

УДК 612.014.46:546.3/8:54.062

# ДО ПРОБЛЕМИ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІВНІВ УМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ЛЮДИНИ

**Андрусишина І. М., Голуб І. О., Лампека О. Г.****ДУ «Інститут медицини праці Національної академії медичних наук України», м. Київ**

*Вступ.* Одним з факторів масового скринінгу та контролю за впливом факторів оточуючого середовища на організм людини та тварин є багатоеlementний аналіз біологічних середовищ. Натепер спеціалісти в усьому світі розуміють, що референтні значення, як і поняття норма, не є сталою величиною через гетерогенність геохімічних умов проживання. Проблеми з визначенням меж фізіологічної норми вмісту елементів у біосубстратах призвели до накопичення непорівнянних один з одним аналітичних даних, та до великих розбіжностей даних «норми» в літературі.

*Мета дослідження* – еколого-гігієнічна оцінка впливу важких металів на формування оптимальних рівнів їхнього вмісту в біологічних середовищах.

*Матеріали та методи дослідження.* Для визначення вмісту 10 важких металів у пробах були застосовані методи атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою та математичної статистики.

*Результати.* Отримані результати дослідження не залишають сумнівів щодо наявності тісного зв'язку між хімічним складом повітря, питної води, продуктів харчування на формування оптимальних рівнів вмісту макро- та мікроелементів у біологічних середовищах людини. Для виявлення ризику розвитку дисбалансу макро- та мікроелементів в організмі людини необхідне проведення багатоеlementного аналізу як на індивідуальному, так і на популяційному рівні.

**Ключові слова:** важкі метали, референтні значення, макро- та мікроелементи, біологічні середовища

## Вступ

Відомо, що одним з важливих факторів, які визначають здоров'я людини та її функціональні резерви, є мікроелементний гомеостаз органів та тканин. За рівнем накопичення важких металів та есенційних елементів у різних діагностичних біологічних середовищах можна судити про здоров'я та адаптацію організму до умов оточуючого середовища [1, 2].

Одним з факторів масового скринінгу та контролю за впливом факторів оточуючого середовища на організм людини та тварин є багатоеlementний аналіз біологічних середовищ, наприклад, волосся, цільної крові та інших біосубстратів [1, 4–5].

Незважаючи на широке поняття «норма», у біології досі немає його універсального визначення (И. М. Трахтенберг, 1991 р.). В останні десятиліття відзначаються спроби у встановленні нормальних фізіологічних рівнів вмісту хімічних елементів [1–3, 5]. Так, для формування груп ризику за умов інтоксикації металами запропоновано використовувати такий термін, як біологічно допустимий рівень, введено поняття умовного біологічно допустимого рівня, або дискутується питання про «регіональні нормативи» для окремих елементів [1, 2].

Традиційно у клінічній лабораторній діагностиці використовується термін – референтні значення, у тому числі при визначенні вмісту  $MaE$  та  $ME$ . Цей термін за визначенням теж характеризує межі норми. Для більшості показників кожна лабораторія встановлює власні референтні діапазони в зв'язку з застосуванням різного обладнання, методами досліджень, тест-системами, одиницями вимірювання.

Нині спеціалісти в усьому світі розуміють, що референтні значення, як і поняття норма, не є величиною сталою. При проведенні оцінки отриманих клінічних результатів різних за статевими або віковими ознаками відмічається суттєва різниця між значеннями. Існує твердження, що «референтні значення» не є величиною абсолютно сталою у визначеній групі людей через гетерогенність геохімічних умов проживання. У той самий час у світі існує невелика кількість показників, для яких такі встановлені стандартні референтні значення [1, 2].

*Мета дослідження* – провести еколого-гігієнічну оцінку впливу важких металів на формування оптимальних рівнів їхнього вмісту в біологічних середовищах.

## Матеріали та методи дослідження

Для вирішення поставленої задачі було застосовано комплекс гігієнічних, аналітичних та статистичних методів аналізу. В об'єктах довкілля (атмосферне повітря – 25 проб, питна вода – 428 проб, продукти харчування – 35 проб) та у 340 біологічних середовищах людини (волосся, цільна кров). Усі обстежені (особи віком 25–40 років) мешкали в м. Києві та не мали ознак інтоксикації важкими металами. Для визначення вмісту 12 хімічних елементів у пробах було застосовано мікрохвильовий метод мінералізації проб та спектральний багатоелементний метод аналізу (АЕС-ІЗП на приладі ОРТИМА 2100 DV) [6–9]. Отримані результати дослідження опрацьовано статистично з використанням пакета програм Microsoft Excel, кореляційний аналіз проведено методом Verimax raw [10].

## Результати дослідження та їх обговорення

Нині існує декілька визначень поняття «норма»: рухлива рівновага функцій органів і систем організму, найбільш раціональна форма і функція організму, що знаходяться відповідно один з одним і навколишнім середовищем, динамічна відповідність морфологічних і фізіологічних особливостей організму за мінливих умов навколишнього середовища, оптимальний стан живої системи, при якому забезпечується її максимальна адаптація [1–2].

Тож аналіз змісту хімічних елементів в організмі людини і діагностика диселементозів ґрунтуються на використанні поняття норма, що формуються за ознакою відхилення виявлених показників від допустимого рівня. Так, фізіологічний рівень відповідає природному вмісту елемента в людини, що не має з ним контакту; умовно допустимим рівнем вважається така кількість речовини в організмі, яка при постійному його вмісті не викликає змін здоров'я, що виявляють сучасними методами досліджень (тобто відповідає верхній або нижній межі фізіологічного вмісту елемента), значне перевищення допустимих показників по одному з елементів у багатьох обстежених визначається поняттям «критичний рівень», при якому спостерігаються біохімічні зміни, пов'язані з токсичною дією металу або дефіцитом життєво важливого елемента.

Для більшості показників кожна лабораторія встановлює власні референтні діапазони в зв'язку з застосуванням різного обладнання, методів дослі-

джень, одиницями вимірювання (табл. 1). Останнє призвело до великих коливань норми ряду хімічних елементів.

У останні десятиліття були запропоновані численні методологічні підходи до проблеми нормування оптимальних значень вмісту макро- (МаЕ) та мікроелементів (МЕ) у біологічних середовищах, однак, вони прийнятні для одного елемента по одному показнику небезпечності. Сьогодні найприйнятнішою є методологія нормування оптимальних рівнів та співвідношень макро- та мікроелементів у питній воді та харчових раціонах, яка базується на результатах еколого-біогеохімічного зонування територій [4]. Однак у цьому підході не враховано з відомих причин людину. Тому вважаємо за доцільне надати наступну таблицю (табл. 2), де вказано шляхи надходження елементів та різна здатність до їхньої біозасвоюваності [1, 6, 11].

Важливий внесок у добову забезпеченість організму МаЕ та МЕ вносить питна вода (від 1 до 35 % добової потреби мінеральних речовин). Важкі метали (у тому числі й токсичні), що надходять з харчовими продуктами, складають від 59 до 98 % на одну добу. Аерогенне навантаження (залежності від елемента) складає від 0,1 до 2,0 % [1–5, 13–15].

Тому важливим моментом даних досліджень було оцінити реальне надходження елементів. Отримані дані надано в таблиці 3. Аналіз вмісту металів у атмосферному повітрі показав пріоритет вулиці для цинку, кадмію та свинцю, марганцю, нікелю. При дослідженні питної води було зареєстровано незначну кількість проб питної води з перевищенням ГДК для марганцю, заліза, свинцю та хрому. Найбільший уміст металів у приміщеннях виявлено для свинцю, кадмію, хрому. Уміст металів у харчових продуктах у середньому за всіма пробами не перевищував встановлені допустимі рівні. Метали у підвищених концентраціях частіше виявляли в рослинній продукції (для кадмію, свинцю), рибі (для миш'яку, марганцю, хрому).

З позицій існуючих фізіологічних концепцій, несприятливі умови оточуючого середовища та умови харчування можуть стати наслідком специфічних адаптаційних змін у обміні речовин. Тому для встановлення таких змін був проведений кореляційний аналіз (табл. 4).

У структурі факторів хімічної природи за даними кореляційного аналізу найбільший зв'язок між вмістом у атмосферному повітрі та вмістом у

біологічних середовищах виявлений для Cu (R = 0,37), Fe (R = 0,20), As (R = 0,29), Cd (R = 0,24). Кореляційний аналіз показав зв'язок між вмістом Ni (R = 0,2), Pb (R = 0,52), Al (R = 0,24), Mn (R = 0,2) у питній воді та волоссі обстежених. Пріоритетними металами, які обумовлюють навантаження організму з продуктами харчування, є Cd (R = 0,28), Se (R = 0,35), Zn (R = 0,44), Cu (R = 0,23), Ni (R = 0,20).

Логічним етапом подальших досліджень був розрахунок фактичного добового надходження важких металів та есенційних мікроелементів у організм дорослої людини згідно з нормативними документами [11, 12]. Отримані дані демонструють (табл. 5), що сумарне добове навантаження дорослого населення, яке мешкає в зоні еколого-геохімічного оптимуму, не перевищує меж добового навантаження важкими металами та есенційними мікро-

**Таблиця 1**

**«Умовна норма» для деяких хімічних елементів у біологічних середовищах людини, за даними різних авторів**

Хімічний елемент	Уміст у цільній крові або сироватці крові, мг/л	Уміст у волоссі, мкг/г	Метод дослідження	Джерело літератури
Cd	0,103 0,0001–0,0800 0,0001–0,0020 0,0010–0,0054	0,2–0,4  0,05–0,25	СГ ПГ МС-ІСП ЕТААС	ВОЗ, 1977 Олихова С. В і др., 2000 Скальный А. В., 2004 Соколова Н. А., 2006
Cu (сироватка)	1,01 0,70–1,55 0,70–1,70 0,70–1,55	3,0–9,0  1,3–12,0 7,5–80,0	СФ ПААС ПААС МС-ІСП	ВОЗ, 1977 Прайс В, 1976 Трахтенберг И. М., 1994 Скальный А. В., 2004
Cr	0,020–0,022 0,025 0,03–0,12 0,0008–0,0050 0,006–0,110	0,3–0,8  2,0  0,6–4,1	СФ НА ЕТААС ЕТААС МС-ІСП	Shroder Н., 1971 ВОЗ, 1977 Трахтенберг И. М., 1994 Соколова Н. А., 2006 Скальный А. В., 2004
Fe (сироватка)	1,2 0,90–1,24 0,65–1,75 0,60–1,68	5–25	СГ ПААС ПААС МС-ІСП	ВОЗ, 1977 Прайс В, 1976 Педанов Ю. Ф., 1992 Скальный А. В., 2004
Mn	0,0025–0,0083 0,005 0,017–0,030 0,003–0,160 0,0005–0,0070 0,0016–0,0750	4–30  0,3–30,0  0, –2,0	СГ НА ПААС ПААС ЕТААС МС-ІСП	Shroder Н., 1971 ВОЗ, 1977 Глазков В. И. и др., 1971 Трахтенберг И. М., 1994 Макаренко Т. Ф., 2001 Скальный А. В., 2004
Ni	0,001–0,004 0,03 0,001–0,004 0,002–0,033	2–13 0,1–2,0	ФМ СГ ЕТААС ЕТААС МС-ІСП	Shroder Н., 1971 ВОЗ, 1977 Submarajan K., 1981 Трахтенберг И. М., 1994 Скальный А. В., 2004
Pb	0,005–0,15 0,2–0,3 0,2–0,4 0,05–0,20 0,21	0,6–30,0  8–80 0,1–5,0	СГ ПААС ПААС ЕТААС/ПААС МС-ІСП	ВОЗ, 1977 Прайс В, 1976 Свинец, ВОЗ, 1980 Трахтенберг И. М., 2001 Скальный А. В., 2004
Zn (сироватка)	1,70–2,70  1,29–1,77 0,89–0,98 0,6–1,2	80–226 160  100–250	ФМ СГ ЕТААС АЕС-ІЗП МС-ІСП	Бабенко Г. О., 1968 ВОЗ, 1977 Соколова Н. А., 2006 Синяченко О. В., 2008 Скальный А. В., 2004

Таблиця 2

## Шляхи надходження хімічних елементів та їхня біодоступність у організмі людини

Хімічний елемент	Надходження, %			Біодоступність у шлунково-кишковому тракті, %
	Вода	Їжа	Повітря	
As	0,99	98,87	0,14	60,0–75,0
Cd	7,36	92,02	< 0,61	4,0–5,0
Ca	31,25	68,75	–	25,0–40,0
Cr	40,0	59,9	0,001	0,5–1,0
Cu	12,44	87,06	0,5	10,0–30,0
Fe	0,99	98,80	0,21	7,0–15,0
Pb	11,76	86,27	1,96	0,4–0,7
Mg	33,3	66,7	–	30,0–35,0
Mn	14,75	85,25	0,05	3,0–5,0
Ni	4,07	95,78	0,14	1,0–3,0
Se	невідомо	~100	невідомо	50,0–80,0 (орг.), 5,0–15,0 (неорг.)
Zn	7,09	92,2	< 0,71	20,0–40,0

елементами порівняно з рекомендованими в літературі даними [11, 13]. Слід зазначити, що головним шляхом формування фізіологічної норми металів є надходження Mg, Cd, Cr, Fe, Ni та Zn (понад 50 %) з харчуванням, для Ca, Cr, Se, Pb (коливання в межах 30–70 %) є водний шлях, а для Ni, Se – повітря (близько 20 %). Добове надходження всіх елементів було нижче їхніх допустимих рівнів, які наведено в різних джерелах літератури [13–15].

Традиційно для встановлення референтних значень того чи іншого клінічного показника (у тому числі й вмісту мікроелементів у біологічному середовищі) за рекомендаціями СДС (Центру з профілактики та контролю над інфекційними захворюваннями США, 2004 р.) приймається, що лабораторні аналізи 95 % населення відповідають нормі і лише 5 % з них знаходяться поза межами нормальних значень. Нині спеціалісти в усьому світі розуміють, що референтні значення, як і поняття норма, не є сталою величиною. Однією з причин такої не постійності є характер та добуве надходження хімічного елементу, звички, вік, стать.

Отримані власні результати дослідження вмісту МаЕ та МЕ у біологічних середовищах (табл. 6) у осіб еколого-гігієнічного оптимуму (обстежені проживали в межах м. Києва без промислового навантаження) порівнювали з референтними значення-

ми [1, 2]. Уміст МаЕ та МЕ у цільній крові та сироватці обстежених осіб переважно відповідав мінімальним фізіологічним рівням вмісту елементів порівняно з літературною «умовною нормою». Отримані референтні значення вмісту елементів у цільній крові з урахуванням їхнього доброго надходження знаходяться в межах фізіологічного мінімуму (або біологічно допустимого рівня) для Ni та Cr, у межах оптимуму – для Pb, Cd та As і тільки для Mn виявлено максимальне значення в цільній крові обстежених. Референтні значення МЕ у сироватці крові виявлені в межах мінімуму для Mg, Ca, Cu, Se, для Fe – уміст був у межах фізіологічного оптимуму і тільки для Zn – виявлено максимальний рівень вмісту.

Уміст мікроелементів у волоссі обстежених осіб у ряді випадків відповідав мінімуму фізіологічних рівнів (для Pb, Zn, Cd, Mg, Se), для Mn, Fe, Cu, Ni, Ca виявлено оптимальне значення, але для As виявлений уміст відповідав максимальним фізіологічним рівням.

Таким чином, хімічні елементи, концентрація яких у біологічних середовищах була в межах «г–мг» (для Ca, Mg, K, Na, Fe, Cu, Zn у сироватці), знаходилися в межах «умовної норми» при визначенні методом АЕС-ІСП. Для елементів (такі як Mn, Ni, Cr, Cd), концентрація яких була в межах «мг–мкг», умовна норма за даними літератури має

Таблиця 3

## Уміст хімічних елементів у об'єктах оточуючого середовища

Хімічний елемент	Статистичний показник	Атмосферне повітря, мг/м <sup>3</sup>	Вода, мг/л	Продукти харчування, мг/кг
Mg	М	0,014	4,57	11,27
	Min/max	0,0002–0,0280	0,23–7,03	3,00–19,03
	ГДК	0,05	50	280
Ca	М	0,027	33,97	875,0
	Min/max	0,0001–0,0540	1,75–72,00	800–950
	ГДК	0,3	100	800
As	М	0,005	0,023	0,03
	Min/max	0,005–0,007	0–0,045	0,01–0,05
	ГДК	0,003	0,05	0,05–1,0
Cd	М	0,0001	0,005	0,034
	Min/max	0,00007–0,00010	0–0,017	0,002–0,004
	ГДК	0,0003	0,001	0,01–0,10
Cr	М	0,001	0,13	0,001
	Min/max	0,0001–0,0016	0,0003–0,0530	0,0002–0,0030
	ГДК	0,0015	0,05	0,1–0,3
Cu	М	0,002	0,05	0,27
	Min/max	0,00007–0,00380	0,021–0,150	0,029–0,500
	ГДК	1,0	1,0	0,5–10,0
Fe	М	0,03	0,13	3,30
	Min/max	0,0001–0,0060	0,002–0,710	0,6–6,0
	ГДК		0,3	3,0–50,0
Mn	М	0,005	0,008	0,18
	Min/max	0,0001–0,0100	0,002–0,025	0,001–0,350
	ГДК	0,01	0,1	0,4–10,0
Ni	М	0,006	0,006	0,085
	Min/max	0,0004–0,0120	0,002–0,017	0,02–0,15
	ГДК		0,1	0,1–0,5
Se	М	0,001	0,12	0,016
	Min/max	0–0,002	0–0,33	0,002–0,03
	ГДК	0,05	0,01	0,5–1,0
Pb	М	0,014	0,05	0,11
	Min/max	0,0001–0,0280	0,004–0,170	0,10–0,12
	ГДК	0,01	0,01	0,05–1,00
Zn	М	0,018	0,015	4,60
	Min/max	0,0002–0,0360	0,009–0,280	2,2–7,0
	ГДК	0,05	5,00	5–40

Примітка. Для Cd, Pb, As, Cu, Zn, Fe наведено ГДК, для інших хімічних елементів – фонові рівні вмісту.

великі межі коливань і потребує корекції з урахуванням регіональних особливостей проживання.

Таким чином, результати дослідження і накопичені дані літератури не залишають сумнівів щодо наявності тісного зв'язку між хімічним складом повітря, питної води, продуктів харчування у формуванні оптимальних фізіологічних рівнів вмісту металів у біологічних середовищах. При цьому вклад продуктів харчування у формуванні опти-

мальних фізіологічних рівнів займає перше рангове місце, питна вода – друге, а повітря – третє. Однак, враховуючи велику адсорбуючу здатність органів дихання й можливість інгаляційного надходження низькодисперсних частинок металів та велику сорбуючу здатність альвеол легенів, аерогенний шлях у ряді випадків є головним шляхом надходження металів. Отримані результати дають підстави в подальших дослідження урахувати

Таблиця 4

Кореляційні залежності між вмістом металів у об'єктах довкілля та волоссі дорослої людини

Об'єкт довкілля	Метал											
	Mg	Ca	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Ni	Mn	Se	Pb	Zn
Повітря	-0,095	0,12	0,29	0,24	0,37	-0,27	0,20	-0,14	0,07	-0,034	-0,29	-0,05
Вода	0,21	0,10	-0,16	0,05	-0,011	-0,15	0,025	0,20	0,28	0,07	0,52	-0,10
Харчові продукти	0,30	0,10	0,03	0,28	0,23	0,28	0,03	0,20	-0,12	0,35	0,14	0,44

Таблиця 5

Сумарне добове надходження важких металів у організм людини

Шлях надходження	Статистичні дані	Метал, мг/доба											
		Mg	Ca	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Ni	Mn	Se	Pb	Zn
Продукти харчування	M	144,7	131,5	0,50	0,06	0,60	0,04	4,73	0,13	0,3	0,04	0,09	6,90
	Min	4,5	120	0,15	0,03	0,45	0,03	0,45	0,03	0,015	0,03	0,02	3,3
	max	285	143	0,75	0,09	0,75	0,05	9,0	0,23	0,53	0,05	0,16	10,5
	%	63,86	20,01	9,26	81,08	8,70	55,56	92,56	72,22	8,82	14,81	50,0	98,29
Питна вода	M	6,86	50,96	0,039	0,008	0,075	0,025	0,20	0,009	0,012	0,18	0,08	0,023
	Min	0,35	2,63	0,005	0,002	0,032	0,005	0,003	0,003	0,003	0,005	0,006	0,014
	max	10,5	108,0	0,07	0,026	0,22	0,05	1,07	0,026	0,038	0,20	0,26	0,42
	%	30,27	77,54	7,22	10,81	10,87	34,72	3,91	5,0	3,53	66,67	44,44	0,33
Повітря	M	1,33	1,61	0,0036	0,006	0,012	0,007	0,18	0,036	0,03	0,05	0,009	0,10
	Min	0,37	0,59	0,0029	0,0042	0,0042	0,0059	0,059	0,024	0,01	0,018	0,006	0,012
	max	1,70	2,21	0,0042	0,01	0,016	0,0095	0,24	0,06	0,05	0,034	0,012	0,056
	%	5,87	2,45	0,67	8,11	0,17	9,72	3,52	20,0	8,82	18,52	5,0	1,42
Усього за одну добу	M	226,6	657,2	0,54	0,074	0,69	0,072	5,11	0,18	0,34	0,27	0,18	7,02
	Min	11,7	152,2	0,16	0,036	0,49	0,041	0,69	0,057	0,028	0,07	0,032	3,33
	max	407	1245,1	0,82	0,13	0,99	0,11	10,31	0,32	0,62	0,28	0,43	10,98
Добова потреба		280–350	800	0,04–0,90	0,07–0,30	1,0–1,5	0,03–0,10	10–15	0,4	2,0–5,0	0,03–0,07	0,43	7-10

виявлені межі вмісту  $MaE$  та  $ME$  у біологічних середовищах, особливо для таких важких металів, як свинець, марганець, кадмій, нікель, хром та миш'як.

З іншого боку слід зазначити, що негативний вплив важких металів (як  $As$  та  $Mn$ ) на організм обумовлений комбінованим впливом складових оточуючого середовища і носить різноспрямований характер. Останнє може проявлятися як напругою регуляційно-адаптаційних систем, так і клінічними проявами патологічних змін окремих органів і систем.

## Висновки

- Отримані результати досліджень не залишають сумнівів щодо наявності тісного зв'язку між хімічним складом повітря, питної води, продуктів харчування у формуванні ризику для здоров'я.
- Уміст металів в одному середовищі не завжди адекватно відображає характер їхнього обміну

в організмі людини. Тому з метою підвищення надійності та ефективності ранньої клінічної діагностики захворювань необхідно використовувати комплексний підхід (одночасне визначення вмісту металів у декількох біологічних середовищах).

- Уміст мікроелементів у біологічних середовищах обстежених у ряді випадків відповідав мінімуму фізіологічних рівнів (для  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Cd$ ,  $Mg$ ,  $Se$ ), для  $Mn$ ,  $Fe$ ,  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Ca$  виявлено оптимальне значення, але для  $As$  виявлений вміст відповідав максимальним фізіологічним рівням. Хімічні елементи, концентрація яких у біологічних середовищах була в межах «г–мг» (для  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $K$ ,  $Na$ ,  $Fe$ ,  $Cu$ ,  $Zn$  у сироватці) знаходилися в межах «умовної норми» при визначенні методом АЕС-ІСП.
- Для виявлення ризику розвитку дисбалансу макро- і мікроелементів в організмі людини необхідне проведення багатоелементного аналізу як на індивідуальному, так і на популяційному

Таблиця 6

Уміст макро-та мікроелементів у цільній крові, сироватці та волоссі дорослої людини у контролі

Хімічний елемент	Статистичний показник	Уміст у цільній крові/сироватці, мг/л	Уміст у волоссі, мкг/г
Mg	M ± m	17,43 ± 1,37	59,14 ± 13,39
	Min/max	16,06–18,80	17–655
	Медіана	16,88	177,98
Ca	M ± m	86,44 ± 5,54	1157,23 ± 151,16
	Min/max	80,90–91,98	239–2241
	Медіана	87,02	1087
As	M ± m	0,020 ± 0,005	0,30 ± 0,03
	Min/max	0,010–0,033	0,003–2,100
	Медіана	0,02	1,11
Cd	M ± m	0,005 ± 0,003	0,07 ± 0,02
	Min/max	0,002–0,010	0,01–1,27
	Медіана	0,003	0,083
Cr	M ± m	0,023 ± 0,004	0,53 ± 0,07
	Min/max	0,019–0,030	0,002–5,970
	Медіана	0,02	5,28
Cu	M ± m	0,70 ± 0,07	10,79 ± 1,24
	Min/max	0,63–0,80	1,07–26,82
	Медіана	0,71	10,09
Fe	M ± m	1,07 ± 0,37	16,08 ± 6,38
	Min/max	0,70–1,44	1,32–44,44
	Медіана	1,10	24,53
Mn	M ± m	0,035 ± 0,007	1,31 ± 0,16
	Min/max	0,028–0,042	0,06–0,35
	Медіана	0,032	1,22
Ni	M ± m	0,002 ± 0,001	0,59 ± 0,03
	Min/max	0,001–0,003	0,02–2,72
	Медіана	0,002	0,72
Se	M ± m	0,07 ± 0,01	0,66 ± 0,11
	Min/max	0,06–0,08	0,003–0,800
	Медіана	0,074	0,06
Pb	M ± m	0,100 ± 0,012	0,66 ± 0,09
	Min/max	0,08–0,12	0,05–8,55
	Медіана	0,088	1,3
Zn	M ± m	1,15 ± 0,08	100,56 ± 14,22
	Min/max	1,07–1,23	11,05–445,75
	Медіана	1,10	101,99

Примітка. Для Mg, Ca, Cu, Fe, Zn, Se, Cr приведено дані вмісту в сироватці крові.

рівні. Для цих цілей широке застосування знаходять сучасні інструментальні методи аналізу ААС, АЕС-ІСП і МС-ІСП як найчутливіші.

5. Оптимальні рівні вмісту важких металів у біологічних середовищах обумовлені комбінованим

впливом оточуючого середовища, яке носить різноспрямований характер, що може проявлятися як напругою регуляційно-адаптаційних систем, так і клінічними проявами патологічних змін окремих органів і систем.

## Література

1. Аналитические методы в биоэлементологии / [А. В. Скальный, Е. В. Лакарова, В. В. Кузнецов, М. Г. Скальная]. – Санкт-Петербург : Наука, 2009. – 264 с.
2. Основные показатели физиологической нормы у человека (руководство для токсикологов) ; под

ред. И. М. Трахтенберга. – Киев : Авиценна, 2001. – 372 с.

3. Необходимость учета региональных особенностей моделирования процессов межэлементных взаимодействий в организме человека / С. В. Нотова, С. А. Мирошникова, И. Л. Болодурна, Е. В. Дидикина // Вестник ОГУ. – 2006. – № 2. – С. 59–63.

4. Толмачева Н. В. Эколого-физиологическое обоснование нормативов оптимальных уровней и соотношения макро- и микроэлементов в питьевой воде и суточных пищевых рационах / Н. В. Толмачева, В. Л. Сусликов, Винокур Т. Ю. // Медицинские науки. – 2011. – № 3. – С. 155–160.

5. Шафран Л. Н. Содержание тяжелых металлов в биосубстратах больных различного профиля как маркер токсичных нефропатий / Л. Н. Шафран, Д. В. Большой, Е. Г. Пыхтеева // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2009. – № 1. – С. 29–36.

6. Методичні рекомендації 72.14/133.14 «Оцінка порушень мінерального обміну у професійних контингентів за допомогою методу атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою» / І. М. Андрусишина, О. Г. Лампека, І. О. Голуб [та ін.]. – Київ : Авіцена, 2014. – 60 с.

7. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою у воді. ДСТУ ISO 11885:1996. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 14 с.

8. Metal and metalloid particulates in workplace atmospheres (ICP analysis) File://E:/nioshdb/s/oshameth/id125g/id25/id15g.htm

9. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30538-97. Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом. – 2000. – 32 с. (Принят Госстандартом Украины 21.11.97 г., № 12).

**Андрусишина И. М., Голуб И. А., Лампека А. Г.**

## **К ПРОБЛЕМЕ ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ ЧЕЛОВЕКА**

ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев

*Введение.* Одним из факторов массового скрининга и контроля за воздействием факторов окружающей среды на организм человека и животных является многоэлементный анализ биологических сред. В настоящее время специалисты во всем мире понимают, что референтные значения, как и понятие «норма» не является постоянной величиной вследствие гетерогенности геохимических условий проживания. Проблема определения границ физиологической нормы макро- и микроэлементов в биосубстратах привела к накоплению несопоставимых друг с другом аналитических данных, и к большим их разногласиям в трактовании нормы.

*Цель исследования.* Дать эколого-гигиеническую оценку воздействия тяжелых металлов на формирование оптимальных уровней их содержания в биологических средах.

*Материалы и методы исследования.* Для определения содержания 10 тяжелых металлов в пробах были применены методы атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и математической статистики.

*Результаты.* Полученные результаты исследований не оставляют сомнений о наличии тесной связи между химическим составом воздуха, питьевой воды, продуктов питания в формировании физиологически оптимальных уровней содержания макро- и микроэлементов в биологических средах человека. Для выявления риска развития дисбаланса макро- и микроэлементов в организме человека необходимо проведение многоэлементного анализа как на индивидуальном, так и на популяционном уровне.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, референтные значения, макро- и микроэлементы, биологические среды

**Andrusyshyna I., Golub I., Lampeka E.**

## **TO THE PROBLEM OF SUBSTANTIATION OF OPTIMUM LEVELS OF HEAVY METALS IN HUMAN BIOLOGICAL MATERIALS**

SI «Institute for Occupational Health NAMS», Kyiv

*Introduction.* A multielement analysis of biological fluids is one of factors of mass screening and control of environmental factors' effect on the human body and animals. At present, specialists of all over the world understand that reference meanings



as well as the concept «norm» are not a constant value due to heterogeneity of geochemical conditions of habitation. The use of different analytical methods in definition of chemical elements resulted in significant controversies in interpretation of a physiological “norm” in human biological media.

*Purpose of the study.* To give an ecological-hygienic assessment of heavy metals' effect on formation of optimal levels in their content in biological media.

*Materials and methods.* The content of heavy metals was defined in subjects of the environment (atmospheric air, drinking water, food products) and in biological media of individuals-volunteers (hair, general blood, blood serum). In order to define heavy metals in samples an atomic emission spectrometry with inductively connected plasma was used and a method of mathematical statistics.

*Results.* The obtained results do not leave any doubts on the availability of a tight connection between chemical composition of the air, drinking water, food products in formation of optimum levels in the content of macro- and microelements in human biological media. In order to reveal a risk of imbalance development in macro- and microelements in the human body it is necessary to conduct a multielement analysis both at individual and population level.

**Key words:** heavy metals, reference meanings, macro- and microelements, biological media

## References

1. Skalny, A. V., Lakarova, E. V., Kuznetsov, V. V., Skalnaya, M. G. 2009, Analytical methods in bioelementology. Nauka, St. Petersburg, 264 p. (in Russian).
2. Trakhtenberg, I. M. 2001, Basic indices of a physiological norm in man, Guide for toxicologists, Kiev : Avicenna, 372 p. (in Russian).
3. Notova, S. V., Miroshnikova, S. A., Bolodurna, I. L., Didikina, E. V. 2006, “The need to record regional peculiarities in modeling processes of interelement interrelations in the human body”, Vestnik of OGU, no. 2, pp. 59–63 (in Russian).
4. Tolmacheva, N. V., Suslikov, V. L., Vinokur, T. Yu. 2011, “Ecological and physiological substantiation of standards for optimum levels and a ratio of macro- and microelements in drinking water and daily food diet”, Medical Sciences, no. 3, pp. 155–160 (in Russian).
5. Shafran L. M., Bolshoy, D. V., Pykhteyeva, E. G. 2009, “The content of heavy metals in biosubstrates of patients of various occupations as a marker of toxic nephropathies”, Actual problems of transport medicine, no. 1, pp. 29–36 (in Russian).
6. Andrusishina, I. M., Lampeka, O. G., Golub, I. O. [et al.]. 2014, Methodical recommendations 72.14 / 133.14, 2014, “Assessment of mineral metabolism disorders in occupational contingents using a method of atomic absorption spectrometry with inductively connected plasma”. Kyiv : Avicenna, 56 p. (in Ukrainian).
7. Determination of 33 elements by atomic emission spectrometry with inductively connected plasma in water. 2007, State standard ISO 11885: 1996. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 14 p. (in Ukrainian).
8. Metal and metalloid particulates in workplace atmospheres (ICP analysis) File://E:/nioshdb/oshameth/id125g/id25/id15g.htm
9. Interstate standard. GOST 30538-97. 2000, Food products. Procedure of determination of toxic elements by atomic-emission method, 32 p. (Adopted by the State Standard of Ukraine № 12 of 11.21.97).
10. Antomonov, M. Y. 2006, Mathematical processing and analysis of medical and biological data. Kiev : MDK, 558 p. (in Russian).
11. Methodical recommendations on determination of a real load of chemicals, coming from the atmospheric air, water and food products, 1986, Moscow, 40 p. (in Russian).
12. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On approval of sets of food products, nonfoods and services for main social and demographic population groups ” of 14.04.2000 № 656, 28 p. (in Ukrainian).
13. Paranko, N. M., Belitskaya, E. N., Karnaukh, N. G. [et al.]. 2002, Heavy metals of the environment and their effect on the immune status of the population, Dnepropetrovsk : Poligrafist, 146 p. (in Russian).
14. Gil, F., Hernande, A. F., Marquez, C. [et al.]. 2011, “Biomonitorization of cadmium, chromium, manganese, nickel and lead in whole blood, urine, hair and saliva in an occupationally exposed population, Science of the Total Environment, v. 409, pp. 1172–1180.
15. Daskakova, A., Gabrashanska, M. 2005, Comparative investigation on microelement levels in samples from soil, water, fodder and internal organs of wild animals”, Fifth Inter. Symp. “Metals ions in biology and medicine”, Greece, v. 5, pp. 776–780.

*Надійшла: 03.09.2015 р.*

**Контактна особа:** Андрусишина Ірина Миколаївна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, лабораторія аналітичної хімії та моніторингу токсичних речовин, ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», буд. 75, вул. Саксаганського, м. Київ, 01033. Тел.: + 38 0 44 289 41 88.  
Електронна пошта: irina\_andrei@voliacable.com