



UDC 628.54.5

## EXPRESS DETERMINATION OF TOXIC MICROELEMENTS IN BRINE AND MINERAL WATERS 3 USING HIGH FREQUENCY ULTRASOUND DURING HOMOGENIZATION OF EXTRACTS

Oleg I. Yurchenko, Ivan R. Shevchenko, Larisa V. Baklanova, Oleksandr M. Baklanov\*

V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., 61022 Kharkiv, Ukraine

Received 15 February 2026; accepted 5 May 2026; available online 20 June 2026

### Abstract

The possibility of using homogenization of chloroform extracts of diethyldithiocarbamates of lead, copper, and cadmium with a mixture of butyl acetate and acetone has been demonstrated. The optimal ratio of extract to homogenizing mixture was experimentally determined to be 1.0 : 1.0. In this case, the homogenizing mixture should consist of butyl acetate and acetone in a ratio of (1 : 0.2–1 : 0.5). The optimal parameters for ultrasound homogenization were defined as follows: frequency 12.0–14.0 MHz, intensity 3.0–4.0 W/cm<sup>2</sup>, and exposure time 3–4 minutes. A method for atomic absorption determination of lead, copper, and cadmium content in brines and waters was developed. The accuracy of the method was verified by analyzing the same samples using re-extraction (standard method) as well as the "added-found" method. The developed method provides the determination of lead in brines and waters with a Sr range from 0.076 to 0.084, copper with a Sr range from 0.072 to 0.078, and cadmium with a Sr range from 0.081 to 0.089. The method was successfully tested on tap water and brines. The use of ultrasonic homogenization of extracts combined with atomic absorption determination allows for rapid control of lead, copper, and cadmium content in waters and brines at levels equal to or below the maximum allowable maximum permissible concentration.

*Keywords:* atomic absorption analysis; lead; copper; cadmium; ultrasound; extraction; homogenization intensification.

## ЕКСПРЕСНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОКСИЧНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В РОЗСОЛАХ І МІНЕРАЛЬНИХ ВОДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКУ ВИСОКОЇ ЧАСТОТИ ПРИ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ЕКСТРАКТІВ

Олег І. Юрченко, Іван Р. Шевченко, Лариса В. Бакланова, Олександр М. Бакланов

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

### Анотація

Показана можливість використання гомогенізації хлороформних екстрактів діетилдитіокарбаматів свинцю, міді та кадмію сумішшю бутилацетату з ацетоном. Експериментально встановлено оптимальне співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш: 1.0 : 1.0. Гомогенізуюча суміш повинна складатися із бутилацетату та ацетону, взятих у співвідношенні (1 : 0.2–1 : 0.5). Визначені оптимальні параметри дії ультразвуку під час гомогенізації: частота 12.0–14.0 МГц, інтенсивність 3.0–4.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії – 3–4 хв. Розроблена методика атомно-абсорбційного визначення вмісту свинцю, міді та кадмію в розсолах та воді. Правильність методики перевірено аналізом одних і тих самих проб з використанням реекстракції (стандартна методика), а також методом «введено-знайдено». Розроблена методика забезпечує визначення в розсолах та воді свинцю з  $S_r$  від 0.076 до 0.084, міді – з  $S_r$  від 0.072 до 0.078, кадмію – з  $S_r$  від 0.081 до 0.089. Методика була успішно апробована на водопровідній воді та розсолах. Використання ультразвукової гомогенізації екстрактів з атомно-абсорбційним визначенням дозволяє проводити експресний контроль вмісту свинцю, міді та кадмію в воді та розсолах на рівні нижче ГДК.

*Ключові слова:* атомно-абсорбційний аналіз; свинець; мідь; кадмій; ультразвук; екстракція; інтенсифікація.

\*Corresponding author: e-mail: [oleksandrbaklanov27.03.20@gmail.com](mailto:oleksandrbaklanov27.03.20@gmail.com)

© 2026 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v34i2.352304

## Вступ

Найкращим методом визначення вмісту токсичних мікроелементів у мінералізованих водах та розсолах вважається полум'яна атомно-абсорбційна спектрометрія (ПААС) у поєднанні з попереднім екстракційним концентруванням [1–7]. Використання таких розчинників як метилізобутилкетон або бутилацетат дозволяє вводити екстракт прямо в полум'я, що підвищує експресність та відтворюваність аналізу [8–11]. Проте через їхню високу розчинність у воді не вдається досягти значного концентрування (понад 1 : 10), що лімітує чутливість методу. Водночас застосування малорозчинних у воді хлороформу або чотирихлористого вуглецю дозволяє досягти співвідношення фаз 1 : 100, але через погану горючість екстракту вимагає стадії реекстракції або мінералізації, що може призвести до втрати мікроелементів, що визначаються [8; 11; 12].

Описано [12–25] застосування ультразвуку для інтенсифікації пробопідготовки в аналізі мінеральних вод та розсолів. Встановлено, що ультразвуковий вплив суттєво прискорює аналітичний процес і покращує метрологічні характеристики результатів. Описано використання гомогенізації хлороформних екстрактів діетилдитіокарбаматів свинцю, міді та кадмію додаванням бутилацетату під дією ультразвуку низької частоти перед їх визначенням полум'яним атомно-абсорбційним методом. Для цього було використано дію ультразвуку частотою 34–45 кГц, інтенсивністю 1.4–2.0 Вт/см<sup>2</sup> протягом 1–3 хв з наступним введенням гомогенізованих екстрактів у полум'я атомно-абсорбційного спектрометру [12]. Однак розроблена методика мала суттєвий недолік – недостатню відтворюваність результатів визначення свинцю, міді та кадмію ( $S_r \geq 0.11$ ). Це пов'язано з використанням ультразвуку низької частоти, що призводить під час аналізу природних розсолів до часткового створення стійкої емульсії, яка містить значну кількість мікроелементів; крім того, створена емульсія мала частинки різного розміру через деяку нерівномірність дії низькочастотного ультразвуку. Таким чином створювалися умови для нерівномірного розподілу в суміші мікроелементів свинцю, міді та кадмію, що у свою чергу призводило до погіршення відтворюваності результатів аналізу [11]. Відомо, що після підвищення частоти ультразвуку підвищується рівномірність його

дії, що може дозволити уникнути утворення емульсій шляхом оптимізації параметрів ультразвуку: частоти, інтенсивності та часу дії [25].

Запропонована робота присвячена дослідженню можливостей використання ультразвуку високої частоти для гомогенізації хлороформних екстрактів діетилдитіокарбаматів свинцю, міді та кадмію додаванням бутилацетату для подальшого визначення токсичних мікроелементів методом полум'яної атомно-абсорбційної спектрометрії в розсолах та мінеральних водах.

## Експериментальна частина

Досліджена можливість прямого аналізу малорозчинних екстрактів (CCl<sub>4</sub> або CHCl<sub>3</sub>) у полум'ї пальника атомно-абсорбційного спектрометра шляхом їх розведення легкозаймистими органічними розчинниками. Визначення вмісту свинцю, міді та кадмію проводили на атомно-абсорбційному спектрометрі ААС-3 (Німеччина) в стехіометричному полум'ї ацетилен-повітря. Використовували лампи з порожнистим катодом Narva (Німеччина). Використовували стандартні зразки водних розчинів свинцю, міді та кадмію виробництва Фізико-хімічного інституту ім. О. В. Богатського (м. Одеса). Застосовували хлорид натрію (х. ч.) для спектрального аналізу, бідистильовану воду та інші хімічні реактиви кваліфікації не нижче ч.д.а.

Для експерименту була обрана найрозповсюдженіша система «діетилдитіокарбамат натрію – чотирихлористий вуглець (хлороформ)», за допомогою якої здійснювали концентрування Pb, Cu та Cd із розсолів та мінеральних вод. Для забезпечення горючості екстракту до нього додавали відповідну кількість легкозаймистих органічних розчинів: бутилацетату, метилізобутилкетону, ацетону. Для забезпечення гомогенності екстрактів використовували обробку дією ультразвукових коливань, а також механічне перемішування (на пристрої АВ-17).

Ультразвукові коливання надвисокої частоти ініціювали п'єзоелектричними випромінювачами ультразвуку з резонансними частотами 11.5; 12.0; 13.0; 14.5 і 14.5 МГц виробництва Дослідно-експериментального машинобудівного заводу Українського науково-дослідного інституту

соляної промисловості типу ЦТС-19М, виготовлені з цирконату титану свинцю із захисним покриттям із фторопласту, що підключалися до лампового генератора ультразвуку типу 24-УЗГИ-К-1,24М (Україна) [11; 12; 25].

Дослідження проводили на штучних розсолах на основі хлориду натрію х.ч. для спектрального аналізу з вмістом 8 мкг/л свинцю, міді та кадмію. Також використовували природні розсоли Дрогобицького та Слов'янського родовищ, водопровідну воду міста Дрогобич та річкову воду річки Стрий, органічні компоненти яких руйнували ультразвуковою обробкою відповідно до [11]. Попереднє концентрування металів здійснювали з використанням 3 %-го розчину діетилдітіокарбамінату натрію згідно з методиками [12; 14].

Нульову лінію атомно-абсорбційного спектрометра встановлювали по розчину контрольного дослідження, який готували з використанням усіх реагентів, окрім солей свинцю, міді та кадмію. Тобто таким чином враховували наявність можливих домішок свинцю, міді та кадмію в використаних реактивах [11; 12].

Методика експерименту була наступною. У ділильні лійки місткістю 1500 см<sup>3</sup> вносили по 1000 см<sup>3</sup> розчинів, що аналізували, додавали по 20 см<sup>3</sup> аміачного буферного розчину з рН 9; по 10 см<sup>3</sup> чотирихлористого вуглецю (хлороформу), 3 см<sup>3</sup> 3 % розчину діетилдітіокарбамінату натрію; струшували отриману суміш протягом 10 хв. Після поділу шарів

зливали органічний шар у хімічний реактор місткістю 25 см<sup>3</sup>, а водний шар промивали 2 см<sup>3</sup> чотирихлористого вуглецю (або хлороформу). Екстракти поєднували. До об'єднаного екстракту доливали відповідну кількість легкозаймистого органічного розчинника, взятого в відповідному співвідношенні з екстрактом. Далі на систему діяли ультразвуком частотою 11.5–14.5 МГц. Гомогенізований концентрат розпорошували в полум'я пальника атомно-абсорбційного спектрометра. Нуль приладу встановлювали по розчину контрольного дослідження.

Паралельно тіж самі проби аналізували з використанням для гомогенізації екстрактів: дії низькочастотного ультразвуку частотою 40 кГц, інтенсивністю 2 Вт/см<sup>2</sup> протягом 3 хв., а також з використанням механічного перемішування протягом 4 год струшувачем АВ -17(100 струшувач за хв) [14; 15].

### Результати та їх обговорення

У табл. 1 наведені результати дослідів щодо використання різноманітних легкозаймистих органічних розчинників. Максимальні значення сигналу абсорбції свинцю, міді та кадмію були зафіксовані для системи, що складалася з бутилацетату та екстракту хлороформу або чотирихлористого вуглецю (табл. 1). Додавання невеликих об'ємів ацетону до бутилацетату сприяло підвищенню абсорбції визначуваних аналітів. Відзначимо, що найкращі результати були отримані за співвідношення бутилацетат – ацетон – (1 : 0.2 – 1 : 0.5) (табл.1).

Таблиця 1

Величина аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію в залежності від складу органічної фази

Table 1

Analytical signal values for lead, copper, and cadmium as a function of the organic phase composition					
№ п/п	Органічна фаза – екстракційний реагент : гомогенізатор – розріджувач (1 : 1)		Величина аналітичного сигналу, від од.		
	Гомогенізатор – розріджувач	Екстракційний реагент	Pb	Cu	Cd
1	Метилізобутилкетон	Чотирихлористий вуглець	0.024	0.032	0.045
2	Метилізобутилкетон	Хлороформ	0.027	0.036	0.048
3	Ізоаміловий спирт	Чотирихлористий вуглець	0.077	0.094	0.098
4	Ізоаміловий спирт	Хлороформ	0.083	0.086	0.102
5	Етиловий спирт	Чотирихлористий вуглець	0.137	0.166	0.173
6	Етиловий спирт	Хлороформ	0.140	0.161	0.175
7	Ацетон	Чотирихлористий вуглець	0.091	0.109	0.115
8	Ацетон	Хлороформ	0.094	0.111	0.109

Продовження таблиці 1

9	Бутилацетат	Чотирьоххлористий вуглець	0.218	0.232	0.246
10	Бутилацетат	Хлороформ	0.219	0.233	0.247
11	Бутилацетат-ацетон 1:0,1	Чотирьоххлористий вуглець	0.253	0.279	0.291
12	Бутилацетат-ацетон 1:0,2	Чотирьоххлористий вуглець	0.281	0.306	0.317
13	Бутилацетат-ацетон 1:0,5	Чотирьоххлористий вуглець	0.284	0.310	0.321
14	Бутилацетат-ацетон 1:0,6	Чотирьоххлористий вуглець	0.285	0.312	0.323
15	Бутилацетат-ацетон 1:0,7	Чотирьоххлористий вуглець	0.211	0.229	0.238
16	Бутилацетат-ацетон 1:0,2	Хлороформ	0.285	0.309	0.319
17	Бутилацетат-ацетон 1:0,5	Хлороформ	0.287	0.311	0.322
18	Бутилацетат-ацетон 1:0,7	Хлороформ	0.214	0.232	0.239

У зразках № п/п 1–8 повної гомогенізації не спостерігається, в мікроскоп видні бульбашки екстракту. В № п/п 9–18 гомогенізація повна, бульбашки екстракту в мікроскоп не спостерігаються. Співвідношення розріджувач-екстрагент 1:1. Параметри ультразвуку: частота 12 МГц, інтенсивність 3.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії 2 хв. Аналізували синтетичний розсіл (250 г/дм<sup>3</sup> по NaCl), що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію.

У табл. 2 зведено вплив на величину аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш. У якості екстракту використаний хлороформ, а в якості гомогенізуючої легкозаймистої суміші – бутилацетат-ацетон – 1.0:0.5. Як видно із табл. 2, оптимальним є співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш 1.0:1.0.

Таблиця 2

**Вплив на величину аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш**

Table 2

**Effect of the extract to flammable homogenizing mixture ratio on the analytical signal values for lead, copper, and cadmium**

Елемент	Величина аналітичного сигналу, від. од.					
	Співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш					
	1.0:0.7	1.0:0.8	1.0:0.9	1.0:1.0	1.0:1.1	1.0:1.2
Свинець	*	0.193	0.258	0.287	0.239	0.216
Мідь	*	0.208	0.280	0.311	0.256	0.231
Кадмій	*	0.201	0.279	0.322	0.251	0.226

\*Повної гомогенізації не спостерігається, в мікроскоп видно бульбашки екстракту. Представлені усереднені результати шести дослідів. Аналізували синтетичний розсіл (250 г/дм<sup>3</sup> по NaCl), що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію. Параметри ультразвуку: частота 12 МГц, інтенсивність 3.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії 3 хв.

За співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш (екстракт-суміш бутилацетату з ацетоном 1.0:0.5) більше 1.0:1.0 відбувається зниження аналітичного сигналу внаслідок збільшення об'єму розчину, що не компенсується введенням додаткового пального в пальник атомно-абсорбційного спектрометра. За співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш менше

1.0:0.9 не забезпечується повна гомогенізація екстракту з сумішшю бутилацетат-ацетон, що також зменшує величину аналітичного сигналу (табл.2).

У табл. 3 представлений вплив на величину аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію концентрації хлориду натрію в штучному розсолі.

Вплив на величину аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію концентрації хлориду натрію в штучному розсолі

Table 3

Effect of sodium chloride concentration in synthetic brine on the analytical signal values for lead, copper, and cadmium

Елемент	Величина аналітичного сигналу, від. од.					
	Концентрація хлориду натрію у штучному розсолі, г/дм <sup>3</sup>					
	0	50	240	250	260	270
Свинець	0.285	0.289	0.288	0.287	0.276	0.268
Мідь	0.311	0.314	0.310	0.311	0.298	0.288
Кадмій	0.320	0.325	0.318	0.322	0.310	0.297

В цій таблиці і в наступних представлені усереднені результати шести дослідів. Аналізували синтетичний розсіл на основі NaCl (х.ч.) для спектрального аналізу, що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію. Параметри ультразвуку: частота 12 МГц, інтенсивність 3.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії 2 хв. Співвідношення екстракт – гомогенізуюча легкозаймиста суміш (екстракт-суміш бутилацетату з ацетоном 1.0 : 0.5) 1.0 : 1.0.

Як видно з табл. 3, концентрація хлориду натрію в штучному розсолі впливає на величину аналітичного сигналу свинцю, міді та кадмію. За 50 г/дм<sup>3</sup> величина аналітичного сигналу трохи збільшується, що пояснюється висолюючим ефектом; від 50 до 250 г/дм<sup>3</sup> величина аналітичного сигналу практично не змінюється. Під час подальшого підвищення

концентрації хлориду натрію величина аналітичного сигналу трохи зменшується, але не більше ніж на 10 %, що дозволяє проводити кількісне визначення свинцю, міді та кадмію в розсолах [13; 14].

Параметри ультразвуку впливали на ступінь вилучення свинцю, міді та кадмію (табл. 4–6). Із табл. 4 видно, що оптимальною частотою ультразвуку під час обробки суміші екстракт-бутилацетат-ацетон є 12.0–14.0 МГц. Під час цього ступінь вилучення свинцю становила 98.4–98.7 %, міді – 98.9–99.1 %, кадмію – 99.0–99.4 %. За частоти ультразвуку менше 12.0 МГц та більше 14.0 МГц спостерігалася неповна гомогенізація, що призводило до зменшення ступеня вилучення свинцю, міді та кадмію з розсолу.

Таблиця 4

Вплив на ступінь вилучення свинцю, міді та кадмію частоти ультразвуку

Table 4

Effect of ultrasound frequency on the degree of lead, copper and cadmium extraction

Елемент	Ступінь вилучення, % за частоти ультразвуку, МГц				
	11.5	12.0	13.0	14.0	14.5
Свинець	83.3	98.5	98.7	98.4	87.1
Мідь	87.5	99.1	98.9	99.1	90.2
Кадмій	89.1	99.4	99.0	99.3	91.0

Аналізували синтетичний розсіл (250 г/дм<sup>3</sup> NaCl), що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію. В якості екстракційного реактиву використано хлороформ, а в якості гомогенізуючої легкозаймистої суміші – бутилацетат-ацетон 1.0 : 0.5, співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш – 1.0 : 1.0. Інтенсивність ультразвуку 3.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії 2 хв.

Інтенсивність ультразвуку повинна бути 3–4 Вт/см<sup>2</sup>. За інтенсивності ультразвуку меншій, ніж 3.0 Вт/см<sup>2</sup>, гомогенізація буде неповною, а за інтенсивності ультразвуку більшої, ніж 4.0 Вт/см<sup>2</sup>, утворюються стійкі емульсії, що призводить до різкого зниження ступеню вилучення свинцю, міді та кадмію (табл. 5).

Таблиця 5

Вплив на ступінь вилучення свинцю, міді та кадмію інтенсивності ультразвуку

Table 5

Effect of ultrasound intensity on the degree of extraction of lead, copper and cadmium

Елемент	Ступінь вилучення, % при інтенсивності ультразвуку, Вт/см <sup>2</sup>				
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
Свинець	89.2	98.5	98.2	95.4	80.3
Мідь	90.4	99.1	99.0	96.3	82.1
Кадмій	91.5	99.4	99.1	96.5	83.0

Аналізували синтетичний розсіл (250 г/дм<sup>3</sup> NaCl), що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію. В якості екстракційного реактиву використано хлороформ, а в якості гомогенізуючої легкозаймистої суміші – бутилацетат-ацетон 1.0 : 0.5; співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш становила 1.0 : 1.0. Частота ультразвуку 12.0 МГц, час дії 3 хв.

Час дії ультразвуку повинен бути в межах 3–5 хв. За часу дії ультразвуку меншому 3.0 хв гомогенізація буде неповною, а за часу дії ультразвуку більше 5.0 хв утворюються стійкі емульсії, що призводить до зниження ступеню вилучення свинцю, міді та кадмію (табл. 6).

Таблиця 6

## Вплив на ступінь вилучення свинцю, міді та кадмію часу дії ультразвуку

Table 6

Effect of ultrasound exposure time on the degree of lead, copper and cadmium extraction					
Елемент	Ступінь вилучення, % за часу дії ультразвуку, хв				
	2.5	3.0	4.0	5.0	5.5
Свинець	80.6	98.5	98.7	98.1	77.0
Мідь	89.6	99.1	99.4	98.9	79.3
Кадмій	90.3	99.4	99.6	99.1	80.4

Аналізували синтетичний розсіл (250 г/дм<sup>3</sup> NaCl), що містить по 8.0 мкг/л свинцю, міді та кадмію. В якості екстракційного реактиву використано хлороформ, а в якості гомогенізуючої легкозаймистої суміші – бутилацетат-ацетон 1.0 : 0.5; співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш становила 1.0 : 1.0. Частота ультразвуку 12.0 МГц, інтенсивність ультразвуку 3.0 Вт/см<sup>2</sup>.

Таким чином, нами показана можливість використання гомогенізації хлороформних екстрактів діетилдитіокарбаматів свинцю, міді та кадмію сумішшю бутилацетату з ацетоном. Співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш повинна становити

1.0 : 1.0. Гомогенізуюча суміш повинна складатися із бутилацетату та ацетону взятих у співвідношенні (1 : 0.2–1 : 0.5). А сам процес гомогенізації повинен відбуватися під дією ультразвуку частотою 12.0–14.0 МГц та інтенсивністю 3.0–4.0 Вт/см<sup>2</sup> протягом 3–4 хв (табл. 1–6).

Розроблена методика атомно-абсорбційного визначення вмісту свинцю, міді та кадмію в розсолах та воді. Правильність методики перевіряли аналізом одних і тих самих проб з використанням реекстракції (стандартна методика), а також методом «введено-знайдено» (табл. 7).

Таблиця 7

## Порівняння результатів аналізу розсолів та вод на вміст свинцю, міді та кадмію

Table 7

Comparison of the results of analysis of brines and waters for the content of lead, copper and cadmium							
Проба	Введено Pb, Cu, Cd по мкг/дм <sup>3</sup>	Найдено Pb, Cu, Cd, мкг/дм <sup>3</sup> (p=0.95; n=6)					
		Свинець	Сr	Мідь	Сr	Кадмій	Сr
Атомно-абсорбційне визначення з використанням реекстракції (стандартна методика) [3]							
Розсіл Геройського родовища	0	16.72±1.77	0.101	36.31 ± 3.50	0.092	4.32 ± 0.46	0.102
	10.0	25.63±2.61	0.097	43.47 ± 4.29	0.094	12.79 ± 1.29	0.096
Розсіл Слов'янського родовища	0	8.90±0.92	0.099	37.08 ± 3.70	0.095	2.76 ± 0.30	0.105
	10.0	18.12±1.77	0.093	44.52 ± 4.29	0.092	12.02 ± 1.24	0.098
Розсіл Дрогобицького родовища	0	28.55±2.93	0.098	43.63 ± 4.16	0.091	5.54 ± 0.59	0.101
	10.0	36.22±3.53	0.093	49.81 ± 4.65	0.089	14.64 ± 1.49	0.097
Водопровідна вода, м. Трускавець	0	6.70±0.72	0.102	28.02 ± 2.67	0.091	1.14 ± 0.12	0.101
	10.0	15.53±1.55	0.095	35.75 ± 3.56	0.095	9.52 ± 0.95	0.095
Атомно-абсорбційне визначення з використанням ультразвукової гомогенізації, частота ультразвуку 12.0 МГц, інтенсивність ультразвуку 3.0 Вт/см <sup>2</sup> , час дії 3 хв.							
Розсіл Геройського родовища	0	16.94±1.47	0.083	36.96±2.79	0.072	4.39±0.40	0.086
	10.0	26.71±2.22	0.079	46.54±3.57	0.073	14.29±1.29	0.086
Розсіл Слов'янського родовища	0	9.08±0.78	0.082	37.75±3.09	0.078	2.87±0.26	0.085
	10.0	18.92±1.51	0.076	47.59±3.80	0.076	12.02±1.02	0.081
Розсіл Дрогобицького родовища	0	28.90±2.55	0.084	44.09±3.38	0.073	5.78±0.52	0.085
	10.0	37.99±3.11	0.078	53.72±4.23	0.075	15.65±1.36	0.083
Водопровідна вода, м. Трускавець	0	6.89±0.59	0.082	28.76±2.23	0.074	1.34±0.13	0.089
	10.0	16.58±1.34	0.077	38.39±3.02	0.075	10.27±0.92	0.085

Як видно з табл. 7, результати визначення вмісту свинцю, міді та кадмію за розробленою методикою мають менше відносне стандартне відхилення  $S_r$ , ніж за методикою, де використовується реекстрація. Це пояснюється відсутністю втрат елементів, що визначаються, під час гомогенізації екстрактів на відміну від реекстракції. Також слід зазначити, що ультразвукова гомогенізація екстрактів забезпечує більшу експресність визначення на відміну від механічного перемішування. Ультразвукова екстракція займає 3–4 хв, а гомогенізація дією механічного перемішування займає близько 4 год. Крім того, під час механічного перемішування відбувається часткове утворення емульсії, що призводить до погіршення метрологічних характеристик результатів аналізу [6]. Ультразвукова гомогенізація відбувається ймовірно під дією акустичних течій, оскільки за таких параметрів ультразвуку кавітація неможлива [6]. Також слід відзначити, що отримані результати аналізу водопровідної води свідчать про незначний вміст свинцю, міді та кадмію, значно менший за ГДК. Так, згідно з Державними санітарними правилами і нормами для водопостачання (ДСанПіН 2.2.4-171-10), максимальний рівень свинцю в водопровідній воді не повинен перевищувати 0.01 мг/л (10 мкг/л), міді – 1.0 мг/л (1000 мкг/л), кадмію – 0.003 мг/л (3 мкг/л) [6]. Гранично допустимі концентрації свинцю, міді та кадмію в природних розсолах не мають чітко визначених стандартів на рівні всіх країн, проте загальні рекомендації з охорони водних екосистем вказують на наступне: вміст свинцю не повинен перевищувати,

залежно від локальних умов, 0.1 мг/л, міді – 0.5 мг/л, кадмію – 0.1 мг/л [6]. Тобто розроблена експресна методика дозволяє проводити оперативний контроль вмісту свинцю, міді та кадмію в водах та розсолах на рівні ГДК та нижче.

### Висновки

Показана можливість використання гомогенізації хлороформних екстрактів діетилдітіокарбаматів свинцю, міді та кадмію сумішшю бутилацетату з ацетоном. Експериментально встановлено оптимальне співвідношення екстракт – гомогенізуюча суміш – 1.0 : 1.0. Водночас гомогенізуюча суміш повинна складатися з бутилацетату та ацетону взятих в співвідношенні (1 : 0.2–1 : 0.5). Визначені оптимальні параметри дії ультразвуку під час гомогенізації: частота 12.0–14.0 МГц, інтенсивність 3.0–4.0 Вт/см<sup>2</sup>, час дії 3–4 хв. Розроблена методика атомно-абсорбційного визначення вмісту свинцю, міді та кадмію в розсолах та воді. Правильність методики перевірена аналізом одних і тих самих проб з використанням реекстракції (стандартна методика), а також методом «введено-знайдено». Розроблена методика забезпечує визначення в розсолах та водах свинцю з  $S_r$  від 0.076 до 0.084, міді з  $S_r$  від 0.072 до 0.078, кадмію з  $S_r$  від 0.081 до 0.089. Методика була успішно апробована на водопровідній воді та розсолах. Використання ультразвукової гомогенізації екстрактів з атомно-абсорбційним визначенням дозволяє проводити експресний контроль вмісту свинцю, міді та кадмію в водах та розсолах на рівні та нижче ГДК.

### References

- [1] Sanz-Medel, A. (2014). *Atomic Absorption Spectrometry: An Introduction*. Momentum Press.
- [2] Atasoy, M. (2023). Development of a New Sensitive Method for Lead Determination by Platinum-Coated Tungsten-Coil Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry. *ACS Omega*, 8, 22866–22875. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.3c01856>
- [3] Zounr, R. A., Tuzen, M., Deligonul, N., Kuhuawar, M.Y. (2018). A Highly Selective and Sensitive Ultrasonic Assisted Dispersive Liquid Phase Microextraction Based on Deep Eutectic Solvent for Determination of Cadmium in Food and Water Samples Prior to Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. *Food Chemistry*, 253, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.167>
- [4] Şahin, A., Arıdaşir, I. (2018). Method for Determination of Lead Ions in Aqueous Samples: Ultrasound-Assisted Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Method Based on Solidification of Floating Organic Drop and Back-Extraction Followed by FAAS. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/8951028>
- [5] Kirsten, W. I., Bertisson, A. (2021). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. Perkin Elmer.
- [6] Krawczyk, M., Akbari, S., Jeszka-Skowron, M., Pajootan, E., Fard, F. S. (2016). Application of Dendrimer Modified Halloysite Nanotubes as a New Sorbent for Ultrasound-Assisted Dispersive Micro-Solid Phase Extraction and Sequential Determination of Cadmium and Lead in Water Samples. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 7, 1505–1514. <https://doi.org/10.1039/C6JA00096G>

- [7] Menghwar, P., Yilmaz, E., Sherazi, S.T.H., Soylak, M. A. (2018). Sensitive and Selective Deep Eutectic Solvent-Based Ultrasound-Assisted Liquid Phase Microextraction Procedure for Separation-Preconcentration and Determination of Copper in Olive Oil and Water Samples. *Separation Science and Technology*, 54, 2431–2439. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1547317>
- [8] Uslu, H., Büyükpınar, Ç., Unutkan, T., Serbest, H., San, N., Turak, F., Bakırdere, S. (2018). A Novel Analytical Method for Sensitive Determination of Lead: Hydrogen-Assisted T-Shape Slotted Quartz Tube-Atom Trap-Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Microchemical Journal*, 137, 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.10.015>
- [9] Welz, B., Sperling, M. (2008). *Atomic Absorption Spectrometry*. Wiley-VCH.
- [10] Doner, G. (2005). Determination of Copper, Cadmium and Lead in Seawater and Mineral Water by Flame Atomic Absorption Spectrometry after Coprecipitation with Aluminum Hydroxide. *Analytica Chimica Acta*, 547(1), 14–17. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.02.073>
- [11] Yurchenko, O., Baklanov, A., Chernozhuk, T. (2021). *Chemical applications of ultrasound. On the use of ultrasound in the analyses and technology of brains and sodium chloride solutions*. Lambert Academic Publishing.
- [12] Yurchenko, O. I., Chernozhuk, T. V., Pateleymonov, A. V., Baklanova, L. V., Baklanov, O. M. (2023). *Analytical chemistry of table salt, brines and highly mineralized waters*. Publishing House of V. N. Karazin Kharkiv National University.
- [13] Behbahani, M., Veisi, A., Omidi, F., Esrafil, A., Ebrahimi, M. H. (2017). Application of a Dispersive Micro-Solid-Phase Extraction Method for Pre-Concentration and Ultra-Trace Determination of Cadmium Ions in Water and Biological Samples: Ultrasonic Assisted Dispersive Micro-Solid Phase Extraction. *Applied Organometallic Chemistry*, 32, 1–10. <https://doi.org/10.1002/aoc.4134>
- [14] Sidorova, L. P., Baklanov, A. M., Vishnikin, A. B., Sydorova, M. G. (2025). Rapid spectrophotometric and visual test determination of arsenic in food and water. *Journal of Chemistry and Technologies*, 33(3), 633–640. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v33i3.325631>
- [15] Yurchenko, O.I., Chernozhuk, T. V., Kravchenko, O. A., Baklanov, A. N. (2024). [Atomic-absorption determination of cobalt in table salt and brines]. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(3), 538–543. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.292361>
- [16] Yebra, M. C. (2012). A Green Analytical Method Using Ultrasound in Sample Preparation for the Flow Injection Determination of Iron, Manganese, and Zinc in Soluble Solid Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2012, 298217. <https://doi.org/10.1155/2012/298217>
- [17] Ghaedi M., Shokrollahi A., Kianfar A.H., Pourfarokhi A., Khanjari N., Mirsadeghi A.S., Soylak M. (2009). Preconcentration and separation of trace amount of heavy metal ions on bis(2-hydroxy acetophenone)ethylendiimine loaded on activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2-3), 1408–1414. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.057>
- [18] Skok, A., Bazel, Y., Vishnikin, A. (2023). A new miniaturized microextraction HS-LPME-OIP procedure for ammonium determination based on Nessler's method. *Chemical Papers*, 77, 7303–7309. <https://doi.org/10.1007/s11696-023-02903-3>
- [19] Shirsath, S. R., Sonawane, S. H., Gavin, P. R. (2012). Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 53, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.01.003>
- [20] Neetu, S., Kumar, S., Patle, D. S. (2025). Intensification of extraction of bioactive compounds from pomegranate peel using an ultrasound-microwave assisted extraction approach: Parametric optimization, kinetics and thermodynamics. *Separation and Purification Technology*, 359(2), 130681. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.130681>
- [21] Yurchenko, O.I., Chernozhuk, T. V., Kravchenko, O. A., Baklanov, A. N. (2024). Atomic-absorption determination of chromium in table salt using matrix extraction separation and ultrasound action. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(1), 75–82. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.285484>
- [22] Yurchenko, O. I., Gubskii, S. M., Chernozhuk, T. V., Baklanov, A. N., Kravchenko, O. A. (2020). Monitoring of content of sodium, potassium, calcium and magnesium in whey processed products. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(1), 27–33. <https://doi.org/10.15421/082004>
- [23] Sydorova, M., Baybuz, O., Verba, O., Pidhornyi, P. (2021). Information technology for trajectory data mining. *Science and Innovation*, 17(3), 78–86. <https://doi.org/10.15407/scine17.03.078>
- [24] Baybuz, O. G., Sidorova, M. G. (2014). Information technology of the multivariate time series fuzzy clustering on the example of the samara river hydrochemical monitoring. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 114–122.
- [25] Margulis, M. A. (2004). Mechanism of Sonochemical Reactions and Sonoluminescence. *High Energy Chemistry*, 38(5), 285–294. <https://doi.org/10.1023/B:HIEC.0000041338.1177.074>