

ПОЛУМ'ЯНО-ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СУЛЬФАТ-ІОНІВ У ВОДАХ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКУ

О.І. Юрченко, І.Р. Шевченко, Л.В. Бакланова, Т.В. Черножук, О.М. Бакланов

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна, yurchenko@karazin.ua

Анотація

Вивчено використання ультразвуку при полум'яно-фотометричному визначенні сульфат-іонів у водах непрямим методом по калію. При цьому, осадження сульфат-іонів проводили надлишком малорозчинної сухої солі фосфату калію барію. Показано, що кількість калію, що перейшов у розчин, є пропорційною кількості сульфат-іонів у аналізованій пробі. Для покращення відтворюваності та правильності отриманих результатів, а також для підвищення експресності аналізу, осадження сульфат-іонів проводили при дії ультразвуку частотою 5,0 – 7,0 МГц, інтенсивністю 3,0 – 5,0 Вт/см² протягом $\geq 2,0$ хв. Розроблено методику визначення сульфат-іонів у водах з мінералізацією до 50 г/л, діапазон визначуваних концентрацій сульфат-іонів 10 – 150 мг/л. Правильність отриманих результатів (визначали з використанням стандартних зразків води УкрНДІсіль СЗВ 022.3-20с, СЗВ 022.3-20м та СЗВ 022.3-20вм) була для води з мінералізацією 50 г/л - 92,5 – 93,1 %, а для води з мінералізацією до 10 г/л - 99,2 – 99,6 %. Відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу не перевищувало 0,051. Без використання ультразвуку кількісне визначення вмісту сульфат-іонів можливе лише у водах з мінералізацією до 10 г/л з правильністю 90,2 – 91,0%.

Ключові слова: сульфат-іони, полум'яно-фотометричне визначення, калій, вода, стандартні зразки, правильність, відносне стандартне відхилення.

1. Вступ

Кількісне визначення сульфат-іонів необхідно для оцінки якості питної води, а також при розв'язанні різноманітних технологічних задач [1, 2].

Існує багато прямих методів визначення сульфат-іонів у водах. Гравіметричний метод є дуже тривалим і багатостадійним і його використання у промисловості не дозволяє ефективно контролювати технологічні процеси [2-7].

Більш експресними є об'ємні і фотометричні методи з застосуванням органічних реагентів. Всі ці методи ґрунтуються на утворенні забарвлених комплексних сполук іонів металів з органічними реагентами і подальшому руйнуванні цих комплексних сполук SO_4^{2-} -іонами із зникненням або зміною забарвлення розчину [2-6]. Однак, ці методи погано піддаються автоматизації. Крім того, такі методи не дозволяють кількісне визначення вмісту SO_4^{2-} -іонів у водах з мінералізацією ≥ 10 г/л та вимагають використання дорогих органічних реагентів, що також ускладнює їхнє використання [2-6]. Турбідиметричні методи визначення сульфатів в водах мають низьку точність визначення, особливо у мінералізованих водах і практично не піддаються автоматизації [2, 7].

Описано [8] непрямий метод полум'яно-фотометричного визначення вмісту сульфат-іонів у водах по залишковій кількості барію, що полягає в додаванні до аліквоти аналізованої проби води відомої кількості розчину хлориду барію з хлористим воднем. Нерозчинна сполука сульфату барію, що утворюється, знижує вихідну концентрацію хлориду барію. Кількість хлориду барію, що залишився в розчині, визначають полум'яно-фотометричним методом і розраховують кількість сульфат-іонів. Діапазон визначених концентрацій сульфат-іонів запропонованим методом у пробах води становить від 10 до 100 мг/л [8]. Однак,

полум'яно-фотометричне визначення барію пов'язано з необхідністю використання високотемпературного полум'я. Також, полум'яно-фотометричному визначенню барію притаманні матричні заважаючі впливи, особливо у мінералізованих водах, що призводить до недостатньої відтворюваності результатів визначення сульфат-іонів $S_r \geq 0,10$ [8].

Описано [9] полум'яно-фотометричне визначення вмісту сульфат-іонів у водах непрямим методом по вмісту калію. Метод включає введення у воду, що аналізується, надлишку малорозчинної подвійної солі фосфату калію-барію, осадження сульфат-іонів у вигляді нерозчинного сульфату барію при механічному перемішуванні протягом 6-7 хв., відділення прозорого розчину центрифугуванням і визначення полум'яно-фотометричним методом вмісту сульфат-іонів по вмісту калію, що перейшов у розчин. Діапазон визначуваних концентрацій сульфат-іонів запропонованим методом у пробах води становить від 10 до 150 мг/дм³. У зв'язку з тим, що фосфат калію-барію помітно розчиняється у воді в кислому середовищі, визначення проводять при рН 5-7. Недостатня відтворюваність результатів полум'яно-фотометричного визначення сульфат-іонів, $S_r \geq 0,08$, а також недостатня правильність отриманих результатів аналізу пов'язані з неповним контактом частинок малорозчинної солі подвійного фосфату калію-барію з аналізованим розчином в умовах механічного перемішування, в результаті чого, деяка частина сульфат-іонів не може прореагувати з барієм подвійного фосфату калію-барію. Крім того, кількісне визначення сульфатів у водах з мінералізацією 50 г/л є неможливим через складність контакту частинок малорозчинної солі подвійного фосфату калію-барію з аналізованим розчином в умовах механічного перемішування [9].

Дія ультразвуку на процеси сорбції, співосадження, екстракції, спрямованої кристалізації дозволяє значно підвищити ступінь витягу компонентів, що визначаються, через більшу ефективність щодо інтенсифікації масобмінних процесів [10, 11].

Запропонована робота присвячена використанню ультразвуку при полум'яно-фотометричному визначенні сульфат-іонів у водах непрямим методом по калію шляхом осадження сульфат-іонів надлишком малорозчинної сухої солі фосфату калію барію з наступним визначенням вмісту калію, що перейшов у розчин.

2. Експериментальна частина

Застосовували атомно-абсорбційний спектрометр ААС-3 (Німеччина) у режимі емісії [12]. Полум'я пропан-бутан – повітря.

Ультразвукові коливання ініціювали п'єзоелектричними випромінювачами з робочими частотами 4, 5, 6, та 7 МГц, підключеними до лампового генератора 24-УЗГИ-К-1,6 М [12].

Використовували хлорид натрію кваліфікації х.ч. для спектрального аналізу, фосфат барію-калію кваліфікації х.ч., решта реактивів була кваліфікацією ч.д.а. Розчини готували на бідистильованій воді.

Для аналізу використовували стандартні зразки природних вод з різною мінералізацією виробництва Українського науково-дослідного інституту соляної промисловості:

- 1) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20с (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л);
- 2) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л);
- 3) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20вм (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л);
- 4) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100с (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л);
- 5) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100м (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л);

6) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100вм (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).

Також для аналізу брали водопровідну воду та бутильовану питну воду «Селтерська» з вмістом сульфатів до 28 мг/л.

Методика експерименту.

У центрифужну пробірку місткістю 75 см³ вносили 30 см³ аналізованої води, додавали 2 краплі індикатору метилового помаранчевого і нейтралізували NaOH до жовто-жовтогарячого фарбування розчину. Далі додавали 50 мг сухого фосфату калію-барію і діяли на систему ультразвуком частотою 4,5 – 7,5 МГц, інтенсивністю 2,5 – 5,5 Вт/см² протягом 1,5 – 4,0 хв. Далі центрифугували на швидкості не менше ніж 8000 об/хв. і аналізували прозорий розчин полум'яно-фотометричним методом згідно [2]. Для побудови градуовального графіку таким же чином обробляли стандартні розчини зі вмістом 0, 10, 50, 70, 100, 150 мг/л SO₄²⁻ іонів. За результатами фотометрування центрифугатів будували градуовальний графік та за ним визначали вміст сульфат-іонів у пробах.

Крім того, проводили дослідження де замість ультразвукового перемішування використовували механічне перемішування зі швидкістю 1000 об/хв.

3. Результати та їх обговорення.

У табл. 1 наведено порівняння полум'яно – фотометричного визначення сульфат-іонів у стандартних зразках води та у водопровідній і бутильованій водах з використанням перемішування дією ультразвуку частотою 7,0 МГц, інтенсивністю 3,0 Вт/см² протягом 2,0 хв. та з використанням магнітної мішалки зі швидкістю 1000 об/хв. протягом 60 хв.

Із табл. 1 видно, що при ультразвуковому перемішуванні правильність та відтворюваність отриманих результатів аналізу є кращими ніж у найближчого аналога.

Таблиця 1 - Порівняння полум'яно – фотометричних способів визначення сульфат-іонів у стандартних зразках води та у водопровідній і бутильованій водах за найближчим аналогом та за запропонованим способом.

Найменування проби та паспортне значення концентрації SO ₄ ²⁻ для стандартних зразків, мг/л	Введено SO ₄ ²⁻ , мг/л	Знайдено SO ₄ ²⁻ , мг/л / Sr	Ступінь витягу введеної частини SO ₄ ²⁻ , або правильність визначення SO ₄ ²⁻ у стандартних зразках, %
1	2	3	4
Ультразвукове перемішування			
1) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20с (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л)	0 10,0	19,89/0,034 29,80/0,025	99,5 99,1
2) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)	0 10,0	19,80/0,032 29,68/0,031	99,6 98,8

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
3) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20вм (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л)	0 10,0	18,54/0,040 27,80/0,051	93,1 92,6
4) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100с (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л)	0 50,0	100,12/0,023 149,53/0,025	99,6 99,0
5) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100м (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)	0 50,0	99,21/0,024 149,03/0,027	99,2 98,0
6) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100вм (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).	0 50,0	92,52/0,043 138,65/0,050	92,5 92,3
7) вода водопровідна	0 10,0	16,75/0,042 26,61/0,041	- 98,6
8) бутильована питна вода «Селтерська» зі вмістом сульфатів до 28 мг/л.	0 10,0	25,81/0,040 35,70/0,033	- 98,9
Механічне перемішування			
1) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20с (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л)	0 10,0	18,10/0,085 27,11/0,087	91,0 90,1
2) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)	0 10,0	17,95/0,093 26,92/0,092	90,2 90,0
3) стандартний зразок води СЗВ 022.3-20вм (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л)	0 10,0	16,32/0,103 24,42/0,099	82,0 81,1
4) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100с (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 0,5 г/л)	0 50,0	91,14/0,087 136,12/0,085	91,1 90,1
5) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100м (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)	0 50,0	90,18/0,087 135,11/0,088	90,2 90,0
6) стандартний зразок води СЗВ 022.3-100вм (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).	0 50,0	80,43/0,098 120,53/0,097	80,4 80,2
7) вода водопровідна	0 10,0	15,59/0,084 24,74/0,085	- 91,5
8) бутильована питна вода «Селтерська» зі вмістом сульфатів до 28 мг/л.	0 10,0	24,22/0,082 33,32/0,083	- 91,0

Так при ультразвуковому перемішуванні полум'яно-фотометричне визначення сульфат-іонів у водах забезпечує:

1) для вод з мінералізацією до 10 г/л правильність – 99,2 – 99,6 %, відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу – 0,023 – 0,034;

2) для вод з мінералізацією 50 г/л правильність – 92,5 – 93,1 %, відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу – 0,040 – 0,051;

Ступінь витягу введеної частини сульфатів для способу, що пропонується складає:

1) для вод з мінералізацією до 10 г/л – 98,6 – 99,1 %;

2) для вод з мінералізацією 50 г/л – 92,3 – 92,6 % (табл.1).

При механічному перемішуванні полум'яно-фотометричне визначення сульфат-іонів у водах забезпечує:

1) для вод з мінералізацією до 10 г/л правильність – 90,2 – 91,0 %, відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу – 0,085 – 0,093;

2) для вод з мінералізацією 50 г/л правильність – 80,4 – 82,0 %, відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу – 0,097 – 0,103;

Ступінь витягу введеної частини сульфатів при ультразвуковому перемішуванні складає:

1) для вод з мінералізацією до 10 г/л – 90,0 – 90,1 %;

2) для вод з мінералізацією 50 г/л – 80,2 – 81,1 % (табл.1).

Таким чином, ультразвукове перемішування дозволяє проводити кількісне визначення вмісту сульфат-іонів у водах з мінералізацією до 50 г/л (табл. 1). А механічне перемішування дозволяє проводити кількісне визначення вмісту сульфатів у водах з мінералізацією до 10 г/л з правильністю 90,2 – 91,0% (табл.1). У водах з мінералізацією в 50 г/л кількісне визначення сульфатів при механічному перемішуванні є неможливим, оскільки правильність отриманих менше 90 % (табл. 1) [2].

У табл. 2 наведено вплив частоти ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів визначення сульфат-іонів при використанні ультразвукового перемішування. Як видно з табл. 2, оптимальною частотою ультразвуку є 5,0 – 7,0 МГц. При використанні ультразвуку частотою менше ніж 5,0 МГц правильність та відтворюваність отриманих результатів аналізу погіршується. При збільшенні частоти ультразвуку більше, ніж 7,0 МГц також погіршується правильність та відтворюваність отриманих результатів аналізу

Таблиця 2- Вплив частоти ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів визначення сульфат-іонів у водах.

Частота УЗ, МГц	Правильність, %	Відносне стандартне відхилення (S_r)
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)		
4,5	97,0	0,054
5,0	99,6	0,032
6,0	99,3	0,034
7,0	99,5	0,032
7,5	96,5	0,051
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-100вм (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).		
4,5	89,4	0,057
5,0	92,5	0,043
6,0	92,3	0,045
7,0	92,4	0,043
7,5	82,9	0,059

У цій таблиці та у наступних наведено усереднені результати шести дослідів. Було використано ультразвук інтенсивністю 3,0 Вт/см², час дії ультразвуку – 2 хв.

У табл. 3 наведено вплив інтенсивності ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів визначення сульфат-іонів при використанні ультразвукового перемішування. Як

видно з табл. 3, оптимальною інтенсивністю є 3,0 – 5,0 Вт/см². При використанні ультразвуку інтенсивністю менше, ніж 3,0 МГц правильність та відтворюваність отриманих результатів аналізу погіршується. При збільшенні інтенсивності ультразвуку більше, ніж 5,0 Вт/см² також погіршується правильність та відтворюваність отриманих результатів аналізу.

Таблиця 3- Вплив інтенсивності ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів визначення сульфат-іонів у водах.

Інтенсивність УЗ, Вт/см ²	Правильність, %	Відносне стандартне відхилення (S_r)
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)		
2,5	95,0	0,059
3,0	99,6	0,032
4,0	99,1	0,038
5,0	99,0	0,036
5,5	97,3	0,063
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-100вм (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).		
2,5	56,4	0,059
3,0	92,5	0,043
4,0	92,5	0,043
5,0	92,0	0,044
5,5	67,2	0,080

Було використано ультразвук частотою 5 МГц, час дії ультразвуку – 2 хв.

У табл. 4 наведено вплив часу дії ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів

визначення сульфат-іонів. Як видно з табл. 4, час дії ультразвуку повинен бути не менш, ніж 2 хв.

При використанні дії ультразвуку протягом часу менше, ніж 2 хв. правильність та відтворюваність.

Таблиця 4- Вплив часу дії ультразвуку на правильність та відтворюваність результатів визначення сульфат-іонів у водах.

Час дії УЗ, хв.	Правильність, %	Відносне стандартне відхилення (S_r)
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-20м (атестований вміст сульфат-іонів 19,90 – 20,10 мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 10,0 г/л)		
1,5	76,0	0,065
2,0	99,6	0,032
3,0	99,5	0,034
4,0	99,5	0,035
Стандартний зразок води СЗВ 022.3-100м (атестований вміст сульфат-іонів 99,1 – 100,7мг/л, загальна мінералізація(NaCl) 50,0 г/л).		
1,5	54,1	0,080
2,0	92,5	0,043
3,0	92,5	0,043
4,0	92,0	0,043

отриманих результатів аналізу є незадовільними. Збільшення часу дії ультразвуку понад 2 хв. не призводить до покращення правильності та відтворюваності отриманих результатів аналізу.

Було використано ультразвук частотою 5 МГц, інтенсивністю - 3,0 Вт/см².

4. Висновок

Вивчено використання ультразвуку при полум'яно-фотометричному визначенні сульфат-іонів у водах непрямим методом по калію. При цьому, осадження сульфат-іонів проводили надлишком малорозчинної сухої солі фосфату калію барію. Показано, що кількість калію, що перейшов у розчин, є пропорційною кількості сульфат-іонів у аналізованій пробі. Для покращення відтворюваності та правильності отриманих результатів, а також для

підвищення експресності аналізу, осадження сульфат-іонів проводили при дії ультразвуку частотою 5,0 – 7,0 МГц, інтенсивністю 3,0 – 5,0 Вт/см² протягом $\geq 2,0$ хв. Розроблена методика визначення сульфат-іонів у водах з мінералізацією до 50 г/л, діапазон визначуваних концентрацій сульфат-іонів 10 – 150 мг/л. Правильність отриманих результатів (визначали з використанням стандартних зразків води УкрНДІсіль СЗВ 022.3-20с, СЗВ 022.3-20м та СЗВ 022.3-20вм) була для води з мінералізацією 50 г/л - 92,5 – 93,1 %, а для води з мінералізацією до 10 г/л - 99,2 – 99,6 %. Відносне стандартне відхилення отриманих результатів аналізу не перевищувало 0,051. Без використання ультразвуку кількісне визначення вмісту сульфат-іонів можливе лише у водах з мінералізацією до 10 г/л з правильністю 90,2 – 91,0%.

Список літератури

1. Williams W. J. Handbook of Anion Determination October 22, 2013; Length, 622 p. ISBN: 9781483176741
2. Юрченко О.І., Черножук Т.В., Пателєймонов А.В., Бакланова Л.В., Бакланов О.М. Аналітична хімія кухонної солі, розсолів та високо мінералізованих вод: монографія. Харків: Вид. ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2023. 298 с.
3. Unified methods of water analysis. Ed. Lurie Yu. Yu. - 2nd ed., corrected - M., "Chemistry", 1973 - 376 p.
4. Thangiah A.S.. Spectrophotometric determination of sulphate and nitrate in drinking water at asia-pacific international university campus, muak lek, thailand. *Rasayan J. Chem.* 2019, 12(3), 1503-1508 <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2019.1235201>
5. Arup Roy, Bidus Kanti Das, Jayanta Bhattacharya. Development and validation of a spectrophotometric method for measuring sulfate concentration in mine water without interference. *Technical Article.* 2011. Vol.30, 169–174 p.
6. Alhameedi D.Y., Alshirifi A.N.. Indirect spectrophotometric method for the determination of separated sulfate from the water samples. 2022, 030022. <https://doi.org/10.1063/5.0094217>
7. Sheen R.T., Kahler H.L., Ross E.M.. Turbidimetric Determination of Sulfate in Water. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition.* 2002, 7(4). DOI:10.1021/ac50096a022
8. Loginov Y., Kuznetsov V.. A New Method for the Quantitative Determination of Sulfate Ions in Aqueous Extracts from Soils and in Aqueous Media, and Analytical Equipment for Its Implementation. *Science Journal of Analytical Chemistry.* 2023, 11(1): 1-8. doi: 10.11648/j.sjac.20231101.11
9. Pleskach L.I., Chirkova G.D. Method of flame photometric determination of sulfate ions. A.s. 591746. G 01 N 1/28.1978, N 5.
10. Yurchenko O., Baklanov A., Chernozhuk T. Chemical applications of ultrasound. On the use of ultrasound in the analyses and technology of brains and sodium chloride solutions. *Lambert academic publishing* .2021, 185.

11. Priego Capote, F., Luque de Castro, M. D.. Ultrasound in analytical chemistry. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2007. 387, 249–257. <https://doi.org/10.1007/s00216-006-0966-4>
12. Yurchenko O.I., Chernozhuk T.V., Baklanov A.N., Cherginets V.L. Sonoluminescence Spectroscopy for the Analysis of Natural Brine. *Analytical letters*. 2023. 3, 1-7 p. <https://doi.org/10.1080/00032719.2023.2273906>

Надійшла (Received) 27.09.2024

Прийнята до друку (accepted for publication) 11.11.2024

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ/ABOUT THE AUTHORS

Юрченко Олег Іванович – зав. кафедри хімічної метрології ХНУ імені В.Н. Каразіна, д.х.н., професор, e-mail: yurchenko@karazin.ua, ORCID: 0000-0002-7117-4556

Yurchenko Oleh Ivanovych – head of Department of Chemical Metrology of KhNU named after V.N. Karazina, DSc (chemistry), professor, e-mail: yurchenko@karazin.ua, ORCID: 0000-0002-7117-4556

Шевченко Іван Романович – аспірант кафедри хімічної метрології ХНУ імені В.Н. Каразіна, e-mail: i.shevchenko@karazin.ua, ORCID: 0009-0002-6944-4016

Shevchenko Ivan Romanovych – postgraduate student of Department of Chemical Metrology of the KhNU named after V.N. Karazin, e-mail: i.shevchenko@karazin.ua, ORCID: 0009-0002-6944-4016

Черножук Тетяна Василівна – доц. кафедри неорганічної хімії ХНУ імені В.Н. Каразіна, к.х.н., доцент, e-mail: t.chernohyk@karazin.ua, ORCID: 0000-0001-5580-7838

Chernozhuk Tetyana Vasyilivna – associate professor Department of Inorganic Chemistry of KhNU named after V.N. Karazina, PhD, associate professor, e-mail: t.chernohyk@karazin.ua, ORCID: 0000-0001-5580-7838

Бакланова Лариса Володимирівна – доц. кафедри освітніх технологій та охорони праці ХНУ імені В.Н. Каразіна, к.х.н., доцент, e-mail: l.baklanova@karazin.ua, ORCID: 0000-0002-2051-0492

Baklanova Larisa Volodymyrivna – associate professor of Department of Educational Technologies and Labor Protection of V.N. Karazina, Ph.D., associate professor, e-mail: l.baklanova@karazin.ua, ORCID: 0000-0002-2051-0492

Бакланов Олександр Миколайович – проф. кафедри хімічної метрології ХНУ імені В.Н. Каразіна, д.х.н., професор, e-mail: o.baklanov@karazin.ua, ORCID: 0000-0001-9396-5204

Baklanov Oleksandr Mykolayovych – prof. Department of Chemical Metrology of KhNU named after V.N. Karazina, PhD, professor, e-mail: o.baklanov@karazin.ua, ORCID: 0000-0001-9396-5204

Flame-photometric determination of sulfate ions in water using ultrasound

Yurchenko O.I., Shevchenko I.R., Baklanova L.V., Chernozhuk T.V., Baklanov O.M.

Abstract

The use of ultrasound in the flame-photometric determination of sulfate-ions in water by the indirect potassium method was studied. At the same time, precipitation of sulfate ions was carried out with an excess of slightly soluble dry potassium barium phosphate salt. It is shown that the amount of potassium that has passed into the solution is proportional to the amount of sulfate ions in the analyzed sample. To improve the reproducibility and correctness of the obtained results, as well as to increase the expressivity of the analysis, the precipitation of sulfate ions was carried out under the influence of ultrasound with a frequency of 5.0 - 7.0 MHz, an intensity of 3.0 - 5.0 W/cm² for a period of time $\geq 2,0$ min. A method for determining sulfate ions in waters with mineralization up to 50 g/l has been developed, the range of determined concentrations of sulfate ions is 10 – 150 mg/l. The correctness of the obtained results (determined using standard water samples UkrNDIsil CRM 022.3-20s, CRM 022.3-20m and CRM 022.3-20vm) was for water with mineralization of 50 g/l - 92.5 - 93.1%, and for water with mineralization up to 10 g/l - 99.2 - 99.6%. The relative standard deviation of the analysis results did not exceed 0.051. Without the use of ultrasound, the quantitative determination of the content of sulfate ions is possible only in waters with mineralization up to 10 g/l with an accuracy of 90.2 - 91.0%.

Key words: sulfate-ions, flame-photometric determination, potassium, water, standard samples, correctness, relative standard deviation