

УДК 543.3:546.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.1.18>

ДЖЕРЕЛА ПОХОДЖЕННЯ СПОЛУК АЛЮМІНІЮ В ПИТНІЙ ВОДІ

Крачан Т. М. – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

ORCID ID: 0000-0002-0618-4483

Ямборак Р. С. – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри хімії

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

ORCID ID: 0000-0003-1865-9308

Контроль рівня Алюмінію в питній воді важливий для забезпечення безпеки і здоров'я споживачів, оскільки великі концентрації цього елемента можуть бути шкідливими для здоров'я людини. Алюміній у питній воді може походити з різних джерел, зокрема, він може бути присутнім у ґрунті та водоймах як результат природного розчинення мінералів, що містять Алюміній, таких як боксити, гідроксиди або силікати. Іншим способом потрапляння його у питну воду є антропогенні джерела. Алюміній може потрапляти в воду через промислові процеси та забруднення. Наприклад, зливи від алюмінієвих підприємств, використання алюмінієвих солей у водопідготовці або у якості коагулянтів для очищення води, а також відходи від виробництва алюмінієвих контейнерів. Також Алюміній може потрапляти в питну воду через матеріали, що використовуються у водопровідних системах. Наприклад, алюмінієві труби або фільтри, які містять алюмінієві компоненти сплавів. Іншими джерелами можуть бути забруднені джерела води в результаті відходів від сміттєзвалищ, використання агрохімікатів, промислових викидів тощо.

Предметом нашого дослідження є визначення вмісту Алюмінію у воді, яка використовується для пиття та приготування їжі в досліджуваному регіоні. Основна увага приділяється вивченню причин забруднення окремих зразків води Алюмінієм, а також впливу цього забруднення на роботу насосних та нагрівальних приладів і здоров'я мешканців. В дослідженні також розглядаються технічний стан нагрівальних елементів та можливість їхнього впливу на якість води.

Згідно результатів дослідження вмісту Алюмінію у воді, що використовується побутовими споживачами, встановлено високий вміст цього елемента у деяких зразках води, що перевищує допустимі норми згідно діючих стандартів. Високий вміст Алюмінію може спричинити неефективну роботу насосних та нагрівальних приладів, корозію елементів системи нагрівання та впливати на здоров'я людей через накопичення токсичних речовин в організмі. Таким чином, проблема високого вмісту Алюмінію в воді з газових котлів, насосів стає актуальною і потребує негайного вирішення. Необхідно встановити причини забруднення води, визначити джерела забруднення та розробити заходи для покращення якості води та ефективної роботи пристроїв для забезпечення безпеки, комфорту та здоров'я населення.

Ключові слова: харчування, Алюміній, питна вода, ГДК – гранично допустима концентрація, водопровідні системи.

Krachan T. M., Yamborak R. S. Sources of Aluminium compounds in drinking water

Control of Aluminium in drinking water is important to ensure the safety and health of consumers, as high concentrations of this element can be harmful to human health. Aluminium in drinking water can come from a variety of sources, including soil and water as a result of the natural dissolution of minerals containing Aluminium, such as bauxite, hydroxides or silicates. Another way it can enter drinking water is through anthropogenic sources. Aluminium can enter water through industrial processes and pollution. For example, discharges from aluminium smelters, the use of aluminium salts in water treatment or as coagulants in water purification, and waste from the production of aluminium containers. Aluminium can also enter drinking water through materials used in water supply systems. For example, aluminium pipes or filters that contain aluminium alloy components. Other sources may include contaminated water sources as a result of waste from landfills, agrochemicals, industrial discharges, etc.

The subject of our study is to determine the aluminium content of water used for drinking and cooking in the region under investigation. The main focus is to study the causes of Aluminium contamination of individual water samples, as well as the impact of this contamination on the operation of pumping and heating devices and the health of residents. The study also examines the technical condition of heating elements and the possibility of their impact on water quality.

According to the results of the study of Aluminium content in water used by household consumers, high levels of this element were found in some water samples, which exceeded the permissible limits according to the current standards. High levels of Aluminium can cause inefficient operation of pumping and heating devices, corrosion of heating system components, and affect human health through the accumulation of toxic substances in the body. Thus, the problem of high Aluminium content in water from gas boilers and pumps is becoming urgent and needs to be addressed immediately. It is necessary to establish the causes of water pollution, identify the sources of pollution and develop measures to improve water quality and efficient operation of devices to ensure the safety, comfort and health of the population.

Key words: food, Aluminium, drinking water, MPC – maximum permissible concentration, water supply systems.

Постановка проблеми. Ситуація з високим вмістом Алюмінію в воді, що потрапляє споживачам крізь індивідуальні системи водопостачання є серйозною і вимагає комплексного підходу до вирішення. Для початку, потрібно провести детальне дослідження для визначення причин забруднення води і встановлення джерел забруднення. Можливі причини включають декілька аспектів, зокрема, недостатню очистку води перед подачею у водопровідну систему. Система очищення води може бути неефективною або непрацюючою, що дозволяє Алюмінію та іншим елементам-забруднювачам потрапляти в систему водопостачання. Ще одним джерелом цього металу може бути корозія водопровідних труб і баків: Якщо водопровідні системи містять алюмінієві компоненти або вони знаходяться в поганому стані, може відбуватися корозія, що призводить до підвищеного вмісту алюмінію в воді. Використання алюмінієвих солей у водоочисних процесах також є важливим моментом у комплексі водопостачання. У деяких випадках, алюмінієві солі можуть використовуватися для очищення води, і, якщо цей процес не контролюється належним чином, вони можуть потрапляти у водопровідні системи.

Постановка завдання. Вивчити вміст Алюмінію у питній воді, що проходить через систему водопостачання у досліджуваному регіоні, встановити причини забруднення та розробити заходи для покращення якості води та ефективної і безпечної роботи водопровідної системи.

Мета та завдання досліджень: відібрати зразки води з різних джерел, визначити вміст Алюмінію у воді за допомогою методу спектрального аналізу, проаналізувати одержані результати у порівнянні з державними стандартами якості для питної води, визначити можливі джерела забруднення Алюмінієм у воді (наприклад, матеріали трубопроводів, використані агенти очищення тощо), оцінити стан насосних систем та газових котлів та їх ефективність, розробити заходи для зменшення вмісту Алюмінію в воді (наприклад, застосування фільтрів, заміна деталей системи), встановити рекомендації щодо регулярного технічного обслуговування приладів для підтримки їхньої ефективної роботи, підготувати рекомендації для споживачів щодо коректного використання цієї води для індивідуальних потреб.

Об'єктом дослідження є вода, яка подається через систему водопостачання для приготування їжі та пиття в досліджуваному регіоні. Основний акцент робиться на вивченні вмісту Алюмінію в цій воді, та джерел забруднення. Дослідження також включає в себе комплексний підхід до проблеми, який охоплює технічний стан водопровідної системи, яка використовується споживачами, а також можливі джерела забруднення Алюмінієм.

Очікувані результати дослідження вмісту Алюмінію у воді: передбачається високий вміст Алюмінію у зразках води, що перевищує допустимі норми згідно діючих стандартів; очікується, що значна частина пристроїв водопостачання буде показувати ознаки зношеності, корозії або відкладення на стінках насоса чи котла; прогнозується, що основними джерелами забруднення Алюмінієм будуть алюмінієві трубопроводи або використані агенти для очищення води.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному аналізі вмісту Алюмінію у питній воді з індивідуальних систем водопостачання, а також в оцінці технічного стану пристроїв водопостачання та їх впливу на якість води. Дослідження включає наступні аспекти: інтегрований підхід, аналіз джерел забруднення, розробка ефективних рекомендацій, вплив на здоров'я мешканців, перспективність заходів. Такий комплексний підхід щодо дослідження проблеми високого вмісту Алюмінію у воді може забезпечити високу цінність дослідження для практичного застосування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Алюміній та його сплави відіграють важливу роль у сучасній техніці та промисловості. Їх легкість, висока корозійна стійкість та інші властивості зробили їх популярними матеріалами у багатьох галузях, таких як транспорт, будівництво, авіація, космічна, а також харчова промисловість тощо.

Однак, важливо зазначити, що існують певні обмеження в застосуванні алюмінію та його сплавів. Наприклад, експлуатаційна температура алюмінію невисока, що робить його менш підходящим для використання в умовах високих температур. Тому в деяких випадках використовують сплави, які містять тугоплавкі та рідкісноземельні елементи, щоб підвищити температурну стійкість та інші властивості матеріалу. Не дивлячись на ці обмеження, алюміній та його сплави залишаються важливими матеріалами у сучасній техніці, і їх технологічний потенціал ще далеко не вичерпаний. З постійними дослідженнями і розвитком нових технологій, вони продовжують знаходити нові застосування та покращувати властивості, що робить їх важливими матеріалами для майбутніх інновацій [1].

За рівнем застосування алюміній займає одне з перших місць серед металів. Це обумовлено його невисокою густиною, високою міцністю. З алюмінію виготовляється різноманітна апаратура, електричні дроти, конденсатори, незамінні деталі деяких пристроїв. Алюмінієва фольга (товщиною 0,005 мм) має широке застосування в харчовій та фармацевтичній промисловості для упаковки продуктів та препаратів.

Алюміній хімічно активний, навіть у звичайних умовах покривається дуже міцною оксидною плівкою. Остання дещо послаблює металевий блиск алюмінію і визначає його досить високу корозійну стійкість [2]. При використанні у побуті слід мати на увазі, що нагрівати і зберігати в алюмінієвому начинні можна лише нейтральні рідини (наприклад, кип'ятити воду). Оскільки в побуті оксидну плівку на поверхні алюмінію дуже легко пошкодити, то використання алюмінієвого посуду не бажано. В організмі людини Алюміній щодня надходить із їжею (близько 2–3 мг), в середньому в організмі людини в кістках, м'язах міститься близько 60 мг Алюмінію. Алюміній бере участь у побудові епітеліальної і сполучної тканин, в процесі регенерації кісткової тканини, змінює реакційну здатність травних ферментів бере участь в обміні фосфору. Алюміній негативно впливає на обмін речовин, особливо мінеральний, на функцію нервової системи, впливає на розмноження і особливо на ріст клітин. При надлишковій концентрації спостерігали порушення рухової активності, судоми, зниження або втрату пам'яті, певні психопатичні реакції [3]. Надлишок солей Алюмінію погіршує засвоєння Кальцію

організмом, при цьому значно збільшується його вміст у кістках, печінці, мозку та в щитовидній залозі. Внаслідок використання упаковки на основі алюмінію (харчова фольга, паперові пакети на основі алюмінієвої фольги) метал залишається на твердій поверхні, і переходить в їжу. При зберіганні або тепловій обробці продуктів, особливо кислих, в алюмінієвій тарі, вміст цього елемента в продуктах може зрости майже в два рази. Найбільше цьому сприяють газовані напої (з фосфатною кислотою), томатний соус, ананаси, кава в алюмінієвих банках, і їжа, загорнена в алюмінієву фольгу [4; 5]. Цукристі речовини здатні вступати в реакції комплексоутворення з іонами Алюмінію та утворювати достатньо стійкі комплекси [6]. Оскільки флуорид-іони мають вплив на здатність до корозії металічного алюмінію, не рекомендують зберігати в алюмінієвій тарі продукти, багаті на Флуор, зокрема, чай, м'ясо, морепродукти, фторована вода. Присутність у водних розчинах аскорбінової кислоти та натрій хлориду підсилюють вилуговування іонів алюмінію з харчових алюмінієвих сплавів і за кип'ятіння розчину рівень алюмінію сягає концентрації $0,5 \text{ мг/м}^3$ [7].

Сучасне ефективне сільське господарство не може існувати без використання добрив та засобів захисту від різноманітних шкідників. При цьому деякі фосфатні добрива, які використовують у сільському господарстві, можуть містити алюміній як домішку. Під час поливу або дощу ці добрива можуть змиватися у водні джерела. Алюмінієві солі, які використовуються у водоподібних препаратах для очищення води (зокрема алюміній сульфат), можуть потрапляти у водойми через неякісне застосування або незадовільну утилізацію відходів. Отже, присутність Алюмінію у водних ресурсах стає предметом зростаючої занепокоєності через його потенційний вплив на здоров'я людей та якість харчових продуктів, що виробляються з використанням такої води. У зв'язку з цим актуальність дослідження впливу алюмінію у воді на харчові технології набуває особливого змісту. Окрім того, Алюміній може потрапляти в харчові продукти з ґрунту, який містить алюмосилікати і які внаслідок антропогенного впливу переходять у рухомі міграційні форми [4].

Згідно законодавства України, регламентований вміст Алюмінію в атмосферному повітрі (гранично-допустима концентрація (ГДК) алюміній оксиду в перерахунку на Алюміній становить $0,01 \text{ мг/м}^3$, окремих солей Алюмінію – $0,006 \text{ мг/м}^3$), у воді питній ($0,2 \text{ мг/м}^3$ та $0,5 \text{ мг/м}^3$ для води, що була оброблена реагентами на основі Алюмінію). Також регламентовано рівень міграції Алюмінію з пакувальних матеріалів для харчових продуктів та посуду (норматив $0,5 \text{ мг/дм}^3$). Вміст алюмінію в харчових продуктах в Україні не регламентується [7]. Згідно рекомендацій ВООЗ, кількість Алюмінію, що потрапляє до організму людини не повинен перевищувати 1 мг на 1 кг маси тіла за добу, за іншими даними добова норма надходження алюмінію до людського організму становить не більше 12 мг [4].

Деякі продукти харчування також містять Алюміній і його кількість становить (мг/кг): м'ясо та м'ясні вироби – від $1,6$ до 20 ; морква, помідори, яблука – до 150 ; продукція на основі какао (цукерки, шоколад) – до $65,2 \text{ мг/кг}$; в листі чаю $850\text{--}1400$. Вважається, що щоденне споживання двох літрів чаю, що містить до 200 мг Алюмінію, не шкідливе для людей зі здоровими нирками, але небезпечно для тих, хто страждає на захворювання нирок [7]. Вивчення стану Алюмінію в природних поверхневих водах стає все більш важливим через його потенційно токсичну дію на живі організми. Цей метал може мати шкідливий вплив як на рослинний, так і на тваринний світ, особливо в контексті його можливої концентрації у воді [8].

Раніше Алюміній дійсно вважався малотоксичним і навіть інертним, проте дослідження показали, що високі концентрації алюмінію у воді можуть мати шкідливий вплив на різноманітні види живих організмів. Підвищена концентрація Алюмінію в природних водоймах може бути спричинена різними факторами, такими як промислові викиди, використання алюмінієвих солей у водопостачанні або землеробстві, а також викиди від автомобілів та інших джерел забруднення. Такі дослідження наголошують на важливості ретельного моніторингу та контролю якості води, а також на необхідності прийняття заходів для зменшення викидів алюмінію у природні водоймища. Тільки таким чином можна зберегти екологічний баланс та запобігти потенційному шкідливому впливу на екосистеми водних об'єктів.

Токсичність Al (III) залежить від форми його знаходження у водному середовищі. До найтоксичніших відносяться його аквакомплекс $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ та деякі гідросокомплекс, зокрема $Al(OH)_2^+$ і $AlOH^{2+}$, що можуть існувати у слабко кислому середовищі за pH 4,5–5,5 [9]. Детоксикацію Алюмінію в природному водному середовищі спричиняють сульфати і силікати внаслідок утворення відповідних комплексних сполук. Проте набагато помітніше зниження токсичності Al (III) спостерігають внаслідок його зв'язування в комплекси з гумусовими речовинами. Своєю чергою, комплексоутворення за участю гумусових речовин зумовлює зростання міграційної здатності алюмінію в поверхневих водах, зокрема в тих, де зазначені органічні кислоти стають домінуючою групою у складі розчинених органічних речовин [9]. Оскільки існує певна залежність між вмістом органічних речовин та сезонними змінами, можна очікувати зміну концентрації іонів Алюмінію у досліджуваній воді.

В Україні проблема забруднення води Алюмінієм, вплив на харчові технології та безпеку харчових продуктів активно вивчається рядом наукових установ, університетів та дослідницьких організацій. Зокрема: Національна академія наук України (НАНУ) – Інститути екології, води та проблем стічних вод, біології водних екосистем, та інші дослідницькі установи активно займаються дослідженням якості води та її забрудненням. Національний університет водного господарства та природокористування (НУВГП) – Факультети екології та безпеки життєдіяльності, гідроекології та геоєкології активно проводять дослідження у галузі водних ресурсів та їх забруднення. Національний університет біоресурсів і природокористування України (НУБіП) – Факультети агроєкології, екології та природничих наук також здійснюють дослідження в галузі водних ресурсів та їх взаємодії з харчовими технологіями. Національний науковий центр «Інститут харчової безпеки» – Центр спеціалізується на дослідженні якості харчових продуктів, включаючи вивчення впливу різних забруднювачів, в тому числі і алюміній, на безпеку та якість харчових продуктів. Обласні екологічні та гідрологічні дослідницькі лабораторії. Дані установи та організації активно співпрацюють з міністерствами та державними службами України, провідними галузевими компаніями, а також міжнародними науковими організаціями для вирішення проблем забруднення водних ресурсів алюмінієм та його впливу на харчові технології та безпеку харчових продуктів [10–11].

Результати досліджень. При проведенні аналізу ми керувались нормативними документами, що описують методики дослідження вмісту Алюмінію у питній воді [12]. Тому для аналізу було обрано спектрофотометричний метод. Метод ґрунтується на здатності іона алюмінію утворювати з алюміноном лак оранжево-червоного кольору, що являє собою комплексну сполуку. Реакція здійснюється в слабко-кислому розчині за pH 4,50–4,65 у присутності сульфату амонію як стабілізатора забарвлення лаку, який фотометрується за довжини хвилі 525–540 нм.

Для проведення дослідження готували серію стандартних розчинів, що відповідає 0; 0,04; 0,08; 0,16; 0,28; 0,40 і 0,56 мг/л Алюмінію, додали відповідно 25,0; 24,9; 24,8; 24,6; 24,3; 24,0 і 23,6 мл підкисленої дистильованої води (3 мл хлоридної кислоти на 1000 мл дистильованої води). перемішали і додали по 25,0 мл реакційної суміші, що містить на 250 мл: 10 мл розчину сульфату амонію, 20 мл розчину алюмінію, 220 мл розведеного ацетатного буферного розчину (рН = 4,9) і 300 мг аскорбінової кислоти. Перемішують і через 25–30 хв вимірюють оптичну густину розчинів при 540 нм у кюветі на 30 мм відносно нульового розчину. За отриманими даними будують градувальний графік залежності оптичної густини розчинів від концентрації Алюмінію в мг/мл. Під час проведення нашого дослідження ми використали метод порівняння, оскільки вміст Алюмінію у досліджуваній воді був досить низьким (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст іонів Алюмінію у досліджуваних питній воді

Зразок	ГДК, мг/л	Вміст, мг/л
1	0,2–0,5	0
2		0
3		9,7856
		0
		81,2 мг/л

Висновки. Як показали наші дослідження, у двох із п'яти зразків спостерігається завищений вміст Алюмінію, що не відповідає чинним нормам і ГДК. Причиною збільшення концентрації ми вважаємо певний склад сплаву деталей, що забезпечують водопостачання і перебувають у безпосередньому контакті з питною водою.

Дані щодо токсичності Алюмінію та його сполук вказують на їхню біологічну активність та на здатність негативно впливати на теплокровні організми за хронічного впливу в досить низьких дозах, а саме – біля 45 мг на добу. Алюміній, який накопичується в водних ресурсах, може впливати на якість та безпеку харчових продуктів, змінюючи їх фізико-хімічні властивості та представляючи потенційні ризики для здоров'я споживачів.

Важливо підвищувати обізнаність серед споживачів та фахівців у галузі харчових технологій про ризики, пов'язані з алюмінієм у воді та харчових продуктах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Андрусишина І. М. Алюміній у питній воді і здоров'я людини. Київ, 2018. 38 с.
2. Левітін Є.Я. Бризицька А.М., Ключев Р.Г. Загальна та неорганічна хімія. Вінниця: Нова книга, 2003. 468 с.
3. Руденко С. С. Алюміній в природних біотопах: біохімічна адаптація тварин: Монографія. Чернівці : Рута, 2001. 300 с.
4. Saiyed SM. Yokel R.A. Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives. *Food Addit Contam*, 2005. Vol. 22(3). P. 234–244.
5. Turhan S. Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil. *Meat Science*, 2006. Vol. 74(4). P. 644–647.
6. Шерстюк В.П. Дегтярьов Л.С., Сарапулова О.О. Взаємодія цукристих речовин з поверхнею пакувальної алюмінієвої фольги. *Упаковка*, 2011. № 1. С. 50–54.

7. Кузьмінов Б.П., Зазуляк Т.С., де Агіар Даніель А.М., Харчук Р.В. Алюміній, як контамінант харчових продуктів. *Єдине здоров'я та проблеми харчування України*, 2013. №1(38). С. 65–68.

8. Набиванець Б.І., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. К.: Наукова думка, 2007. С. 456.

9. Жежеря В.А., Линник П.М. Вміст та форми знаходження алюмінію у воді річок басейну Прип'яті. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр.* 2010. Вип. 259. С. 171–187.

10. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання: СанПін 383 [Електронний ресурс]. – [Чинна від 1996-12-23]. Режим доступу: <http://document.ua/voda-pitna.gigienichni-vimogi-do-jakosti-vodi-centralizovannor3053.html>.

11. Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною: ДСанПін 2.2.4-171-10 [Електронний ресурс]. – [Чинна від 2010-05-12]. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/go/z0452-10.

12. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості / Наказ Держспоживстандарту України від 23.10.2014 № 1257. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61154.

REFERENCES:

1. Andrusyshyna I. M. (2018) *Aluminium u pytnii vodi i zdorovia liudyny* [Aluminium in drinking water and human health]. Kyiv, pp. 38.

2. Levitin Ye.Ia. Bryzyska A.M., Kliuiev R.H. (2003) *Zahalna ta neorhanichna khimiia* [General and inorganic chemistry]. Vinnytsia : Nova knyha, pp. 468.

3. Rudenko S. S. (2001) *Aluminium v pryrodnykh biotopakh: biokhimichna adaptatsiia tvaryn* [Aluminium in natural habitats: biochemical adaptation of animals]. Chernivtsi : Ruta, pp.300.

4. Saiyed SM. Yokel R.A. (2005) Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives. *Food Addit Contam.*, Vol. 22(3). pp. 234–244.

5. Turhan S. (2006) Aluminium contents in baked meats wrapped in aluminium foil. *Meat Science*, Vol. 74(4). pp. 644–647.

6. Sherstiuk V.P. Dehtiarov L.S., Sarapulova O.O. (2011) *Vzaiemodiia tsukrystykh rechovyn z poverkhnei pakuvalnoi aliuminiievoi folhy* [Interaction of sugary substances with the surface of aluminium foil packaging]. *Upakovka*, N 1. pp. 50–54.

7. Kuzminov B.P., Zazuliak T.S., de Ahlar Daniel A.M., Kharchuk R.V. (2013) *Aluminium, yak kontaminant kharchovykh produktiv* [Aluminium as a food contaminant]. *Yedne zdorovia ta problemy kharchuvannia Ukrainy*, N1(38). pp. 65–68.

8. Nabyvanets B.I., Osadchyi V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Yu.B. (2007) *Analychna khimiia poverkhnevyykh vod* [Analytical chemistry of surface water]. K. : Naukova dumka. pp. 456.

9. Zhezheria V.A., Lynnyk P.M. (2010) *Vmist ta formy znakhodzhennia aliuminiu u vodi richok baseinu Prypiati* [Content and forms of aluminium in the water of rivers of the Pripyat basin]. *Naukovi praci Ukrajinjskogho naukovo-doslidnogho gidrometeorologichnogho instytutu: Zb. nauk. pr.* N 259. pp. 171–187.

10. *Voda pytna. Hihienichni vymohy do yakosti vody tsentralizovanoho hospodarsko-pytnoho vodopostachannia*: SanPin 383. URL: <http://document.ua/voda-pitna.gigienichni-vimogi-do-jakosti-vodi-centralizovannor3053.html>.

11. *Hihienichni vymohy do pytnoi vody, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu*: DSanPin 2.2.4-171-10/ URL: zakon.rada.gov.ua/go/z0452-10.

12. DСТU 7525:2014 *Voda pytna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61154.