

УДК 543.5+546.15

О.М.Трохименко

### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЙОДАТУ ЗА ЙОГО РЕАКЦІЄЮ З ЙОДИДОМ У ЙОДОВАНІЙ СОЛІ

Для встановлення однорідності розподілу йодату(V) калію в комерційних зразках йодованої кухонної солі оптимізовано просту і чутливу спектрофотометричну методику визначення йодату(V), що ґрунтується на фотометруванні при 350 нм водного розчину трийодиду  $I_3^-$ , утвореного в результаті перебігу окисно-відновної реакції між йодатом(V) і йодидом у кислому середовищі. Визначення запропоновано здійснювати у фосфорнокислих розчинах для маскування феруму(III). Оптимізована методика є придатною для знаходження середнього вмісту йодату калію в комерційних зразках солі з наважки 20 г, а також перевірки гомогенності його розподілу при аналізі проб масою 0.2 г.

*ВСТУП.* Для попередження ендемічного зобу йодування кухонної солі є звичною практикою. З цією метою ВООЗ рекомендує додавати 10 мг цього елемента на 1 кг столової солі. У деяких країнах світу, у тому числі в Україні [1], ця процедура законодавчо є обов'язковою. У Канаді і США для йодування використовується йодид калію, в Україні, як і у більшості інших країн, особливо з жарким і вологим кліматом, — йодат(V) калію. У США рівень йодування становить 100, у Німеччині — 25, а у Швейцарії — лише 5 мг йоду на кг солі. В Україні цей рівень складає 40 мг йоду на кг солі або в перерахунку на йодат(V) калію 67 мг/кг. Йодид калію (KI) є менш стійкою речовиною порівняно з йодатом(V) калію ( $KIO_3$ ) і може частково втрачатися при тривалому зберіганні комерційного продукту внаслідок його окиснення киснем повітря до легкого елементного йоду ( $I_2$ ), особливо у присутності вологи та під дією прямих сонячних променів:



Слід зазначити, що організмом людини йод засвоюється лише у формі йодиду ( $I^-$ ) [2]. Отже, в процесі приготування їжі або в кишковому тракті окисник йодат ( $IO_3^-$ ) мусить відновитися саме до йодиду, а не до проміжної форми  $I_2$ , руйнуючи при цьому еквівалентну кількість відновників, у тому числі й вітамінів (аскорбінова кислота). Крім того, у літературі є дані про токсичність оксогалогенатів [3, 4]. Ендокринологи наголошують [5], що перед споживанням продуктів, фортифікованих (збагачених) йодом, у тому числі йодованої кухонної солі, необхідно по-

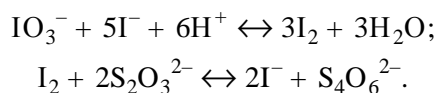
передньо визначити рівень екскреції йоду з уриною, що є показником забезпеченості організму цим мікроелементом. При подоланні йододефіциту споживачеві необхідно брати до уваги відмінності у метаболізмі йоду, що входить до складу органічних сполук продуктів харчування (морські водорості та риба, молоко та інші продукти тваринного походження) та йоду у формі неорганічних сполук (йодид чи йодат). Адже організм людини здатен контролювати кількість йоду, що засвоюється ним з органічних сполук (надлишок виводиться у кишечник і евакуюється). Знешкодити надмірне надходження йоду у формі неорганічних сполук організм людини не в змозі, що може спричинити токсичну дію надлишку неорганічного йоду на низку внутрішніх органів людини. Наразі запропонований в Україні препарат ( $KIO_3$ ) для йодування солі є в 10 разів токсичнішим за той, що використовувався раніше (KI). Йодат калію є стійкішим до дії вологи і сонячних променів порівняно з йодидом калію, тому для йодування кухонної солі він має переваги для виробника, а не для споживача.

Зазначимо, що існує технологічна проблема гомогенного розподілу грамових кількостей сполук йоду в тонажних кількостях продукту, що йодується, і вона є вельми важливою для споживача.

У нормативному документі [6] методика визначення йоду у складі йодату калію ґрунтується на перетворенні аналіту в йод у сірчано-кислому середовищі у присутності надміру йодиду калію та фотометричному визначенні йо-

ду, що виділився, у формі йод-крохмального комплексу. Методика [6, п. 2.11] має, на наш погляд, такі недоліки: 1) для визначення вмісту йоду відбирають аліквоту розчину, приготовленого з 10—50 г зразка, що не дозволяє визначити гомогенність комерційного продукту за йодом; 2) при побудові градувальних графіків і визначенні використовують розчини з загальним об'ємом 100 см<sup>3</sup>, що приводить до значних витрат реагентів і збільшує трудомісткість аналізу; 3) вимірювання вмісту йоду ґрунтується на фотометруванні синього забарвлення йод-крохмального комплексу ( $\lambda_{\max}$  = 580—595 нм). Ця методика є чутливою, але недостатньо точною. Це зумовлено тим, що крохмаль не є індивідуальною речовиною, а являє собою суміш амілози і амілопектину та інших природних полімерів, співвідношення між якими залежить від походження крохмалю. Клатрат йоду з амілозою має синьо-фіалкове ( $\lambda_{\max}$  = 620—680 нм), а з амілопектином — червоно-фіалкове забарвлення ( $\lambda_{\max}$  = 520—555 нм). Оптичні характеристики йод-крохмального комплексу залежать також від природи наявних супутніх компонентів у розчині, зокрема, хлорид-іона; 4) наявність у комерційному продукті феруму(III) (залежно від гатунку продукту від 0.005 до 0.040 % мас. у перерахунку на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [6, 7]) та додавання до нього, як антизлежувача, трьохводного гексаціаноферату(II) калію (до 0.001 % мас. [6, 7]) у присутності атмосферного кисню в умовах визначення викликає редокс-реакцію між йодидом і ферумом(III), що може привести до помилкових результатів аналізу.

Нормативний титриметричний метод [8, п. 4] визначення вмісту йоду в кухонній солі є недостатньо чутливим для контролю гомогенності розподілу йодвмісних сполук у комерційному продукті, оскільки потребує наважки зразка масою 20—50 г. Вимірювання середнього вмісту йодату(V) калію в йодованій кухонній солі рекомендується здійснювати титруванням йоду 5·10<sup>-3</sup> М розчином тіосульфату натрію, що виділяється при взаємодії йодату(V) в сірчанокислому середовищі з надміром доданого йодиду:



Необхідно зазначити тут, що визначення йоду у формі йодиду в роботі [8, п. 3] помилко-

во названо перманганатним методом, хоча насправді це є титриметричним методом, як і в п. 4, лише для переведення йоду з форми йодиду у форму йодату(V) у п. 3 використано манганат(VII) калію.

Підвищення чутливості та вибірковості визначення йоду досягається концентруванням методами рідинної [9] чи твердофазної екстракції [10]. Визначення здійснюють фотометруванням аналізу в органічному розчині чи на поверхні сорбенту. Описано також низку інших методів визначення йоду: хроматографічні [11—15], атомно-абсорбційні [16], електрохімічні [17, 18] та кінетичні спектрофотометричні методи на основі церій(IV)-арсенітної [19—22] та ферум(III)-нітрито-тіоціанатної [23—26] реакцій, що каталізуються йодом у формі йодиду.

Однак не всі згадані методики відповідають вимогам рутинного аналізу у разі великого потоку зразків, оскільки одні з них є трудомісткими, інші потребують складного апаратурного оформлення, кваліфікованого персоналу чи є недостатньо точними, хоча й чутливими [27, 28]. З огляду на це та з метою визначення гомогенності розподілу йодату(V) калію в комерційних зразках йодованої солі у даній роботі оптимізовано просту і чутливу спектрофотометричну методику визначення йодату(V), що ґрунтується на фотометруванні водного розчину трийодиду I<sub>3</sub><sup>-</sup>, утвореного в результаті перебігу окисно-відновної реакції між йодатом(V) і йодидом у кислому середовищі. Визначення запропоновано здійснювати у фосфорнокислих розчинах для маскування феруму(III).

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.** Усі реагенти (NaCl, KIO<sub>3</sub>, KI, NaOH, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ортофосфорна кислота, інші мінеральні кислоти) були марок х.ч. чи ч.д.а., крохмаль — водорозчинний. У роботі використано також зразки комерційної кухонної солі низки виробників. Стандарти та робочі розчини реагентів готували на дистильованій воді за загальноприйнятими методиками. Крім того, в роботі використано такі розчини: фоновий розчин хлориду натрію (розчиняють 10.00 г NaCl у воді і розбавляють водою до 100 см<sup>3</sup>); розчин I кухонної солі для перевірки гомогенності комерційного продукту за йодом (1.0000 г зразка кухонної солі розчиняють у воді і доводять об'єм розчину до 10 см<sup>3</sup>); розчин II кухонної солі для визначення серед-

нього вмісту йоду у комерційному продукті (100.0000 г зразка кухонної солі розчиняють у воді і розбавляють до загального об'єму 500 см<sup>3</sup>); розчин порівняння I (до 2.0 см<sup>3</sup> фоновому розчину хлориду натрію додають 1.0 см<sup>3</sup> 1 М розчину ортофосфорної кислоти і розбавляють до загального об'єму 10 см<sup>3</sup>); розчин порівняння II (до 4—7 см<sup>3</sup> розчину I кухонної солі чи розчину II кухонної солі додають 1 см<sup>3</sup> 1 М розчину ортофосфорної кислоти і розбавляють водою до загального об'єму 10 см<sup>3</sup>).

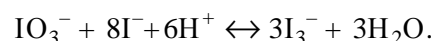
Вимірювання оптичної густини розчинів здійснювали на спектрофотометрі СФ-24 в 1 см кварцевих кюветах ( $\lambda$  288 нм чи 352 нм) за кімнатної температури (295 К).

Градувальний графік будували наступним чином. До шести мірних колбочок (градувальних пробірок) на 10 см<sup>3</sup> вносили 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 см<sup>3</sup> розчину йодату, що містить 1.5 мкг I/см<sup>3</sup>, і у кожен колбочку додавали по 1 см<sup>3</sup> 0.2 М розчину йодиду калію, 2.0 см<sup>3</sup> фоновому розчину хлориду натрію і 1 см<sup>3</sup> 1 М ортофосфорної кислоти. Вміст колбочок доводили водою до риски, закривали, перемішували і вимірювали оптичну густину одержаних розчинів відносно розчину порівняння I.

Для спектрофотометричного визначення вмісту йодату(V) в зразку кухонної солі у мірну колбочку (градувальну пробірку) на 10 см<sup>3</sup> додавали від 4 до 7 см<sup>3</sup> розчину I кухонної солі або 0.2000 г сухого зразка солі (щоб перевірити її гомогенність за йодом) чи розчину II кухонної солі (для встановлення середнього вмісту йоду), 1 см<sup>3</sup> 0.2 М розчину йодиду калію і 1 см<sup>3</sup> 1 М ортофосфорної кислоти, доводили водою до риски, закривали, перемішували. Поглинання одержаного розчину вимірювали відносно розчину порівняння II. Вміст йоду в зразку кухонної солі розраховували за градувальним графіком.

У разі оптимізованої методики титриметричного визначення йодату, як і стандартної методики [8], для аналізу використовували 20 г солі, що розчиняли у 80 см<sup>3</sup> води. Розчин солі обробляли 10 см<sup>3</sup> 0.2 М розчину йодиду калію і 10 см<sup>3</sup> 1 М розчину ортофосфорної кислоти. Виділений йод титрували 0.005 М розчином тіосульфату з додаванням перед досягненням точки еквівалентності 1 см<sup>3</sup> 1 %-го розчину крохмалю як індикатора.

**ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.** Хімічна реакція між йодатом і йодидом у кислому середовищі є помножувальною, оскільки з одного моля йодату утворюються три моля елементного йоду, що з надміром йодиду формує комплекс з переносом заряду складу I<sub>3</sub><sup>-</sup>:



Електронний спектр I<sub>3</sub><sup>-</sup> у згаданих умовах (рис. 1) характеризується двома максимумами світлопоглинання при 290 (молярний коефіцієнт світлопоглинання  $\epsilon = 38970$  дм<sup>3</sup>/моль·см) і 350 нм ( $\epsilon = 25750$  дм<sup>3</sup>/моль·см) з мінімумом при 320 нм, що є суперпозицією  $\lambda_{\text{max}}$  йодиду (226 нм) і  $\lambda_{\text{max}}$  елементного йоду (460 нм). Хоча максимум світлопоглинання, що спостерігається при 290 нм, характеризується більшим значенням  $\epsilon$ , у практиці аналізу, зазвичай, здійснюють вимірювання при 350 нм, з огляду на менше значення оптичної густини холостих проб. Так діють, зокрема, при визначенні окисників за їх реакцією з йодидом.

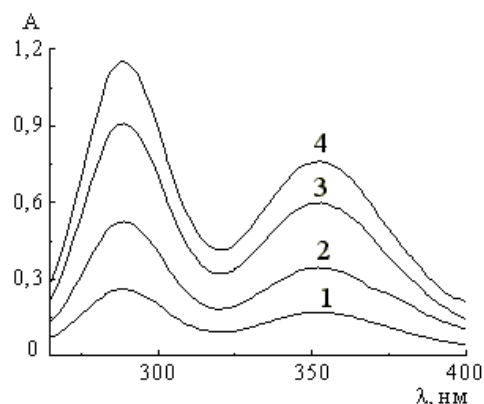


Рис. 1. Електронні спектри поглинання трийодиду у середовищі 0.1 М ортофосфорної кислоти.  $C_{\text{KI}} = 0.02$  М;  $C_{\text{IO}_3^-} \cdot 10^{-5}$ , М: 1 — 0.19; 2 — 0.41; 3 — 0.75; 4 — 0.97.

Дослідження впливу концентрації йодиду на перебіг йодат(V)-йодидної реакції показало (рис. 2), що оптична густина розчинів набуває постійного значення в середовищі 0.01—0.025 М йодиду при концентрації йодату  $8 \cdot 10^{-6}$  М і нижче, тобто при 1250-кратному мольному надмірі йодиду. При розробці методики визначення йодату і побудові градувального графіка використано 0.02 М середовище за йодидом калію.

Встановлено (рис. 3), що присутність у розчинах хлорид-йонів дещо послаблює світлопоглинання трийодидного комплексу при 350 нм,

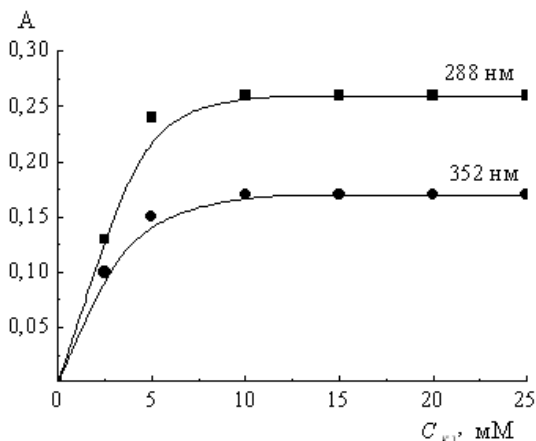


Рис. 2. Залежність оптичної густини розчинів від концентрації йодиду калію у середовищі 0.1 М ортофосфорної кислоти.  $C_{IO_3^-} = 1.5 \text{ мг/дм}^3$  ( $0.70 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ ).

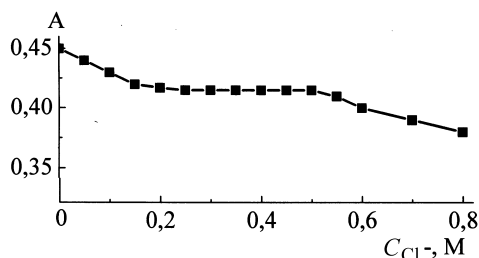


Рис. 3. Вплив концентрації хлорид-іонів на оптичну густину розчину трийодиду.  $C_{IO_3^-} = 1.75 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ ;  $C_{KI} = 0.02 \text{ М}$ ;  $C_{H_3PO_4} = 0.1 \text{ М}$ ;  $l = 1 \text{ см}$ ;  $\lambda = 350 \text{ нм}$ .

ймовірно, внаслідок часткового утворення комплексів складу  $Cl \cdot I_2$  з нижчим значенням  $\epsilon$  порівняно з  $\epsilon_{I_3^-}$ . Проте цей вплив є постійним у середовищі 0.18—0.50 М хлориду натрію, а отже, включає обрану нами концентрацію хлориду натрію (0.2 г в  $10 \text{ см}^3$  розчину) при розробці методики і побудові градувального графіка.

Природа аніону мінеральної кислоти при підкисленні йодат(V)-йодидних розчинів практично не впливає на світлопоглинання трийодидного комплексу. Перевагою використання ортофосфорної кислоти порівняно з іншими мінеральними кислотами у даному разі є те, що ортофосфат-іон здатен до комплексоутворення з Fe(III), а отже, до його маскування та попередження окиснення катіоном цього металу йодиду до йоду у разі присутності його мікрокількостей у зразках кухонної солі.

Нами проаналізовано на вміст йоду у формі йодату(V) 10 зразків столової солі вітчизняних

та зарубіжних виробників, у тому числі морської, наявних у торговельній мережі. Зразки відрізнялися за способом одержання, гатунком, видом (з добавками та без них) та крупністю. Встановлено, що виварна та сіль третього помелу характеризуються найгомогеннішим розподілом йоду в них. Стосовно середнього вмісту йоду в комерційних зразках необхідно відмітити, що згідно з роботою [7] масова частка йоду в їх складі повинна бути  $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4} \%$ , і за методикою [8] визначають масову частку саме йоду у відсотках. Однак на упаковці низка виробників декларує вміст йодату (йодована екстра вакуумна "Слов'янська" в паперовій упаковці 1.5 кг, задекларовано вміст йодату  $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4} \%$ ) або йодату калію (йодована кухонна кам'яна "Артемсіль" в паперовій упаковці 1.5 кг, задекларовано вміст йодату калію  $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4} \%$ ), що в перерахунку на йод становить  $\sim 29 \cdot 10^{-4}$  та  $\sim 24 \cdot 10^{-4} \%$  відповідно. У комерційних зразках морської солі (наприклад, морська йодована харчова натуральна дрібна "Salute di mare" в поліпропіленовій упаковці 0.6 кг) не вказано форму йоду, а задекларовано вміст загального йоду. Отже, виробникам необхідно декларувати вміст йоду, а не йодату чи йодату калію і додатково вказувати форму йоду (йодат калію, йодид калію, органічний йод), якою фортифікується продукт.

У таблиці наведено результати визначення середнього вмісту йоду за пропонованою та стандартною методиками і гомогенності його розподілу за пропонованою спектрофотометричною методикою в двох зразках солі кухонної, що випускається в Україні. Сіль I є продуктом вищого гатунку і містить добавки (оксид кремнію і силікат кальцію) для зменшення гігроскопічності. При розчиненні її у воді утворюється каламутний розчин, вплив каламуті на спектрофотометричні вимірювання компенсували вимірюванням аналітичного сигналу відносно холостої проби (розчин порівняння II). Зазначимо, що при фільтруванні розчинів солі одержували практично такі ж значення оптичної густини, як і у разі нефільтрованих розчинів. Сіль II у формі крупних кристалів є менш рафінованим продуктом порівняно з сіллю I та не містить нерозчинних у воді добавок. Для визначення йодату(V) за менш чутливою оптимізованою титриметричною методикою готували  $500 \text{ см}^3$  розчинів з вмістом солі  $200 \text{ г/дм}^3$ , відбирали аліквоти по  $50 \text{ см}^3$

Т а б л и ц я

**Результати визначення йоду в зразках комерційної кухонної солі за запропонованою спектрофотометричною (СФ) та оптимізованою стандартною титриметричною (ТТ) [8] методиками**

Сіль (задекларовано)	Знайдено йоду $10^4$ , % за СФ методикою ( $\lambda=350$ нм)		Знайдено йоду $10^4$ , % за ТТ методикою**
	Гомогенність проб за йодом*	Середній вміст йоду**	
Зразок I (задекларовано йодату калію $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4}$ %)	30.5	$30.5 \pm 3.00$	$30 \pm 5.0$
	30.7		
	31.3		
	33.3		
	35.8		
Зразок II (задекларовано йодату $(40 \pm 15) \cdot 10^{-4}$ %)	30.8	$50.0 \pm 2.10$	$50 \pm 5.0$
	38.0		
	40.8		
	45.5		
	50.3		

\* П'ять окремих наважок кожної проби ( $0.2000 \pm 0.0002$ ) г; \*\* аліквоти розчинів з однієї наважки кожної проби ( $100.0000 \pm 0.0002$ ) г,  $n=5$ ,  $P=0.95$ .

цих розчинів і титрували їх тіосульфатом. Зазвичай визначення середнього вмісту йодату проводять з 20—50 г солі. Спостерігали задовільну відповідність між результатами аналізу, одержаними спектрофотометричною і титриметричною методиками, та вищу точність результатів у разі першої методики (таблиця).

Примітно, що розподіл йоду в досліджених зразках виявився в межах задекларованого вмісту йоду. Так, результати визначення йоду в 0.2000 г випадкових наважок зразків характеризувалися відносним стандартним відхиленням 3.5 % для солі I і 15 % — для солі II. Очевидно, сіль I є більш гомогенною за розподілом йоду завдяки додатковому процесу перемелювання, що поліпшує рівномірність розподілу йодату (V) калію в продукті. Підкреслимо, що визначення вмісту йоду за титриметричною методикою потребує не менше 20 г проби, а отже, не дозволяє визначити рівномірність розподілу йоду у комерційному продукті.

**ВИСНОВКИ.** Оптимізована методика спектрофотометричного визначення йоду у формі йодату(V) калію у фосфорнокислому середовищі у

формі трийодиду при  $\lambda_{\max} = 350$  нм є придатною для визначення у присутності Fe(III) йодату(V) калію та гомогенності його розподілу в комерційному продукті йодованої кухонної солі на відміну від даних робіт [7, 8], оскільки потребує невеликої наважки проби (0.1—0.2 г). Результати визначення середнього вмісту йоду в йодованій кухонній солі запропонованою спектрофотометричною та оптимізованою стандартною титриметричною методиками задовільно співпадають між собою. Зазвичай виробники контролюють масову частку йоду у комерційному продукті, але, на жаль, декларують масовий вміст йодату(V) чи йодату(V) калію, тобто масовий вміст форми йоду чи сполуки йоду, якою фортифікують продукт, а не масовий вміст форми аналіту, що визначають.

**РЕЗЮМЕ.** Для установлення однородності розподілення іодата(V) калія в комерческих образцах йодированной кухонной соли оптимизирована простая и чувствительная спектрофотометрическая методика определения иодата(V), основывающаяся на фотометрировании при 350 нм водного раствора трийодида  $I_3^-$ , образующегося в результате протекания окислительно-восстановительной реакции между иодатом (V) и иодидом в кислой среде. Определение предложено осуществлять в фосфорнокислых растворах для маскирования железа(III). Оптимизированная методика является пригодной для нахождения среднего содержания иодата калія в комерческих образцах соли из навески 20 г, а также проверки равномерности его распределения при анализе пробы массой 0.2 г.

**SUMMARY.** To determine the uniformity of distribution of the iodate(V) of potassium in commercial samples of iodized table salt is optimized a simple and sensitive spectrophotometric method for determining iodate(V), based on photometry at 350 nm in aqueous triiodide  $I_3^-$  formed as a result of oxidation-reduction reaction between iodate (V) and iodide in acidic medium. Determination of phosphate in the proposed implement solutions for masking iron(III). The optimized method is suitable for determining the average content of potassium iodate in commercial samples of salt from 20 g of sample and test the uniformity of its distribution in the analysis of samples weighing 0.2 g.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 26 вересня 2002 р. № 1418 “Про затвердження Державної програми профілактики йодної недостатності у населення на 2002–2005 роки”, Київ.
2. *Сухинина С.Ю., Бондарев Г.И., Позняковский В.М.* // Вопросы питания.-1995. -№ 3. -С. 12–15.
3. *Chipman J.K., Davies J.E., Parsons J.L. et al.* //Toxicology. -**126**, № 2. -Р. 93–102.
4. *Cadenas S., Barja G.* // Free Radical Biology Medicine. -1999. -**26**, № 11–12. -Р. 1531–1537.
5. *Bakavoli M., Bagherzadeh G., Vaseghifar M. et al.* // Europ. J. Medicinal Chem. -2010. -**45**, № 2. -Р. 647–650.
6. *ГОСТ 13685-84* “Соль поваренная пищевая. Методы испытаний. -М.: Госстандарт, 1985.
7. *ДСТУ 3583-97 (ГОСТ 13830-97)*. Соль поваренная пищевая. Общие технические условия. Сіль кухонна. Загальні технічні умови. -Київ: Держстандарт України, 2000.
8. *ДСТУ 4886.9:2007*. Національний стандарт України. Сіль кухонна. Визначення вмісту йоду. -Київ: Держстандарт України, 2009. -С. 63–67.
9. *Марченко З., Бальцезжак М.* Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. -М.: Лаборатория знаний, 2007.
10. *Трохименко А.Ю., Запорожець О.А.* // Вісн. Львів. націон. ун-ту ім. Івана Франка. Сер. хім. -2012. -**53**. -С. 185–191.
11. *Schwehr K.A., Santschi P.H.* // Anal. Chim. Acta. -2003. -**482**, № 1. -Р. 59–71.
12. *Zein R., Munaf E., Takeuchi T., Miwa T.* // Ibid. -1996. -**3**. -Р. 261–266.
13. *Kumar S.D., Maiti B., Mathur P.K.* // Talanta. -2000. -**53**, № 4. -Р. 701–705.
14. *Kazuaki I.* // J. Chromatography A. -1999. -**830**, № 1. -Р. 211–217.
15. *Mishra S., Singh V., Jain A., Verma K.K.* // Analyst. -2000. -**125**, № 3. -Р. 459–464.
16. *Сухан В.В., Трохименко О.М., Зайцев В.Н.* // Химия и технол. воды. -2010. -**32**, № 2. -С. 144–163.
17. *Parham H., Zargar B.* // Anal. Chim. Acta. -2002. -**464**, № 1. -Р. 115–122.
18. *Wu X., Lu G., Zhang X., Yao X.* // Anal. Let. -2001. -**34**, № 7. -Р. 1205–1214.
19. *Трохименко О.М., Зайцев В.Н.* // Журн. аналит. химии. -2004. -**59**, № 5. -С. 491–494.
20. *Зайцев В.М., Трохименко О.М., Писарева Н.Є.* // Укр. хім. журн. -2006. -**72**, № 1. -С. 26–29.
21. *Трохименко О.М., Зайцев В.М.* // Методы и объекты хим. анализа. -2009. -**4**, № 1.-С. 4–10.
22. *ДСТУ 4816:2007*. Продукти харчові. Методи визначення загального йоду. -Київ: Держстандарт України, 2009.
23. *Moxon R.E.D., Dixon E.J.* // Analyst. -1980. -**105**. -Р. 344–352.
24. *Perring L., Basic-Dvorzak M., Andrey D.* // Ibid. -2001. -**126**. -Р. 985–988.
25. *Moxon R.E.* // Ibid. -1984. -**109**. -Р. 425–430.
26. *Трохименко О.М., Зайцев В.М., Бойченко Д.С.* // Укр. хім. журн. -2012. -**78**, № 4. -С. 158–161.
27. *Зайцев В.М., Трохименко О.М., Писарев Є.О.* // Вісн. Київ. націон. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Хімія. -2009. -**47**. -С. 13–16.
28. *Silva R.L., Oliveira A.F. de, Neves E.A.* // J. Braz. Chem. Soc. -1998. -**9**, № 2. -Р. 171–175.

Київський національний університет  
ім. Тараса Шевченка

Надійшла 05.07.2012