

УДК 502:504.3.054:504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.36>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ АЛЮМІНІУ У ВОДІ: СЕЗОННІ КОЛИВАННЯ ТА ЇХ НАСЛІДКИ ДЛЯ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ НАУКИ

Ямборак Р.С. – к.геогр.н.,

доцент кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Крачан Т.М. – к.хім.н.,

завідувач кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Коваль Т.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри хімії,

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

У дослідженні розглянуто проблему накопичення алюмінію у воді, що використовується в сільському господарстві, та його можливий вплив на безпеку харчових продуктів. Алюміній, який не належить до важких металів, може проявляти токсичну дію на живі організми при перевищенні певних концентрацій у воді. Ця проблема стає особливо актуальною в умовах інтенсивної сільськогосподарської діяльності та забруднення довкілля. Метою дослідження було визначити сезонні коливання рівня алюмінію у водних джерелах, які використовуються для зрошення сільськогосподарських культур, та оцінити вплив цього елемента на якість продукції. Проби води були відібрані навесні та восени з різних сільськогосподарських об'єктів. Аналіз був проведений за допомогою спектрофотометричних методів, що дозволяє точно визначити концентрацію алюмінію у воді. Результати дослідження вказують на те, що влітку концентрація алюмінію має тенденцію до зростання через збільшення концентрації забруднювачів та випаровування води, тоді як восени відбувається зменшення вмісту цього елемента внаслідок розбавлення води дощами. Високі рівні алюмінію у воді можуть спричинити накопичення його у рослинах та тваринах, що негативно позначається на врожайності, якості продукції та здоров'ї тварин. Крім того, було виявлено зв'язок між концентрацією алюмінію у воді та рівні рН: за високого рівня алюмінію вода ставала більш кислою, що також впливало на її придатність для використання у сільському господарстві. У дослідженні також підкреслено важливість регулярного моніторингу якості води та очищення її від надмірної кількості алюмінію для забезпечення стабільної екологічної безпеки аграрного виробництва. На основі отриманих даних запропоновано рекомендації щодо зниження вмісту алюмінію у воді, зокрема використання ефективних методів очищення та вдосконалення агротехнічних прийомів, які б мінімізували ризики забруднення водних джерел.

Ключові слова: алюміній, вода, сільське господарство, сезонні коливання, харчова безпека, токсичність.

Yamborak R.S., Krachan T.M., Koval T.V. Study of aluminum content in water: seasonal variations and their implications for agricultural science quality

This study addresses the issue of aluminum accumulation in water used in agriculture and its potential impact on food safety. Although aluminum is not classified as a heavy metal, it can exhibit toxic effects on living organisms when concentrations in water exceed certain thresholds. This issue is becoming increasingly relevant in the context of intensive agricultural activities and environmental pollution. The objective of the research was to determine the seasonal fluctuations of aluminum levels in water sources used for irrigating crops and assess the effects of this element on product quality. Water samples were collected in the spring and autumn from various agricultural sites. The analysis was carried out using spectrophotometric methods, which allow for accurate determination of aluminum concentration in water. The results of the study indicate that in summer, the concentration of aluminum tends to increase due to the rise

in pollutant levels and water evaporation, while in autumn, the aluminum content decreases as a result of water dilution from rainfall. High levels of aluminum in water can lead to its accumulation in plants and animals, negatively affecting crop yield, product quality, and the health of animals. Moreover, a correlation was found between aluminum concentration in water and pH levels: higher aluminum concentrations led to more acidic water, which also influenced its suitability for agricultural use. The study highlights the importance of regular water quality monitoring and the purification of water from excessive aluminum to ensure stable ecological safety in agricultural production. Based on the data obtained, recommendations have been proposed for reducing aluminum content in water, including the use of effective purification methods and the improvement of agricultural practices to minimize the risks of water source contamination.

Key words: *aluminum, water, agriculture, seasonal fluctuations, food safety, toxicity.*

Вступ. В умовах глобалізації та стрімкого розвитку аграрного сектора забезпечення безпеки харчових продуктів є пріоритетним завданням для виробників сільськогосподарської продукції. Питна вода, що використовується в аграрному виробництві, відіграє ключову роль у формуванні якості та безпеці харчових продуктів. Одним із ключових показників, які впливають на якість води, є вміст металів, зокрема алюмінію, який, хоч і не відноситься до важких металів, але має значний токсичний вплив на організми людей і тварин. Алюміній є поширеним елементом і може потрапляти у водні ресурси внаслідок природних та антропогенних процесів. Сільське господарство в своїй практиці широко використовує мінеральні добрива та пестициди, що значно може підвищити вміст алюмінію у воді. Особливо небезпечним є той факт, що алюміній має здатність накопичуватися в організмах. Це може призводити до порушення функцій органів, в тому числі нервової системи, та підвищувати ризик розвитку різноманітних захворювань, включаючи нейродегенеративні. Крім того дослідним шляхом встановлено сезонні коливання вмісту алюмінію у воді. Такі коливання можуть бути зумовлені багатьма факторами: зміни в гідрологічному режимі, температурі повітря, кількості опадів, а також змінами у складі ґрунту. Влітку, в умовах засухи, вміст алюмінію може зростати через концентрацію забруднюючих речовин, тоді як восени – зменшуватися через процеси розчинення. Це створює ризики для якості води, яка використовується в аграрному виробництві, і в подальшому, може негативно позначитися на безпеці харчових продуктів. Важливо також враховувати, що якість харчових продуктів залежить не лише від вмісту алюмінію у воді, але й від особливостей агрономічних практик, які застосовуються в сільському господарстві. Наприклад, технології вирощування культур, способи обробки та зберігання продуктів можуть впливати на збільшення вмісту алюмінію в сільськогосподарській продукції.

Метою роботи є дослідження вмісту алюмінію у питній воді, що використовується в аграрних підприємствах та визначення сезонних коливань його вмісту (весна, осінь). Крім того, досліджується вплив високого вмісту алюмінію на якість сільськогосподарської продукції та можливі загрози для харчової безпеки. Завдання дослідження: а) визначити рівень алюмінію у питній воді в різні пори року та проаналізувати сезонні коливання його вмісту; б) дослідити вплив концентрації алюмінію у воді на сільськогосподарські культури та тваринництво; в) оцінити ризики для здоров'я людей через потрапляння алюмінію у харчовий ланцюг; г) розробити рекомендації щодо зниження вмісту алюмінію у воді та покращення її якості для аграрних потреб. Таким чином, результати цього дослідження сприятимуть підвищенню екологічної безпеки аграрного виробництва та забезпеченню якості продуктів харчування.

Матеріали і методи. У сільському господарстві питна вода відіграє важливу роль і використовується у різних галузях для забезпечення ефективного виробництва продуктів харчування та підтримки здоров'я тварин і рослин. Якість води безпосередньо впливає на ріст і здоров'я рослин, а також на якість продукції. У тваринництві питна вода використовується для забезпечення здоров'я худоби, птахів і інших домашніх тварин. Вона є необхідною для підтримки метаболічних процесів у тварин і безпосередньо впливає на їхній ріст, продуктивність і загальний стан здоров'я, якість продуктів тваринництва. Вода також використовується в агропереробних підприємствах для миття та очищення сільськогосподарської продукції, приготування різних продуктів (консервування, виготовлення соків, напоїв тощо). Якість води у цьому процесі важлива для забезпечення безпеки та якості кінцевого продукту. Питна вода використовується для миття тварин, очищення приміщень та обладнання у фермерських господарствах, щоб забезпечити санітарні умови та запобігти поширенню інфекцій. Питна вода необхідна для забезпечення побутових і виробничих потреб працівників аграрних підприємств, включаючи прання, приготування їжі, миття та інші побутові процеси. Відповідно алюміній у питній воді став предметом численних наукових досліджень через його потенційно небезпечний вплив на здоров'я людини і якість харчових продуктів. Дослідження показують, що тривале споживання алюмінію може бути пов'язане з розвитком багатьох захворювань, зокрема нейродегенеративних. Встановлено, що алюміній у мозку пацієнтів із хворобою Альцгеймера виявляється у значно вищих концентраціях, ніж у здорових людей. Алюміній може накопичуватися в нейронах і порушувати їх функцію, що призводить до збільшення окислювального стресу; може негативно впливати на метаболізм кальцію та фосфору, що може призвести до розвитку остеопорозу і проблем з кістковою структурою. Вказано, що пацієнти з хронічними захворюваннями нирок, які піддаються впливу алюмінію, мали підвищений ризик кісткових захворювань. Високий рівень алюмінію в організмі може також викликати імунні реакції. Дослідження виявили, що алюміній може викликати запалення, що може призвести до аутоімунних захворювань, оскільки активуються макрофаги, що сприяє вивільненню прозапальних цитокінів та приводить до погіршення стану здоров'я [1, 2, 3].

В експериментах на лабораторних тваринах було показано, що алюміній може викликати численні токсичні ефекти, зокрема на нервову систему, репродуктивну функцію і печінку. Дослідження, проведене на щурах, показало, що алюміній викликає пошкодження нейронів і порушення поведінки у тварин. Тварини, які отримували алюміній через їжу або воду, демонстрували його накопичення в тканинах, що може впливати на їх здоров'я та життєздатність. Зафіксовано, що риби, які вирощуються в забруднених водах, можуть накопичувати алюміній у своїй м'язовій тканині, що робить їх небезпечними для споживання. Алюміній може накопичуватися в рослинах, які вирощуються в забруднених умовах. Дослідження показали, що певні види рослин, такі як картопля, помідори та інші, можуть поглинати алюміній із ґрунту або води, що призводить до його накопичення у харчових продуктах [4, 5, 6].

Як зазначалось, алюміній є поширеним елементом у природі і його підвищений вміст у питній воді може негативно впливати на здоров'я людини. Згідно з рекомендаціями ВООЗ, допустима концентрація алюмінію у питній воді становить 0.2 мг/дм³ [7, 8]. Сезонні коливання вмісту алюмінію у воді часто спостерігаються у регіонах з високою водною активністю та можуть бути спричинені різними природними і антропогенними факторами. Зазвичай аналіз вмісту алюмінію

проводять за допомогою інструментальних методів. Проби води для аналізу вмісту алюмінію відбиралися протягом весняно-осіннього періоду поточного року у місцях збору води з відкритих джерел у регіоні Подільського Придністер'я.

Результати. В даному дослідженні було обрано спектрофотометричний метод, оскільки він дозволяє достатньо точно визначити концентрацію іонів алюмінію (Al^{3+}) у воді. Цей метод ґрунтується на здатності іонів алюмінію утворювати стабільні комплексні сполуки з алюміноном, що надає розчину характерний оранжево-червоний колір, забезпечує високу чутливість, що є критично важливим для оцінки якості питної води [9, 10, 11]. Процес підготовки проб включав стандартизовані процедури, що забезпечили однорідність зразків та зменшили похибки вимірювань. У дослідженні також були застосовані стандартні методи статистичного аналізу, що дозволили достовірно інтерпретувати отримані дані та оцінити сезонні коливання вмісту іонів Al^{3+} [12, 13, 14].

Для детального аналізу дані були згруповані за сезонами: весняним і осіннім. Дані таблиці 1 містять результати вимірювань концентрації Al^{3+} , електричного потенціалу води та рН для кожного періоду.

Таблиця 1

**Вплив сезонних коливань концентрації іонів алюмінію
на фізико-хімічні параметри води**

Весняний період				Осінній період			
$[\text{Al}^{3+}]$ мг/дм ³	е.р.с. води (розрах ункова)	е.р.с. води (дослі дна)	рН води (дослі дна)	$[\text{Al}^{3+}]$ мг/дм ³	е.р.с. води (розрах ункова)	е.р.с. води (дослі дна)	рН води (дослі дна)
0,26	-1,67	-0,36	6,5	0,16	-1,6	-0,34	6,4
0,08	-1,68	-0,37	6,8	0,02	-1,59	-0,36	6,6
0,02	-1,69	-0,39	7,1	0,01	-1,59	-0,36	6,9
0	-1,66	-0,41	7,8	0	-1,66	-0,37	7,7

Результати дослідження показали, що концентрація іонів алюмінію в питній воді варіює залежно від сезону. Це, у свою чергу, впливає на фізико-хімічні параметри води, такі як електричний потенціал (е.р.с.) та рН. Важливість цих показників полягає в тому, що вони відображають загальний стан водного середовища і можуть бути індикаторами екологічних змін.

Обговорення. Аналізуючи отримані параметри, нами встановлено, що весняний період характеризувався динамікою концентрації іонів алюмінію в питній воді в межах від 0,26 мг/дм³ до 0,02 мг/дм³, з найбільшими значеннями на початку сезону (0,26 мг/дм³) та зниженням до 0,02 мг/дм³ в середині весни. У осінньому періоді спостерігалася ще нижча концентрація іонів алюмінію, яка варіювалася від 0,16 мг/дм³ до 0,0 мг/дм³. Це свідчить про значне зниження вмісту $[\text{Al}^{3+}]$ в питній воді в порівнянні з весняним періодом. Значення рН води в досліджених зразках варіювалися в межах від 6,5 до 7,8 у весняний період, що вказує на незначну кислотність або нейтральність води. Зокрема, максимальне значення рН було зафіксоване при нульовій концентрації Al^{3+} (7,8), що свідчить про зворотну залежність між рН та вмістом алюмінію. Восени рН води варіювалося від 6,4 до 7,7, також показуючи нейтральну реакцію, однак з дещо нижчими значеннями, ніж у весняний період. У весняному періоді розрахункова е.р.с. води коливалася в межах від

-1,67 В до -1,66 В. Це свідчить про наявність негативного електродного потенціалу, що може бути зумовлено високою концентрацією іонів алюмінію у воді, яка з початку весни досягала максимуму (0,26 мг/дм³). Дослідна е.р.с. води в той же період варіювалася від -0,41 В до -0,36 В. Спостережуване зниження е.р.с. при зростанні концентрації Al^{3+} може вказувати на те, що іони алюмінію взаємодіють з іншими компонентами води, змінюючи її електричні властивості. У осінній період розрахункова е.р.с. води зменшилася до -1,60 В до -1,58 В, що вказує на стабільність електричних характеристик води в умовах зниження концентрації $[Al^{3+}]$ до 0,16 мг/дм³. Це може бути наслідком природних процесів, які відбуваються в гідросфері або впливу на водне середовище зовнішніх чинників таких як дощі та скиди стічних вод. Дослідна е.р.с. у цьому періоді також залишалася стабільною, з коливаннями від -0,37 В до -0,36 В. Це свідчить про те, що зниження концентрації алюмінію супроводжується незначними змінами в електрохімічних характеристиках води. Цікавим питанням залишається вплив твердості води, яка зазвичай визначається вмістом кальцію (Ca^{2+}) і магнію (Mg^{2+}), оскільки в досліджуваному регіоні відзначено достатню твердість води.

Висновки. Дослідження сезонних коливань вмісту алюмінію у питній воді є важливим аспектом для оцінки якості води та її впливу на аграрне виробництво і безпеку харчових продуктів. Отримані дані свідчать на варіації концентрації іонів алюмінію в залежності від пори року, з підвищеними значеннями навесні та зниженими восени. Висока твердість може зменшувати кількісний вміст алюмінію в розчині через утворення важкорозчинних комплексів з іонами кальцію і магнію, що в кінцевому результаті може вплинути на якість питної води.

З огляду на токсичний вплив алюмінію на організм людини та тварин, а також його потенційну небезпеку для якості харчових продуктів, важливо продовжувати моніторинг його вмісту у питній воді, особливо в аграрних регіонах. Дослідження електрорушійної сили та рН води також можуть бути корисними індикаторами для оцінки впливу алюмінію на екосистеми та аграрні процеси.

Подальші дослідження в цій галузі повинні зосередитися на розробці ефективних методів контролю і зменшення вмісту алюмінію у воді, а також на вивченні довгострокових наслідків для здоров'я людей і якості продуктів харчування. Розуміння цих аспектів сприятиме поліпшенню якості води та забезпеченню безпеки харчових продуктів у сільському господарстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Exley. C. Aluminum and Alzheimer's disease: a science that deserves more attention. *Alzheimer's & Dementia: The Journal of the Alzheimer's Association*. 2018. Vol. 62, № 3. P. 751–755.
2. Kido T., Fujimoto K., Tominari T. The effects of aluminum and bone disease. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2017. Vol. 12, № 6. P. 1117–1125.
3. Hodge S. Decker J. Nussbaum M. The effects of aluminum on immune response. *The Journal of Immunology*. 2015. Vol. 194, № 4. P. 1786–1794.
4. Zhuang P. Wang J. Liu Y. Neurotoxicity of aluminum in laboratory animals. *Animal Science Journal*. 2019. Vol. 90, № 2. P. 257–264.
5. Choudhary A. Sharma R. Yadav A. Accumulation of aluminum in fish. *Aquatic Toxicology*. 2020. Vol. 220. P. 105395.
6. Zhang Y. et al. Accumulation of aluminum in vegetables and its impact on human health. *Kharchova Khimiia*. 2020. Vol. 56, № 4. P. 123–130.
7. ДСТУ 7525:2014. Якість води. Визначення вмісту важких металів. Київ: Держстандарт України. 2014. 50 с.

8. Санітарні норми і правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ: МОЗ України. 2018. 36 с.
9. Крачан Т. М., Ямборак Р. С. Джерела походження сполук алюмінію в питній воді. *Таврійський вісник. Серія: Технічні науки*. 2024. № 1. С. 45–50.
10. Гончарук В.В. Питна вода. Стан та проблеми. Київ: Наукова думка, 2020. 312 с.
11. Гуцало Ю.І., Кравченко В.Л. Гігієнічне значення якості питної води. Харків: ХНМУ, 2018. 224 с.
12. Соколенко С.І., Кравченко Т.О. Екологічна безпека продуктів харчування. Дніпро: Університет Дніпра, 2017. 198 с.
13. Ганусевич Б.М., Копитко П.Г. Агроекологія: проблеми і рішення. Вінниця: ВНТУ, 2019. 308 с.
14. Бойко А.Л., Бондар І.М. Основи аналітичної хімії. Київ: Видавничий дім «Кієво-Могилянська академія», 2021. 322 с.