УДК 504.5:546:613.3

О. Г. Жукова
Я. В. Терендій

ОЦІНКА ПАТОГЕНЕТИЧНОГО ВПЛИВУ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

Анотація

Стаття присвячена оцінці патогенетичного впливу іонів важких металів на здоров'я людини. Розглянуто проблему забруднення поверхневих вод України важкими металами внаслідок промислових і сільськогосподарських стоків, атмосферних опадів та військових дій, що загрожує якості питної води. Наведено класифікацію важких металів за ступенем токсикологічної небезпеки (I–III класи), охарактеризовано їхню здатність до біоакумуляції та мутагенну дію на мікроорганізми, рослини, комах і ссавців. Особливу увагу приділено найбільш небезпечним елементам — кадмію, хрому та цинку. Розглянуто механізми детоксикації іонів металів в організмі людини, зокрема роль печінки та нирок у синтезі низькомолекулярних білків, багатих на цистеїн, які зв'язують токсичні іони. Зроблено висновок про необхідність подальшого вивчення механізмів детоксикації та вдосконалення систем очищення води.

Ключові слова: важкі метали, якість питної води, біоакумуляція, токсичність, детоксикація, забруднення водойм, здоров'я людини, мутагенна дія.

Abstract

The article addresses the assessment of the pathogenetic effect of heavy metal ions on human health. It examines the pollution of Ukraine's surface waters by heavy metals resulting from industrial and agricultural discharges, atmospheric precipitation, and military actions, which threatens drinking water quality. The classification of heavy metals by toxicological hazard class (I–III) is presented, along with their bioaccumulation capacity and mutagenic effects on microorganisms, plants, insects, and mammals. Particular attention is given to the most hazardous elements — cadmium, chromium, and zinc. The mechanisms of metal ion detoxification in the human body are considered, including the role of the liver and kidneys in synthesizing low-molecular-weight, cysteine-rich proteins that bind toxic ions. The article concludes that further study of detoxification mechanisms and improvement of water purification systems are needed.

Keywords: heavy metals, drinking water quality, bioaccumulation, toxicity, detoxification, water pollution, human health, mutagenic effect.

Вода – один із ключових ресурсів для розвитку нашої держави та підтримання життя. Україна стикається з викликами через недостатні водні ресурси, рівень забезпечення якими нижчий за середньоєвропейський рівень. В Україні на одну людину припадає лише 1,0 тис. м³ води, тоді як мінімум за стандартами ООН становить 1,7 тис. м³. Важливішою є якість води, яка впливає на екосистеми та здоров'я населення [1].

Значний вплив людської діяльності та високий рівень техногенного навантаження призвели до помітного погіршення якості поверхневих вод, а військові дії також відіграли свою негативну роль. Як наслідок, проблема забезпечення населення України безпечною та якісною питною водою стала вкрай важливою, особливо загострившись в останні десятиліття. Відповідно до Рамкової директиви про водні ресурси ЄС, одним з ключових завдань є запобігання подальшому погіршенню стану водних ресурсів і забезпечення якісної питної води для населення. Тому підтримка високих стандартів якості води у водоймах, які використовуються для питного водопостачання, є критично важливим завданням для України і має не тільки місцеве, але й глобальне значення [2].

Для запобігання можливих екологічних катастроф, які можуть суттєво вплинути на якість поверхневих вод нашої країни, першочергово важливо визначити можливі причини таких загроз задля їх раннього виявлення. На цьому етапі необхідно проводити комплексні дослідження, які дозволять глибше зрозуміти природу цих негативних явищ. На основі одержаних даних слід розробити детальні рекомендації, які включатимуть заходи з впровадження превентивних стратегій, що допоможуть у разі появи екологічної небезпеки. Окрім цього, слід подбати про створення

надійного та ефективного механізму для швидкої й ефективної ліквідації наслідків таких катастроф, з тим щоб мінімізувати їхній згубний вплив на навколишнє середовище [3–5].

Однією з головних екологічних проблем є забруднення водойм важкими металами від промислових стоків, сільськогосподарських стоків і атмосферних опадів. Забруднення суттєве, адже концентрація токсичних речовин часто перевищує допустимі норми. Дослідження показують, що рівень важких металів у міському повітрі значно перевищує їх вміст у чистих районах. Ці метали забруднюють повітря, воду і ґрунт, особливо на територіях дошкільних закладів.

Важкі метали накопичуються у водоймах, рослинності й тваринах, згодом потрапляючи в людський організм через їжу, воду та ліки, а також через дихальні шляхи і шкірні покриви. Вони мають здатність до біоакумуляції, що неодмінно потребує поліпшення систем очищення. Наявність цих металів у водних системах становить загрозу для здоров’я через канцерогенний потенціал.

Термін "важкі метали" часто використовується в науковій літературі, але його трактування різниться. Найбільш небезпечними вважаються елементи I класу: As, Cd, Hg, тощо. Існує понад 40 таких елементів у таблиці Менделєєва. У природі вони виконують важливі функції і відомі як мікроелементи.

За ступенем токсикологічної дії хімічні речовини поділяють на три класи небезпеки:

– I клас (високонебезпечні): As, Cd, Hg, Be, Se, Pb, Zn;
– II клас (помірно небезпечні): B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr;
– III клас (малонебезпечні): Ba, V, W, Mn, Sr.

На сьогоднішній день існують дані про мутагенний вплив деяких металів (див. табл. 1). Для всебічної оцінки дії елемента важливо виділити чотири рівні концентрації:

– дефіцит, коли організм відчуває нестачу цього елемента;
– оптимальний рівень, що забезпечує добрий стан організму;
– допустимі концентрації, при яких лише починається пригнічення організму;
– шкідливі для цього організму.

Вплив металу може змінюватися залежно від рівня концентрації та тривалості контакту, відповідно до одного з цих типів.

Таблиця 1 – Елементи, виявлені в ДНК та викликають мутації

Метали, виявлені в складі ДНК	**Метали, що викликають мутації у:**			
	мікроорганізмів	**рослин**	**комах**	**ссавців**
Al	As	As	As	As
Cd	Cd	Ba	Ba	Be
Co	Co	Cd	Cd	Cd
Cr	Cr	Cu	Cu	Co
Cu	Cs	Fe	Fe	Cr
Hg	Fe	Hg	Hg	Hg
Mn	Ge	Pt	Pt	Mn
Ni	Hg	Sr	Sr	Ni
Pt	Ir	Co	Pb	Pb
Zn	Mn	Cr	Co	Pt
	Os	Mn	Cr	Se
	Pb	Ni	Mn	Li
	Pt	Se	Ni	Sb
	Rh	Au	Zn	Te
	Se	Be	Li	Zn
	Te	Rb		
	W	Tl		
	Zn	Pa		
		Pb		
		Zn		

У контексті екотоксикології особливо небезпечними важкими металами є кадмій (II), хром (VI) і цинк (II). Це зумовлено їхньою високою токсичністю та здатністю негативно впливати на екосистеми та здоров'я людей навіть у малих концентраціях [3–5].

Коли в організм потрапляють надмірні концентрації елементів, він здатний зменшити або навіть нейтралізувати їхній токсичний вплив завдяки певним механізмам детоксикації. Наразі специфічні

механізми детоксикації іонів металів залишаються недостатньо вивченими. Проте багато металів в організмі можуть перетворюватися у менш шкідливі форми шляхом процесів, таких як:

- утворення нерозчинних комплексів у шлунково-кишковому тракті;
- транспортування металу через кров до інших тканин, де можливе його накопичення, як у випадку зі свинцем у кістках;
- перетворення в печінці та нирках на менш токсичні форми.

Під впливом токсичних іонів важких металів, таких як свинець, ртуть та кадмій, печінка й нирки активують синтез білків з низькою молекулярною масою, які містять значну частину амінокислотних залишків у вигляді цистеїну. Велика кількість сульфгідрильних груп і їх специфічне розташування забезпечують ефективне зв'язування з іонами металів. Хоча моделі токсичності різних металів загалом добре досліджені, складно точно визначити універсальні характеристики для окремих елементів. Одним із механізмів є конкуренція між життєво важливими і токсичними металами за зв'язування з білками, оскільки іони металів здатні стабілізувати і активувати багато ферментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокол Л. М., Підліснюк В. В. Аналіз водокористування в Україні на відповідність сталим підходам. Екологічна безпека. 2009. № 3. С. 49–55.
2. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/994_962.
3. Лапань О. В., Міхєєв О. М. Біоплато для очищення водних об’єктів від важких металів. Доповіді Нац. Академії наук України. 2019. № 9. С. 77–81.
4. Lapan O. V., Mikheev O. M., Madzhd S. M. Development of a new method of rhizofiltration purification of water objects of Zn(II) and Cd(II). Journal of water chemistry and technology. 2019. Vol. 41, No. 1. P. 52–56.
5. Жукова О. Г., Кордуба І. Б., Прокопенко І. О., Старжинський П. С. Оцінка впливу воєнних дій на водні екосистеми. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2026. № 53. С. 27–35. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2026.53.27-35

Жукова Олена Григорівна – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, e-mail: ***elenazykova21@gmail.com***

Терендій Ярослав Вікторович – аспірант 1 курсу спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища», Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

Zhukova Olena H. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, e-mail: ***elenazykova21@gmail.com***

Terendii Yaroslav V. – 1st-year PhD student, specialty G2 "Environmental Protection Technologies", Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine