

DOI: 10.26693/jmbs07.02.248

УДК 614.77:546.81:612.014.46:602.44(048.8)

Островська С. С., Агарков С. Ф.,
Трушенко О. С., Федченко М. П., Копацька М. В.,
Давиденко І. В., Великородний В. І.

ТОКСИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СВИНЦЮ, ЙОГО ВПЛИВ НА ХАРЧОВІ ЛАНЦЮГИ І МЕТОДИ РЕМЕДІАЦІЇ (огляд літератури)

Дніпровський медичний інститут традиційної і нетрадиційної медицини,
Дніпро, Україна

Мета. Аналіз зарубіжних наукових джерел про токсичність свинцю (Pb) для рослин, тварин і людей, передача металу по харчовим ланцюгам та огляд сучасних методів його ремедіації.

Результати. В огляді надана оцінка кількісних показників токсичності Pb при передачі металу по харчовим ланцюгам, акумуляції в органах живих організмів та аналіз різних підходів до зниження його концентрації в навколишньому середовищі. Рослини, особливо плодові культури, активно акумулюють Pb з ґрунту й води, що сприяє накопиченню і передачі цього важкого металу в харчових ланцюгах багатьох тварин та людини. Випадки отруєння Pb у людей найчастіше виникають у результаті перорального прийому та абсорбції через шлунково-кишковий тракт. Період напіврозпаду Pb у крові оцінюється у 35 днів, у м'яких тканинах – у 40 днів. У кістках Pb може бути до 30 років і його концентрація в зубах і кістках зростає пропорційно віку. Більше 95% відкладення Pb у кістках скелета є нерозчинним фосфатом. Біологічний період напіврозпаду Pb у дітей значно більший, ніж у дорослих. Загальне навантаження Pb на скелет становить 80-95% у дорослих та близько 73% у дітей. Мішенями дії Pb є різні системи органів людини. В сучасних умовах велике значення надається різним методам, розробленим для зниження загальної концентрації Pb в довкіллі і зменшення його нагромадження в харчових ланцюгах. Відзначається, що найбільший потенціал мають біологічні методи і сучасні технології для фіторемердіації Pb. Це біотехнологічні, генетичні підходи, філогенетичні дослідження генів і білків, що контролюють біоремердіацію Pb. Недавні наукові розробки в області нанонаук відкривають ще більш ефективні й стійкі методи ремедіації, що вже успішно застосовується в процесі очищення ґрунтів, відкладень, твердих відходів і стічних вод.

Висновок. Токсичність свинцю високою мірою обумовлена накопиченням його в організмах рослин і тварин з наступним потраплянням до людини по ланцюгам живлення, але сучасні технології дозволяють знизити його вплив завдяки різним методам ремедіації.

Ключові слова: свинець, токсичність, харчові ланцюги, методи ремедіації свинцю.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота є фрагментом НДР кафедри медичної біології «Розвиток і морфофункціональний стан органів і тканин експериментальних тварин і людей в нормі, в онтогенезі під впливом зовнішніх факторів, № держ. реєстрації 0111U009598

Вступ. Вивчення токсичності Pb на рівні його акумуляції в навколишньому середовищі та надходження в організм по харчовим ланцюгам є актуальною темою сучасних досліджень, бо, якщо знизити рівень його потрапляння через їжу та воду в організм людини, суттєво зменшується і рівень його патогенного впливу на різні системи органів.

Метою дослідження було проаналізувати наукові розробки зарубіжних науковців щодо питань потрапляння, акумуляції, передачі токсиканту по харчовим ланцюгам, а також сучасних методів ремедіації (видалення) Pb.

Результати дослідження. Pb є одним із найбільш токсичних важких металів, який часто зустрічається у повсякденному житті [1]. Загальний вміст Pb в організмі людини залежить від навколишнього середовища, віку та роду занять. Підраховано, що у людини з масою тіла 70 кг міститься в середньому 120 мг Pb, з яких 0,2 мг/л – у крові, 5–50 мг/кг – у кістках та 0,2–3 мг/кг – в інших тканинах [2]. Центр контролю та профілактики захворювань (США) встановив стандартні підвищені рівні Pb у крові для дорослих – 10 мкг/дл та для дітей – 5 мкг/дл. Біодоступність (БД) Pb – це поглинена фракція, яка проникає через епітелій шлунково-кишкового тракту та розподіляється у внутрішніх органах [3].

В даний час для оцінки токсичності Pb на тропічних рівнях харчового ланцюжка використовуються різні кількісні показники. Коли Pb з будь-якого джерела потрапляє в ґрунт і проникає в кореневу систему рослин, він може накопичуватися в ньому (до ≥95%) і лише невелика кількість його переміщується в надземну частину рослини. Градієнт концентрації спостерігається біля верхівки кореня. Види рослин-гіперакумуляторів можуть накопичувати

>1000 мг/кг Pb [4]. Молекулярний механізм надходження Pb до коріння поки не з'ясований. Вважається, що Pb може використовувати кілька шляхів для однієї і тієї ж мети, особливо іонні канали. Всмоктування Pb пригнічується кальцієм (Ca), оскільки Pb конкурує з Ca за кальцієві канали. Ca^{2+} проникні канали є важливими воротами для потрапляння Pb в кореневу систему. Показано, що вищі концентрації Pb пов'язані з плодовими культурами [5].

У рослин токсичність Pb характеризується порушенням продукції хлорофілу, поділу клітин, подовження кореня, організації тилакоїдів у хлоропласті, росту рослин, проростання насіння, розвитку проростків та транспірації. Однак ступінь дії варіює і залежить від концентрації Pb, часу дії, інтенсивності стресу та стадії розвитку рослин. У рослин є внутрішні механізми детоксикації для боротьби з токсичністю Pb, такі як комплексоутворення за допомогою певних лігандів, вибіркоче поглинання, виведення та компартменталізація металів [4].

Повідомляється, що індукований Pb окисний стрес (ОС) виробляє активні форми кисню (АФК) у рослинах. АФК можуть викликати шкідливі ефекти, такі як перекисне окиснення ліпідів (ПОЛ), порушення клітинної мембрани, пошкодження ДНК та білків, інгібування фотосинтезу та ін. Щоб подолати побічні ефекти АФК, рослини виробляють безліч антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза, пероксидаза та аскорбатпероксидаза, активність яких позитивно корелює із вмістом Pb [6].

Кістки є основним поглиначем Pb (~ 90%) і в основному замінюють Ca, що знижує мінеральну щільність кісток [7]. Так, наприклад, у бройлерів з високим вмістом ацетату-Pb (200 мг/кг) у раціоні спостерігаються анорексія, зелена діарея, парез ніг, втрата ваги, опущення крил та симптоми летаргії, включаючи різку зміну функції нирок, селезінки, печінки, слизової оболонки шлунково-кишечного тракту (ШКТ), крововиливи у м'язи та цілий ряд інших порушень. Ацетат Pb у питній воді призводить до зниження споживання корму та показників зростання птахів. Автори дослідження дійшли висновку, що Pb змінює експресію генів, пов'язаних із селенопротеїном у хрящовій тканині бройлерів [8].

Накопичення Pb у тканинах худоби також може бути серйозним ризиком для здоров'я людини через споживання м'яса, ураженого Pb. Випадки отруєння Pb у людей найчастіше виникають у результаті перорального прийому та абсорбції через ШКТ, які залежить від фізичних характеристик (такі як вік, вагітність, голодування, вміст Fe та Ca) та фізико-хімічної природи поглиненого матеріалу (наприклад, розміру частинок, розчинності, мінералогії та різновидів сполук Pb). Pb, абсорбований в ШКТ, далі переноситься в м'які тканини, печінку, нирки, а також в кісткову тканину, де згодом на-

копичується. Основний процес транспортування Pb із ШКТ у різні тканини організму здійснюється через еритроцити, де відбувається зв'язування Pb із гемоглобіном. Майже 99% Pb у крові виявляється в еритроцитах, приблизно 1% – у сироватці та у плазмі. Розподіл Pb в органах (легкі, селезінка, мозок, аорта, кора нирок, кістки та зуби) значною мірою залежить від концентрації Pb у крові. Період напіврозпаду Pb у крові оцінюється у 35 днів, у м'яких тканинах – у 40 днів. Pb може бути в кістках до 30 років, його концентрація в зубах і кістках зростає пропорційно віку. Більше 95% відкладення Pb у кістках скелета є нерозчинним фосфатом. Біологічний період напіврозпаду Pb у дітей значно більший, ніж у дорослих. Згідно з дослідженнями розтину, кортикальна кістка та зуби разом становлять 90-95% вмісту Pb в організмі. Загальне навантаження Pb на скелет становить 80-95% у дорослих та близько 73% у дітей. Токсичність Pb, в основному, націлена на центральну нервову систему (ЦНС) людини та потрапляння в організм дітей великої кількості Pb з навколишнього середовища, особливо при анемії, спричиняє розвиток низького інтелекту та порушення рухової функції [9]. Матері можуть передавати Pb плоду, а також немовлятам у період грудного вигодовування. Рівень всмоктування Pb, виявлений у дітей, набагато більший, ніж у дорослих. Дорослі можуть абсорбувати 3-10% пероральної дози водорозчинного Pb, тоді як у дітей вона може досягати 40-50%. Вищі концентрації Pb виявляються в крові дітей з дефіцитом Fe або Ca, ніж у дітей з їх підвищеним вмістом. Всмоктування Pb може збільшуватися під час вагітності та вигодовування [10].

Об'єднаний комітет експертів FAO/WHO з харчових добавок (JECFA) на основі аналізу доза-реакція зробив оцінку щотижневого споживання Pb, що переноситься, і дійшов висновку, що тижневе споживання Pb пов'язане зі зниженням IQ у дітей як мінімум на 3 бали. Коли спостерігається зсув у розподілі IQ у популяції, ці зміни набувають більших значень. JECFA підтвердив той факт, що плід, немовлята та діти – це підгрупи, які мають найвищу чутливість до Pb через вплив на розвиток ЦНС [11]. WHO та FAO прийняли добове споживання Pb до 7 мкг/кг маси тіла або 490 мкг Pb для дорослого. Однак подібних рекомендацій для немовлят та дітей, які більш чутливі до низьких рівнів Pb, поки що немає [12].

Симптоми отруєння Pb у дітей включають втрату апетиту, анемію, зміни поведінки, затримку розумового розвитку та навчання, стомлюваність, головні болі, гіперактивність, безсоння, металевий присмак у роті, зниження нервової провідності, втрату ваги та нейронні розлади. головний мозок

Homo sapiens має мало можливостей відновлення [13].

Pb створює хімічні зв'язки з тіловими групами білків, токсичність Pb пригнічує ферменти і, отже, гомеостаз Mg, Ca та Zn. ОС, викликаний Pb, порушує прооксидантну/антиоксидантну систему захисту клітин. Вважається, що поживні антиоксиданти, такі як вітаміни E, C, B₆ та β-каротин, а також Zn та Se, борються з ОС, спричиненим Pb [14].

Кровотворення є чутливою системою для критичної токсичності Pb, і його вплив може призвести до анемії. Токсичність Pb також збільшує рівень ферментів у крові та знижує синтез білка. Гістопатологічні спостереження підтвердили, що іони Pb, потрапляючи до печінки, можуть викликати хронічні uszkodження органу. Pb має токсичну дію на нерви за рахунок структурних пошкоджень та змін видільної функції [15]. Крім ЦНС, особливо чутливі до токсичності Pb серцево-судинна та репродуктивна системи [16]. Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) заявило, що неорганічний Pb, ймовірно, канцерогенний для людини (група 2A), на підставі обмежених даних для людей та достатніх даних для тварин [17].

Існують різні способи, розроблені для зниження загальної концентрації Pb, його БД та зменшення накопичення у харчовому ланцюзі. Вони включають: фізичні – повну чи часткову заміну забруднених ресурсів (ґрунтів/води). Найбільша проблема для цих методів – безпечно видалення забрудненого ґрунту/води рентабельним способом; вітрифікацію, ґрунт при цьому плавиться за допомогою високотемпературного процесу, завдяки чому досягається зв'язування Pb в застиглий склоподібній масі, наприклад, скління керамічних відходів, багатих Pb; електрокінетичну реабілітацію, яка включає такі методи, як електрофорез, електричне просочування / електроміграція, електроосмос та електроліз, але неоднорідність ґрунту та глибини обробки – два важливі обмеження цього методу.

Існують також хімічні підходи для іммобілізації Pb у ґрунті та ґрунтових водах у польовому масштабі, при цьому використовуються різні хімічні добавки, які зменшують рухливість та біодоступність важких металів, у тому числі Pb, у ґрунті. Однак у цьому випадку Pb залишається у ґрунті. Широко використовується процес промивання ґрунту, який досягається вилуговуванням Pb з матриці ґрунту з використанням хелатуючих реагентів. У цих технологій є перешкоди для їх практичного застосування через утворення стічних вод та їх негативний вплив на навколишнє середовище [18].

Передумовами здорового способу життя та безпечного виробництва продуктів є інноваційні технології ремедіації Pb для очищення забруднених навколишнього середовища. Серед них най-

більш екологічними альтернативами ремедіації Pb із забруднених ресурсів є біологічні методи, які можуть бути позначені як пряме використання будь-якого природного живого організму та його продукту для детоксикації Pb з метою відновлення функції та якості ґрунту.

До них відносяться фітореабілітація та мікробіологічна реабілітація. Перша технологія – нешкідлива для навколишнього середовища, неінвазивна, енергоефективна та економічна. Вона включає фітостабілізацію і фітоекстракцію, що знижує рухливість / БД Pb в кореневій зоні рослин за рахунок адсорбції корінням, хімічного осадження і комплексоутворення. Види рослин – гіперакумулятори металів, такі як *Eichhornia crassipes*, *Lemna sp.* і *Pistia stratiotes*, що широко використовуються для вилучення Pb з різноманітних середовищ [19].

Мікробіологічна реабілітація також зменшує зниження вмісту Pb у довкіллі з використанням місцевих мікробів. Бактеріальні види, такі як *Alcaligenes sp.*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Enterobacter cloacae* та ін активно адсорбують Pb із забруднених ресурсів, штам *Aspergillus niger* видаляє до 99,5% Pb із забруднених відкладень шляхом біовидалення. Ця технологія також вважається природною, безпечною та екологічно чистою з низьким енергоспоживанням та низькими витратами на експлуатацію, не становить небезпеки для довкілля та здоров'я. Процес залежить від стану навколишнього середовища та таких факторів, як поживні речовини, кисень та інші добавки, щоб стимулювати мікробну активність у процесі поглинання Pb [18].

Великий потенціал мають біотехнологічні та генетичні підходи, такі як геноміка, метагеноміка, метаболоміка, протеоміка, транскриптоміка, наночастинки та ізотопне зондування – це сучасні технології для фітореабілітації Pb із забруднених ресурсів [20]. Для використання омікс-підходів (збиральна назва низки сучасних технологій, що застосовуються в молекулярній біології, дані яких об'єднані тим, що їх метою є аналіз усієї сукупності процесів, що відбуваються в клітині або в цілому живому організмі) проводяться ідентифікація генів-кандидатів для ефективного та дієвого видалення Pb, різноманітні філогенетичні дослідження послідовностей генів та білків, які контролюють біореабілітацію Pb та розвиток ГМО – рослин за допомогою трансгенезу. Вони здатні відновлювати різні стічні води, забруднені землі та можуть бути корисними для практичного застосування в біореабілітації [21].

Нещодавні наукові розробки в галузі нанонаук відкривають шлях до економічних, екологічних та стійких підходів до ремедіації Pb. Нанотехнологічний підхід успішно застосовується у процесі

очищення ґрунтів, відкладень, твердих відходів та стічних вод [22]. Вуглецеві наноматеріали (C-ENM) складаються повністю або здебільшого з атомів вуглецю. Вони включають вуглецеві нанотрубки (одношарові SWCNT або багатостінні MWCNT), вуглецеві нановолокна, фулерен, графени, нанорозмірні оксиди металів, наномембранні, вони динамічні, ефективні, широко застосовуються та економічно доцільні [22]. Наночастинки (1-100 нм) забезпечують дуже високу адаптацію для методів ремедіації. Наноматеріали, нанoadсорбенти та нанорозмірні сполуки (наноплівки, наночастинки, нанотрубки, нанодропи та інші колоїди), використовуються для видалення Pb. Наночастинки (менше 50 нм) мають високий потенціал як адсорбентів Pb. Такі нанoadсорбенти, як активоване вугілля, альгінатний біополімер, глинисті матеріали, діоксид кремнію, магнітні наночастинки оксиду заліза, оксиди металів, нанотитанати тощо були успішно використані для видалення Pb. Дослідники показали, що наноматеріал може збільшувати накопичення металів за рахунок покращення проникності клітинної стінки, спільного транспортування наноматеріалів з важкими металами та регулювання генів-переносників [23].

Таким чином, різні концентрації Pb накопичуються в харчовому ланцюзі та викликають різний ступінь небезпеки для здоров'я людини. Щоб звести до мінімуму ризику для здоров'я, доступні різні варіанти ремедіації для зниження концентрації Pb у ґрунті, у воді та загалом у харчовому ланцюзі.

Біологічна реабілітація, така як фіторемерація, є екологічно чистою та рентабельною стратегією зниження токсичності Pb у помірно забруднених ґрунтах. Використання молекулярних підходів та нанотехнологій необхідно для маніпулювання переносниками Pb та їх націлювання на певні типи клітин. Створення трансгенних рослин з посиленою взаємодією між рослинами та мікробами також є варіантом для покращення фіторемерації Pb.

Висновки. Токсичність свинцю у високій мірі обумовлена потраплянням в організм з їжею та водою через харчові ланцюги і його біоаккумуляцією, при цьому різні концентрації Pb викликають різний ступінь небезпеки для здоров'я людини.

Для зниження загальної концентрації Pb і зменшення його нагромадження в харчових ланцюгах доступні різні варіанти ремедіації, найбільший потенціал мають біологічні методи, сучасні технології фіторемерації, використання омїкс-підходів.

Окрім біотехнологічних, генетичних, філогенетичних досліджень, що контролюють біоремерацію Pb, недавні наукові розробки в області нанонаук є більш ефективними й стійкими методами ремедіації,

Перспективи подальших досліджень. Це багатопланове вивчення комплексних методів ремедіації важких металів та їх застосування для зниження рівнів концентрацій токсикантів в навколишньому середовищі, в ланцюгах живлення та в організмі людини.

References

1. Kumar A, Kumar A, Cabral-Pinto MMS, Chaturvedi AK, Shabnam AA, et al. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches. *Int J Environment Res Public Health*. 2020;17(7):2179. PMID: 32218253. PMCID: PMC7177270. doi: 10.3390/ijerph17072179
2. Emsley J. *Nature's Building Blocks: An AZ Guide to the Elements*. Oxford UK: Oxford University Press; 2011.
3. CDC. *Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention (ACCLPP)*. London UK: Jessica Kingsley Publishers; 2012.
4. Maestri E, Marmiroli M, Visioli G, Marmiroli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environment Exp Botany J*. 2010;68:1-13. doi: 10.1016/j.envexpbot.2009.10.011
5. Wojas S, Ruszczynska A, Bulska E, Wojciechowski M, Antosiewicz DM. Ca²⁺-dependent plant response to Pb²⁺ is regulated by LCT1. *Environment Pollution*. 2007;147:584-592. PMID: 17140712. doi: 10.1016/j.envpol.2006.10.012
6. Rai PK, Lee SS, Zhang M, Tsang YF, Kim KH. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and Management. *Environment Int J*. 2019;125:365-385. PMID: 30743144. doi: 10.1016/j.envint.2019.01.067
7. Theppeang K, Glass TA, Bandeen-Roche K, Todd A.C, Rohde CA, Links JM, et al. Associations of Bone Mineral Density and Lead Levels in Blood, Tibia, and Patella in Urban-Dwelling Women. *Environment Health Perspectives*. 2008;116:784-790. PMID: 18560535. PMCID: PMC2430235. doi: 10.1289/ehp.10977
8. Rahman S, Joshi MV. Effect of lead toxicity on growth and performance of broilers. *Tamilnadu J Vet Animal Sci*. 2009;5:59-62.
9. Kabata-Pendias A, Szteke B. *Trace Elements in Abiotic and Biotic Environments*. FL, USA: CRC Press Boca Raton; 2015. doi: 10.1201/b18198
10. Concha G, Eneroth H, Hallstrom H, Sand S. *Contaminants and Minerals in Foods for Infants and Young Children*. Uppsala, Sweden: National Food Agency; 2013. p. 22.
11. World Health Organisation (WHO). *Childhood Lead Poisoning*. Geneva, Switzerland: WHO; 2010. 71 p.

12. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: A review. *Interdisciplinary Toxicology*. 2015;8:55-64. PMID: 27486361. PMCID: PMC4961898. doi: 10.1515/intox-2015-0009
13. Bellinger DC, Malin A, Wright RO. The Neurodevelopmental Toxicity of Lead: History, Epidemiology, and Public Health Implications. *Adv Neurotoxicol*. 2018;2:1-26. doi: 10.1016/bs.ant.2018.03.009
14. World Health Organisation (WHO) Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44515/WHO_TRS_960_eng.pdf;jsessionid=AFB1D9565016562EA09FFBFF1734B190?sequence=1
15. Yuan G, Dai S, Yin Z, Lu H, Jia R, Xu J, et al. Toxicological assessment of combined lead and cadmium: Acute and sub-chronic toxicity study in rats. *Food Chem Toxicol*. 2014;65:260-268. PMID: 24394482. doi: 10.1016/j.fct.2013.12.041
16. Carocci A, Catalano A, Lauria G, Sinicropi MS, Genchi G. Lead toxicity, antioxidant defense and environment. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2016;238:45-67. PMID: 26670034. doi: 10.1007/398_2015_5003
17. International Agency for Research on Cancer (IARC) Agents. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. Vol 1-121. Lyon, France: IARC Monographs; 2018. p. 1-25.
18. Gong Y, Zhao D, Wang Q. An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. *Water Research J*. 2018;147:440-460. PMID: 30343201. doi: 10.1016/j.watres.2018.10.024
19. Cheng SF, Huang CY, Chen KL, Lin SC, Lin YC. Phytoattenuation of lead-contaminated agricultural land using *Miscanthus floridulus*-An in situ case study. *Desalination and Water Treatment*. 2016;57:7773-7779. doi: 10.1080/19443994.2015.1033477
20. Kumar A, Prasad MNV. *Transgenic Plant Technology for Remediation of Toxic Metals and Metalloids*. Plant genetic engineering approach for the Pb and Zn remediation: Defense reactions and detoxification mechanisms. Elsevier; San Diego, CA, USA: 2019. Vol 17. p. 359-380. PMCID: PMC6872759. doi: 10.1016/B978-0-12-814389-6.00017-1
21. Kumar S, Prasad S, Yadav KK, Shrivastava M, Gupta N, Nagar S, et al. Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches. *Environ Res*. 2019;179:108792. PMID: 31610391. doi: 10.1016/j.envres.2019.108792
22. Adeleye AS, Conway JR, Garner K, Huang Y, Su Y. Engineered nanomaterials for water treatment and remediation: Costs, benefits, and applicability. *Chemical Engineering J*. 2016;286:640-662 doi: 10.1016/j.cej.2015.10.105
23. Yadav KK, Singh JK, Gupta N, Kumar V. A review of nanobioremediation technologies for environmental cleanup: A novel biological approach. *J Materials and Environ Sci*. 2017;8:740-757.

UDC 614.77:546.81:612.014.46:602.44(048.8)

Lead Toxicity and Its Effect on Food Chains and Remediation Techniques (Literature Review)

**Ostrovskaya S. S., Agarkov S. F., Trushenko O. S., Fedchenko M.P.,
Kopatska M. V., Davydenko I. V., Velikorodni V. I.**

Abstract. *The purpose of the study was to review the most recent findings related to lead toxicity for plants, animals and humans. It is stated that the highest potential belongs to biological techniques and the most up-to-date lead phytoremediation technologies.*

Results and discussion. Lead is one of the most toxic heavy metals which frequently occurs in the environment. Various quantitative indices are used to assess lead toxicity at trophic levels of a food chain, including the levels of lead absorption by plants. Hyperaccumulating plants can accumulate more than 1000 mg/kg of the metal. Higher lead concentrations are connected with fruit plants. Lead transport in animals is done through the blood circulatory system, whereby bones are the main lead absorbers (~ 90%), where lead replace calcium and reduces the bone mineral density. Lead poisoning in humans most frequently results from peroral intake and absorption through the gastrointestinal tract. The main process of lead transport from the gastrointestinal tract to various body tissues is conducted via erythrocytes, where lead binds to hemoglobin. The half-life of lead in blood and soft tissues has been estimated as 35 and 40 days, respectively. Lead may stay in the bones up to 30 years; its concentration rate in the teeth and bones increases with age. Over 95% of lead deposit in the skeleton represent an insoluble phosphate. The biological half-life of lead in children is significantly larger than in adults. The total lead load on skeleton makes 80-95% in adults and around 73% in children. Lead toxicity primarily targets the human central nervous system, and child exposure to high amounts of lead from the environment, particularly in the case of anemia, entails low intelligence and movement disorders. Mothers can transmit lead to fetus or infants during breast-feeding.

There are various processes that seek to reduce the overall lead concentration and accumulation in the food chain. Out of those, the most effective are biological techniques of lead remediation from contaminated

resources. They include phytoremediation and microbiological treatment. The first option reduces lead mobility in the root zone of plants through complex formation. The second option reduces lead availability in the environment via employing local microorganisms. Both options are a natural, safe, efficient, and environmentally friendly technology which implies cost-effective operation and represents no threat to the environment and health.

However, a high potential is detected in biotechnological and genetic approaches, such as genomics, metagenomics, metabolomics, proteomics, transcriptomics, nanoparticles, and isotope probing. These are the most up-to-date technologies for lead phytoremediation. The use of omics approaches implies identifying candidate genes for an efficient lead removal, diverse phylogenetic research into the sequence of genes and proteins that control lead bioremediation and genetically modified plants cultivation via transgenesis, which are able to restore various wastewaters, contaminated lands, and can be beneficial for practical application in bioremediation.

Conclusion. The most recent research and development in the field of nanosciences provide access to even more efficient and stable approaches to remediation that are being successfully applied in cleaning soils, deposits, solid waste, and wastewaters.

Keywords: lead toxicity, food chains, remediation techniques.

ORCID and contributionship:

Svitlana S. Ostrovska : 0000-0002-0373-3491 ^{A B,D,F}

Sergey F. Agarkov : ^A

Alexander S.Trushenko : 0000-0002-1719-1451 ^B

Mykola P. Fedchenko : ^{A,F}

Maria V. Kopatska : 0000-0003-1760-2617 ^D

Inna V. Davydenko : 0000-0002-9231-5194 ^C

Victor I. Velikorodni : 0000-0002-3183-7036 ^F

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis,
C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article,
E – Critical review, F – Final approval of the article

CORRESPONDING AUTHOR

Svitlana S. Ostrovska

Dnipro medical institute of conventional and alternative medicine,
Fundamental Disciplines with the Course of Traditional and Non-Traditional Medicine Department
17, Sevastopolska St., Dnipro 49005, Ukraine
tel: +380675915184, e-mail: dmitnm.1993@gmail.com

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 03.02.2022 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування