, Ca, мг/дм ³	35,82	±6,69	0,01
Масова частка натрію, Na, мг/дм ³	24,42	±4,83	0,01
Масова частка магнію, Mg, мг/дм ³	13,55	±2,93	0,01
Масова частка заліза, Fe, мг/дм ³	0,06	±0,03	0,01
Масова частка калію, K, мг/дм ³	6,77	±1,62	0,01
Масова частка стронцію, Sr, мг/дм ³	0,23	±0,09	0,01
Масова частка бору, B, мг/дм ³	0,05	±0,03	0,01
Масова частка барію, Ba, мг/дм ³	0,03	±0,02	0,01
Масова частка літію, Li, мг/дм ³	0,02	±0,01	0,01
Масова частка марганцю, Mn, мг/дм ³	0,011	±0,007	0,01
Масова частка алюмінію, Al, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка цинку, Zn, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка хрому, Cr, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка свинцю, Pb, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка міді, Cu, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка нікелю, Ni, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка кобальту, Co, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка срібла, Ag, мг/дм ³	<0,01	-	0,001
Масова частка вісмуту, Bi, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка молібдену, Mo, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка кадмію, Cd, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка миш'яку, As, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка селену, Se, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка ртуті, Hg, мг/дм ³	<0,0005	-	0,0005

в незначних кількостях. Це свідчить про те, що ці метали присутні в воді на безпечному рівні. Моніторинг показав, що досліджувані проби води бідні на мікроелементи, такі як Купрум, Цинк і Манган. Концентрації цих елементів є досить невисокими, згідно з таблицею 1: концентрація Купруму коливається в межах 0,01 мг/дм³, концентрація Цинку становить 0,01 мг/дм³, концентрація Мангану складає 0,011 мг/дм³. Вміст Молібдену, Кадмію, Свинцю, Арсену і Вісмуту у воді також менше 0,01 мг/дм³, що також є позитивним показником якості води. Концентрація Ртуті виявлена менше 0,005 мг/дм³, що також відповідає нормативам і не є проблемою для якості водних ресурсів.

На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води (таблиця 2) можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів: концентрація кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому і міді виявляється незначною. Це свідчить про те, що рівень цих металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Згідно з моніторингом досліджувані проби води містять невелику кількість мікроелементів. Концентрації Купруму, Цинку

і Мангану є достатньо малими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм³, згідно з таблицею 2. Вміст Молібдену, Кадмію, Свинцю, Арсену, Вісмуту та Ртуті також знаходиться в межах норми. Це означає, що концентрації цих важких металів не є проблематичними для якості водних ресурсів і не перевищують встановлені нормативні значення. Отже, результати порівняльного аналізу підтверджують, що стан водних об'єктів, щодо вмісту важких металів, є прийнятним і не вимагає негайних заходів щодо зниження концентрацій. Продовження регулярного моніторингу є важливим для підтримки сталої екологічної ситуації в досліджуваній місцевості.

Важкі метали мають властивості, які значно впливають на їх поведінку у біологічних системах та навколишньому середовищі. Низька біофільність означає, що ці метали мають обмежену здатність брати участь у біологічних процесах і метаболізмі живих організмів. Значення біофільності для деяких важких металів є наступними: Cu²⁺ (Купрум) – 0,068, Zn²⁺ (Цинк) – 0,24, Pb²⁺ (Свинець) – 0,0625, Cd²⁺ (Кадмій) – 0,154.

Таблиця 2

Елементний аналіз зразків проб води Київської області регіону Б

Найменування показників	Результати випробувань	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм ³
Масова частка кальцію, Ca, мг/дм ³	27,22	±6,27	0,01
Масова частка натрію, Na, мг/дм ³	17,21	±4,06	0,01
Масова частка магнію, Mg, мг/дм ³	13,11	±2,71	0,01
Масова частка заліза, Fe, мг/дм ³	0,08	±0,03	0,01
Масова частка калію, K, мг/дм ³	5,54	±1,28	0,01
Масова частка стронцію, Sr, мг/дм ³	0,17	±0,06	0,01
Масова частка бору, B, мг/дм ³	0,05	±0,04	0,01
Масова частка барію, Ba, мг/дм ³	0,05	±0,02	0,01
Масова частка літію, Li, мг/дм ³	0,03	±0,01	0,01
Масова частка марганцю, Mn, мг/дм ³	0,015	±0,005	0,01
Масова частка алюмінію, Al, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка цинку, Zn, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка хрому, Cr, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка свинцю, Pb, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка міді, Cu, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка нікелю, Ni, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка кобальту, Co, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка срібла, Ag, мг/дм ³	<0,01	-	0,001
Масова частка вісмуту, Bi, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка молібдену, Mo, мг/дм ³	<0,01	-	0,01
Масова частка кадмію, Cd, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка миш'яку, As, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка селену, Se, мг/дм ³	<0,001	-	0,001
Масова частка ртуті, Hg, мг/дм ³	<0,0005	-	0,0005

Через низьку біофільність і тривалий період виведення важкі метали накопичуються в організмі і можуть залишатися там протягом довгого часу. Наприклад, час напіввиведення кадмію (Cd^{2+}) з організму людини може тривати від 10 до 30 років. У природних умовах ці періоди ще довші: для кадмію – 155 років, для цинку (Zn) – до 500 років, а для свинцю (Pb) – до декількох тисяч років (Г.Д. Крупко, 2022, с.93).

Це довготривале перебування важких металів у середовищі пояснює, чому вони можуть бути виявлені на територіях, де наразі відсутній активний антропогенний вплив. Незважаючи на те, що ці метали можуть з'явитися в результаті минулої діяльності, їх наявність залишається помітною через їхню стійкість до природних процесів розкладу та виведення. Така стійкість робить важкі метали значним екологічним ризиком, оскільки вони можуть накопичуватися в екосистемах і організмах, створюючи довготривалі проблеми для здоров'я та навколишнього середовища.

Зазначені результати аналізу водних об'єктів Київської області, які свідчать про незначний вміст важких металів, є позитивними з точки зору екологічної ситуації в регіоні. Оцінка, що стан водних ресурсів є задовільним і не потребує негайних заходів з мінімізації забруднення, є важливим кроком для збереження природного середовища та забезпечення здоров'я мешканців регіону.

Проте, важливо продовжувати моніторинг концентрації важких металів у водних об'єктах. Це дозволяє вчасно виявляти будь-які зміни

у рівнях забруднення і вживати необхідні заходи на захист водних ресурсів. Постійний моніторинг є ключовим елементом для підтримання сталої екологічної ситуації і вчасного реагування на будь-які потенційні загрози довкіллю. Таким чином, продовження систематичного моніторингу важких металів у водних об'єктах Київської області є необхідним для забезпечення сталої екологічної ситуації і збереження здоров'я екосистеми та людей.

Висновки і перспективи. Дані про елементний склад водних об'єктів надають можливість не лише оцінювати ризики забруднення сільськогосподарської продукції, але й прогнозувати ймовірність безпечного вирощування екологічно чистої продукції в цих умовах. Важливим етапом є моніторинг міграції важких металів і інших хімічних елементів у сільськогосподарській продукції. Забруднення важкими металами може мати джерела походження як промислові викиди, так і сільськогосподарські стоки, неправильне управління відходами, а також природні процеси. Для зниження рівня забруднення вод важкими металами необхідно використовувати комплексні підходи, які включають моніторинг, регулювання викидів забруднюючих речовин, впровадження ефективних технологій очищення води та відновлення забруднених водних об'єктів. Ці заходи не лише сприяють зниженню забруднення води важкими металами, але й сприяють збереженню екосистеми водних ресурсів, що є критично важливим для забезпечення сталого розвитку і охорони здоров'я населення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Василенко Л., Березницька Ю., Кравченко М., Шевченко О., Цьома Т. Забруднення поверхневих вод фосфатами та важкими металами. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. Вип.38. 2022. С.4–17.
2. Мусінкевич І. Вплив важких металів на навколишнє середовище та організм людини. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. Вінниця, 2020. С.14.
3. Сталінська І. В., Дмитренко Т. В. Рекомендацій щодо зменшення екологічного ризику накопичувачів промислових стічних вод і шламів на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях. *Екологічні науки*. 2023. № 4(49). С. 82–90.
4. Vinod Kumar, Anket Sharma, Rakesh Kumar, Renu Bhardwaj, Ashwani Kumar. Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices Thukral & Jesús Rodrigo-Comino. *Human and ecological risk assessment*. 2020. Vol. 26(1). P.146–161.
5. Jingxi Ma, Shuqing Wu, N.V. Ravi Shekhar, Supriya Biswas, and Anoop Kumar Sahu. Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Vol. 2020. P. 9.
6. Mengting Jin, Hao Yuan, Bo Liu, Jiajia Peng, Liping Xu and Dezheng Yang. Review of the distribution and detection methods of heavy metals in the environment. *The Royal Society of Chemistry. Anal. Methods*. 2020. Vol.12. P. 5747–5766.

7. Ding Qi, Chen Li, Haijun Wang, Chuanlai Xu and Hua Kuang. Electrochemical detection of heavy metal ions in water. *The Royal Society of Chemistry. Chem. Commun.* 2021. Vol. 57. P.7215–7231.
8. Крупко Г. Д., Суходольська І. Л., Лико Д.В., Басараба І. В. Оцінка вмісту важких металів у підземних водах сільської місцевості Рівненщини. *Агроекологічний журнал.* 2022. № 4. С.96–104.
9. Кислова А. В. Порівняльна характеристика ефективності електрохімічних методів дослідження вмісту важких металів у стічних водах. *Вісник КНУТД.* 2021. №1(154). С.54–59.
10. Bayram Yüksel, Fikret Ustaoglu, Enes Arica. 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. V.36(4). P. 181–192.

REFERENCES:

1. Vasylenko, L., Bereznytska, Yu., Kravchenko, M., Shevchenko, O., Tsyoma, T. (2020). Zabrudnennya poverhnevih vod fosfatami ta vazhkimi metalami. [Pollution of surface waters by phosphates and heavy metals]. *Problemi vodopostachannya, vodovidvedennya ta gidravliki.* Issue 38, 4–17 [in Ukrainian].
2. Musinkevich, I., (2020). Vpliv vazhkih metaliv na navkolishnye seredovishe ta organizm lyudini [The influence of heavy metals on the environment and the human body]. *Materiali XLIX naukovo-tehnichnoyi konferenciyi pidrozdiliv.* 14 [in Ukrainian].
3. Stalinska, I.V., Dmitrenko, T.V. (2023). Rekomendacij shodo zmenshennya ekologichnogo riziku nakopichuvachiv promislovih stichnih vod i shlamiv na ekologichnij stan poverhnevih vodnih ob'ektiv na urbanizovanih teritoriyah [Recommendations on reducing the environmental risk of industrial waste water and sludge reservoirs on the ecological state of surface water bodies in urbanized areas] *Ekologichni nauki.* № 4(49). 82–90 [in Ukrainian].
4. Vinod Kumar, Anket Sharma, Rakesh Kumar, Renu Bhardwaj, Ashwani Kumar. (2020). Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices Thukral & Jesús Rodrigo-Comino. *Human and ecological risk assessment.* Vol. 26(1). P.146–161.
5. Jingxi, Ma, Shuqing, Wu, N.V. Ravi, Shekhar, Supriya, Biswas, and Anoop, Kumar Sahu (2020). Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications.* Vol. P.9.
6. Mengting, Jin, Hao, Yuan, Bo, Liu, Jiajia, Peng, Liping, Xu and Dezheng, Yang. (2020). Review of the distribution and detection methods of heavy metals in the environment. *The Royal Society of Chemistry. Anal. Methods.* Vol. 12. P. 5747–5766.
7. Ding, Qi, Chen, Li, Haijun, Wang, Chuanlai, Xu and Hua, Kuang. (2021). Electrochemical detection of heavy metal ions in water. *The Royal Society of Chemistry. Chem. Commun.* Vol. 57. P. 7215–7231.
8. Krupko, G.D., Suhodolska, I.L., Liko, D.V., Basaraba, I.V. (2022). Ocinka vmistu vazhkih metaliv u pidzemnih vodah silskoyi miscevoli Rivnenshini [Assessment of the content of heavy metals in groundwater in the rural areas of the Rivne region]. *Агроекологічний журнал.* No. 4., 96–104 [in Ukrainian].
9. Kislova, A. (2021). Porivnyalna harakteristika efektyvnosti elektrohimiichnih metodiv doslidzhennya vmistu vazhkih metaliv u stichnih vodah [Comparative characteristics of the effectiveness of electrochemical methods of researching the content of heavy metals in wastewater]. *Visnik KNUTD.* No. 1(154), 54–59 [in Ukrainian].
10. Bayram Yüksel, Fikret Ustaoglu, Enes Arica (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.* V.36(4). P.181–192.