

УДК 546.426

**А.В. Терлецкая, О.С. Ивлева,
Т.А. Богословская, В.В. Гончарук**

**СЕЛЕКТИВНОЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
НИКЕЛЯ, КОБАЛЬТА И ЦИНКА В ПИТЬЕВОЙ
И ПРИРОДНОЙ ВОДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ
1-(2-ПИРИДИЛАЗО)-2-НАФТОЛА И ПАВ**

Институт коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского
НАН Украины, г. Киев

Разработаны селективные методики фотометрического определения никеля, кобальта и цинка с 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом в водах с нижней границей определяемых концентраций 0,01 – 0,02 мг/дм³. Реакции протекали в мицеллярных растворах неионных ПАВ. Селективность определения достигнута благодаря использованию маскирующих веществ в специальном порядке смешивания компонентов. Железо не мешает определению при концентрации < 5 мг/дм³.

Ключевые слова: определение никеля, кобальта и цинка, питьевая и природная воды, фотометрический метод, экспрессные методики.

Введение. При оценке качества питьевой воды, экологического состояния источников хозяйственно-питьевого водоснабжения и их мониторинге необходимо определять 10 – 15 металлов [1, 2], содержание которых нормируется в указанных объектах и влияет на токсикологические и органолептические свойства воды. Для этих целей используют спектрометрические методы – атомно-абсорбционный с электротермической атомизацией [3], атомно-эмиссионный [4] и масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой [5]. Данные методы приняты в качестве международных стандартов. В то же время многие химические лаборатории продолжают применять для контроля качества воды фотометрический метод анализа как наиболее доступный, простой и достаточно чувствительный. Фотометриче-

© В.В. Гончарук, А.В. Терлецкая, О.С. Ивлева, Т.А. Богословская, 2013

ские методики лежат в основе ряда действующих стандартов, используются в портативных лабораториях [6 – 8] и тестовых методах [9]. В связи с этим необходимо совершенствование фотометрических методик определения в воде концентраций никеля, кобальта, цинка. Стандартные и унифицированные способы определения в воде указанных металлов имеют ряд недостатков – трудоемкость выполнения анализа, необходимость предварительного концентрирования определяемого элемента, использование органических растворителей и токсических маскирующих веществ [10, 11]. Так, способ определения никеля, включающий комплексообразование Ni(II) с диметилглиоксимом в аммиачной среде в присутствии окислителя (раствор брома), предполагает предварительное отделение мешающих элементов (железо, медь, хром и др.) с помощью экстракции. Определение кобальта и цинка наиболее часто проводят экстракционно-фотометрическими методами соответственно с 1-нитрозо-2-нафтолом и дитизоном. При этом в качестве растворителей используют толуол и четыреххлористый углерод, а селективные условия определения цинка создают добавлением токсического цианида калия.

Цель данной работы – изучение условий проведения реакций комплексообразования тяжелых металлов с 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом (ПАН) в мицеллярных растворах неионных ПАВ (НПАВ) и разработка безэкстракционных селективных методик определения в воде Ni, Co, Zn.

ПАН является одним из наиболее доступных и изученных реагентов класса гетероциклических азосоединений, его комплексы с металлами интенсивно окрашены ($\epsilon_{\max} (2 - 5) \cdot 10^4$) и малорастворимы в воде. Реагент используют для экстракционно-фотометрического определения металлов [12], в твердофазной фотометрии, для модифицирования сорбентов при концентрировании микропримесей элементов из вод [13 – 16]. Ранее исследование влияния ПАВ на комплексообразование ПАН с Ni, Co, Zn проводили не систематически.

Методика эксперимента. Растворы Zn, Ni, Co, Cu, Pb, Cd с концентрацией 0,05 мг/дм³ готовили из стандартных образцов: МСО 0150:2000 (Zn, 0,100 мг/см³), МСО 0144:2000 (Ni, 1,00 мг/см³), МСО 0137:2000 (Co, 1,00 мг/см³), МСО 0523:2003 (Cu, 0,100 мг/см³), МСО 0146:2000 (Pb, 1,00 мг/см³), МСО 0136:2000 (Cd, 1,00 мг/см³). Буферный раствор с pH 10,0±0,2 получали растворением 10 г хлорида аммония в 500 см³ 2,5%-ного раствора аммиака; значения pH контролировали pH-метром

inoLab pH Level 2. Раствор ПАН (0,3%-ный) готовили растворением навески препарата фирмы "Lachema" в диметилформамиде. Растворы ПАВ, сульфида натрия, сульфита натрия, натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) готовили растворением соответствующих навесок в бидистиллированной воде. Оптическую плотность растворов измеряли с помощью спектрофотометров Spekol-1500, Spscord UV-Vis и фотоэлектроколориметра ФЭК-2. Для фильтрования под вакуумом использовали разборную тefлоновую воронку и нитроцеллюлозные мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм. Спектры диффузного отражения комплексных соединений, выделенных на мембранных фильтрах, измеряли с помощью колориметра Спектрон в диапазоне длин волн 380 – 720 нм.

При исследовании влияния ПАВ на образование устойчивых водных растворов в системах Me – ПАН – ПАВ применяли мембранное микрофильтрование с последующим измерением интенсивности окраски комплексов на мембранных фильтрах и в фильтратах. В отсутствие ПАВ комплексы Ni, Zn, Co с ПАН полностью задерживаются мембранным фильтром, окрашивая его в красный (Ni, Zn) или зеленый (Co(III)) цвет. При фильтровании серии растворов с различной концентрацией ПАВ обнаруживается такая концентрация ПАВ, выше которой мембранный фильтр остается неокрашенным, а весь окрашенный комплекс переходит в фильтрат. Изменение свойств системы Ni – ПАН – ПАВ при мембранном фильтровании в присутствии НПАВ (тритон X-100) показано на рис. 1. При определенной концентрации ПАВ мембранный фильтр не окрашивается (кривая 1), в то же время интенсивность окраски фильтрата резко возрастает (кривая 2). Установленная таким способом концентрация ПАВ соответствует условиям полной солюбилизации комплексов.

Результаты и их обсуждение. Изучено комплексообразование ряда металлов (Zn, Ni, Co, Pb, Cd, Cu, Fe) с ПАН в водной среде в присутствии ПАВ разной природы: катионных (алкилпиридиний хлорид, этоний), неионных (ОС-20, ОП-10, тритон X-100), анионных (додецилсульфат натрия). Как показали опыты, в мицеллярных растворах неионных и катионных ПАВ образуются устойчивые растворы окрашенных комплексов Me – ПАН; анионные ПАВ при концентрации $> 1,5 \text{ г/дм}^3$ (критическая концентрация мицеллообразования) разрушают эти комплексы. Спектры поглощения комплексов в мицеллярной среде приведены на рис. 2, а их оптические характеристики и моляр-

ное соотношение компонентов, установленное методом сдвига равновесий, — в табл. 1. Из представленных данных видно, что при замене хлороформа на водную мицеллярную среду состояние изучаемых комплексов изменяется несущественно. Очевидно, что ПАВ только сольбилизируют малорастворимые в воде комплексы.

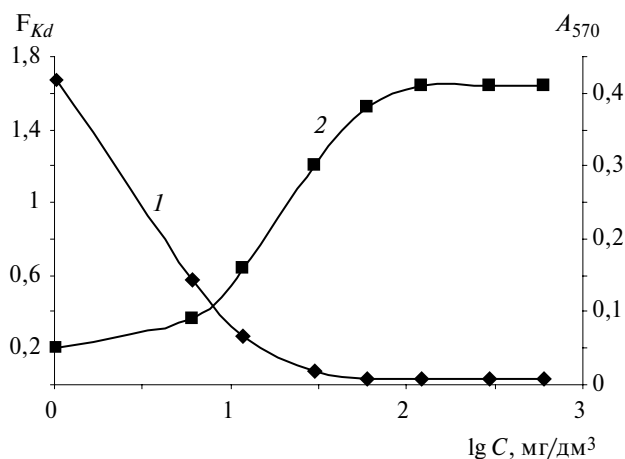


Рис. 1. Влияние концентрации НПАВ (третон X-100) на свойства водных растворов комплекса Ni—ПАН при мембранном фильтровании: 1—диффузное отражение мембранного фильтра при 570 нм (F_{Kd} , функция Кубелки-Мунка), 2—оптическая плотность фильтрата при 570 нм; $l = 5$ см. Концентрация Ni — 0,2, ПАН — 15 мг/дм³; pH 10,2.

Оптимизированы условия образования комплексов Ni, Co и Zn с ПАН в присутствии ПАВ. Для этого изучена зависимость оптической плотности растворов комплексов от кислотности среды, природы буферного раствора, концентрации ПАН, ионов металла, природы и концентрации ПАВ, а также от порядка смешивания компонентов реакции. Оптимальные значения pH комплексообразования для Zn, Ni, Co, Cd, Cu, Pb с ПАН указаны в табл. 1. В дальнейшем были исследованы комплексы Ni и Zn при значениях pH 9,8 — 10,2, которые создавали аммиачным буфером. Комплексы Co(III) с ПАН получали в присутствии ацетатного буфера с pH 4,5 — 4,7. Оптимальная концентрация ПАН составляла $(3 - 6) \cdot 10^{-5}$ моль/дм³ при концентрации металлов $2 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³. Порядок смешивания реагентов следующий: к пробе воды, содержащей определяемый металл, добавляли раствор ПАВ, затем буфер и ПАН. В этих условиях развитие окраски происходило за одну — две минуты и сохранялось в течение 1,5 — 2 ч. Для

системы Co(III) – ПАН, в которой протекали процессы как комплексообразования, так и окисления Co(II) до Co(III), последним необходимо было добавлять ПАВ через одну – две минуты после смешивания всех других компонентов. В этих условиях максимальная окраска раствора развивалась в течение двух – трех минут.

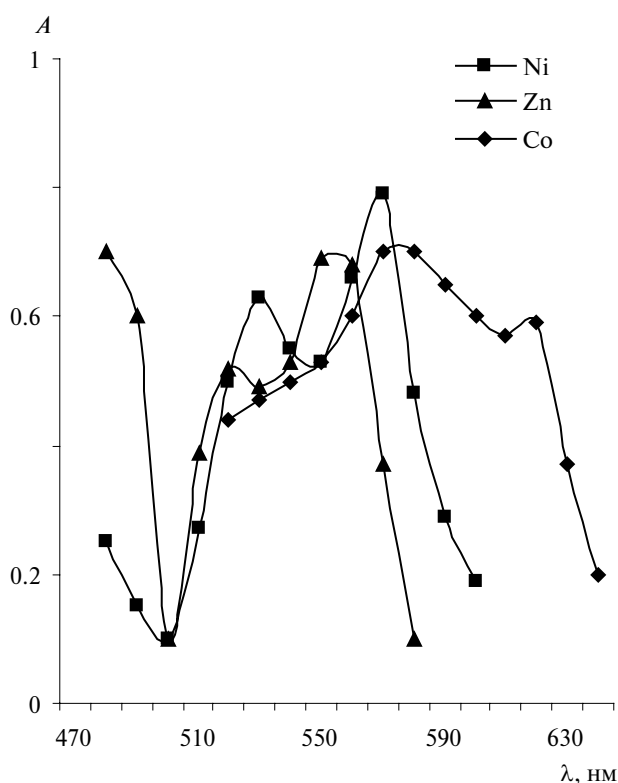


Рис. 2. Спектры поглощения комплексов металлов с ПАН и НПАН. Концентрация Zn – $3 \cdot 10^{-6}$, Ni – $3,6 \cdot 10^{-6}$, Co – $8 \cdot 10^{-6}$, ПАН – $5 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³, ОС-20 – $0,5$ г/дм³. pH: 10,2 (Zn, Ni), 2,5 (Co); l = 5 см.

Влияние ПАВ на процессы комплексообразования исследовано в широком интервале их концентраций с учетом значений критических концентраций мицеллообразования: 30 – 1000 мг/дм³ – для алкилпиридиний хлоридов, 200 – 600 мг/дм³ – для ОС-20, ОП-10, тритона X-100 [17]. Оптимальной концентрацией ПАВ для каждой системы Me – ПАН – ПАВ считали такую, при которой происходила солубилизация комплексов Me – ПАН, о чем свидетельствовало их полное прохождение сквозь мембранные фильтры. На примере системы Zn – ПАН (рис. 3) показано, как изменялась при мембранном фильтровании окраска фильтрата в случае НПАН. Практически полная солубилизация

комплексов Zn – ПАН наблюдалась при следующих концентрациях ПАВ, мг/дм³: ≥ 6 (ОС-20), ≥ 50 (ОП-10), ≥ 200 (тритон X-100). В дальнейшей работе использовали препарат ОС-20 при концентрациях 200 – 300 мг/дм³. Катионные ПАВ (алкилпиридиний хлориды) вели себя аналогично неионным при концентрациях 150 – 300 мг/дм³.

Таблица 1. Основные характеристики комплексов Ме – ПАН в мицеллярных растворах неионных ПАВ и хлороформе

Ме	Среда							
	ОС-20 (0,5 г/дм ³)				Хлороформ [12]			
	рН опт	λ_{\max}	Ме : ПАН	$\varepsilon_{\max} \times 10^{-4}$	рН опт	λ_{\max}	Ме : ПАН	$\varepsilon_{\max} \times 10^{-4}$
Zn(II)	7,5 – 10,5	555 520	1:1	5,42	6,0 – 9,0 6,0 – 9,0	560 514 570	1:2	2.87 4.75
Ni(II)	7,5 – 10,5	570 530	1:2	5,18	5,5 – 9,0	575	1:2	5.09
Co(III)	3,5 – 7,0	580 610	1:2	1,7	2,5 – 7,0	580, 620	1:2	1,95
Cu(II)	5,0 – 9,0	540 560	1:1	4,52	5,0 – 7,0	550	1:1	2,5
Cd(II)	8,5 – 10,2	550	1:1	4,50	8,5 – 10,0	560	1:1	4,9
ПАН	4,0 – 10,5	470	–	0,91	5,5 – 9,3	470	–	1,9

Примечание. Ме : ПАН – молярное соотношение компонентов в комплексе.

Селективность определения металлов. ПАН является групповым реагентом и в оптимальных условиях определения Ni, Co, Zn взаимодействует также с другими металлами (Cu, Pb, Cd, Fe, Mn). Селективность определения Ni, Co, Zn при их содержании на уровне ПДК достигнута благодаря использованию маскирующих веществ, подбору соответствующего буферного раствора и специальному порядку смешивания компонентов.

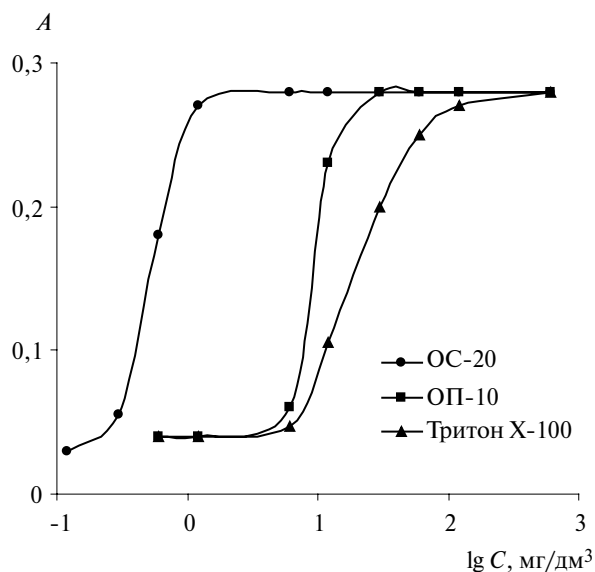


Рис. 3. Зависимость оптической плотности фильтратов комплексов цинка от концентрации НПАВ: ОС-20 (1), ОП-10 (2), тритона X-100 (3). Концентрация Zn — $3 \cdot 10^{-6}$, ПАН — $5 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³. pH 10,2; l = 2 см.

При определении никеля эффективным маскирующим агентом является ЭДТА. Его добавление к раствору, содержащему комплексы Me — ПАН, приводит к разрушению комплексов всех металлов, кроме никеля и кобальта(III). Чтобы избежать образования комплексов Co(III)–ПАН, не разрушающихся под действием ЭДТА, никель определяют в присутствии восстановителя — сульфита натрия.

При определении цинка эффективным маскирующим реагентом оказался сульфид натрия. Добавление нескольких капель его раствора к раствору комплексов металлов с ПАН до концентрации 0,3 — 0,5 мг/дм³ приводит к разрушению большинства из них при pH 10 — 10,5; при pH ≤ 9 действие сульфида существенно снижается. Другие серосодержащие реагенты (тиомочевина, тиосульфат натрия, тиогликолевая кислота, диэтилдитиокарбамат натрия) в условиях определения цинка оказались менее эффективными. В присутствии сульфида в аммиачном буферном растворе не разрушаются также комплексы никеля и марганца, поэтому при определении цинка необходимо учитывать мешающее влияние этих элементов. Оказалось, что градуировочные графики для Zn, Mn, Ni, построенные в координатах "оптическая плотность при 540 нм — концентрация Me, мг/дм³", совпадают (табл. 2).

Таблица 2. Метрологические характеристики методики определения металлов

Показатель	Ni	Zn	Co	Zn+Mn+Ni*
λ_{\max} , нм	570	555	590	540
Интервал линейности графика, мг/дм ³	0,01 – 0,35	0,02 – 0,35	0,02 – 0,35	0,02 – 0,35
Продолжительность анализа, мин	10 – 12	10 – 12	15 – 17	10 – 12
Нижняя граница определяемых концентраций, мг/дм ³	0,01	0,02	0,02	0,02
Параметры градуировочного графика $y = ax + b$				
a	3,28	2,92	1,03	2,64
b	$3 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$
S_r	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-2}$

*При массовом соотношении Zn:Mn: Ni = 1:1:1.

Это позволяет определить суммарную концентрацию трех металлов в присутствии сульфида натрия, а затем вычесть из нее концентрацию никеля и марганца, установленную любым другим способом. На практике при анализе вод наиболее часто возникает необходимость определять цинк в присутствии марганца. В этом случае последний можно определить стандартным фотометрическим методом, как например после окисления до перманганата. В отличие от комплекса Co(II) – ПАН, который легко разрушается сульфидом натрия, комплекс Co(III) – ПАН является более устойчивым и может мешать определению цинка. Для предотвращения окисления Co(II) определение цинка в присутствии кобальта выполняют в присутствии восстановителя – сульфита натрия.

При определении никеля и цинка в присутствии аммиачного буферного раствора и ПАВ образуется устойчивый коллоидный раствор гидроксида железа(III), который не взаимодействует с ПАН при концентрации ≤ 5 мг/дм³ и не мешает определению Ni и Zn.

Определение кобальта проводят в виде комплексов Co(III) – ПАН при pH 4,3 – 4,7. В этих условиях с ПАН реагируют также ионы меди и железа. Для устранения их мешающего влияния используют подкисленные растворы до pH 1,5; при такой обработке комплексы этих металлов

разрушаются в течение одной — двух минут, при этом создаются условия селективного определения кобальта. Основные макрокомпоненты природных и питьевых вод не влияют на определение цинка, никеля и кобальта с ПАН и устойчивость мицеллярных растворов.

Ход определения никеля [18, 19]. Пробу воды объемом 20 см^3 помещают в мерную колбу вместимостью 25 см^3 , добавляют $30 - 40\text{ мг}$ сухого препарата сульфит натрия и перемешивают его до полного растворения; добавляют $2,0\text{ см}^3$ буферного раствора ($\text{pH } 10,2$), $0,5\text{ см}^3$ 3%-ного раствора ОС-20 и $0,1\text{ см}^3$ раствора ПАН. После прибавления каждого компонента раствор перемешивают. Через три — четыре минуты к нему прибавляют $0,1\text{ моль/дм}^3$ водного раствора ЭДТА в количестве, эквивалентном жесткости воды, и еще две — три капли. Например, при жесткости воды 10 мг-экв/дм^3 и объеме пробы 20 см^3 рассчитанный объем раствора ЭДТА составляет 4 см^3 . Объем доводят до метки дистиллированной водой, перемешивают и через две — три минуты измеряют оптическую плотность при длине волны 570 нм в кювете с толщиной оптического слоя 50 мм .

Ход определения кобальта [8]. Пробу воды объемом 20 см^3 помещают в мерную колбу вместимостью 25 см^3 , добавляют $2,0\text{ см}^3$ ацетатного буферного раствора ($\text{pH } 4,5 - 4,7$), $0,1\text{ см}^3$ раствора ПАН, перемешивают и через две — три минуты добавляют $0,5\text{ см}^3$ 3%-ного раствора ОС-20. Объем доводят до метки дистиллированной водой и оставляют на $8 - 10\text{ мин}$ для образования комплексов $\text{Co(III)} - \text{ПАН}$. Затем к раствору прибавляют $1,0\text{ см}^3$ 1 моль/дм^3 раствора серной кислоты, опять перемешивают, доводят до метки дистиллированной водой и через две — три минуты измеряют оптическую плотность раствора при длине волны 610 нм в кювете с толщиной оптического слоя 50 мм .

Ход определения цинка [20]. Пробу воды объемом 20 см^3 помещают в мерную колбу вместимостью 25 см^3 , добавляют $30 - 40\text{ мг}$ сухого препарата сульфита натрия и перемешивают его до полного растворения; добавляют $2,0\text{ см}^3$ буферного раствора ($\text{pH } 9,8 - 10,2$), $0,5\text{ см}^3$ 3%-ного раствора ОС-20 и $0,1\text{ см}^3$ раствора ПАН. После прибавления каждого компонента раствор перемешивают, затем оставляют на три — четыре минуты для развития окраски. Далее к раствору прибавляют одну — две капли 0,1%-ного водного раствора сульфида натрия, доводят до метки дистиллированной водой, опять перемешивают и через две — три минуты измеряют оптическую плотность раствора при длине волны 540 нм в кювете с толщиной оптического слоя 50 мм . При анализе проб

воды, содержащих никель и марганец, концентрацию последних определяют в отдельных аликвотах и вычитают из результата, полученного при определении цинка.

В качестве "холостого" раствора во всех случаях служит дистиллированная вода с добавлением используемых в конкретной методике реактивов. Массовую концентрацию Zn, Ni, Co определяют по градуировочным графикам (см. табл. 2). Результаты определения добавок металлов в природной и питьевой водах показаны в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Результаты определения стандартных добавок цинка и кобальта в природной и питьевой водах (n = 5; P = 0,95)

Вода	Определяемый металл	Введено	Найдено	Относительная погрешность $\pm \sigma$, %
		мкг/дм ³		
Модельный раствор 1*	Zn	20	22 \pm 2	10
	Co	30	27 \pm 4	10
Модельный раствор 2**	Zn	25	23 \pm 3	8
		50	53 \pm 2	6
Артезианская	Zn	50	46 \pm 2	8
	Co	50	53 \pm 9	6
Природная подземная	Zn	50	46 \pm 7	8
	Co	25	21 \pm 6	16
Водопроводная	Zn	100	92 \pm 10	8
	Co	100	105 \pm 5	5

*Модельный раствор 1 содержит по 50 мкг/дм³ Fe, Cu, Cd, Pb;

**модельный раствор 2 приготовлен с добавкой стандартного раствора 1.09498.0001 "ICP multi-element standard solution" (фирма "Merck"), содержащего 30 элементов, в том числе Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cr.

Правильность методик определения Ni, Co, Zn подтверждена методом стандартных добавок на образцах природной воды из артезианских скважин, родников, водопроводной и фасованной питьевой воды. Предварительно атомно-абсорбционным методом установлено, что содержание Ni, Co, Zn в этих водах составляет < 2 мкг/дм³ (метрологические характеристики методик см. в табл. 2).

Таблица 4. Результаты определения стандартных добавок никеля в модельных пробах, воде из источников водоснабжения и водопроводной воде ($n = 5$; $P = 0,95$)

Вода	Введено	Найдено	Относительная погрешность $\pm \sigma, \%$
	мкг/дм ³		
Дистиллированная с добавками металлов, мг/дм ³ : 0,04 (Cd, Zn), 0,4 (Fe, Cu), 0,8 (Pb)	50	44 \pm 1,0	12
	100	92 \pm 3	8
Подземная из скважины (жесткость – 5,1 мг-экв/дм ³) с добавками металлов, мг/дм ³ : 0,08 (Cd, Zn), 0,8 (Fe, Cu), 1,6 (Pb)	50	43 \pm 5	14
	100	95 \pm 2	5
Колодезная (жесткость – 9,2 мг-экв/дм ³)	50	43 \pm 4	14,0
	125	121 \pm 5	3,2
Водопроводная (жесткость – 3,6 мг-экв/дм ³ , Zn – 0,37 мг/дм ³)	50	44 \pm 2	12
	125	117 \pm 7	6,4
Днепровская (цветность – 80 град, $C_{орг}$ – 15,2 мг/дм ³)	50	46 \pm 6	8,0
	125	134 \pm 7	7,2
Стандартный образец поверхностной воды*	50	43 \pm 4	14

*1.09493.0100 "ICP multi-element standard solution for surface water testing" (фирма "Merck"); содержит 23 элемента, сертифицированное значение концентрации никеля равно 50 ± 2 мкг/дм³

Выводы. Разработанные новые методики определения никеля, кобальта и цинка с ПАН в мицеллярных растворах НПАВ обладают рядом преимуществ по сравнению со стандартными способами, используемыми в настоящее время для контроля качества воды [10, 11]. Методики имеют более низкую границу определения (Ni, Co), просты в выполнении, уменьшена продолжительность анализа. Проведение реакции в мицеллярной среде исключает стадию экстракции токсическими органическими растворителями, что обеспечивает экологическую безопасность анализа. Предложенные маскирующие вещества, что особенно существенно при определении цинка, позволяют исключить применение цианида калия, как этого требует стандарт-

ный метод. Кроме того, для определения Ni, Co, Zn вместо трех разных реагентов используют только один – ПАН, что особенно важно при проведении анализа в полевых условиях.

С 1 октября 2010 года введен в действие Национальный стандарт Украины ДСТУ 7150:2010 [18], в основе которого лежит описанная выше методика определения никеля с ПАН. Кроме того, экспрессные методики безэкстракционного определения Ni, Co и Zn введены в методическое обеспечение портативной лаборатории для анализа воды "Аква-тест" [8].

Резюме. Розроблено селективні методики безекстракційного визначення нікелю, кобальту та цинку з 1-(2-піридилазо)-2-нафтолом в водах фотометричним методом з нижньою межею визначення 0,01 мг/дм³ (Ni) та 0,02 мг/дм³ (Zn, Co). Реакції проводяться у водно-міцелярному середовищі, яке створюється введенням неіонних поверхнево-активних речовин. Селективність визначення досягнута завдяки використанню нетоксичних маскуючих речовин і певному порядку змішування компонентів. Залізо не заважає визначенню при концентрації, що менша за 5 мг/дм³.

A.V. Terletskaia, O.S. Ievlieva, T.A. Bogoslovskaya, V.V. Goncharuk

SELECTIVE PHOTOMETRIC DETERMINATION OF TRACES OF NICKEL, COBALT AND ZINC IN NATURAL AND TAP WATER USING 1-(2-PYRIDYLAZO)-2-NAPHTHOL AND SURFACTANTS

Summary

The selective procedures for determination of traces of nickel, cobalt and zinc in natural and tap water are developed using 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol and micellar media created by nonionic surfactants. The limit of determination are equal to 0.01–0.02 mg/dm³. Selectivity of determination is achieved by using non-toxic masking reagents and proper order of their addition. Iron does not interfere at concentration ≤ 5 mg/dm³.

Список использованной литературы

- [1] *ДСТУ 4808*. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – Введ. 01.01.2012 р.
- [2] *ДСанПіН 2.24 -400-10*. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затв. МОЗ України, 2010.
- [3] *ДСТУ ISO 15586*. Якість води. Визначення мікроелементів методом атомно-абсорбційної спектроскопії з графітовою пічкою. – Введ. 01.03.2012 р.
- [4] *ДСТУ ISO 11885*. Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою. – Введ. 01.01.2007.
- [5] *ISO 17294-2*. Water quality – Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Pt. 2. Determination of 62 elements. – Geneva, 2003. – 21 p.
- [6] *The Spectroquant and Merckquant. Analysis Systems /Catalogue "Merck"*. – Darmstadt, Germany. – 14 p.
- [7] *Water Tests /Catalogue "Yalma Group Company" (England)*. – Palintest House, Kingsway, Team Valey, Gateshead. – 26 p.
- [8] *Гончарук В.В., Терлецкая А.В., Терлецкий О.В., Богословская Т.А., Пашута А.С.* // Химия и технология воды. – 2009. – **30**, № 3. – С. 338 – 349.
- [9] *Островская В.М., Запорожец О.А., Будников Г.К., Чернавская Н.М.* Вода. Индикаторные системы. – М., 2002. – 265 с.
- [10] *Унифицированные методы исследования качества вод.* – М.: Изд-во СЭВ, 1987. – 1244 с.
- [11] *Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н.* Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
- [12] *Иванов В.М.* Гетероциклические азотсодержащие азосоединения. – М.: Наука, 1982. – 231 с.
- [13] *Упор Э., Мохан М., Новак Д.* Фотометрические методы определения следов неорганических соединений. – М.: Изд-во "Мир", 1985. – 360 с.
- [14] *Азарова Ж.М., Моросанова Е.И., Золотов Ю.А.* // Журн. аналит. химии – 2000. – **55**, №7. – С. 714 – 718.
- [15] *Морозко С.А., Иванов В.М.* // Там же. – 1997. – **52**, №8. – С. 858 – 865.
- [16] *Bogoslovskaya T.A., Terletskaia A.V.* // J. Water Chem. and Technol. – 1998. – **20**, №4. – С. 380 – 384.

- [17] *Абрамзон А.А., Зайченко Л.П., Файнгольд С.И.* Поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1988. – 200 с.
- [18] *ДСТУ 7150.* Якість води. Визначення масової концентрації нікелю експресним безекстракційним фотометричним методом. – Введ. 01.10.2010 г.
- [19] *Пат. 75500 Україна, МПК 7, G01N 21/00/* В.В. Гончарук, Г.В. Терлецька, О.С. Ієвлева та ін. – Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.
- [20] *Пат. 74293 Україна, МПК 7, G01N 30/00/* Г.В. Терлецька, Т.О. Богословська. – Опубл. 15.11.2005, Бюл. №11.

Поступила в редакцію 01.12.2012 г.