

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВОДИ. НОВІ ДЕРЖАВНІ СТАНДАРТИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТОКСИКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

В. Гончарук, доктор хімічних наук, академік НАНУ, директор,
Н. Кущевська, доктор технічних наук, завідувачка відділом аналітичної хімії,
Г. Терлецька, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник,
Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А. В. Думанського НАНУ, м. Київ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ. НОВЫЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В. Гончарук, доктор химических наук, академик НАНУ, директор,
Н. Кущевская, доктор технических наук, заведующая отделом аналитической химии,
Г. Терлецкая, кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
Институт коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского НАНУ, г. Киев

WATER QUALITY CONTROL. NEW STANDARDS FOR DETERMINATION OF TOXICOLOGICAL PARAMETERS

V. Goncharuk, Doctor of Chemical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Director,
N. Kushchevska, Doctor of Technical Sciences, Head of Analytical Chemistry Department,
H. Terletska, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, A. V. Dumanskyi Institute
of Colloid and Water Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv

Останнім часом в Україні значна увага приділяється розробленню нових нормативних документів (НД) щодо гігієнічних та екологічних вимог до питної води та води з джерел водопостачання [1—3]. У цих НД перелік показників якості води та їх значення відповідають вимогам Директиви ЄС 98/83/ЄС [4] та рекомендаціям Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [5]. Кількість показників хімічного складу питної води, що визначають її токсикологічну безпечність або впливають на органолептичні властивості, значно збільшена — якщо в чинному стандарті [6] вона дорівнює 21, то в [1] — 60, у проекті [3] — 57, у джерелах водопостачання [3] — 53. Нормативи для токсичних хімічних елементів при централізованій (ЦСВП) та нецентралізованій (підземна вода та вода питного централізованого водопостачання, які

У статті розглянуто стан методичного забезпечення аналітичного контролю якості води — нові державні стандарти, розроблені в 2008—2010 роках, що базуються на високочутливих, селективних і досить простих методиках, які розроблені в Україні або гармонізовані з міжнародними стандартами¹.

очищені при використанні ефективних сучасних технологій кондиціювання, фасована та нефасована) (НСВП) системах водопостачання наведено у табл. 1 [1—7]. Сучасним гігієнічним вимогам до питної води повинно відповідати і методичне забезпечення аналітичного контролю; особливо це стосується визначення мікрокількості токсичних елементів, органічних забруднювачів та продуктів, що утворюються при знезараженні питної води.

¹ Матеріали цієї роботи доповідалися авторам на науково-практичному семінарі «Актуальні якості води – 2010» у ДП «УкрНДНЦ»

Таблиця 1. Нормативи щодо вмісту у питній воді токсичних хімічних елементів при ЦСВП та НСВП

| Елемент | [6, 7] | [1] | [3] | [2] | | [4] | [5] |
|-------------------------|--------|------|----------|----------|--------|------|------|
| | | | | (ЦСВП) | (НСВП) | | |
| Ag, мкг/дм ³ | 50 | — | — | — | 25 | — | — |
| Al, мкг/дм ³ | 500 | 200 | 50—500 | 200(500) | * | 200 | — |
| As, мкг/дм ³ | 50 | 10 | 1—50 | 10 | * | 10 | 10 |
| Ba, мкг/дм ³ | 100 | — | 100—2000 | 100 | 100 | — | 700 |
| Be, мкг/дм ³ | 0,2 | 0,2 | 0,2—4 | 0,2 | * | — | — |
| Cd, мкг/дм ³ | 1 | 1 | 0,1—5 | 1 | * | 5 | 3 |
| Co, мкг/дм ³ | — | 100 | 10—50 | — | * | — | — |
| Cr, мкг/дм ³ | — | 50 | 4—50 | 50 | * | 50 | 50 |
| Cu, мкг/дм ³ | 1000 | 1000 | 1—50 | 1000 | * | 2000 | 2000 |
| Fe, мкг/дм ³ | 300 | 200 | 50—1000 | 200 | * | 200 | — |
| Hg, мкг/дм ³ | 0,5 | 0,5 | 0,2—2,5 | 0,5 | * | 1 | 1 |
| Mn, мкг/дм ³ | 100 | 50 | 10—1000 | 50 | * | 50 | 400 |
| Mo, мкг/дм ³ | 250 | 0,07 | 5—200 | 70 | — | — | 70 |
| Ni, мкг/дм ³ | 100 | 20 | 20—100 | 100 | * | 20 | 20 |
| Pb, мкг/дм ³ | 30 | 10 | 5—100 | 10 | * | 10 | 10 |
| Sb, мкг/дм ³ | — | 5 | 0,1—2 | 5 | * | 5 | 20 |
| Se, мкг/дм ³ | 10 | 10 | 1,0—10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Tl, мкг/дм ³ | 0,1 | — | 0,1—2 | 0,1 | * | — | — |
| V, мкг/дм ³ | 100 | — | 2—20 | — | — | — | — |
| Zn, мкг/дм ³ | 5000 | 1000 | 10—1000 | 5000 | * | — | — |

* — елементи «відсутні», тобто не виявляються найбільш чутливими стандартними методиками аналізу, орієнтовну межу виявлення яких наведено у табл. 3.

Таблиця 2. ДСТУ, розроблені або гармонізовані ТК 147 та відділом аналітичної хімії Інституту колоїдної хімії та хімії води (ІКХВ) у 2008—2010 роках

| НД | Показники, що визначаються | Метод аналізу | Робочий діапазон концентрацій, мкг/дм ³ |
|---------------------------|---|--|---|
| [9] (на затвердженні) | Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn | Атомно-абсорбційна спектрометрія з графітовою пічкою | Cd — 0,1—4; Ag, Mn, Zn — 1—15; Cr, Cu, Fe, Mn — 2—30; Al, Co, Mo, Ni, Tl — 5—60; As, Pb, Se, Sb, V — 10—100 |
| [10] (на затвердженні) | Аніонні поверхнево-активні речовини | Фотометричний з метиленовим блакитним | 100—5000 |
| [11] (на затвердженні) | Окремі фталати, в т. ч. ди-(2-етилгексил)фталат | Хромато-мас-спектрометричний у поєднанні з твердофазною екстракцією | 0,02—0,15 |
| [12] | Перхлорат-іони | Фотометричний твердофазний | 15—2000 |
| [13] | Бромат-іони | хемілюмінесцентний | 3—80 |
| [14] | Tl | Інверсійна вольтамперометрія з попереднім концентруванням Tl (III) на MnO ₂ | 0,02—2 |
| [15] | Ni | Фотометричний безекстракційний | 10—250 |
| [16] | Ag | Фотометричний безекстракційний | 10—200 |

Таблиця 3. Орієнтовні межі виявлення та оптимальні діапазони концентрацій при визначенні нормованих елементів у воді методами ЕТ-ААС, ІЗП-АЕС

| Елемент | Метод ЕТ-ААС | | Метод ІЗП-АЕС | | |
|---------|--|---|---|--|--|
| | [9] | | [17] | [18] | [19] |
| | Межа виявлення, мкг/дм ³ | Робочий діапазон, мкг/дм ³ | Робочий діапазон, мкг/дм ³ | Типові межі виявлення, мкг/дм ³ | Типові межі виявлення, мкг/дм ³ |
| Ag | 0,2 | 1—10 | 0,5—10 | 4,7 | 20 |
| Al | 1 | 6—60 | 10—100 | 30 | 30 |
| As | 1 | 10—100 | 5—300 | 35 | 80 |
| Ba | — | — | 10—2000 | 1 | 4 |
| Be | — | — | 0,1—2,0 | 0,2 | — |
| Cd | 0,1 | 0,1—4 | 0,1—10 | 2,3 | 10 |
| Co | 1 | 6—60 | 1—50 | 4,7 | 10 |
| Cr | 0,5 | 2—20 | 1—50 | 4,7 | 10 |
| Cu | 0,5 | 3—30 | 1—50 | 3,6 | 10 |
| Fe | 1 | 3—30 | 40—250 | 4,1 | 10 |
| Mn | 0,5 | 1,5—15 | 1—50 | 1 | 20 |
| Mo | 1 | 6—60 | 1—200 | 5,3 | 2 |
| Ni | 1 | 7—70 | 1—50 | 10 | — |
| Pb | 1 | 10—100 | 1—50 | 28 | 70 |
| Sb | 1 | 10—100 | 5—20 | 20 | 100 |
| Se | 2 | 15—150 | 2—50 | 50 | 100 |
| Tl | 1 | 6—60 | — | 27 | 27 |
| V | 2 | 20—200 | 5—50 | 5 | 10 |
| Zn | 0,5 | 0,5—5 | 1—50 | 1,2 | 5 |

Удосконалення методичної бази для аналітичного контролю якості води вирішується шляхом уведення міжнародних стандартів як національних. Для визначення вмісту хімічних речовин у воді, починаючи з 2001 року, набули чинності близько 40 національних стандартів [8], ідентичних міжнародним.

У нових стандартах для визначення показників NO_3^- , NO_2^- , CN^- , Cl^- , NH_4^+ , O_2 , Ca, Ca+Mg, Fe, ХПК (хімічна потреба в кисні), БПК (біохімічне споживання кисню), лужності, залишкового активного хлору використовуються традиційні титриметричні, фотометричні та електрометричні методики; для визначення вмісту неорганічних аніонів — рідинна іонна хроматографія, для визначення високолетких хлорованих вуглеводнів, хлоровмісних пестицидів, поліхлорованих біфенілів та хлорбензолів — газова хроматографія з електронно-захоплювальним детектуванням; для визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів — високоефективна рідинна хроматографія з флуоресцентним детектуванням. Мікрокількості 33 елементів визначають методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою згідно з [18]. Робота в цьому напрямку продовжується,

оскільки існує значна кількість неорганічних та органічних компонентів, для визначення яких чинні стандартні методики недостатньо чутливі, мало селективні або зовсім відсутні.

ТК 147 «Якість питної води» та відділом аналітичної хімії ІКХХВ НАНУ розроблено 8 нових національних стандартів [9—16] (табл. 2). В аналітичну практику, як національні, вводяться міжнародні стандарти, а також розроблені в Україні для визначення мікрокількостей талію, нікелю, срібла, бромат- та перхлорат-іонів, які базуються на високочутливих, селективних і досить простих методиках, розроблених в Україні. Нижче нові державні стандарти розглянуто більш детально.

Стандарт [9] регламентує визначення мікрокількостей токсичних елементів (Ag, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn) методом атомно-абсорбційної спектроскопії з графітовою пічкою (ЕТ—ААС). В Україні відсутній національний стандарт для аналізу води методом ААС з електротермічним збудженням, але відповідні засоби вимірювання виробляються вітчизняними підприємствами та широко застосовуються в аналітичних лабораторіях СЕС, екологічних центрах, водоканалах та підприємствах. ▶

Таблиця 4. Результати визначення нормованих мікроелементів в артезіанській воді в системі бюветного водопостачання м. Києва в 1998—2004 роках методом ААС

| Показники | Значення показників, мг/дм ³ | | | Вода питна водопровідна, м. Київ |
|----------------|--|---|--|----------------------------------|
| | Сеноманський горизонт, (глибина 90—193 м) 122 бювети | Юрський горизонт (глибина 256—337 м), 34 бювети | Вода з юрського та сеноманського горизонтів змішана 49 бюветів | |
| Fe | 0,05—0,79 | 0,1—1,4 | 0,05—0,45 | 0,2—0,45 |
| Mn | 0,025—0,2 | 0,01—0,15 | 0,01—0,2 | 0,03—0,2 |
| Cu | < 0,0010—0,003 | < 0,001—0,03 | < 0,001—0,006 | 0,001 |
| Zn | < 0,04—0,9 | < 0,04—1,5 | < 0,04—0,25 | 0,009—0,015 |
| Ni | < 0,001—0,002 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Pb, Cd, Be, Cr | Менше 0,1ГДК кожного елемента | | | |
| Al | < 0,02 | < 0,02 | < 0,02 | 0,15—0,75 |
| Ba | < 0,01—0,03 | 0,1—0,4 | 0,01—0,3 | 0,025 |

Таблиця 5. Результати аналізу стандартного зразка донних відкладів SRM 1944 (Standard reference material[®] 1944, New York — New Jersey Waterway Sediment, NIST) методом ААС з графітовою пічкою

| Елемент | Сертифікована концентрація, мкг/г (суха вага) | Визначена середня концентрація, мкг/г (суха вага) (n = 3) | Відтворюваність (n = 3), % | Точність, % (відхилення від сертифікованого значення) |
|---------|---|---|----------------------------|---|
| Cd | 8,8 ± 1,4 | 7,9 | ± 3,5 | 9,7 |
| Cr | 266 ± 24 | 251 | ± 1,7 | 5,6 |
| Mn | 505 ± 25 | 512 | ± 0,5 | 1,4 |
| Ni | 76,1 ± 5,6 | 71,2 | ± 1,1 | 6,4 |
| Zn | 652 ± 7,5 | 641 | ± 1,8 | 1,6 |
| Pb | 330 ± 48 | 301 | ± 1,1 | 8,8 |
| Ag | 6,4 ± 1,7 | 6,3 | ± 5,1 | 2,4 |
| Cu | 380 ± 40 | 354 | ± 0,4 | 6,8 |

де n — кількість паралельно проаналізованих наважок стандартного зразка

Стандарт [18], призначений для визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-АЕС), потребує використання дорогої апаратури та є недостатньо чутливим для визначення цілого ряду елементів на рівні ГДК та нижче. Порівняння гігієнічних нормативів для низки токсикантів (табл. 1) з межею їх визначення методом ІЗП-АЕС (табл. 3, [18, 19]) свідчить про неможливість виявлення на рівні встановлених нормативів берилію, кадмію, миш'яку, нікелю, ртуті, свинцю, селену, стибію, талію, хрому. Відповідно до стандарту [5], що розробляється, в доочищеній питній воді токсичні хімічні елементи нормуються на

рівні «відсутність», тобто вони не повинні виявлятися найбільш чутливими стандартними методами; тому межі виявлення токсичних компонентів мають бути досить низькими. Уведення [9] дозволить виявляти у воді токсичні хімічні елементи на рівні таких концентрацій: Cd, Be, Ag — 0,1 мкг/дм³; Cr, Cu, Mn, Zn — 0,5—1,0 мкг/дм³; Al, Fe, Co, Mo, Ni, Pb, Tl, As, Sb, Se, V — 1—2 мкг/дм³. Межа визначення методу для кожного елемента залежить від матриці зразка, інструменту, типу розпилювача, застосування хімічних модифікаторів і дозволяє вимірювати масову концентрацію переважної більшості перелічених елементів на рівні ГДК без додаткової пробопідготовки.

Матричний ефект можна повністю або частково подолати шляхом оптимізації температурних програм, застосування пічок та платформ з пиролітичним покриттям, застосуванням хімічних модифікаторів, використанням методу стандартних добавок та корекції фону. У табл. 4 та 5 наведено приклади застосування методу ААС з електротермічною атомізацією для моніторингу якості питної води в б'юветах м. Києва [20] та визначення екологічно значущих металів в стандартних зразках донних відкладів.

У стандарті [10] наведено методику визначення аніонних поверхнево-активних речовини (ПАР) екстракційно-спектрофотометричним методом.

Ці речовини є одними з найпоширеніших хімічних забруднювачів водойм; їх присутність погіршує органолептичні характеристики води та погіршує процеси самоочищення. Утворена ними піна є вагомою екологічною проблемою внаслідок концентрування в ній органічних забруднюючих речовин та патогенних мікроорганізмів, що становлять епідеміологічну загрозу навколишньому середовищу.

Поява аніонних ПАР у питній воді є результатом неефективного очищення води на сучасних водопровідних очисних спорудах. Згідно з [3] цей узагальнений показник нормується на рівні «відсутність» при аналізі води стандартним методом. За [4] концентрація ПАР нормується на рівні 10—250 мкг/дм³ залежно від класу якості води. Метод базується на утворенні у лужному середовищі асоціатів аніонних ПАР з метиленовим блакитним та їх екстракції хлороформом з наступним обробленням хлороформного екстракту кислотою для усунення заважаючих факторів і визначення масової концентрації ПАР за оптичною густиною екстракту значення довжини хвилі $\lambda = 650$ нм. Робочий діапазон вимірювання становить 0,05—5 мг/дм³ за відносної похибки 19 % на рівні ГДК.

У стандарті [11] наведено методику визначення окремих **фталатів** (диефіри орто-фталевої кислоти) методом газової екстракції-мас-спектрометрії.

Фталати належать до низки найважливіших продуктів хімічної промисловості, основними джерелами їх надходження в навколишнє середовище є побутові відходи, що містять полімерні матеріали. Фталати добре розчинні у воді, мають значні термо- (до 400 °С) і фотостабільність, стійкість до гідролізу в нейтральних середовищах, що призводить до постійного їх накопичення в природних об'єктах. Агенція з охорони навколишнього середовища США (US EPA) включила шість основних фталатів (диметилфталат, диетилфталат, ди-*n*-бутилфталат, *n*-бутилбензилфталат, ди-(2-етилгексил)фталат і ди-*n*-октилфталат) до переліку пріоритетних забруднюючих речовин. Згідно з нормативом В003 [7] допустимий вміст ди-(2-етилгексил)фталату в питній воді складає 8 мкг/л.

В Україні вміст ди-(2-етилгексил)фталату нормується у воді з джерел господарсько-питного водопостачання згідно з [4], проте стандартного метода його контролювання не існує. Національний стандарт [11] містить методи виділення та концентрування визначених сполук з водної фази за допомогою твердофазної екстракції (на поруватих полімерних сорбентах), елюювання етилацетатом, очищення концентрату на оксиді алюмінію та кількісне визначення методом хромато-мас-спектрометрії. Межа визначення фталатів становить 0,02—0,15 мкг/дм³ і залежить від індивідуальної речовини, значення «холостого» досліду (фону) та кваліфікації аналітика. Величина фону за вмістом ди-(2-етилгексил)фталату може складати до 0,1 мкг/дм³ у воді та 300 нг/м³ у повітрі. Значний досвід в розробленні та застосуванні методу хромато-мас-спектрометрії для визначення обмежено-летких органічних забруднювачів у воді та донних відкладах має ІКХХВ НАН України [21].

У [12] наведено методику визначення масової концентрації перхлорат-іонів фотометричним методом.

Перхлорат-іони є забруднювачами навколишнього середовища антропогенного походження і належить до 2 класу небезпечних речовин. Залишкові кількості перхлоратів знаходять у природних об'єктах районів, де проводились вибухові і піротехнічні роботи. Солі перхлоратів широко використовують як основний компонент ракетного палива, вибухових і піротехнічних сумішей. Із стічними водами аерокосмічної галузі, фармацевтичних виробництв перхлорат потрапляє до ґрунтових вод, а потім — до джерел водопостачання. З 1997 року перхлорат знаходять в джерелах водопостачання різних країн на рівні ≤ 50 мкг/дм³.

Через загрозу здоров'ю людини та все частіше знаходження його в джерелах питного водопостачання перхлорат включено до переліку речовин, на які потрібно встановити ГДК у питній воді. Сьогодні вважається, що ГДК перхлорату у воді буде знаходитись на рівні 20—25 мкг/дм³. В Україні вміст перхлорату нормується на рівні 5 мг/дм³ [2], тому є потреба переглянути існуючі нормативи та провести екологічний моніторинг природних, стічних і питних вод. Для цього необхідно мати високочутливу стандартну методику визначення перхлорату.

У [12] використана методика сорбційно-фотометричного визначення перхлоратів, яка базується на утворенні у водному розчині забарвленого іонного асоціату перхлорат-іону з кристалічним фіалковим, концентруванні асоціату на таблетці з пінополіуретану, яку попередньо оброблено толуолом, та вимірюванні дифузного відбиття забарвленої твердої носія [22]. Інтенсивність забарвлення таблетки при максимальній довжині хвилі $\lambda_{\max} = 600$ нм ▶

пропорційна концентрації перхлорату в пробі води. Визначенню 10 мкг перхлорату не заважають 1000-кратний надлишок SO_4^{2-} , HCO_3^- , 200-кратний надлишок Cl^- , та 50-кратний надлишок NO_3^- ; заважають аніонні ПАР, які в разі присутності потрібно видалити. Робочий діапазон визначення перхлорату дорівнює 0,01—0,8 мг/дм³, відносна похибка становить 15—45 %.

До [13] включено методику визначення масової концентрації у воді бромат-іонів.

Ці речовини відносяться до побічних продуктів процесів знезараження питної води і можуть утворюватись при обробці окисниками води, що містить броміди та інші сполуки бромю. ГДК бромату у питній воді встановлена на рівні 10 мкг/дм³ відповідно до вимог директиви [4] та рекомендацій ВООЗ. В Україні відсутній національний стандарт на визначення масової концентрації бромат-іонів у воді з джерел питного водопостачання та питній воді на рівні ГДК. Існує стандарт ISO 15061:2001 Якість води. Визначення розчиненого бромату, який ґрунтується на використанні іонної хроматографії для розділення іонів та мас-спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП) для їх детектування.

Методика, що включена до [13], передбачає застосування дешевого і простого у використанні приладу для вимірювання світіння — хемілюмінесцентного фотометра або люмінометра. Хемілюмінесцентний метод визначення мікрокількостей бромат-іонів, базується на відновленні бромату до броміду, окисненні броміду калієм двохромовоокислим до бромю, газовій екстракції останнього та детектуванні у потоці газуносія за реакцією з люмінолом [23, 24]. Інтенсивність світіння розчину люмінолу пропорційна концентрації бромату у пробі води. Визначенню бромату не заважають хлорид-іони до 1,0 г/дм³, залишковий активний хлор та озон до 20 мг/дм³, йодиди та йодати до 0,04 мг/дм³, хлорати до 30 мг/дм³, а також інші макро- і мікрокомпоненти питної води. Робочий діапазон методики становить 0,003—0,08 мг/дм³, границя сумарної відносної похибки вимірювання для концентрації бромат-іонів 3—50 мкг/дм³ — 30 %, для концентрації бромат-іонів 50—80 мкг/дм³ — 20 %.

У стандарті [14] наведено методику визначення масової концентрації талію методом інверсійної вольтамперометрії.

Талій є одним з найбільш токсичних елементів; нормативи щодо його вмісту в воді знаходять в межах від «відсутність» до 0,1—2 мкг/дм³ (табл. 1). НД Росії та США регламентують вміст талію у питній воді на рівні 0,1 мкг/дм³ та 0,5—2 мкг/дм³ відповідно. В Україні державний стандарт на метод визначення талію у воді відсутній. Межа визначення талію методами ЕТ-ААС, ІЗП-АЕС становить

6 мкг/дм³ та 30 мкг/дм³ відповідно, що не дозволяє проводити визначення на рівні встановлений нормативів.

Одним з найбільш чутливих методів для визначення мікрокількостей талію є інверсійна вольтамперометрія, яка дозволяє визначати ≥ 2 мкг/дм³ талію [25], проте для визначення на рівні ГДК цей метод потребує попереднього концентрування талію. При розробленні державного стандарту метод інверсійної вольтамперометрії був поєднаний [26] з попереднім концентруванням іонів талію співосадженням гідроксиду Тl (III) з гідроксидом Mn (IV). Далі концентрат розчиняють у присутності відновника та кількісно визначають Тl (I) у змінно-струменевому режимі, що включає електроконцентрування Тl (I) на ртутному плівковому електроді та подальше зняття анодної вольтамперограми. Кількісне визначення талію проводять методом стандартних добавок. Спосіб виділення та концентрування талію з проб вод, який описаний у [14], дозволяє усунути заважаючий вплив металів, близьких до талію за хімічними та електрохімічними властивостями (Pb, Cd, Cu), а також вплив інших компонентів матриці води [26]. Діапазон вимірювання масової концентрації талію становить 0,02—2 мкг/дм³; відносна похибка для концентрацій 0,02—0,1 мкг/дм³ дорівнює ± 50 %, для концентрацій 0,1—0,5 мкг/дм³ — ± 30 %, для концентрацій 0,5—2 мкг/дм³ — ± 20 %.

У стандарті [15] наведено методику визначення масової концентрації нікелю експресним безекстракційним фотометричним методом.

Нікель відноситься до токсичних елементів з канцерогенною дією і його вміст контролюється у природних, питних та стічних водах. ГДК нікелю в питній воді встановлена на рівні 0,02—0,1 мг/дм³ (табл. 1). Національного стандарту на метод визначення нікелю у воді безекстракційним фотометричним методом не існує. ААС з електротермічною атомізацією дозволяє визначати нікель у воді на рівні ГДК (табл. 3), але потребує досить складної та дорогої апаратури.

Розроблення [15] обумовлено необхідністю у простій, експресній та екологічно безпечній методиці для поточного визначення мікрокількостей нікелю на рівні ГДК. Методика базується на утворенні забарвленої у червоний колір комплексної сполуки Ni (II) з 1-(2-піридилазо)нафтолом-2 (ПАН) при рН 9,5—10 у водно-міцелярному середовищі, яке створене введенням неіоногенної поверхнево-активної речовини ОС-20. Для усунення заважаючої дії інших важких металів використовують маскуючі реагенти, які вводять при певному порядку змішування компонентів. У цих умовах визначенню нікелю не заважають Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Co(II) при сумарному вмісті ≤ 5 мг/дм³ [27]. Діапазон визначення

масових концентрацій нікелю знаходиться в межах 0,01—0,25 мг/дм³; відносна похибка для концентрацій 0,01—0,05 мг/дм³ дорівнює $\pm 18\%$, для концентрацій 0,05—0,25 мг/дм³ — $\pm 10\%$.

У стандарті [16] наведено методику визначення масової концентрації **срібла** експресним безекстракційним фотометричним методом.

Срібло широко використовується для знезараження та консервування питної води завдяки сильній бактеріцидній дії при досить низьких концентраціях. Гігієнічні нормативи для срібла становлять 0,025—0,05 мг/дм³ (табл. 1). В останні роки значно розширилося застосування срібла у виробництві фасованої питної води та для знезараження води плавальних басейнів, відповідно збільшився обсяг аналітичних випробувань на вміст срібла і є потреба у стандартному експресному та екологічно безпечному методі його визначення. Чинний ГОСТ 18293 «Вода питьевая. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра» вимагає застосування токсичних органічних розчинників для визначення срібла дитизоновим екстракційно-фотометричним методом, що робить методику екологічно небезпечною. Новий стандарт [16] встановлює експресну, безекстракційну та екологічно безпечну фотометричну методику визначення масової концентрації срібла загального (хлоридів, сульфатів, сульфідів та інших сполук срібла, які взаємодіють з тіокетоном Міхлера в умовах аналізування). Метод базується на утворенні інтенсивно забарвлених сполук при взаємодії іонів срібла з органічним реагентом тіокетоном Міхлера при рН 5—9 у водно-міцелярних розчинах суміші синтетичних

ПАР — додецилсульфату натрію та оксиетильованого спирту ОС-20 [28]. Інтенсивність забарвлення розчину комплексної сполуки при довжині хвилі $\lambda = 530\text{—}540$ нм пропорційна концентрації срібла у пробі води. Тіокетон Міхлера є одним з найбільш чутливих та селективних фотометричних реагентів для кількісного визначення срібла, а проведення реакції в присутності ПАР дозволяє підвищити стійкість комплексів та забезпечити високу селективність визначення. Для усунення заважаючої дії окисників (активного залишкового хлору, озону), а також для переведення срібла в одну реакційну форму та десорбування його з поверхні контейнерів у пробі води вводять натрій сірчистоокислий. В оптимальних умовах виконання вимірювань визначенню срібла не заважають хлорид-іони до 1,0 г/дм³, залишковий активний хлор до 20 мг/дм³, солі кальцію до 300 мг/дм³, а також інші макро- і мікро компоненти питної води. При визначенні срібла в присутності міді 0,5—1 мг/дм³ її заважаючу дію усувають додаванням маскуючого реагента трилона Б. Визначенню срібла заважають йодид-іони при концентраціях більше 0,01 мг/дм³. Діапазон визначення масових концентрацій срібла становить 0,01—0,20 мг/дм³ без попереднього концентрування або розведення проб. Відносна похибка вимірювань для концентрацій 0,01—0,03 мг/дм³ дорівнює $\pm 16\%$, для концентрацій 0,031—0,2 мг/дм³ — $\pm 10\%$. Дані свідчать про те, що фотометричний метод визначення срібла з тіокетоном Міхлера в середовищі міцелярного розчину поверхнево-активних речовин є найбільш селективним по відношенню до впливу сторонніх компонентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державні санітарні норми та правила 2.2.4-400-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, придатної для споживання людиною».
2. ДСТУ. Питна вода. Вимоги та методи контролювання (на розгляді). ДСТУ. Питна вода. Вимоги та методи контролювання якості (проект 2010, на затвердженні).
3. ДСТУ 4808-2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання.
4. Директива ЄС 98/83/ЄС щодо якості води, призначеної для споживання людиною. ЄС (98/83/ЄС) Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for the human consumption // Official Journal of the European Communities, 05.12.1998.
5. Guidelines for Drinking Water Quality, Third edition, v. 1, WHO, Geneva, 2004 (Керівництво з якості питної води, третя редакція).
6. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
7. СанПиН 4630—88. Охрана поверхностных вод от загрязнения.
8. Каталог нормативних документів, 2010, том 1. Видання офіційне. Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики.
9. ДСТУ ISO 15586. Якість води — Визначення мікроелементів методом атомно-абсорбційної спектроскопії з графітовою пічкою (ISO 15586:2003 Water quality — Determination of trace elements using atomic absorption spectrometry with graphite furnace, IDT) (на розгляді).
10. ДСТУ ISO 7875. Якість води. Визначення поверхнево-активних речовин. Ч. 1 Метод визначення вмісту аніонних поверхнево-активних речовин вимірюванням індексу метиленового блакитного (ISO 7875-1:1996/Cor 1:2003. Water quality — Determination of surfactants — Part 1: Determination of anionic surfactants by measurement of the methylene blue index (MBAS), IDT) (на розгляді).