

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ

SPECTRAL METHODS FOR THE DETECTION OF MACRO- AND TRACE ELEMENTS IN HUMAN BIOLOGICAL SAMPLES IN NORMAL

И.Н. Андрусихина, Е.Г. Лампека, И.А. Голуб, О.В. Страуб, О.В. Ермакова*

I.N. Andrusishina, E.G. Lampeka, I.A. Golub, O.V. Straub, O.V. Ermakova*

ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», Киев, Украина

Institute of Occupational Medicine, AMS, Kiev, Ukraine

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: химические элементы, атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная с индуктивно связанной плазмой спектроскопия

KEY WORDS: chemical elements, atomic absorption spectrometry and atomic emission with inductively coupled plasma spectrometry

РЕЗЮМЕ: В работе представлены результаты исследований по изучению содержания 13 элементов в цельной крови, сыворотке крови, слюне, моче и волосах методами ПААС, ЭТААС и АЭС-ИСП. Проведен сравнительный анализ определения элементов спектральными методами, показаны преимущества и недостатки каждого из них при сравнении с «условной нормой». Использование очищенной азотной кислоты и микроволнового разложения проб позволило установить более низкие уровни тяжелых металлов в крови и моче при определении методом АЭС-ИСП. Возможность устранения матричных и спектральных помех с помощью ИЕС, MSF коррекции фона позволяет улучшить чувствительность определения. В целом при определении «нормы» важно учитывать метод пробоподготовки и анализа химических элементов в биологических средах.

ABSTRACT: This article discusses the results of FAAC-, ETAAC- and AES-ISP-measurement of blood, serum, saliva, urine and hair levels of 13 chemical elements. Three spectral methods are compared, and pluses and minuses of each method are described in the context of their use for element detection. Purified nitric acid and microwave-induced decomposition of blood and urine samples has allowed detecting lower heavy metals levels using the

AES-ISP method. This method provides for easy reduction of matrix and spectral noise using the IEC and MSF background correction. Since the AES-ISP method is highly sensitive, it is most potential multielement detection tool for biological and medical studies.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема установления связи между химическим составом окружающей среды и состоянием здоровья населения является актуальной для многих стран мира. Одной из первоочередных она является и для Украины (Трахтенберг и др., 1998; Очерки возрастной токсикологии, 2006; Кундиев, Трахтенберг, 2007).

Главной задачей при исследовании взаимосвязи между содержанием макро- и микроэлементов (МаЭ и МЭ) и состоянием здоровья человека является выбор чувствительных методов анализа и информативных биосубстратов. Для этого исследователями используются самые разнообразные инструментальные методы, в том числе молекулярно-абсорбционный, спектральный, электрохимический, хроматографический, радиохимический, атомно-абсорбционный и т.д. (Прайс, 1976; Хавезов, Цалев, 1983; Ермаченко, 1997; Купрянова и др., 1999; Волков, Мокроусов, 2005). В последние годы все большее распространение получают многоэлементные методы: рентгено-

*Адрес для переписки: Андрусихина Ирина Николаевна, к.б.н.; E-mail: irina_andrei@voliacable.com

флуоресцентный и нейтронно-активационный (Куприянова и др., 1999; Скальный и др., 2003; Волков, Мокроусов, 2005), а также методы атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) (Куприянова и др., 1999; Скальный и др., 2003; Скальный, 2004; Кудрин, Громова, 2006; Федоров, 2006).

Наиболее информативными маркерами воздействия химических элементов для эколого-гигиенических исследований и ранней клинической диагностики микроэлементозов принято считать те ткани и органы, которые депонируют и накапливают элементы (Скальный и др., 2003; Скальный, 2004; Кудрин, Громова, 2006). Так, цельная кровь, сыворотка крови, слюна, моча, ликвор, спинномозговая жидкость и другие являются информативными биосредами для целей клинической диагностики состояния здоровья человека. Твердые ткани (волосы, ногти, зубы) представляют элементный статус, сформировавшийся на протяжении длительного времени и также пригодны для эколого-гигиенических исследований на больших группах населения.

Учитывая, что «условная норма» некоторых химических элементов, в результате использования различных методических подходов и лабораторного оборудования, имеет широкие пределы колебаний, актуальным и сегодня остается вопрос обоснования нормативов естественного содержания химических элементов в биологических субстратах. Поэтому целью данной работы было провести сравнительный анализ результатов определения МаЭ и МЭ в биологических средах, полученных методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии в пламени (ПААС), электротермического ее варианта (ЭТААС) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях принимали участие волонтеры, которые не имели профессионального контакта с тяжелыми металлами, а также отклонений в состоянии здоровья. Всего было обследовано 57 человек в возрасте от 21 до 57 лет. Биосубстраты (цельная кровь, сыворотка крови, моча, слюна и волосы) отбирались согласно общепринятым методом отбора субстратов (Дмитриева, Грановский, 1986; Скальный, 2004; Кудрин, Громова, 2006). Содержание химических элементов в биосубстратах определялось методами: ПААС и ЭТААС на приборах ААС 5100 Z PC; методом АЭС-ИСП – на приборе Optima 2100 DV (Perkin-Elmer, США).

Методом ПААС определяли содержание свинца, кадмия, марганца, кобальта, никеля, хрома в цельной крови после «влажной минерализации»

проб кислотной смесью по ранее опубликованной нами методике (Демченко и др., 2010). Определение марганца, железа, меди и цинка в сыворотке крови проводили по методике (Мжельская, 1976; Цалев, Качов, 1977). Содержание кальция, магния, калия и натрия в сыворотке крови определяли после соответствующего для каждого элемента разведения проб 0,1% раствором хлорида лантана в соответствии с методикой (Прайс, 1976; Хавезов, Цалев, 1983).

Определение содержания марганца, железа, меди и цинка методом ПААС в слюне проводили согласно методике (Дмитриева, Грановский, 1986), электролитов в слюне в соответствии методикой (Андрусишина, 2009).

Содержание свинца в моче определяли методом ПААС после соосаждения с торием по методике (Zurlo et al., 1969). Содержание марганца, железа, меди, цинка определяли по общепринятой методике путем прямого распыления пробы в воздушно-ацетиленовое пламя (Прайс, 1976; Архипов, 1988). Содержание кальция, магния в моче определяли после разведения проб 0,1% раствором хлорида лантана в соотношении 1 : 10 (Прайс, 1976). Содержание калия и натрия в моче определяли методом ААС в эмиссии после соответствующего для каждого элемента разведения проб 0,1% раствором хлорида лантана (Perkin-Elmer Corporation..., 1975; Хавезов, Цалев, 1983).

Методом ЭТААС определяли содержание свинца, кадмия, никеля в цельной крови после влажной минерализации крови и разведения 0,1% раствором аскорбиновой кислоты (Юдина и др., 1989). Для ЭТААС-определения содержания свинца, кадмия и никеля в моче пробы разводили 0,2% раствором HNO₃. Содержание никеля и хрома в слюне определяли также методом ЭТААС (Signifoli et al., 1989).

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью методов вариационной статистики с использованием программы Microsoft Excel (Антомонов, 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили выявить диапазоны содержания некоторых химических элементов в биологических средах человека с учетом данных разных авторов (табл. 1) (Прайс, 1976; Куприянова и др., 1999; Скальный и др., 2003; Волков, Мокроусов, 2005; Кудрин, Громова, 2006; Очерки возрастной токсикологии, 2006; Федоров, 2006). Показано, что в цельной крови достоверно ниже было содержание Pb (в 1,59 раза), Mn (в 4,0 раза), Cu (в 1,91 раза), Co (18,3 раза) и Cr (в 8,28 раз) при определении методом АЭС-ИСП по сравнению с ПААС (табл. 2). При определении содержания Pb (в 1,93), Mn (в 3,6 раза) в цельной крови методом ЭТААС уста-

Таблица 1. «Условная норма» для некоторых химических элементов в биологических средах человека определенная разными инструментальными методами

Химический элемент	Содержание в сыворотке крови, мг/л	Содержание в моче, мг/л	Содержание в волосах, мкг/г	Метод
Ca	99,67 30–103,5 66,53–87,8 86–104 103–111	8,67 119,4–182,57 271,6–368,3	320 120–3000 383–543 220–450	СГ РФА ПААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Mg	15,6–19,2 13,34–13,54 17–28 11,9–20,3	0,41 98,35–119,3 164,2–196,8	50 46,98–105,28 203,57–256,9	СГ ПААС ЭТААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Pb	0,047 0,02–0,04 0,014–0,34	0,002 0,02–0,04	50 4,0–9,25 0,37–0,77 0,45–0,5 0,38–23,83	СГ ПААС РФА ЭТААС МС–ИСП
Cd	0,103 0,0001–0,08 0,001–0,0054 0,0001–0,002	0,107 – 0,0005–0,004 0,0005–0,005	0,3–0,78 0,032–0,04 0,04–0,2 0,03–0,073	СГ ПГ ЭТААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Cr	0,02–0,022 0,025 0,0008–0,005 0,0001–0,001	0,01–0,04 0,006 0,0003–0,003 0,001–0,002	3,04 0,16–0,24 0,15–1,4 0,13–2,54	СФ НАА ЭТААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Mn	0,0025–0,0083 – 0,017–0,03 0,0005–0,007 0,0003–0,001	0,3–0,98 0,0016 0,02–0,03 – 0,0001–0,01	1,25 0,62–0,92 0,89–1,11 0,15–2,6 0,04–0,99	СГ НАА ПААС ЭТААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Zn	1,7–2,70 0,69–1,11 1,29–1,77 0,6–1,20	0,90 0,48–0,72 0,3–0,6 0,36–0,60	96,35–136,89 139,25–253,81 166,7–181,03 165–220	ФМ РФА ПААС ЭТААС АЭС–ИСП
Cu	1,0–1,16 1,17 1,0–1,12 1,0–2,9 1,14–1,90 0,89–1,21 0,46–1,08 0,37–0,81	0,06–0,07 0,0073 0,06–0,07 0,10 0,025–0,041	11–20 6,62–10,04 11,24–12,36 5,75–9,8 10–25	СФ СГ ААС РФА ЭТААС ПААС АЭС–ИСП МС–ИСП
Fe	0,9–1,4 1,2 0,89–1,31 0,64–1,08 0,5–1,94 1,03–1,33	0,18 0,065 0,22–0,30	30 7,64–40,1 12–35	КМ СГ ПААС АЭС–ИСП МС–ИСП

новлено более низкие уровни по сравнению с определением методом ПААС. По сравнению с методом ЭТААС содержание Pb (в 1,55 раза), Cd (в 1,53 раза), Ni (в 3,0 раза) в цельной крови было ниже при определении методом АЭС-ИСП. В сыворотке крови также выявлено низкое содержание Pb (в 1,93 раза), Mn (в 3,6 раза), K (в 1,75 раза), Na (в 2,15 раза) при определении методом АЭС-ИСП сравнению с методом ПААС. Следует отметить, что методы подготовки проб для анализа методом ПААС, ЭТААС и АЭС-ИСП отличались между собой. Так использование значительных объемов смеси кислот для подготовки проб загрязняет последние, как например, в случае свинца и хрома в цельной крови при определении методами ПААС и ЭТААС (Ермаченко, 1997; Куприянова и др.,

1999; Savchenko et al., 2000; Макаренко и др., 2001; Соколова и др., 2006). Использование очищенной азотной кислоты и микроволнового разложения пробы позволило выявить более низкие уровни содержания этих элементов.

В какой-то мере это относится к определению калия и натрия в сыворотке крови. Не последнее значение имеет концентрация элемента в пробе. Так, например, электролиты в сыворотке крови находятся в пределах мг/л, а концентрации марганца, никеля, хрома в мкг/л, что затрудняет анализ на грани предела чувствительности прибора и, как следствие интерпретацию полученных результатов (Рогульский и др., 1997; Волков, Мокроусов, 2005; Федоров, 2006).

Сравнительный анализ определения содержа-

Таблица 2. Сравнение методов ААС и АЭС-ИСП определения содержания некоторых химических элементов в цельной крови и сыворотке крови человека (мг/л, М ± m)

Химический элемент	Метод анализа		«Условная норма»	
	ЭТААС/ПААС	АЭС-ИСП	Min	Max
Pb (ц.кровь)	0,34 ± 0,04 0,35 ± 0,04	0,22 ± 0,02	0,20	0,40
Pb (сыворотка)	0,11 ± 0,02	0,057 ± 0,023	0,02	0,12
Mn (ц.кровь)	0,12 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,002	0,075
Mn (сыворотка)	0,018 ± 0,008	0,005 ± 0,002	0,004	0,014
Fe (сыворотка)	1,15 ± 0,15	1,25 ± 0,32	0,73	1,67
Cu (ц.кровь)	1,97 ± 0,38	1,03 ± 0,13	0,96	1,47
Cu (сыворотка)	1,11 ± 0,11	1,35 ± 0,30	0,70	1,55
Zn (ц.кровь)	4,42 ± 0,18	4,30 ± 0,11	4,0	7,5
Zn (сыворотка)	0,99 ± 0,09	1,11 ± 0,19	0,6	1,2
Cd (ц.кровь)	0,023 ± 0,005 0,076 ± 0,08	0,015 ± 0,008	0,0001	0,0015
Co (ц.кровь)	0,11 ± 0,01	0,006 ± 0,002	0,0001	0,001
Ni (ц.кровь)	0,015 ± 0,004 0,027 ± 0,0002	0,005 ± 0,007	0,001	0,05
Ni (сыворотка)	0,08 ± 0,01	0,036 ± 0,001	0,0026	0,0075
Cr (ц.кровь)	0,24 ± 0,03	0,029 ± 0,013	0,0001	0,001
Ca (сыворотка)	109,33 ± 21,99	74,10 ± 13,20	90	112
Mg (сыворотка)	23,32 ± 3,30	15,39 ± 6,46	17	28
K (сыворотка)	256,27 ± 31,32	146,55 ± 17,87	137	207
Na (сыворотка)	2620 ± 33,0	1215,80 ± 202,72	3000	3600

Примечание: М ± m обозначены жирным шрифтом для метода ЭТААС

ния 13 элементов методами ПААС, ЭТААС и АЭС-ИСП показал, что метод АЭС-ИСП больше пригоден для анализа МаЭ и МЭ в слюне (табл. 3). По сравнению с методом ПААС метод АЭС-ИСП позволил определять Pb, Cd в слюне. При этом их содержание находилось в пределах принятой в литературе «нормы». В то же время несколько ниже было содержание Mn (в 10,25 раз), Ca (в 1,32 раза), K (в 1,18 раз), Na (в 4,46 раза) при определении методом АЭС-ИСП по сравнению с ПААС, что скорее обусловлено трудностями определения их методом АЭС-ИСП (Куприянова и др., 1999; Волков, Мокроусов, 2005). При этом содержание этих элементов при определении обоими методами было в пределах значений принятой в литературе «условной нормы». Содержание Ni, Cr в слюне не отличалось при определении методами ЭТААС и АЭС-ИСП, хотя известно, что метод ЭТААС более чувствителен для этих элементов (Комарова, Алексеева, 2006).

Разложение органической матрицы слюны концентрированной азотной кислотой позволяет улучшить результаты анализа для кальция, калия и натрия АЭС-ИСП методом (Signifoli et al., 1989; Федоров, 2006).

Сравнение результатов определения химических элементов в моче (табл. 4) при определении

тремя методами демонстрирует преимущества метода ЭТААС. Так, определения Pb (в 1,33 раз), Cd (в 2,0 раз), Ni (в 6,6 раз) методом ЭТААС было ниже чем методом ПААС. В то же время ясно, что метод АЭС-ИСП имеет более низкие пределы обнаружения для Pb (в 2,10 раз), Mn (в 2,17 раз), Cd (в 11 раз), Cr (в 15,71 раз), Mg (в 2,32 раза), K (в 1,46 раза) по сравнению с ПААС, которые, однако, не выходили за рамки принятой «нормы» для этих элементов. Из-за слишком высокой концентрации компонентов матрицы (например, Pb, Mn, Cr мешает Fe, Co, Ni, которые трудно устранить добавлением ионизационного буфера или матричных добавок) получили завышенные результаты при определении методом ПААС и АЭС-ИСП. Определение в моче хрома и кадмия является проблематичным из-за низкой чувствительности последнего метода (Волков, Мокроусов, 2005).

Сравнение методов определения содержания химических элементов в волосах (табл. 5) позволяет утверждать, что метод АЭС-ИСП дает завышенные значения концентраций для Pb (в 2,77 раза), Ca (в 3,63 раза), Mg (в 2,08 раза) при сравнении с ПААС. Содержание Fe (в 2,41 раза), Cu (в 2,81 раза), Cd (в 5,86 раза), Cr (в 5,98 раза) было ниже при определении методом АЭС-ИСП по

Таблица 3. Сравнение методов ААС и АЭС-ИСП определения некоторых химических элементов в слюне человека (мг/л, $M \pm t$)

Химический элемент	Метод анализа		«Условная норма»	
	ЭТААС/ПААС	АЭС-ИСП	Min	Max
Pb	–	0,003 ± 0,001	0,0001	0,002
Mn	0,041 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,002	0,01
Fe	0,48 ± 0,05	0,69 ± 0,17	0,075	0,25
Cu	0,16 ± 0,07	0,14 ± 0,01	0,02	0,12
Zn	0,76 ± 0,03	0,69 ± 0,15	0,01	0,08
Cd	–	0,004 ± 0,001	0,003	0,008
Co	–	0,031 ± 0,007	0,024	0,13
Ni	0,0027 ± 0,002	0,004 ± 0,001	0,003	0,008
Cr	0,0015 ± 0,005	0,002 ± 0,001	0,0008	0,0036
Ca	142,18 ± 19,51	107,86 ± 9,89	45	100
Mg	8,62 ± 1,78	11,20 ± 1,81	1,9	13
K	1099,33 ± 37,40	1298,05 ± 93,11	460	1480
Na	3402,7 ± 169,33	763,20 ± 62,26	800	5500

Таблица 4. Сравнение методов ААС и АЭС-ИСП определения содержания некоторых химических элементов в моче человека (мг/л, $M \pm m$)

Химический элемент	Метод анализа		«Условная норма»	
	ЭТААС/ПААС	АЭС-ИСП	Min	Max
Pb	0,041 ± 0,01 0,065 ± 0,014	0,031 ± 0,004	0,02	0,04
Mn	0,052 ± 0,001	0,024 ± 0,006	0,0001	0,001
Fe	0,30 ± 0,05	0,25 ± 0,11	0,01	0,025
Cu	0,05 ± 0,006	0,066 ± 0,021	0,04	0,15
Zn	0,33 ± 0,07	0,33 ± 0,08	0,36	0,6
Cd	0,008 ± 0,005 0,044 ± 0,01	0,004 ± 0,001	0,0005	0,002
Ni	0,01 ± 0,005 0,032 ± 0,014	0,066 ± 0,021	0,0005	0,003
Cr	0,11 ± 0,023	0,007 ± 0,003	0,002	0,02
Ca	84,37 ± 19,93	65,42 ± 18,49	66,7	200
Mg	135,08 ± 39,86	58,21 ± 14,84	48,6	80,2
K	2020 ± 48,02	1386,48 ± 147,82	533,30	1660
Na	1940 ± 43,12	1932,25 ± 278,22	950,7	2599

сравнению с ПААС, что свидетельствует о наличии спектральных помех (это железо, кальций, алюминий, кобальт) и нуждается в MSF и IEC коррекции фона (Носков, 2008). В целом получили хорошую корреляцию методов при определении марганца, цинка, кобальта, калия (Рогольский и др., 1997; Металлы и сплавы..., 2006).

Следует отметить, что содержание Ca, Mg, Zn, Fe, Pb в волосах, Co, Ni, Cd – в сыворотке крови и Ca, Mn, Co, Ni, Cd – в моче имело значительный диапазон колебаний, обусловленный используемыми спектральными методами. Регламентированный уровень содержания этих элементов по данным разных авторов (Signifoli et al., 1989; Скальный и др., 2003; Кудрин, Громова, 2006; Очерки возрастной токсикологии, 2006; Федоров, 2006; Андрусишина, 2009) также имеет широкие пределы колебаний, что затрудняет интерпретацию полученных результатов.

Известно, что одним из главных факторов, мешающих определению металлов в биологических средах при использовании методов спектрального анализа являются различной природы помехи (спектральные, химические, матричные). Так, было замечено депрессирующее влияние матрицы раствора на абсорбцию элементов при

определении методом ПААС, когда в ней присутствуют соединения алюминия, ванадия, ниобия в концентрациях 1%. При анализе соединений магния, кальция матричные помехи обусловлены образованием труднорастворимых оксидов. Кроме того, влажная минерализация проб ведет к потерям летучих элементов и загрязнению проб Fe, Cd, Pb, Zn путем внесения значительных объемов кислот в пробу (Ермаченко, 1997). Это может приводить к ошибкам в интерпретации полученных результатов (Прайс, 1976; Очерки возрастной токсикологии, 2006).

При определении химических элементов методом АЭС-ИСП существенный вклад в размеры матричных помех вносит состояние пробы. При ее распылении помехи устраняются путем поддержания адекватного содержания матричных соединений в пробах и стандартах, или уменьшением их концентрации. С ростом концентраций азотной и хлорной кислоты может снижаться интенсивность аналитического сигнала, например, для марганца в результате десольватации пробы на стадии ее распыления. Поэтому для АЭС-ИСП считается лучшим применение 2–10% растворов азотной кислоты (Прайс, 1976; Хавезов, Цалев, 1983; Ермаченко, 1997). В ходе исследований бы-

Таблица 5. Сравнение методов ПААС и АЭС-ИСП определения содержания некоторых химических элементов в волосах человека (мкг/г, $M \pm m$)

Химический элемент	Метод анализа		«Условная норма»	
	ПААС	АЭС-ИСП	Min	Max
Pb	3,73 ± 1,38	9,25 ± 3,06	0,6	30
Mn	1,85 ± 0,48	4,14 ± 1,31	0,66	2,93
Fe	67,24 ± 12,22	27,94 ± 12,08	20	100
Cu	15,11 ± 0,65	5,36 ± 1,12	7,5	80
Zn	196,48 ± 57,56	191,37 ± 44,64	50	250
Cd	0,41 ± 0,07	0,07 ± 0,024	0,2	0,4
Co	0,55 ± 0,27	0,35 ± 0,14	0,05	0,5
Ni	3,27 ± 0,65	0,82 ± 0,16	0,1	2,0
Cr	4,55 ± 1,07	0,76 ± 0,32	0,5	3,5
Ca	463,01 ± 38,72	1682,55 ± 642,48	200	2000
Mg	73,9 ± 4,36	155,43 ± 41,37	19	163
K	136,35 ± 49,35	143,37 ± 19,57	150	663
Na	18,98 ± 0,38	8,6 ± 2,15	18	1720

ли выявлены элементы, мешающие определению (главным образом, это железо, кальций, алюминий, кобальт). Поэтому определение свинца, кадмия, хрома и никеля требует коррекции фона (IES, MSF). В некоторых случаях даже переход на другую длину волны позволяет повысить чувствительность определения некоторых элементов (марганца, селена, свинца).

Химические элементы, концентрация которых в биологических средах была в пределах г – мг (Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn), находились в пределах условной нормы при определении методами ПААС, ЭТААС и АЭС-ИСП. Элементы, концентрация которых была в пределах мг-мкг (Mn, Ni, Cr, Cd), проблематичны при определении методами ПААС и в некоторых случаях АЭС-ИСП. В целом же метод АЭС-ИСП является наиболее подходящим для многоэлементного анализа в биологических средах благодаря низким порогам определения элементов, отсутствию матричных эффектов, малым объемам растворов.

Таким образом, несмотря на различные методические приемы анализа химических элементов – ПААС, ЭТААС и АЭС-ИСП, сегодня метод АЭС-ИСП следует считать наиболее вероятным «кандидатом» для многоэлементного анализа. Отсутствие системного подхода к изучению мик-

роэлементов и условность нормативов для многих из них является объективной преградой для использования его в широких областях – экологии, биологии, медицины.

ЛИТЕРАТУРА

Андрусишина И.Н. Определение форм кальция и магния в сыворотке крови и слюне методом ААС и их диагностическое значение в клинике // Ж. акт. пробл. трансп. мед. 2009. №2. С.107–115.

Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. К., 2006. 558 с.

Архипова О.Г. Методы исследования в профпатологии. М.: Мир, 1988. С.123–144.

Волков А.Ю., Мокроусов А.А. Инструментальные методы определения элементного состава биосубстратов // Клин. лаб. диагн.. 2005. №9. С.78.

Демченко В.Ф., Андрусишина И.М., Лампека О.Г., Голуб І.О. Методичні рекомендації. Атомно-абсорбційні методи визначення макро- та мікроелементів у біологічних середовищах при порушенні їх обміну в організмі людини. Київ: ВД «Авіцена», 2010. 60 с.

- Дмитриева М.Т., Грановский Э.И.* Методические рекомендации по спектральному определению тяжелых металлов в биологических материалах и объектах окружающей среды. М., 1986. 54 с.
- Ермаченко Л.А.* Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях / Методическое пособие под ред. Подуновой Л.Г. М.: Изд-во «Чувашия», 1997. 207 с.
- Комарова Л.Г., Алексеева О.П.* Саливаология. Нижний Новгород: Изд-во НГМА, 2006. 180 с.
- Кудрин А.В., Громова О.А.* Микроэлементы в неврологии. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2006. 204 с.
- Кундиев Ю.И., Трахтенберг И.М.* Химическая безопасность в Украине. Киев: Авиценна, 2007. 72 с.
- Куприянова Т.А., Лямина О.И., Семенов В.Ф., Шаблин В.Н.* Методические особенности определения основных микроэлементов в сыворотке и клетках периферической крови рентгенофлуоресцентным методом // Клини.лаб.диагн. 1999. №8. С.11–15.
- Макаренко Т.Ф., Вознесенская Т.В., Меницкая В.И.* Определение тяжелых металлов в некоторых органах, тканях и жидкостях человека в норме // Суд.мед.эксп. 2001. №5. С.28–32.
- Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Методы атомной спектроскопии. Атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный и рентгенфлуоресцентный анализ / Справ. под ред В.И. Мосичева. СПб.: НПО «Профессионал», 2006. 716 с.
- Мжельская Т.И.* Определение содержания Cu, Fe и Zn в сыворотке крови с помощью ААС «Спектр-1» // Лаб.дело. 1976. №4. С.229.
- Носков В.Б.* Слюна в клинической лабораторной диагностике (обзор литературы) // Клини.лаб.диаг. 2008. №6. С.14–17.
- Очерки возрастной токсикологии / под ред. Трахтенберга И.М. К.: Авиценна, 2006. 316 с.
- Прайс В.* Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 356 с.
- Розульский Ю.В., Данильченко С.Н., Лушпа А.П., Суходуб Л.Ф.* Определение содержания микроэлементов в сыворотке крови методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией // Клини.лаб.диагн. 1997. №9. С.24–33.
- Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии. М.: ОНИКС 21 век. Мир, 2004. 215 с.
- Скальный А.В., Быков А.Т., Серебрянский А.П., Скальная М.Г.* Медико-экологическая оценка риска гипермикроэлементозов у населения мегаполиса. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 132 с.
- Соколова Н.А., М.И.Савина, Тогузов Р.Т., Карян Г.Л., Мухина Ю.Г.* Аналитические методы оценки содержания микроэлементов у детей с хроническими заболеваниями желудочно-кишечного тракта // Клини.лаб.диагн. 2006. №12. С.7–9.
- Трахтенберг И.М., Шестопалов В.М., Набока М.В., Бобылева О.А.* Свинец и другие тяжелые металлы во внешней среде после Чернобыльской ситуации в Украине // Международ. мед. ж. 1998. №3. С.94–98.
- Федоров В.И.* Современное состояние проблемы анализа неорганических элементов в сыворотке крови // Клини.лаб.диагн. 2006. №4. С.814.
- Хавезов И., Цалев Д.* Атомно-абсорбционный анализ. Л.: Химия, 1983. 118 с.
- Цалев Д.Л., Качов И.П.* Быстрый метод определения Mn в сыворотке крови // Лаб.дело. 1977. №10. С.600–603.
- Юдина Т.В., Гильденскольд Р.С., Егорова М.В.* Способ определения тяжелых металлов в крови Патент а.с.№1497569 от 30.07.89.
- Perkin-Elmer Corporation: Analytical methods for atomic absorption spectrometers, Norwalk, Conn. 1975. 536 p.
- Signifoli G.P., Gorgoni C., Bonorio O., Cantoni E. et al.* Comprehensive determination of trace elements in human saliva by ET-AAS // Mikrochim acta. 1989, 1:171–179.
- Zurlo N., Griffini A., Colombo G.* Determination of lead in urine by atomic absorption spectrometry after coprecipitation with thorium // Analitica chimica acta. 1969, 47:203–208.