



УДК: 574: 58.02

## ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ТОКСИЧНИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЙОГО ІНДИКАЦІЯ ЗА ДОПОМОГОЮ РОСЛИННИХ ТЕСТОВИХ СИСТЕМ

**А. Довгалюк**

Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я.Горбачевського  
вул. Руська, 12, Тернопіль 46001, Україна  
e-mail: ai\_dovgalyuk@meta.ua

Важливою екологічною проблемою сьогодення є накопичення токсичних металів у ґрунтах. На підставі проаналізованих літературних джерел показано, що найбільш забрудненими територіями нашої держави є урбанізовані площі центрального та південно-східного регіонів. Серед металів-поллютантів ґрунту найбільш поширеними й токсичними є свинець, цинк, мідь, кадмій, нікель і алюміній. Мобільність і біодоступність важких металів та алюмінію прямо пропорційна кислотності ґрунту. Для північно-західного регіону України характерні дерново-підзолисті ґрунти із підвищеною природною кислотністю. Урбаноземи решти регіонів держави підкинюються за рахунок потужних сірчистих викидів хімічних, металургійних і машинобудівних заводів. Враховуючи потенційну небезпечність токсичних металів для живих організмів, невідкладним завданням науковців є підбір модельних об'єктів для оцінки біологічного ризику цих речовин. У статті проаналізовано переваги рослинних об'єктів для моніторингу цито- і генотоксичних поллютантів ґрунту. Запропоновано використовувати проростки *Allium cepa* L. як ефективну високочутливу індикаційну систему для скринінгу металів із цитотоксичною та мутагенною активностями. За допомогою модифікованого *Allium* тесту встановлено, що ефективні токсичні концентрації Cu, Zn та Ni є нижчими від затверджених гранично допустимих концентрацій цих металів у ґрунті відповідно у 23, 12,5 і 8 разів. Це дало нам підстави рекомендувати переглянути встановлені в Україні ГДК для даних металів.

**Ключові слова:** важкі метали, алюміній, цитотоксичність, біоіндикація, *Allium* тест.

### ВСТУП

Незбалансоване антропогенне навантаження на природні ресурси протягом багатьох десятиріч зумовило значну техногенну ураженість екосфери України. Внаслідок цього, зокрема, відбулася деградація ґрунтів на значній частині території нашої держави. Екзогенне привнесення у ґрунти токсикантів призводить до ґрунтово-екологічного дискомфорту: спричиняє негативні зміни фізико-хімічних і агрохімічних властивостей ґрунту, погіршення умов життєдіяльності ґрунтової біоти, порушення нормального росту й розвитку культурних рослин аж до їх загибелі, що, врешті-решт, знижує рівень безпеки життєдіяльності самої людини.

**Забруднення ґрунтів України важкими металами.** До найнебезпечніших токсикантів, які надають ґрунтові екоцидних властивостей, поряд із радіонуклідами та пестицидами, належать важкі метали [1].

Під назвою „важкі метали” прийнято розуміти групу металів із густиною вище ніж  $5,0 \text{ г} \times \text{см}^{-3}$  або з атомним номером більше 20 [21, 28]. До них належить ціла низка забруднювачів довкілля: кадмій (Cd), свинець (Pb), нікель (Ni), хром (Cr), ртуть (Hg), мідь (Cu), цинк (Zn) тощо.

Забруднення ґрунтового покриву важкими металами пов'язане з наявністю різних джерел техногенних емісій поллютантів: промислові об'єкти гірничо-металургійного, хімічного, паливно-енергетичного комплексу, машинобудівельні підприємства, розгалужена транспортна система тощо [7, 8, 10, 12, 13].

Як відомо, Україна надзвичайно насичена промисловими та видобувними підприємствами (налічується понад 1,5 тис.), має розгалужену мережу (понад 165 тис. км) автомобільних доріг. У районах, де розміщені підприємства гірничо-металургійного комплексу, спостерігаються підвищені рівні таких хімічних елементів, як свинець, цинк, мідь, нікель, кадмій, ртуть, хром, кобальт і т.п. Високі концентрації важких металів виявлені у ґрунтах урбанізованих територій майже всієї центральної та південно-східної України [1, 7, 8, 10, 13]. Найбільш забрудненими, за даними Держкомстату України станом на 2009–2010 роки, виявилися ґрунти міст Сімферополя, Костянтинівки, Вінниці, Маріуполя і Полтави [7, 8]. Як приклад, перевищення концентрацій свинцю в окремих районах сягає 25 фонових значень, кадмію – у 13 разів, цинку – у 12 разів, нікелю – у 8 разів [7, 8].

Небезпечним типом техногенного навантаження на довкілля є автотранспортне забруднення, яке має значний вплив на ґрунти і наземні екосистеми пришляхових смуг. У відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння міститься понад 160 шкідливих речовин. Під час спалювання бензину пріоритетним забруднювачем є Pb, дизпалива – Ni. Вміст Pb у ґрунтах десятиметрової пришляхової смуги перевищує фонові показники у 2–7 разів, у деяких випадках – на один-два порядки [7, 13].

Токсичність важких металів обернено пропорційна значенню рН ґрунтових розчинів. У разі збільшення кислотності ґрунту елементи важких металів із нерозчинних солей переходять в іонну форму і стають доступними для поглинання їх рослинами [22, 29]. Тому важливим показником забруднення ґрунтів є їхня кислотність. Значна територія зони змішаних лісів (північно-західний регіон України) характеризується підвищеною природною кислотністю дерново-підзолистих ґрунтів [12]. Крім того, значне зниження лужності урбаноземів зумовлюється впливом потужних сірчанистих димових викидів хімічних (Вінниця, Калуш) і металургійних (Алчевськ, Єнакієве, Костянтинівка, Маріуполь) заводів. У Миколаєві та Харкові викиди  $\text{SO}_3$  пов'язані з процесами лиття на машинобудівельних заводах та з ТЕС [10, 12].

**Алюмінієва токсичність ґрунту.** Кислотність ґрунту не тільки зумовлює підвищену токсичність важких металів, а й є основною причиною алюмінієвої токсичності ґрунтів [2, 19, 25]. Алюміній – найпоширеніший елемент літосфери, здатний до вилужнювання з мінеральних відкладів кислотними дощами й азотними добривами, що закислюють ґрунт. В іонній формі він може існувати тільки в середовищах із  $\text{pH} < 5$  [18, 20]. Згідно з даними Державного земельного кадастру, в Україні кислі ґрунти поширені на площі близько 5,5 млн га, у тому числі понад 2 млн га орних земель є надмірно закисленими [8]. Обсяги хімічної меліорації (вапнування) таких ґрунтів за останнє десятиріччя скоротилися в нашій державі більше ніж у 26 разів [8]. І саме  $\text{Al}^{3+}$  є основним фактором зниження кількості та якості врожаю на таких площах [19, 20, 25].

### Необхідність моніторингу цитотоксичності й генотоксичності металів.

Оскільки накопичення у ґрунтах мобільних форм важких металів і алюмінію набуває загрозового характеру, стає актуальним дослідження взаємодії цих елементів із живою клітиною, вивчення їхнього мутагенного потенціалу та механізмів цитотоксичності.

Відомо, що токсичні метали можуть порушувати метаболічну активність клітин кількома різними шляхами. Зв'язуючись зі сульфгідрильними групами, вони призводять до конформаційних змін білків і блокують активні сайти ферментів [33]. Цитотоксичність металів може проявлятися за рахунок заміщення необхідних ко-факторів і спричинення дефіциту макроелементів. Від іонного радіуса металу залежить, із йонами яких есенціальних елементів буде відбуватися конкуренція за внутрішньоклітинні сайти зв'язування. Так, відомо, що для Са ймовірними конкурентами є Cd, Hg і Pb; для Mg – Ni, Cu, Co і Zn; для Fe – Al [33].

Метали зі змінною валентністю (Ni, Cu, Cr тощо) ініціюють окисно-відновні реакції за радикальним механізмом (Фентона, Хабера-Вайса), спричиняючи окисда-тивний стрес у клітині через утворення реактивних форм кисню. За участю останніх здійснюється пошкодження основних біополімерів у клітині (перекисне окиснення ліпідів, білків і нуклеїнових кислот) [6, 11, 30]. Метали зі сталою валентністю сприяють утворенню вільних радикалів опосередковано через пригнічення активності антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза, каталаза, аскорбат пероксидаза, глутатіонредуктаза, дегідроаскорбатредуктаза тощо [14, 30].

Небезпека від важких металів і алюмінію тісно пов'язана з їхніми фізико-хімічними властивостями: електронною конфігурацією, електронегативністю, іонізацією, значенням окисно-відновного потенціалу, спорідненістю з окремими хімічними групами біологічних молекул. Будова електронних оболонок, для яких характерна незавершеність зовнішніх p- і d-орбіталей, пояснює змінну валентність багатьох важких металів, їхню високу реакційну здатність, схильність до комплексоутворення, що й зумовлює високу біохімічну та фізіологічну активність [21].

Як правило, важкі метали за ступенем токсичності розташовуються у такій послідовності: Cu>Ni>Cd>Zn>Pb>Hg>Fe>Mo>Mn. Проте цей ряд може дещо змінюватися через неоднакове осадження елементів ґрунтом і переведення в недоступний для рослин стан, умовами вирощування та фізіолого-генетичними особливостями самих рослин. Ряди фітотоксичності металів можуть відрізнятися залежно від типу експерименту і виду рослини, але вони досить добре корелюють із такими факторами: 1) електронегативністю іонів; 2) добутком розчинності сульфідів; 3) стійкістю хелатів; 4) біологічною доступністю [21].

Стійкість металів у навколишньому середовищі та включення їх до колообігу речовин (розчинність у атмосферних опадах, здатність до сорбції ґрунтами, донними відкладами, засвоєння рослинами) – все це в сукупності призводить до їхнього поступового накопичення у трофічних ланцюгах. Щоправда, за даними ВООЗ [15], гострі отруєння металами в наш час трапляються досить рідко, тому особливої актуальності набуває проблема впливу на організм малих доз їхніх сполук, насамперед, віддалених наслідків таких впливів. Зважаючи на те, що мутагенність виявляється при значно нижчих концентраціях, ніж токсичність, а популяційно-генетичні наслідки її дії набагато важливіші, варто здійснювати моніторинг генотоксичності металів, що накопичуються у зонах екологічної напруженості. З цією метою ведеться пошук найчутливіших до токсичних речовин і мутагенів видів рослин, тварин і мікроорганізмів [4, 9, 16, 30, 31], а також молекулярних, надмолекулярних і клітинних моделей [5, 14] як ефективних індикаційних систем забруднення довкілля.

**Рослинні об'єкти біоіндикації.** Серед широкого спектра модельних еукаріотичних організмів для скринінгу мутагенів вагоме значення мають рослинні об'єкти [4, 16, 26]. Кінчики коренів рослин першими контактують із токсикантами ґрунту. У них містяться ферменти (оксидази змішаних функцій), що активують промутагени в мутагени [17]. Це пояснює високу чутливість клітин кореневої меристеми до дії мутагенних чинників.

Висока ефективність застосування рослинних тест-систем зумовлена низкою переваг порівняно з тестами на інших організмах, серед яких найважливіші такі:

- вищі рослини – еукаріоти, що уможлиблює екстраполяцію результатів тестування на інших представників еукаріотичних організмів, у тому числі й на людський організм;
- тести відносно недорогі, недовготривалі, прості у застосуванні, мають високу чутливість;
- для них розроблено і стандартизовано відповідні методики;
- вони не потребують складного лабораторного обладнання, тому застосування рослинних тест-систем особливо перспективне у країнах, що розвиваються;
- під час тестування можна використовувати як окремі речовини, так і складні комплекси сумішей за різноманітних умов середовища, рН, температури;
- вищі рослини чутливі до впливу канцерогенних агентів [4].

Здатність рослинних тестових систем виявляти промутагени є важливою для прогнозування віддалених біологічних наслідків дії окремих політантів. На думку деяких учених, прості рослинні тести *in vitro* надійніше виявляють ініціаторів канцерогенезу, ніж тривалі тести з лабораторними тваринами [16, 17, 23].

**Allium тест.** Серед рослинних тестових систем важливе місце належить *Allium* тестові, який забезпечує швидку процедуру скринінгу для біологічно небезпечних речовин [17, 23]. Відомо, що коренева система цибулі (*Allium cepa* L.) є особливо чутливою до шкідливих впливів політантів ґрунту. Крім того, великі розміри клітин, чітка морфологія хромосом і відносно невелика їхня кількість ( $n=8$ ) робить цей об'єкт ідеальним для цитогенетичних досліджень [3, 17, 23]. Пригнічення росту та морфологічні зміни коренів цибулин, а також пошкоджуючий вплив на хромосоми, виявлені в меристемних клітинах кореневого апекса, вказують на потенційну токсичність і мутагенність тестованих сполук. Між макроскопічними та мікроскопічними ефектами, що можуть бути виявлені в даній тестовій системі, спостерігається чітка кореляція. Однак пригнічення росту коренів (макроскопічний ефект) є чутливішим параметром. Мікроскопічний же аналіз дає змогу оцінити хромосомні пошкодження та порушення клітинного поділу, забезпечуючи додаткову інформацію щодо ступеня й механізму токсичного ефекту або потенційної мутагенності досліджуваної речовини. *Allium* тест може виявляти навіть такі потенційно біонебезпечні речовини, що проявляють свій генотоксичний ефект опосередковано, через утворення реактивних метаболітів [17].

Для *Allium* тесту й інших подібних рослинних тестів не характерні негативні артефакти: тестовані речовини, які дають негативні результати при такому скринінгу, можуть надійно вважатися немутагенними. Результати, отримані в *Allium* тесті, можуть бути екстрапольовані на різні біологічні об'єкти, включаючи людський організм [17, 23].

*Allium* тест ефективно працює в широкому діапазоні рН значень тестових розчинів (3,5–11,0) без будь-яких очевидних ефектів на ріст кореневої системи. Тому помірно кислі/лужні водні зразки, хімічні розчини тощо можуть бути просто тестовані без необхідної рН корекції [17, 23].

У класичному *Allium* тесті досліди пропонується проводити на додаткових коренях цибулин, оскільки вони здебільшого одного розміру і віку, що зручно для статистики [17]. У наших дослідженнях [2, 3] цитотоксичності й потенційної мутагенності металів за модельну систему було вибрано корінці проростків цибулі, оскільки відомо, що проростки чутливіші до токсикантів ґрунту, ніж дорослі рослини [2, 24, 27]. Така модифікація *Allium* тесту здешевлювала і робила зручнішим проведення експерименту. Крім того, корінці проростків мають ще одну перевагу над кореневою системою дорослих цибулин — поділи клітин у апікальній меристемі більш синхронізовані й інтенсивні у корінцях на ювенільній стадії розвитку рослин.

Як бачимо (див. таблицю), модифікований *Allium* тест є набагато чутливішим від класичного стандарт-методу екологічного моніторингу і виявляє токсичними навіть ті концентрації металів, які є загально визнано безпечними та допустимими у навколишньому природному середовищі. Згідно з результатами наших досліджень [2, 3], ефективні токсичні концентрації  $EC_{50}$  кадмію, свинцю, нікелю, алюмінію, міді та цинку, що відповідають 50% пригніченню росту коренів, значно нижчі за гранично допустимі концентрації цих металів у ґрунті. Особливо некоректними, з точки зору результатів цих досліджень, є офіційно визнані ГДК рухомих форм Ni, Cu та Zn у ґрунті. Зокрема, нікель виявляє фітотоксичність уже за концентрацій у 8 разів нижчих від гранично-допустимих, цинк за концентрацій у 12,5 разу нижчих, а мідь є потенційно небезпечною в концентраціях, нижчих за гранично-допустимі у 23 рази. Можливо, беручи до уваги такі отримані експериментально дані, варто переглянути чинні ГДК і внести до них відповідні зміни.

**Гранично-допустимі концентрації (ГДК) для деяких металів-поллютантів і їхні ефективні токсичні концентрації ( $EC_{50}$ ), виявлені в *Allium* тесті**  
**Maximum permissible concentration (MPC) for some metals-pollutants and their toxic effective concentration ( $EC_{50}$ ) found in *Allium* test**

| Метали | ГДК валового вмісту металів у ґрунті <sup>1</sup> , мг/кг | ГДК рухомих форм металів у ґрунті, мг/кг | $EC_{50}$ у класичному <i>Allium</i> тесті <sup>2</sup> , мг/л | $EC_{50}$ у модифікованому <i>Allium</i> тесті <sup>3</sup> , мг/л |
|--------|---|--|--|--|
| Cd     | 1,0   | 0,7                                      | 3,4 (31 мкМ) <sup>4</sup>                                      | 0,76 (6,8 мкМ)   |
| Pb     | 30  | 2,0                                      | –  | 1,88 (9,1 мкМ)   |
| Ni     | 85  | 4,0                                      | 1,0 (17 мкМ)   | 0,52 (8,8 мкМ)   |
| Al     | –   | 0,5                                      | 21,6 (800 мкМ)   | 0,44 (16,2 мкМ)  |
| Cu     | 55  | 3,0                                      | 0,17 (2,7 мкМ)   | 0,13 (2,0 мкМ)   |
| Zn     | 115   | 23                                       | –  | 1,82 (28 мкМ)  |

**Примітки:** <sup>1</sup> – ГДК уточнено згідно з даними Держкомстату України [8]; <sup>2</sup> – дані згідно з *Fiskesjö, 1995* [17]; <sup>3</sup> – результати наших досліджень, висвітлені у публікації [2]; <sup>4</sup> – у дужках наведені відповідні концентрації, перелічені з мг/л у мкМ.

**Comments:** <sup>1</sup> – MPC specified by the State Statistics Committee of Ukraine [8]; <sup>2</sup> – data according *Fiskesjö, 1995* [17]; <sup>3</sup> – the results of our research are highlighted [2]; <sup>4</sup> – in the parentheses, the appropriate concentrations are in  $\mu\text{M}$ .

Тим більше, що цитологічний аналіз апікальної кореневої меристеми виявив значні цитогенетичні ефекти тестованих металів [3]. Усі вони мають здатність індукувати хромосомні аберації (фрагментацію, мости) в нелетальних концентраціях. Крім того, нікель, кадмій, свинець і алюміній ще й зумовлюють появу геномних мутацій (відставання хромосом в анафазі, блокування мітозу й цитокінезу, що призводить до виникнення анеу- чи поліплоїдії). Анеугенна активність окремих металів вказує на їхню потенційну канцерогенність [32].

## ВИСНОВКИ

1. На підставі проаналізованої літератури показано, що значна частина ґрунтів України має токсичні рівні концентрацій свинцю, цинку, міді, кадмію та нікелю. Біодоступність таких важких металів і алюмінію прямо пропорційна кислотності ґрунту.
2. Для комплексної індикації токсичності металів-полютантів ґрунту доцільно застосовувати рослинні тест-системи. Вони характеризуються не тільки зручністю у використанні та дешевизною, але й високою чутливістю й інформативністю.
3. За допомогою модифікованого *Allium* тесту встановлено, що ефективні токсичні концентрації міді, цинку та нікелю є нижчими від затверджених гранично-допустимих концентрацій цих металів у ґрунті у 23, 12,5 та 8 разів і становлять 0,13, 1,82 і 0,52 мг/л відповідно. Це дає підстави для перегляду ГДК щодо Cu, Zn і Ni у живих об'єктах.

1. *Бреславець А.І.* Техногенно забруднені ґрунти та шляхи їх поліпшення. **Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки**: зб. наук. пр. / під ред. Г.Д. Коваленко. Харків: Райдер, 2009; 31: 189–202.
2. *Довгалюк А.І., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б.* Оценка фито- и цитотоксической активности солей металлов с помощью корневой апикальной меристемы лука. **Цитология и генетика**, 2001; 1: 3–9.
3. *Довгалюк А.І., Калиняк Т.Б., Блюм Я.Б.* Цитогенетические эффекты солей токсичных металлов в клетках апикальной меристемы корней проростков *Allium cepa* L. **Цитология и генетика**, 2001; 2: 3–10.
4. *Куцоконь Н.* Рослинні тест-системи для визначення генотоксичності. **Вісник НАН України**, 2010; 4: 48–52.
5. *Луїк А.І., Прокопенко В.В., Набока Ю.Н.* и др. Молекулярные, надмолекулярные и клеточные биомодели как объекты экологического мониторинга. **Доповіді НАН України**, 1999; 10: 160–165.
6. *Мацевич Л.Л., Лукаш Л.Л.* Генетична активність важких металів в еукаріотичних клітинах. **Біополімери і клітина**, 2001; 17(1): 5–19.
7. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2009 році**. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. 383 с.
8. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році**. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. 254 с.
9. *Рильський О.Ф., Масікевич Ю.Г.* Мікробіологічна біоіндикація довкілля, забрудненого важкими металами та іншими ксенобіотиками. **Вісник Запорізьк. нац. ун-ту**, 2012; 3: 139–147.
10. *Сердюк С.Н.* Диагностика загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова индустриально-урбанизированных территорий. **Екологія та ноосфера**, 2007; 19(1–2): 55–60.
11. *Сьяксте Т.Г., Сьяксте Н.И.* **Химические соединения, повреждающие ДНК**. Рига: Зинатне, 1991. 152 с.
12. *Тютюнник Ю.Г., Горлицький Б.О.* Техногенне забруднення міських ґрунтів України (феноменологічний аналіз). **Доповіді НАН України**, 2000; 6: 208–211.
13. *Шейкіна О.Ю., Мислюк О.О.* Екологічна оцінка забруднення міських ґрунтів важкими металами вздовж основних транспортних магістралей міста Черкаси. **Екологія довкілля та безпека життєдіяльності**, 2008; 1: 61–65.
14. *Aras S., Aydın S.S., Körpe D.A., Dönmez Ç.* Comparative Genotoxicity Analysis of Heavy Metal Contamination in Higher Plants. **Ecotoxicology** / Ed. by Dr. G. Begum. InTech, 2012: 107–124.
15. **Human Exposure Assessment. Environmental Health Criteria**. 214: Geneva: WHO/IPCS, 2000: 235 p.

16. *Fatima R.A., Ahmad M.* Genotoxicity of industrial wastewaters obtained from two different pollution sources in northern India: a comparison of three bioassays. **Mutation Research**, 2006; 609 (1): 81–91.
17. *Fiskesjö G.* *Allium* test. In: **Methods in Molecular Biology. 43. In Vitro Toxicity Testing Protocols** / Ed. by S. O'Hare and C. K. Atterwill, Totowa, NJ., 1995: 119–127.
18. *Garzón T., Günsé B., Moreno A.R.* et al. Aluminium-induced alteration of ion homeostasis in root tip vacuoles of two maize varieties differing in Al tolerance. **Plant Science**, 2011; 180(5): 709–715.
19. *Jones D.L., Blancaflor E.B., Kochian L.V.* et al. Spatial coordination of aluminium uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. **Plant Cell Environment**, 2006; 29(7): 1309–1318.
20. *Jones D.L., Ryan P.R.* Nutrition. Aluminum Toxicity. **Encyclopedia of Applied Plant Science**, 2004: 656–664.
21. *Kabata-Pendias A.* **Trace Elements in Soils and Plants**. CRC Press, 2011. 520 p.
22. *Kumari M., Sinha V.K., Srivastava A.* et al. Cytogenetic effects of individual and combined treatment of Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. **J. Phytol**, 2011; 3: 38–42.
23. *Kutsokon N.K.* *Allium*-assay in evaluation of drinking and surface water mutagenicity. In: **Dangerous Pollutants (Xenobiotics) in Urban Water Cycle** / Ed. by Hlavinek P.; Bonacci O.; Marsalek J.; Mahrikova I. Springer, 2008. P. 81–87.
24. *Liu T.T., Wu P., Wang L.H.* et al. Response of soybean seed germination to cadmium and acid rain. **Biol. Trace Elem. Res**, 2011; 144: 1186–1196.
25. *Ma J.F.* Syndrome of Aluminum Toxicity and Diversity of Aluminum Resistance in Higher Plants. **International Review of Cytology**, 2007; 264: 225–252.
26. *Ma T.-H., Carberra G.L., Owens E.* Genotoxic agents detected by plant bioassays. **Reviews on Environ Health**, 2005; 20 (5): 1–13.
27. *Malkowski E., Kita A., Galas W.* et al. Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. **Plant Growth Regulation**, 2002; 37: 69–76.
28. *Morais S., Costa F.G., Pereira M.L.* Heavy Metals and Human Health. **Environmental Health – Emerging Issues and Practice** / Ed. by J.Oosthuizen. InTech, 2012: 227–246.
29. *Salam A.K., Helmke P.A.* The pH dependence of free ionic activities and total dissolved concentrations of copper and cadmium in soil solution. **Geoderma**, 1998; 83: 281–291.
30. *Stoliar O.B., Lushchak V.I.* Environmental Pollution and Oxidative Stress in Fish. In Book: **Oxidative Stress – Environmental Induction and Dietary Antioxidants** / Ed. Lushchak V. InTech, 2012: 131–166.
31. *Stolyar O.B., Loumbourdis N.S., Falfushinska H.I.* et al. Comparison of metal bioavailability in frogs from urban and rural sites of Western Ukraine. **Arch. Environ. Contam. Toxicol**, 2008; 54: 107–113.
32. *Tokar E.J., Benbrahim-Tallaa L., Waalkes M.P.* Metal ions in human cancer development. **Metal Ions on Life Science**, 2011; 8: 375–401.
33. *Van Assche F., Clijsters H.* Effects of metals on enzyme activity in plants. **Plant Cell Environ**, 1990; 13: 195–206.

---

## ENVIRONMENTAL CONTAMINATION BY TOXIC METALS AND ITS INDICATION BY PLANT TEST SYSTEMS

**A. Dovgalyuk**

*Ternopil State Medical University, 12, Ruska St., Ternopil 46001, Ukraine  
e-mail: ai\_dovgalyuk@meta.ua*

Important modern environmental problem is the accumulation of toxic metals in soils. Urbanized lands of the central and southeastern regions are the most contaminated areas in Ukraine. Lead, zinc, copper, cadmium, nickel and aluminum are the most widespread and toxic metals – soil pollutants. The mobility and bioavailability of heavy

metals and aluminum is directly proportional to the acidity of the soil. The north-western region of Ukraine has got the sod-podzolic soils with natural elevated acidity. Urban soils of the rest of our country regions are acidified by emissions of chemical, metallurgical and engineering enterprises. Considering potential danger of toxic metals for living organisms, is an urgent task and selection of model objects for the assessment of biological risks of these substances is of great value. The advantages of plants for monitoring cyto- and genotoxic soil pollutants have been analyzed. It has been proposed to use seedlings *Allium cepa* L. as an effective highly sensitive indicating system for screening of metals with cytotoxic and mutagenic activities. Using modified *Allium* test has established that the effective toxic concentrations of Cu, Zn and Ni are lower than the approved maximum permissible concentration (MPC) of these metals in the soil, accordingly in 23, 12.5 and 8 times. This enabled us to recommend to reconsider MPC for these metals established in Ukraine.

**Keywords:** heavy metals, aluminium, cytotoxicity, bioindication, *Allium* test.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТОКСИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ЕГО ИНДИКАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ СИСТЕМ

А. Довгалюк

Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я.Горбачевского  
ул. Руська, 12, Тернополь 46001, Украина  
e-mail: ai\_dovgalyuk@meta.ua

Важной экологической проблемой современности является накопление токсичных металлов в почвах. Наиболее загрязненные земли Украины находятся на урбанизированных территориях центрального и юго-восточного регионов. Среди металлов-поллютантов почвы наиболее распространенными и токсичными являются свинец, цинк, медь, кадмий, никель и алюминий. Мобильность и биодоступность тяжелых металлов и алюминия прямо пропорциональна кислотности почвы. Для северо-западного региона Украины характерны дерново-подзолистые почвы с естественной повышенной кислотностью. Урбаноземы остальных регионов страны подкисляются за счет выбросов химических, металлургических и машиностроительных предприятий. Учитывая потенциальную опасность токсичных металлов для живых организмов, неотложной задачей ученых является подбор модельных объектов для оценки биологического риска этих веществ. В статье проанализированы преимущества растительных объектов для мониторинга цито- и генотоксических поллютантов почвы. Предложено использовать проростки *Allium cepa* L. как эффективную высокочувствительную индикационную систему для скрининга металлов с цитотоксической и мутагенной активностями. С помощью модифицированного *Allium* теста установлено, что эффективные токсические концентрации Cu, Zn и Ni являются ниже утвержденных предельно допустимых концентраций (ПДК) этих металлов в почве соответственно в 23, 12,5 и 8 раз. Это дало нам основание рекомендовать пересмотреть установленные в Украине ПДК для данных металлов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, алюминий, цитотоксичность, биоиндикация, *Allium* тест.

Одержано: 04.02.2013