

<https://doi.org/10.32782/2786-9067-2023-26-2>

УДК546.3 : 504.06 : 331.191.264.2:613.6

БІОМОНІТОРИНГ ЕКСПОЗИЦІЇ ТОКСИЧНИМИ МЕТАЛАМИ НАСЕЛЕННЯ ТА ПРАЦЮЮЧИХ В УКРАЇНІ

Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О.

ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН», Київ, Україна

Анотація. В статті відображено результати біомоніторингу токсичних металів у біологічних середовищах населення та працюючих на різних виробництвах. В результаті аналізу сучасної літератури показано, що одним з важливих елементів біологічного моніторингу експозиції ксенобіотиками, включаючи токсичні метали, є поняття «норми», яке не є сталою величиною через гетерогенність геохімічних умов проживання, шкідливих звичок, характеру харчування, віку, гендерних відмінностей та інших факторів.

Референтні рівні вмісту токсичних металів та есенційних макро- (МаЕ) та мікроелементів (МЕ), внаслідок використання різних методичних підходів та лабораторного обладнання під час їх визначення, мають значні коливання величин. Також у біологічних середовищах людини з часом, в залежності від регіону проживання та характеру забруднення довкілля, референтні значення можуть змінюватись в значній мірі. Діагностика інтоксикації у працюючих в шкідливих умовах та населення загалом потребує впровадження в Україні нових підходів до біологічного моніторингу та до нормування вмісту токсичних металів та есенційних мікроелементів у біологічних середовищах людини.

Ключові слова: *токсичні метали, есенційні мікроелементи, біологічні середовища (цільна кров, сироватка крові, волосся), референтні значення, маркери експозиції, біологічний моніторинг, виробнича експозиція.*

Вступ. Біомоніторинг людини (БМЛ) є важливим і корисним інструментом для оцінки внутрішньої дози експозиції на людину в результаті сукупного впливу різних хімічних речовин [1-3, 4-5,13-16]. БМЛ також забезпечує кращу оцінку впливу токсиканта на організм під час експозиції на організм людини в цілому. Використання даних БМЛ може покращити оцінку ризиків для здоров'я (ОРЗ) населення та працюючих за умови впливу ксенобіотиків. Все ще існує низка невирішених питань, які перешкоджають використанню даних БМЛ в ОРЗ, однак зростаюча кількість даних БМЛ робить можливим покращення та удосконалення оцінки ризиків (ОР) від тривалості дії хімічних факторів різної природи (токсичні метали, СО₂, пестициди та інші).

У більшості систем оцінка ризику для здоров'я (ОРЗ) стосовно дії хімічних речовин за замовчуванням полягає в оцінці надходження того чи іншого ксенобіотика з різних джерел і з різними шляхами впливу [17-19]. Ця оцінка часто проводиться окремо, а потім додається,

коли розглядаються сценарії сукупного впливу. Різні невизначеності, що пов'язані з таким підходом, можуть завищувати або занижувати результати визначення величини внутрішньої експозиції ксенобіотика. Наявність доступу до даних про внутрішню експозицію, отриманих за допомогою біомоніторингу людини, дає повну картину впливу на організм людини ксенобіотиків. Цей підхід може бути використаний для оцінки ризику здоров'ю населення при вивченні характеру надходження ксенобіотиків аліментарним та аерогенним шляхом [2, 4, 9, 14]. Розуміння внеску різних шляхів впливу ксенобіотиків на загальну картину екзогенної експозиції (беручи до уваги відмінності по віку і статі, професії та шкідливі звички) забезпечує більш обґрунтоване прийняття рішень щодо заходів з управління ризикам.

Нові підходи до оцінки ризику хімічного впливу: такі як фармакокінетичні моделі (РВРК), поєднання БМЛ з даними *invitro/insilico* та впровадження підходів до оцінки ризиків (ОР), завдяки отриманню більш точних розрахунків величин внутрішнього впливу ксенобіотиків, виведення орієнтовних безпечних рівнів в якості референтних значень може значно покращити БМЛ [14,17].

В багатьох країнах світу створенню бази даних біомоніторингу хімічних речовин у різних групах населення, включно з працюючими на шкідливих виробництвах, присвячено значну кількість оригінальних статей на звітів, серед яких 8 звітів про результати ініціативи НВМ4ЕУ [14] опублікованих останнім часом (<https://www.hbm4eu.eu>).

Вимірювання концентрації хімічної речовини в сечі та крові також можна використовувати як більш надійний маркер системного впливу порівняно з розрахунками, що базуються на припущеннях про можливі сценарії зовнішнього впливу. Кров і сеча є найпоширенішими матрицями, які досліджуються в програмах БМЛ, оскільки вони найбільш повно відображають стан елементного гомеостазу [1,9,15-17]. Проте інші біологічні матриці також представляють певний інтерес, оскільки вони можуть виявитись навіть кращим показником системного впливу.

Метою програм БМЛ, які останнім часом впроваджені у ряді країн ЄС, стало виявлення референтних (фонових) значень, оцінка просторових відмінностей в рівнях експозиції, оцінка ризику для здоров'я, інформаційна підтримка розробки цільових політичних заходів і моніторинг їх ефективності.

Нажаль, в Україні не впроваджено єдину програму БМЛ на державному або на регіональному рівнях, тому реальний моніторинг з оцінкою динаміки концентрацій біомаркерів систематично не проводиться. Між тим, рядом наукових колективів та наукових шкіл вже опубліковані поодинокі дослідження з використанням підходів та методів БМЛ.

Мета дослідження. Важливим моментом даних досліджень було узагальнити отриманні данні визначення вмісту токсичних металів і есенційних мікроелементів у волоссі

і крові населення та працюючих за останні 10 років, дати оцінку щодо маркерів експозиції та обґрунтувати можливість зміни референтних значень для Pb у цільній крові та для Cd, Mn у волоссі.

Матеріали та методи досліджень. В дослідженнях брали участь волонтери (контрольна група), що не мали контакту з важкими металами на виробництві і не мали ознак відхилення у стані здоров'я (вік 24-62 роки). До основної групи ввійшли особи (переважно чоловіки), що мали професійний контакт з токсичними металами – Pb, Cd, Mn, Al, Ag, Fe, Cr, Ni на виробництві (зварювальники, акумуляторники, радіомонтажники, водії, шахтарі та ювеліри віком 39-57 років). У біосубстратах (у 3552 пробах цільної крові та сироватки крові та 840 пробах волосся) визначався вміст 12 хімічних елементів (Ag, Al, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Cd, Cr, Ni, Se, Pb, Zn) за допомогою спектрального багатоелементного методу аналізу (ОЕС-ІЗП на приладі OPTIMA 2100 DV, PerkinElmer, США) згідно МР 72.14/133.14[3]. Для побудови калібрувальної кривої був використаний стандарт для мультиелементного ІСР аналізу (Merck, Німеччина). Точність вимірювань забезпечувалась двома паралельними визначеннями кожного елементу, при цьому відносне стандартне відхилення не перевищувало 2%. При підготовці біологічних проб для ОЕС-ІЗП вимірювань був застосований мікрохвильовий метод мінералізації проб за допомогою мікрохвильовок MWS-2 (Bergof, Німеччина) та (СЕМ, США) [3,8]. Статистична обробка результатів дослідження проводилась з використанням пакету програм статистичного аналізу Statistica v.6.1., Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення. У ДУ "Інститут медицини праці імені Ю.І.Кундієва НАМН України" впродовж багатьох років проводяться дослідження з вивчення елементного складу у різних біологічних середовищах людини: як інвазивних (цільна кров, сироватка крові) так і неінвазивних (слина, сеча, нігті, волосся) для встановлення виробничого або екологічно обумовленого характеру впливу хімічних факторів на людину. Важливим етапом проведення біологічного моніторингу є питання встановлення референтного рівня вмісту токсичних металів та есенційних мікроелементів у біологічних середовищах різних верств населення для клінічної лабораторної діагностики мікроелементозів та для оцінки впливу токсичних металів як факторів виробничого процесу.

Особливості накопичення металів у біологічних середовищах людей за умов впливу металів як екологічного фактору

На першому етапі досліджень було проведено порівняння вікових особливостей накопичення та розподілу токсичних металів та есенційних мікроелементів у цільній крові, сироватці крові та у волоссі людей різних вікових груп. Виявлено зростання Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Pb, Sr, V у волоссі вікової групи 15-25 років порівняно з віковою групою 3-14

років. У віковій групі 25-35 спостерігали зростання вмісту Ba, Ca, Cr, Mg, Mn, Pb, Sr, Zn у волоссі порівняно з молодшою віковою групою. У групі, вік яких складав 36-50 років, виявлено також зростання вмісту Ba, Ca, Cr, Cu, Mg, Se та Sr. У віковій групі більше 50 років вміст Cd, Cr та Sr зростав порівняно з іншими віковими групами. Слід відмітити добре виражену динаміку вікових змін вмісту Mn та Mg у волоссі, яка підтверджується даними літератури [1,8,15-19].

Другим етапом досліджень було вивчення регіональних особливостей вмісту хімічних елементів у біологічних середовищах населення різних регіонів України. При порівнянні вмісту металів у цільній крові мешканців Львова та Кривого Рогу виявлено високий вміст Ca, Mg, Mn та дефіцит Se і Zn у крові львів'ян. У сироватці крові мешканців Київської, Чернігівської та Житомирської областей виявлено високий вміст Mn та Cr відповідно до «умовної норми». Виявлено найбільший вміст цинку (який однак не перевищував норму) у сироватці крові обстежених чернігівчан. Найвищий вміст Al, Ca та дефіцит Zn спостерігали у мешканців Житомирської області. Слід зазначити, що вміст алюмінію в групах мешканців Кривого Рогу та Житомирської області прийнятий рівень норми.

Третій етап досліджень полягав у вивченні особливостей розподілу токсичних металів в залежності від року спостережень. При цьому виявлено зміни в рівнях вмісту у цільній крові та волоссі таких металів як Pb, Cd, Mn. Спостерігали зниження рівня Pb у цільній крові майже вдвічі (0,05-0,12 мг/л замість 0,20-0,40 мг/л) та вміст Cd та Mn у волоссі знижений в ряді випадків на порядок (для Cd у волоссі замість 0,2-0,40 мкг/г останніми роками серед дорослого населення нами виявлено вміст Cd на рівні 0,01-0,14 мкг/г та Mn замість 0,5-3,0 мкг/г визначаються рівні 0,08-0,10 мкг/г). Останнім часом для дорослих людей у США референтні значення для Плюмбуму становлять 0,03-0,07 мг/л [4, 13, 14,], цю величину рекомендують і експерти ЄС.

Слід відмітити, що отримані дані вмісту токсичних елементів у контрольній групі відображають ступінь екологічного навантаження важкими металами (так званий «фон»), що дає можливість використовувати їх як референтні значення та потребує постійного контролю для правильної та адекватної клінічної діагностики станів забезпечення есенційними мікроелементами та виявлення випадків отруєння токсичними металами, зокрема.

Особливості накопичення металів у біологічних середовищах людей за умов дії металу як професійного фактору

Тривалий професійний контакт зі свинцем на виробництві (зварювальники та акумуляторники) призвів до накопичення Pb у крові та сечі обстежених осіб. Найбільший вміст Pb у волоссі спостерігався за умов професійного контакту більше 10 років. У постекспозиційний період вміст Pb у цих біосередовищах продовжував залишатись на рівні

більшому від його вмісту у осіб контрольної групи. Це підтверджує той факт, що тривалий негативний вплив Pb погіршує функцію кровотворення та стан нервової системи у працюючих.

Цільна кров інформативна за умови гострого або нетривалого впливу Кадмію. Показано зростання вмісту Cd в цільній крові радіомонтажників, зварювальників, видувальників, що свідчило про тривалий професійний контакт з металом. А високий вміст Cd у сечі трактористів, лісорубів і водіїв під час польових робіт у після Чорнобильської катастрофи порівняно з «умовною нормою» - про швидкоплинний контакт з ним. Слід відзначити певні проблеми з діагностуванням отруєння кадмієм та з оцінкою його професійної експозиції. Тільки при тривалому впливі цього металу визначення його екскреції із сечею може бути маркерним.

Результати проведених досліджень свідчать про цілий ряд дисбалансів вмісту МаЕ та МЕ у професійних контингентів. Так, у **зварювальників** виявлено навантаження організму Al, Mn, Fe, Cr, Pb. Так, у *сироватці крові* в осіб основної групи спостерігали вищий вміст Ca та Mg і нижчий вміст Se порівняно з їхнім вмістом у осіб контрольної групи.

У *цільній крові* осіб дослідної групи вміст Mn був нижчим, а вміст Pb - вищим порівняно з контролем та «умовною нормою», що обумовлено тривалістю професійного впливу і співвідноситься з даними літератури [3, 6,7, 12-16]. При цьому частина обстежених із завищеним вмістом Ca і Mg у сироватці крові та Pb у цільній крові по відношенню до «умовної норми» склали 28 %, 28 % та 44 % відповідно. Відмічали швидку елімінацію Mn з крові в інші біологічні середовища і це дає нам привід вважати, що кров не є інформативним субстратом для оцінки інтоксикації цим металом, що підтверджується і даними літератури [1,3, 6, 11-16].

Визначення вмісту хімічних елементів у **волоссі** осіб основної групи дозволило виявити завищений вміст Cd, Cr, Fe, Pb у порівнянні з контролем. При цьому кількість обстежених, які мали завищений вміст Cd, Cr, Fe та Mn у волоссі у процентному відношенні відповідно склали 22 %, 11 %, 50 % та 16,0 % порівняно з «умовною нормою». Завищений вміст заліза у порівнянні з «умовною нормою» пов'язаний з професійною експозицією і узгоджується з даними літератури [3-7].

Таким чином, отримані результати досліджень свідчать про тривале професійне навантаження організму працюючих (більше 24 років) сполуками Cd, Cr, Fe, Mn та Pb, що призводить до порушення обміну есенційних МаЕ та МЕ, а саме - Ca, Mg, Se, Zn.

Визначення вмісту хімічних елементів у волоссі зварювальників дозволило виявити завищений вміст Cd, Cr, Fe, Pb порівняно з контролем. Вміст Fe у порівнянні з «умовною нормою», був високим, що пов'язано з професійною експозицією (біля 24 років). У

аккумуляторників спостерігали накопичення вмісту Cd, Fe, Se, Zn у волоссі, а відсутність ймовірного високого рівня вмісту свинцю обумовлюється невеликою тривалістю професійного контакту (до 5 років). В той же час у ювелірів виявлено зростання вмісту Ag, Cd, Cu та Pb у волоссі порівняно з особами контрольної групи.

Отже, в залежності від професійного контакту інформативним є визначення вмісту МаЕ та МЕ у волоссі, що обумовлюється тривалістю професійного контакту з металами.

Застосування неінвазивних біологічних середовищ для оцінки професійної експозиції показало, що вони адекватно відображають порушення вмісту МаЕ та МЕ у осіб різних професій, що може бути використано в якості додаткового маркера оцінки несприятливого впливу токсичних металів на виробництві.

Висновки та перспективи:

1. Проведені дослідження показали, що вміст токсичних металів у одному середовищі не завжди адекватно відображає характер їх накопичення у організмі. В цілях підвищення надійності і ефективності ранньої клінічної діагностики захворювань різної етіології та професійної патології, на наш погляд, доцільним було би одночасне визначення мікроелементів та токсичних металів у двох біологічних середовищах та застосування диференційованого підходу у виборі біосередовищ та спектру МЕ.
2. Оцінку ризиків несприятливих ефектів дії важких металів на здоров'я населення та працюючих доцільно виконувати за розробленими критеріальними показниками (регіональні фонові рівні, регіонально максимально допустимі рівні навантаження).
3. Порівнюючи результати власних досліджень, що отримані останніми роками, з референтними значеннями, наведеними у довідковій літературі, виникає думка у доцільності їх перегляду, зменшивши при цьому нормативний вміст для Pb, Cd, As, V у цільній крові та для Pb, Cd, Cr, Mn і V у волоссі. Обґрунтовані оптимальні рівні вмісту металів, зокрема Cd, Cr, Pb, Mn та V, дозволять розширити критерії ранньої клінічної діагностики інтоксикації для працюючих у шкідливих умовах та всього населення.

Сьогодні, як ніколи, Україна потребує програм біомоніторингових досліджень, затверджених на державному рівні для обґрунтування регіональних та референтних рівнів вмісту як токсичних, так і есенційних мікроелементів. Слід відзначити, що труднощі впровадження системи БМЛ в Україні обумовлені комплексом причин: найважливішими серед них є розробка концепції системи БМЛ, розробка та впровадження нормативної бази, гармонізація методів і процедур біомоніторингу згідно з міжнародними вимогами [13-16]. Особливо актуальним це питання постало в Україні, коли в наслідок бойових дій росії

(починаючи з 2014 року та з початком війни від 24 лютого 2022 року) в наше довкілля потрапила велика кількість хімічних забруднювачів під час застосування військової зброї, в тому числі небезпечні для здоров'я людини токсичні метали.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрусишина І.М., Лампека О.Г., Голуб І.О. Мікроелементози в Україні (до проблеми використання спектральних методів для оцінки екологічно та професійно обумовлених порушень мінерального обміну у людини). *Науковий журнал МОЗ України*. 2013. №3 (4). С.136-146.
2. Здоров'я населення – індикатор екологічного благополуччя : бібліографічний покажчик літератури / уклад. О. М. Довженко ; НБ ЗДМУ. – Запоріжжя, 2018. – 40 с.
3. Методичні рекомендації (111)72.14/133.14 «Оцінка порушень мінерального обміну у професійних контингентів за допомогою методу атомно-емісійної спектrometerії з індуктивно зв'язаною плазмою»[І.М.Андрусишина, О.Г.Лампека, І.О.Голуб, І.П.Лубянова, Т.Д.Харченко]. К.: Авіцена, 2014. 60 с.Індекс ISBN978-966-2144-72-7
4. Нариси вікової токсикології; Розділ 6. за ред. І. М. Трахтенберга. Київ : ВД «Авіцена», 2005. 256 с.
5. Нариси з токсикології важких металів. Випуск1. Свинець /За ред.І.М.Трахтенберга-К., Авіцена, 2016-108 с. Індекс ISBN978-966-2144-83-3
6. Нариси з токсикології важких металів. Випуск IV – Марганець, Хром; за ред. І. М. Трахтенберга. Київ : ВД «Авіцена», 2018. 88 с. Індекс ISBN 978-617-7597-16-1
7. Демченко В. Ф., Лубянова І. П., Андрусишина І. М. та ін. Особливості застосування неінвазивних біологічних субстратів у біомоніторингу експозиції важкими металами на виробництві. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2012. № 4. С. 29–35.
8. Оберлис Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных [Д.Оберлис, Б.Харланд, А.Скальный].СПб.: Наука, 2008. 544 с.
9. Трахтенберг І.М., Левицький Є.Л. Генотоксична дія потенційно небезпечних хімічних сполук. *Вісник НАН України*. 2016. № 7. С.27-42. <https://doi: 10.15407/visn2016.07.027>
10. Тяжёлые металлы: система биологического транспорта: монография / Л. М. Шафран, Е. Г. Пыхтеева, Д. В. Большой -Одесса :Фенікс, 2018. - 310 с.
11. Шафран Л. Н., Большой Д. В., Пыхтеева Е. Г. Содержание тяжелых металлов в биосубстратах больных различного профиля как маркер токсичных нефропатий. *Актуальные проблемы транспортной медицины*. 2009. № 1. С. 29–36.
12. Gil F., Hernandez A.F., Marquez C. et al. Biomonitorization of cadmium, chromium, manganese, nickel and lead in whole blood, urine, axillary hair and saliva in an occupationally

exposed population. *Science of the Total Environment*. 2011. Vol. 409. P. 1172- 1180. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.11.033.

13. Centers for disease Control and Prevention National Biomonitoring. Program CDC 2011 [ел.ресурс]. – URL: www.cdc.gov/biomonitoring.

14. Gilles L., Govarts E., Martin L.R., Anderson A.M. Harmonization of Human Biomonitoring Studies in Europe: Characteristics of the HBM4EU-Aligned Studies Participants *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. 19(11). 6787 [<https://doi.org/10.3390/ijerph19116787>].

15. Saravanabhavan G. et al. Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian Health Measures Survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2017. Vol. 220(2 PtA) P.189-200. [[httpdoi: 10.1016/j.ijheh.2016.10.006](http://doi:10.1016/j.ijheh.2016.10.006)].

16. Stojavljević A., Jagodić J., Vujotić L. et al. Reference values for trace essential elements in the whole blood and serum samples of the adult Serbian population: significance of selenium deficiency. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020. Vol. 27(2). P.1397-1405. [[http://doi: 10.1007/s11356-019-06936-8](http://doi:10.1007/s11356-019-06936-8)].

17. Tavares A.M., Viegas S., Louro H., Goen Th. et al. Occupational exposure to hexavalent chromium, nickel, and PAHs: a mixtures risk assessment approach based on literature exposure data from European countries. *Toxics*. 2022. Vol. 10. P. 431. [<https://doi.org/10.3390/toxics10080431>].

18. Rousselle C. Editorial for the Special Issue on “Human Biomonitoring in Health Risk Assessment: Current Practices and Recommendations for the Future”. *Toxics*. 2023. Vol. 11. P. 168. [<https://doi.org/10.3390/toxics11020168>].

REFERENCES

1. Andrusyshyna IM, Lampeka OG, Golub IO. Microelementosis in Ukraine (before the problem of measuring spectral methods for assessing ecologically and professionally summarizing the problems of mineral exchange among people). *Science Journal of the Ministry of Health of Ukraine*. 2013; 3(4):136-146.

2. Population health - an indicator of ecological well-being: bibliographic index of literature / comp. O. M. Dovzhenko; NB ZDMU. - Zaporizhzhia, 2018.– 40 p.

3. Methodical recommendations (111) 72.14 / 133.14 “Evaluation of the destruction of mineral exchange in professional contingents by the method of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma” [Andrusyshyna IM, Lampeka OG, Golub IO, Lubyanova IP, Kharchenko TD.]. Kyiv: Avicena; 2014 . 60 p. Індекс ISBN978-966-2144-72-7

4. Essays on age-related toxicology; Chapter 6. edited by I. M. Trachtenberg. Kyiv: VD "Avicena"; 2005. 256 p.

5. Essays on toxicology of heavy metals. Issue I- Lead .edited by I. M. Trachtenberg. Kyiv: VD "Avicena"; 2016. 108 p. Index ISBN978-966-2144-83-3
6. Essays on toxicology of heavy metals. Issue IV – Manganese, Chrome; edited by I. M. Trachtenberg. Kyiv: VD "Avicena»; 2018. 88 p. Index ISBN 978-617-7597-16-1
7. Demchenko VF, Lubyanova IP, Andrusyshyna IM et all. Features of application of non-invasive biological substrates in biomonitoring of exposure to heavy metals in production. Ukrainian Journal of Occupational Medicine. 2012;4: 29–35.
8. Oberlis D. The biological role of macro- and micronutrients in humans and animals [Oberlis D, Harland B, Skalny A.]. SPb .: Nauka; 2008 . 544 p.
9. Trachtenberg IM, Levitskyi EL. Genotoxic effect of potentially dangerous chemical compounds. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2016;7:27-42. [https://doi: 10.15407/visn2016.07.027](https://doi.org/10.15407/visn2016.07.027)
10. Shafran LM, Pykhteeva EG, Bolshoi DV. Heavy metals: biological transport system: monograph. Odessa: Phoenix. 2018. 310 p.
11. Shafran LM, Bolshoi DV, Pykhteeva EG. The content of heavy metals in biosubstrates of patients of various profiles as a marker of toxic nephropathies. Actual problems of transport medicine. 2009;1:29–36.
12. Gil F, Hernandez AF, Marquez C. et al. Biomonitorization of cadmium, chromium, maganese, nickel and lead in whole blood, urine, axillary hair and saliva in an occupationally exposed popylation. Science of the Total Enviroment. 2011;409:1172-1180. [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.033>].
13. Centers for disease Control and Prevention National Biomonitoring. Program CDC 2011. URL: www.cdc.gov/biomonitoring.
14. Gilles L, Govarts E, Martin LR, Anderson AM. Harmonization of Human Biomonitoring Studies in Europe: Characteristics of the HBM4EU-Aligned Studies Participants. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022;19(11):6787. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116787>.
15. Saravanabhavan S. et al. Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian Health Measures Survey. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2017;220(2PtA): 189-200. [httpdoi: 10.1016/j.ijheh.2016.10.006](http://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.10.006).
16. Stojšavljević A, Jagodić J, Vujotić L. et al. Reference values for trace essential elements in the whole blood and serum samples of the adult Serbian population: significance of selenium deficiency. Environ Sci Pollut Res Int. 2020;27(2):1397-1405. [http: doi: 10.1007/s11356-019-06936-8](http://doi.org/10.1007/s11356-019-06936-8).

17. Tavares AM, Viegas S, Louro H, Goen Th. et all. Occupational exposure to hexavalent chromium, nickel, and PAHs: a mixtures risk assessment approach based on literature exposure data from European countries. *Toxics*. 2022;10:431. <https://doi.org/10.3390/toxics10080431>.

18. Rousselle C. Editorial for the Special Issue on “Human Biomonitoring in Health Risk Assessment: Current Practices and Recommendations for the Future”. *Toxics*. 2023;11:168. <https://doi.org/10.3390/toxics11020168>.

BIOMONITORING OF THE EXPOSURE TO TOXIC METALS OF THE POPULATION AND WORKERS IN UKRAINE

Andrusyshyna I.M., Lampeka O.G., Golub I.O.

Abstract. The article reflects the results of biomonitoring of toxic metals in the biological environments of the population and workers at various industries. As a result of the analysis of modern literature, it is shown that one of the important elements of biological monitoring of exposure to xenobiotics, including toxic metals, is the concept of "norms", which is not a constant value due to the heterogeneity of geochemical living conditions, harmful habits, the nature of nutrition, age, gender differences and other factors

Reference levels of the content of toxic metals and essential macro- (MaE) and micro-elements (ME), due to the use of different methodological approaches and laboratory equipment during their determination, have significant fluctuations in values. Also, in human biological environments over time, depending on the region of residence and the nature of environmental pollution, reference values can change significantly. Diagnosis of intoxication in workers in hazardous conditions and the population in general requires the introduction in Ukraine of new approaches to biological monitoring and to the regulation of the content of toxic metals and essential trace elements in human biological environments.

Key words: toxic metals, essential trace elements, biological media (blood, serum and hair), reference values, exposure markers, biological monitoring, industrial exposure.

Андрусишина I.M. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5827-3384>, +38 (044) 289 41 88.

Лампека O.Г. ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Голуб I.O. ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Надійшла до редакції / Receiv: 27.03.2023