



Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online).

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>
editorial e-mail: chem.dnu@gmail.com



UDC 543.422.3: 546.19

RAPID SPECTROPHOTOMETRIC AND VISUAL-TEST DETERMINATION OF ARSENIC IN FOOD AND WATER

Larisa P. Sidorova^{1*}, Alexandr M. Baklanov², Andriy B. Vishnikin^{1,3}, Maryna G. Sydorova¹

¹Oles Honchar Dnipro National University, 72 Gagarin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine

²V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., 61022 Kharkiv, Ukraine

³University of Pavol Jozef Šafárik in Košice, Moyzesova, 11, Košice, 04001, Slovak Republic

Received 26 January 2025; accepted 22 June 2025; available online 20 October 2025

Abstract

An express method for spectrophotometric determination of arsenic in various food products has been developed. The intensifying effect of ultrasound at the stage of sample preparation has been established. Optimal parameters of ultrasonic exposure are selected (frequency interval 22–40 kHz, intensity 1.31–3.48 W/cm², processing time 0.5–3 min) for ultrasonic intensification of mineralization of seven groups of food products (vegetables, fruits, cereals, legumes, juices, beer, coffee). Application of ultrasound for intensification wet ashing after adding a certain amount of a mixture of oxidizers to the analyzed samples accelerates the stage of mineralization by hundreds of times, the total duration of the analysis by tens of times, and the consumption of oxidizers by several times. The accuracy of the results was checked by the standard addition method. In addition, these samples analyzed by the standard addition method after wet ashing. Satisfactory agreement between the results of all determinations was observed. Methods for semi-quantitative visual test determination of Arsenic were proposed using test scales at the level of 0.01 mg/kg/ml. Disks from chromatographic FN-5 paper impregnated with solutions of arsenic-sensitive reagents in organic solvents were used. The combination of preconcentration and determination made it possible to control arsenic in waters at the level and below the maximum permissible concentration.

Key words: arsenic; spectrophotometry; ultrasound; sample preparation intensification; test methods; food products; water analysis; express methods.

ЕКСПРЕСНЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ТА ВІЗУАЛЬНО-ТЕСТОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ АРСЕНУ В ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ ТА ВОДІ

Лариса П. Сидорова¹, Олександр М. Бакланов², Андрій Б. Вишнікін^{1,3}, Марина Г. Сидорова¹

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

³Університет Павла Йозефа Шафарика у Кошиці, Мойжесова, 11, Кошиці, 04001, Словачька Республіка

Анотація

Розроблено експресну методику спектрофотометричного визначення Арсену в різних харчових продуктах. Встановлено інтенсифікуючу дію ультразвуку на стадії пробопідготовки. Підібрано оптимальні параметри ультразвукового впливу (інтервал частот 22–40 кГц, інтенсивність 1.31–3.48 Вт/см², час обробки 0.5–3 хв) для ультразвукової інтенсифікації мінералізації семи груп харчових продуктів (овочі, фрукти, крупи, бобові, соки, пиво, кава). Застосування УЗ для інтенсифікації мокрого озолення після додавання до аналізованих проб певної кількості суміші окиснювачів у сотні разів прискорює стадію мінералізації, в десятки разів – загальну тривалість аналізу, в декілька разів – витрату окиснювачів. Правильність результатів перевіряли методом добавок. Крім того, ці ж проби аналізували стандартним методом після мокрого озолення. Спостерігається задовільна відповідність між результатами всіх визначень. Запропоновані методики напівкількісного візуально-тестового визначення Арсену за тест-шкалами на рівні 0.01 мкг/мл з використанням дисків із хроматографічного паперу марки FN-5, імпрегнованих розчинами миш'якчутливих реагентів у органічних розчинниках. Поєднання концентрування з визначенням дозволяє контролювати вміст Арсену в водах на рівні та нижче ГДК.

Ключові слова: арсен; спектрофотометрія; ультразвук; інтенсифікація пробопідготовки; тест-методи; харчові продукти; аналіз вод; експресні методи.

*Corresponding author: e-mail: sydorova.lp@gmail.com

© 2025 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v33i3.321738

Вступ

Арсен є одним із найпоширеніших токсичних компонентів біосфери. Його сполуки містяться в відходах та стічних водах підприємств деяких галузей виробництва, наприклад, кольорової металургії (переробка мідних, свинцевих, золотих та інших руд). Миш'як потрапляє в ґрунт із внесеними пестицидами і добривами, відходами металообробних виробництв, промисловими стоками і викидами, продуктами згоряння вуглеводнів і паливних сумішей [1].

Сполуки Арсену відносяться до значимих забруднювачів навколишнього середовища. Це одна з найвідоміших отрут, токсична для більшості живих організмів. Внаслідок отруєння миш'яком у людини уражаються ЦНС та периферична нервова система, шкіра, периферична судинна система. Його сполуки мають не тільки токсичну дію, а й відносяться до доведених для людини канцерогенів.

Контроль вмісту миш'яку в харчових продуктах необхідний, передусім, у зв'язку з внесенням у ґрунт отрутохімікатів, що його містять. Один з основних шляхів надходження миш'яку в організм людини по харчовому ланцюжку: з води та ґрунту в рослини та продукти харчування. ГДК миш'яку в харчових продуктах нормовано [2], зокрема в продукції рослинного походження вона становить 0.2 мг/кг.

Для визначення Арсену найчастіше використовують методи атомно-абсорбційної спектроскопії [3–7] та мас-спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою [8; 9]. Ці методи характеризуються високою чутливістю, однак і високою собівартістю аналізу, зумовленою використанням дорогого і складного обладнання та залучення висококваліфікованого персоналу. Доступнішими є спектрофотометричні методи [10–12]. Складність визначення миш'яку полягає не тільки в його малому вмісті, а й у втратах внаслідок високої летючості в ході підготовки проби до аналізу. Пробопідготовка за часом є лімітуючою стадією, яка для мокрої мінералізації триває 20–24 години. До того ж дуже важливе дотримання температурного режиму протягом усього часу аналізу [13].

Тому розробка експресних методик визначення різних речовин у харчових продуктах є актуальним питанням [14–17]. Для підвищення експресності аналізу харчових продуктів інтенсифікують пробопідготовку хімічними фізичними та

фізико-хімічними методами. Вплив зовнішніх фізичних полів, зокрема ультразвуку (УЗ), дозволяє інтенсифікувати стадію мокрої мінералізації харчових продуктів [18–21].

Мета запропонованої роботи – розробка експресної методики спектрофотометричного визначення миш'яку в харчових продуктах з використанням УЗ під час пробопідготовки та візуально-тестової методики з використанням дисків, імпрегнованих розчинами діетилдітіокарбамату срібла (ДДКАg) та хлориду 2,3,5-трифенілтетразолію (ТФТЗ).

Експериментальна частина

Реагенти і апаратура. В роботі використовували фотоелектроколориметр КФК-2 (світлофільтр 520 нм), спектрофотометри Specord M-40 та СФ-26. Для УЗ обробки застосовували ультразвуковий диспергатор УЗДН-1 з магнітострикційними випромінювачами, що працюють за частот 22 і 44 кГц в діапазоні інтенсивностей від 0.25 до 3.50 Вт/см², УЗДН-1М, що дозволяє змінювати частоти від 14 до 47 кГц з регулюванням інтенсивності до 25 Вт/см². Використовували реактиви кваліфікації не нижче х.ч. Розчини готували на дистильованій воді. Використовували диски з хроматографічного паперу марки FN-5, імпрегновані розчинами миш'якчутливих реагентів в органічних розчинниках

Методика дослідів. В пробірку з аналізованою речовиною додавали суміш (1 : 1) H₂O₂+HNO₃. Потім пробірку поміщали в магнітострикційний випромінювач і впливали ультразвуком частотою 22–44 кГц та інтенсивністю від 0.25 до 10.00 Вт/см² протягом певного часу. В отриманому прозорому розчині визначали миш'як спектрофотометричним методом з використанням розчину діетилдітіокарбамату срібла в хлороформі після відгону миш'яку в вигляді AsH₃ у присутності моноетаноламіну (520 нм). Паралельно проводили контрольний досвід для визначення домішок у реагентах, що використовуються, та контрольні визначення без ультразвукового впливу згідно з ДСТУ [22].

Спектрофотометрична методика визначення Арсену. 4 мл соку (пива) або 0.5 г твердих продуктів поміщають в пробірку. Доливають суміш (1 : 1) H₂O₂ + HNO₃ (8 мл для аналізу рідких та 10 мл для аналізу твердих). Пробірку поміщають у магнітострикційний випромінювач і впливають УЗ з частотою

22 кГц, інтенсивністю 1.31 Вт/см² протягом 3 хв для соків; 2.36–3.48 Вт/см² (для овочів, фруктів, круп, бобові, кава, пива) протягом 3 хв (пиво, бобові), 2–2.5 хв (овочі, фрукти, крупи), 0.5 хв. кава. В отриманому розчині визначають миш'як спектрофотометричним методом з діетилдітіокарбамінатом срібла в хлороформі після його відгону в вигляді арсину в присутності моноетаноламіну за 520 нм, використовуючи метод добавок або метод градувального графіка [18; 22].

Методика виготовлення стандартної кольорової шкали для контролю вмісту Арсену за інтенсивністю забарвлення реакгентного індикаторного паперу Були отримані ряди дисків для концентрацій 0.10–2.00 мкг/мл та 0.01–0.20 мкг/мл. Всі параметри методики, наведені в дужках, стосуються концентрацій 0.01–0.20 мкг/мл. У мірні колби місткістю 100 мл з мікробюретки приливали 0.0; 1.0; 2.5; 5.0; 10.0; 20.0 мл стандартного розчину з концентрацією Арсену 10 (1) мкг/мл; доводили об'єм розчину до мітки дистильованою водою та перемішували. Отримані розчини відповідали масовим концентраціям Арсену 0.00; 0.10 (0.01); 0.25 (0.025); 0.50 (0.05); 1.00 (0.1); 2.00 (0.2) мкг/мл. Стандартні розчини готували в день побудови кольорової шкали. Розчини об'ємом 5(50) мл вносили в реакційні колби місткістю 150 мл. Приливали в кожен колбу 12.50(25) мл хлоридної кислоти густиною 1.19 г/см³, 1.25 (2.5) мл розчину йодиду калію, 0.75 (1.5) мл розчину двохлористого олова і доводили дистильованою водою до 50 (100) мл, ретельно перемішували та витримували 15–20 хвилин для відновлення As (V) в As (III).

Реагентний індикаторний папір у вологому стані поміщали в спеціальне розширення трубки приладу для визначення Арсену над ватю, просоченою оцтовокислим свинцем, та закріплювали прижимним кільцем. Зверху закривали з'єднувальною трубкою з

капіляром, кінець якого занурювали в пробірку з поглинаючим розчином. У кожен реакційну колбу вносили 5 г гранульованого цинку і швидко надівали на колбу трубку з реакційним індикаторним папером. Крізь папір проходив потік арсину, забарвлюючи жовті диски в рожево-фіолетовий колір, а білі диски – в малиновий.

Методика визначення Арсену візуально-тестовим методом. Перед проведенням тестування до 5 мл (50 мл) аналізованої проби води додавали 0.1 мл (1 мл) концентрованої нітратної кислоти та обробляли ультразвуковими коливаннями частотою 22 кГц, інтенсивністю 3.43 Вт/см² протягом 1 хв. Такий сумісний вплив ультразвуку та кислоти дозволяє руйнувати органічні сполуки Арсену. Переносили пробу в колбу приладу для визначення миш'яку і проводили аналіз як описано вище. Об'єми, наведені у дужках, стосуються інтервалу концентрацій 0.01–0.20 мкг/мл.

Результати та їх обговорення

Попередня обробка ультразвуком проб харчових продуктів, що аналізуються, дозволяє інтенсифікувати стадію їх мокрої мінералізації. Найважливішими факторами, що інтенсифікують впливом УЗ на масообмінні процеси, є високоефективне УЗ перемішування і диспергування аналізованої речовини. Перемішування відбувається в основному під дією акустичних течій, швидкість яких прямо пропорційна частоті, а диспергування зростає зі збільшенням інтенсивності внаслідок кавітаційних явищ і зменшується зі зростанням частоти УЗ. У зв'язку з вищевикладеним параметри УЗ (частота, інтенсивність та час впливу) були підібрані таким чином, щоб забезпечити максимально можливі швидкості акустичних течій та ступінь руйнування органічної основи аналізованих речовин [13].

Table 1

Optimal parameters of ultrasonic (US) action

Таблиця 1

Оптимальні параметри ультразвукової (УЗ) дії

№	Група продуктів	Показники УЗ		
		I, Вт/см ²	t, хв.	E* _{пор} , Вт.хв/см ²
1	Овочі	2.36–3.48	2	4.72–6.96
2	Фрукти	2.36–3.48	2–2.5	4.72–6.96
3	Крупи	2.36	1.5–2.5	1.97–5.90
4	Бобові	2.36	3	7.08
5	Соки	1.31	3	3.93
6	Пиво	3.48	2–3	6.96–10.44
7	Кава	3.48	0.5	1.74

Примітка: *E_{пор} = I (Вт/см²) × t (хв)

До результатів дослідів були застосовані ієрархічні агрегативні методи кластерного аналізу [23; 24], що дозволило групувати досліджувані речовини за схожістю хімічного складу та вмісту миш'яку. Для кожної з виділених 7 груп харчових продуктів були запропоновані оптимальні параметри ультразвукового впливу (частота, інтенсивність та час впливу) (табл. 1).

Для руйнування органічної основи рідких продуктів, зокрема соків, достатньо впливу УЗ інтенсивністю 1.31 Вт/см^2 ($F = 22\text{--}40 \text{ кГц}$) протягом 3 хв, тоді як для аналізу твердих продуктів (овочі, фрукти, крупи, бобові, кава) аналізовані проби необхідно піддавати УЗ впливу інтенсивністю щонайменше $2.36\text{--}3.48 \text{ Вт/см}^2$ ($F = 22\text{--}40 \text{ кГц}$) протягом 0.5–3 хв. Збільшення інтенсивності та часу дії УЗ для пива можна пояснити додатковими енергетичними витратами пивонаповнювачів (хмель, солод, цукор). Збільшення інтенсивності УЗ впливу під час аналізу твердих речовин у порівнянні з рідкими продуктами пов'язане з додатковим диспергуванням аналізованої речовини, яка, як відомо, зі збільшенням інтенсивності зростає. Інтервал частот $22\text{--}40 \text{ кГц}$ – це частоти «оптимальної» кавітації, коли утворюється максимально можлива кількість радикалів для даної системи. Визначальним чинником дії УЗ, що інтенсифікує процес мокрої мінералізації, є звукохімічні реакції за участю радикалів. У кавітаційній області виникають також потужні гідродинамічні збурення в вигляді сильних імпульсів стиснення та мікропотоків, що породжуються пульсуючими бульбашками, які руйнують органічні речовини. Однак слід зазначити, що окиснення органічних складових зразка під дією лише УЗ, без застосування мінеральних кислот, є малоефективним. Невеликі кількості окиснювачів, що вводяться, ініціюють утворення радикалів. Істотно також прискорення дифузійних процесів внаслідок

диспергування матриці УЗ, що підтверджується значним зменшенням витрати окиснювачів. Таким чином, руйнування органічних сполук миш'яку під дією УЗ відбувається внаслідок комплексного впливу кавітаційних явищ: звукохімічних реакцій, диспергування під впливом гідродинамічних збурень і, як наслідок, прискорення дифузійних процесів у системі.

Дуже суттєвим є порядок дозування кислот: спочатку додають HNO_3 , потім H_2SO_4 . Передбачається, що окиснювальна дія вторинна за походженням. Вона пов'язана з утворенням і подальшим плесканням кавітаційних бульбашок і змінами тиску, температури, що в це час відбуваються, і електричними явищами. H_2O_2 , HNO_3 та інші окислювально-відновні агенти, що утворюються в результаті активації розчинених у воді газоподібних кисню та азоту, викликають та прискорюють окисні ефекти в УЗ полі, що пояснює зменшення витрати кислот у ході використання УЗ на стадії пробопідготовки під час аналізу харчових продуктів [13].

Запропонований метод апробований у аналізі понад 70 зразків харчових продуктів. Правильність результатів перевіряли методом добавок. Крім того, ці ж проби аналізували стандартним методом після мокрого озолення. Спостерігається задовільна відповідність між результатами всіх визначень. Результати визначення миш'яку в деяких харчових продуктах наведені в табл. 2. Наважка зразка для аналізу, яка використовувалась у розрахунках табл. 2 дорівнювала 1 г. Застосування УЗ для інтенсифікації мокрого озолення після додавання до аналізованих проб певної кількості суміші окиснювачів у сотні разів прискорює стадію мінералізації, загальну тривалість аналізу в 15 разів, витрату окислювачів, що вводяться, в 2 рази.

Table 2

Results of arsenic determination in some food products with a 1 g sample weight ($n = 5$, $P = 0.95$)

Таблиця 2

Результати визначення миш'яку в деяких харчових продуктах з наважкою 1 г ($n = 5$, $P = 0.95$)

Зразок	Введено As, мг/кг	Знайдено за запропонованою методикою		Введено As, мг/кг	Знайдено за методикою [22]	
		мг/кг	S_r		мг/кг	S_r
Яблучний сік	0	0.060 ± 0.003	0.05	0	0.054 ± 0.008	0.12
	0.050	0.094 ± 0.010	0.09	0.050	0.086 ± 0.010	0.10
	0.100	0.138 ± 0.014	0.09	0.100	0.130 ± 0.015	0.10
Сливовий сік	0	0.220 ± 0.015	0.07	0	0.163 ± 0.021	0.13
	0.100	0.303 ± 0.018	0.06	0.100	0.214 ± 0.022	0.11

	0.200	0.394 ± 0.021	0.05	0.200	0.294 ± 0.036	0.11
Березовий сік	0	0.148 ± 0.014	0.10	0	0.103 ± 0.016	0.16
	0.050	0.181 ± 0.013	0.07	0.050	0.126 ± 0.015	0.10
	0.100	0.226 ± 0.014	0.06	0.100	0.164 ± 0.020	0.11
Персиковий сік	0	0.103 ± 0.015	0.07	0	0.088 ± 0.012	0.06
	0.100	0.186 ± 0.035	0.09	0.100	0.177 ± 0.032	0.09
Виноградний сік	0	0.101 ± 0.011	0.10	0	0.090 ± 0.020	0.11
	0.100	0.175 ± 0.019	0.09	0.100	0.155 ± 0.019	0.11
Чорносмородиновий сік	0	0.017 ± 0.005	0.13	0	0.009 ± 0.003	0.15
	0.050	0.059 ± 0.001	0.08	0.050	0.049 ± 0.010	0.10
"Лісова ягода"	0	0.010 ± 0.040	0.04	0	0.009 ± 0.001	0.04
	0.050	0.057 ± 0.002	0.02	0.050	0.055 ± 0.001	0.05
Капуста	0	0.245 ± 0.021	0.09	0	0.143 ± 0.016	0.11
	0.050	0.291 ± 0.010	0.04	0.050	0.162 ± 0.019	0.12
	0.100	0.309 ± 0.013	0.04	0.100	0.200 ± 0.018	0.08
Морква	0	0.206 ± 0.013	0.06	0	0.122 ± 0.011	0.08
	0.100	0.288 ± 0.015	0.05	0.100	0.194 ± 0.015	0.07
Буряк	0	0.257 ± 0.010	0.03	0	0.120 ± 0.017	0.12
	0.100	0.316 ± 0.023	0.06	0.100	0.183 ± 0.020	0.10
Картопля	0	0.185 ± 0.010	0.05	0	0.156 ± 0.012	0.07
	0.100	0.260 ± 0.014	0.05	0.100	0.226 ± 0.016	0.06
Цибуля	0	0.645 ± 0.029	0.05	0	0.550 ± 0.015	0.03
	0.100	0.727 ± 0.025	0.03	0.100	0.623 ± 0.016	0.03
	0.200	0.830 ± 0.026	0.03	0.200	0.710 ± 0.012	0.02
Баклажан	0	0.256 ± 0.010	0.04	0	0.196 ± 0.014	0.07
	0.100	0.338 ± 0.007	0.03	0.100	0.283 ± 0.019	0.07
	0.200	0.421 ± 0.010	0.02	0.200	0.378 ± 0.016	0.04
Солодкий перець	0	0.262 ± 0.017	0.07	0	0.144 ± 0.011	0.08
	0.100	0.340 ± 0.010	0.04	0.100	0.223 ± 0.011	0.05
	0.200	0.431 ± 0.008	0.04	0.200	0.310 ± 0.010	0.03
Яблуко	0	0.234 ± 0.010	0.04	0	0.204 ± 0.015	0.07
	0.100	0.314 ± 0.011	0.04	0.100	0.297 ± 0.016	0.05
	0.200	0.411 ± 0.016	0.04	0.200	0.393 ± 0.019	0.04
Груша	0	0.141 ± 0.011	0.08	0	0.116 ± 0.009	0.08
	0.100	0.234 ± 0.016	0.07	0.100	0.204 ± 0.015	0.07
	0.200	0.332 ± 0.012	0.04	0.200	0.296 ± 0.015	0.05
Гречка	0	0.256 ± 0.006	0.03	0	0.108 ± 0.003	0.03
	0.100	0.347 ± 0.009	0.04	0.100	0.207 ± 0.005	0.02
	0.200	0.440 ± 0.005	0.03	0.200	0.301 ± 0.005	0.02
Рис	0	0.185 ± 0.007	0.04	0	0.140 ± 0.005	0.04
	0.100	0.271 ± 0.005	0.02	0.100	0.233 ± 0.005	0.02
	0.200	0.368 ± 0.006	0.02	0.200	0.325 ± 0.007	0.02
Горох	0	0.184 ± 0.008	0.04	0	0.126 ± 0.011	0.09
	0.100	0.258 ± 0.009	0.04	0.100	0.203 ± 0.013	0.06
	0.200	0.364 ± 0.008	0.02	0.200	0.298 ± 0.017	0.06
Квасоля	0	0.318 ± 0.009	0.03	0	0.214 ± 0.018	0.08
	0.100	0.401 ± 0.007	0.02	0.100	0.301 ± 0.018	0.06
	0.200	0.504 ± 0.009	0.02	0.200	0.400 ± 0.017	0.04
Кава	0	0.450 ± 0.014	0.03	0	0.276 ± 0.022	0.07
	0.100	0.536 ± 0.028	0.05	0.100	0.308 ± 0.039	0.11
	0.200	0.556 ± 0.037	0.06	0.200	0.403 ± 0.037	0.08
Пиво світле	0	0.036 ± 0.002	0.06	0	0.018 ± 0.001	0.06
	0.050	0.074 ± 0.001	0.08	0.050	0.054 ± 0.003	0.06
Пиво темне	0	0.076 ± 0.006	0.08	0	0.034 ± 0.002	0.06
	0.050	1.11 ± 0.005	0.05	0.050	0.054 ± 0.004	0.07

В роботі запропоновані тест-методи контролю вмісту Арсену в водах на рівні та нижче ГДК, які можна використовувати і для харчових продуктів.

Методи по визначенню вмісту Арсену з використанням тест-систем ґрунтуються на візуальній оцінці інтенсивності забарвлення

реактивної матриці, яка змінює свій колір під впливом арсину. В якості реактивної матриці використовували диски з хроматографічного паперу марки FN-5, імпрегновані розчинами миш'якчутливих реагентів у органічних розчинниках. У якості реагентів застосовували діетилдітіокарбамат срібла (ДДКАg) та хлорид

2,3,5-трифенілтетразолію (ТФТЗ). Арсену 0.10–2.00 та 0.01–0.20 мкг/мл, Оптимальний діаметр дисків становив 14 мм. забарвлення яких точно збігається. Таким чином, процедури тестування дають можливість вимірювати вміст Арсену за однією і тією ж кольоровою шкалою в різних діапазонах концентрацій шляхом варіювання об'ємом аналізованої проби води.

Table 3

Optimal conditions for manufacturing reactive indicator paper (RIP)

Таблиця 3

Оптимальні умови виготовлення реактивного індикаторного паперу (РІП)			
Реагент (R)	Середовище	CR, %	Час імпрегнування РІП розчином реагенту, хв.
Діетилдітіокарбамат срібла	Піридин	0.6–0.8	15–20
Хлорид 2,3,5-трифенілтетразолію	Вода: ацетон: n-бутанол = 10:5:3	1.0	3–5

Характеристики запропонованих тест-методик наведені в табл. 4. ГДК для води складає 0.05 мкг/мл (питна, вода з водоймища) та 0.10 мкг/мл (стічні води).

Table 4

Main characteristics of the proposed test methods for determining the Arsenic content

Таблиця 4

Основні характеристики запропонованих тест-методик для визначення вмісту Арсену				
Носій	Реагент	Зміна забарвлення дисків	Діапазон концентрацій забарвлення шкали, мкг/мл	Об'єм проби, мл
Хроматографічний папір марки FN-5	ДДК Ag	Жовтий – рожево-фіолетовий	0.01–0.20	50.00
		Білий – малиновий	0.10–2.00	5.00
	ТФТЗ	Білий – малиновий	0.005–0.10	50.00
			0.05–1.00	5.00

Розроблені тест-методики з ДДКАg та ТФТЗ можуть бути використані для визначення Арсену в питних, природних, стічних водах та харчових продуктах методом добавок. Для ілюстрації можливості застосування даної методики в природну воду (р. Дніпро) вводили

стандартні розчини миш'яку та проводили тестування.

Результати визначення Арсену за запропонованими методиками та спектрофотометричними наведені в таблиці 5.

Table 5

Results of determination of Arsenic content in natural water (Dnipro River) (n = 5, P = 0.95)

Таблиця 5

Результати визначення вмісту Арсену в природній воді (р. Дніпро) (n = 5, P = 0.95)					
Реагент – діетилдітіокарбамат срібла.					
Введено As, мкг/мл	Знайдено As, мкг/мл				Об'єм проби, мл
	Тест-метод		Фотометричний метод		
	x ± Δ	S _r	x ± Δ	S _r	
0.10	0.08±0.02	0.19	0.11±0.01	0.11	5.00
0.50	0.46±0.07	0.13	0.49±0.03	0.05	
Реагент – хлорид 2.3.5-трифенілтетразолію					
0.05	0.045±0.011	0.21	0.050±0.001	0.02	5.00
0.50	0.430±0.080	0.16	0.510±0.010	0.02	

Примітка. *Розмірності концентрацій для харчових продуктів та води згідно з ДСТУ 7670-2014 та ДСТУ ISO 17378-1:2018

Таким чином, в роботі запропоновані тест-методики напівкількісного визначення вмісту Арсену з використанням дисків із хроматографічного паперу марки FN-5. Поєднання концентрування з визначенням дозволило проводити контроль його в водах на рівні та нижче ГДК.

Висновки

Запропонована експресна методика спектрофотометричного визначення миш'яку з прискореною стадією пробопідготовки може бути успішно застосована для аналізу харчових продуктів та водних об'єктів навколишнього середовища. Методика характеризується високою чутливістю,

відтворюваністю та експресністю та була успішно апробована більше ніж на 70 зразках харчових продуктів семи груп (овочі, фрукти, крупи, бобові, соки, пиво, кава). Застосування УЗ для інтенсифікації мокрого озолення після додавання до аналізованих проб певної кількості суміші окиснювачів у сотні разів прискорює стадію мінералізації, загальну тривалість аналізу в 15 разів, витрату окиснювачів, що вводяться, в 2 рази. Запропоновані тест-методики напівкількісного тест-визначення вмісту Арсену на рівні 0.01 мкг/мл з використанням дисків із хроматографічного паперу марки FN-5,

імпрегнованих розчинами миш'якчутливих реагентів в органічних розчинниках. Методика була успішно апробована на природних водах та може використовуватися для харчових продуктів. Поєднання концентрування з визначенням дозволило проводити контроль Арсену в водах на рівні та нижче ГДК.

Acknowledgments

Funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the project No. 09I03-03-V01-00106 (Andrii Vyshnikin).

References

- [1] Bhat, A., O Hara, T., Tian, F., Singh B. (2023). Review of analytical techniques for arsenic detection and determination in drinking water. *Environ. Sci.: Adv.*, 2, 171–195. <https://doi.org/10.1039/D2VA00218C>
- [2] Order of the Ministry of Health of Ukraine from 22.05.2020 № 1238 [Regulation on maximum levels of certain contaminants in foodstuffs]. (in Ukrainian)
- [3] Sanchez-Rodas, D., Corns, W. T., Chen, B., Stockwell, P. (2010). Atomic fluorescence spectrometry: a suitable detection technique in speciation studies for arsenic, selenium, antimony and mercury. *J. Anal. At. Spectrom.*, 25, 933–946. <https://doi.org/10.1039/B917755H>
- [4] Michon, J., Deluchat, V., Al Shukry, R., Dagot, C., Bollinger, J.-C. (2007). Optimization of a GFAAS method for determination of total inorganic arsenic in drinking water. *Talanta*, 71, 479–485. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.06.016>
- [5] Mariam, S., Khan, I., Jaffar, S., Shahid, F., Khan, I.-A., Qureshi, A. S., Nawaz A. (2016). Study of arsenic impurity in water of Lahore by hydride generation atomic absorption spectrophotometry. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.*, 3(4), 1–4. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcrbp.2016.304.001>
- [6] Tuzen, M., Saygi, K. O., Karaman, I., Soylak, M. (2010). Selective speciation and determination of inorganic arsenic in water, food and biological samples. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.09.012>
- [7] Bryszewska, M. A., Hannam, S. E. S., Olivas, R. M., Camara, C. (2009). Direct arsenic determination in exposed embryos of Zebrafish (Aanio rerio) with zeeman electrothermal atomic absorption spectrophotometry. *Spectr. Lett.*, 42(6-7), 363–369. <https://doi.org/10.1080/00387010903185751>
- [8] Jackson, B. P., Liba, A., Nelson, J. (2015). Advantages of reaction cell ICP-MS on doubly charged interferences for arsenic and selenium analysis in foods. *J. Anal. At. Spectrom.*, 30, 1179–1183. <https://doi.org/10.1039/C4JA00310A>
- [9] Nan, K., He, M., Chen, B., Chen, Y., Hu, B. (2018). Arsenic speciation in tree moss by mass spectrometry based hyphenated techniques. *Talanta*, 183, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.055>
- [10] Tsang, S., Phu, F., Baum, M. M., Poskrebyshev, G. A. (2007). Determination of phosphate/arsenate by a modified molybdenum blue method and reduction of arsenate by $S_2O_4^{2-}$. *Talanta*, 71, 1560–1568. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.07.043>
- [11] Kishore Kumar, R., Venkateswarlu, S., Vijaya Kumar Reddy, K., Tulasamma, P., Govinda, V., Jyothi, N. V. V., Venkateswarlu, P. (2011) Arsenic (III) determination by spectrophotometry coupled with preconcentration technique in water samples. *J. Chem. Pharm. Res.*, 3(3), 626–634.
- [12] Vishnikin, A. B. (2005). Novel indirect spectrophotometric methods for determination of phosphate and arsenate using polyoxometalates and micellar medium. *J. Molec. Liquids*, 118, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2004.07.012>
- [13] Chmilenko, F. A., Baklanov, A. N. (2001). [Ultrasound in Analytical Chemistry. Theory and Practice]. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University, 2001. (In Russian)
- [14] Vishnikin, A. B., Sidorova, L. P., Voloboy, A. O. (2019). [Simultaneous spectrophotometric determination of food dyes in binary mixtures by h-point standard addition method]. *J. Chem. Technologies*, 27(2), 276–284. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/081928>
- [15] Sidorova, L. P., Vishnikin, A. B., Sydorova, M. G. (2022). [Simultaneous determination of synthetic food dyes in binary mixtures by mean centering and ratio difference methods]. *J. Chem. Technologies*, 30(2), 298–306. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i2.259255>
- [16] Sidorova, L. P., Vishnikin, A. B., Sydorova, M. G., Khudyakova, S. N. (2023). [Determination of food dyes in binary mixtures by absorbance subtraction method]. *J. Chem. Technologies*, 31(4), 704–712. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i4.275326>
- [17] Petrova, A. V., Ishimatsu, R., Nakano, K., Imato, T., Vishnikin, A. B., Moskvina, L. N., Bualtov, A. V. (2016). Flow-injection spectrophotometric determination of cysteine in biologically active dietary supplements. *J. Anal. Chem.*, 71(2), 172–178. <https://doi.org/10.1134/S1061934816020118>
- [18] Chmilenko, A., Baklanov, A. N., Sidorova, L. P., Lebedeva, E. V., Lebedeva, A. V. (2001). Ultrasonic intensification of sample preparation for spectrophotometric determination of arsenic in foodstuffs. *J. Anal. Chem.*, 56(1), 18–22. <https://doi.org/10.1023/A:1026755025799>
- [19] Yurchenko, O. I., Chernozhuk, T. V., Kravchenko, O. A., Baklanov, A. N. (2024). [Atomic-absorption determination of cobalt in table salt and brines]. *J. Chem.*

- Technologies*, 32(3), 538–543. (In Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.292361>
- [20] 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]. *J. Chem. Technologies*, 32(1), 75–82. (In Ukrainian).
<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.285484>
- [21] 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. *J. Chem. Technologies*, 28(1), 27–33. (In Ukrainian)
<https://doi.org/10.15421/082004>
- [22] DSTU ISO 2590:2004 [General method for the determination of arsenic. Photometric method using silver diethyldithiocarbamate]. (In Ukrainian)
- [23] Sydorova, M., Baybuz, O., Verba, O., Pidhornyi, P. (2021). [Information technology for trajectory data mining]. *Science and Innovation*, 17(3), 78–86. (In Ukrainian).
<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. (In Ukrainian)