

Карбівська У.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агрохімії та ґрунтознавства Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Рецензент: професор, доктор сільськогосподарських наук Волощук М.Д., завідувач кафедри агрохімії та ґрунтознавства Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника.

УДК: 581.1:546.3

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА РОСЛИННИЙ СВІТ

М. М. Біланіч

Ужгородський національний університет, кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології
e-mail: bilanych@ukr.net

В статті розглянуто поняття «важкі метали», сучасні досягнення науковців у дослідженні проблематики екологічних, фізіологічних, біохімічних та інших впливів важких металів на рослинний світ. Також з літератури проаналізовано впливи «важких елементів» на едафічне середовище та розглянуто сучасні методи очистки ґрунтів від забруднень цими політантами. Поняття «важкі метали» у літературі є дискусійним. Існують різні думки стосовно самого визначення поняття (з одного боку, атомна маса, як головна ознака формулювання поняття; з іншого – густина, токсичність). Тому для полегшення наукових досліджень з проблеми важких металів доречно впроваджувати комплексну оцінку при обґрунтуванні поняття ВМ. У багатьох випадках, вплив забруднень металами є небезпечним для живих істот і хоча науковці постійно розробляють і вдосконалюють методи очистки навколишнього середовища, проте необхідно більше сприяти їх впровадженню в практику.

Ключові слова: важкі метали, сучасні дослідження, токсична дія, накопичення, токсикологія, впливи, фіторемерація, забруднення.

Bilanich M. M. Modern stage of research of action of heavy metals as toxic elements for plants. In the article a concept «heavy metals» is considered, modern scientific achievements in research of problematiki of ecological, physiology, biochemical and other influences of heavy metals on the vegetable world is shown. Also based on scientific literature there you can find an analyse of influences of «heavy elements» on an edaphic environment and the modern methods of cleaning of soils from contaminations these polutantami. Concept «heavy metals» in literature are debatable. There are different ideas in relation to determination of concept (from one side, atomic mass, as a main sign of formulation of concept; from other is a closeness, toxicness). Therefore, for the facilitation of scientific researches on issue of heavy metals there would be appropriately to inculcate a complex estimation in substantiation the concept of VM. In many cases, influence of contaminations metals is dangerous for living creatures and although research workers constantly develop and perfect the methods of cleaning of environment, however necessary it is to be anymore instrumental in their introduction in practice.

Keywords: heavy metals, modern researches, toxic action, accumulation, toxicology, influences, fitoremediation, contamination.

Вступ

У наш час важливою і актуальною є проблема шкідливого впливу важких металів (ВМ) на навколишнє середовище, зокрема на живі організми. Хоча з другої половини 20 ст. науковці почали вивчати проблему важких металів в екології, починаючи з 90-х років вона особливо широко та інтенсивно досліджується. Доказом цього є те, що з двох окремих наук: екології і токсикології у самостійну наукову дисципліну почала формуватись екологічна токсикологія, яка досліджує, зокрема, й токсичні впливи ВМ на живе [107, 36].

Відомо, що наявність важких металів у природі – нормальне явище. Їх сполуки поширені по всій території Земної кулі, і містяться у материнських породах земної кори. Проте, за рахунок активної діяльності людини, трансформації нею навколишнього середовища (навколишня територія підприємств важкої металургії, гірничих шахт), концентрації різних забруднюючих речовин швидко збільшуються, включаючи і солі металів. Тому сильно зростає інтерес науковців до вивчення різних наслідків накопичення цих речовин (ВМ) у навколишньому середовищі.

Аналіз літературних даних за останні 20 років показав, що важкі метали є важливим екологічним фактором, який, з одного боку, необхідний для рослинних організмів, а з іншого (при збільшенні концентрації цих елементів у навколишньому середовищі) – виявляється негативним чинником в їх життєдіяльності. Тому, крім еколого-фізіологічних впливів ВМ на рослини розглянемо також сучасні дослідження щодо їх поширення у екосистемах. Важливо розглянути і розробку та вдосконалення методів очищення середовища від забруднень сполуками металів, оскільки це також впливає на розвиток рослинного світу і на життя на Землі в цілому. Зробимо короткий огляд значно активізованих останнім часом теоретичних й експериментальних досліджень особливостей поведінки важких металів у ґрунті, їх впливів на сільськогосподарські культури і ступеня акумуляції у вегетативних і репродуктивних органах [33].

Проблематика визначення поняття «важкі метали»

Подана в хімічній енциклопедії [12] класифікація металів, яку найчастіше використовують в металургії, приймається не всіма. За нею виділяють наступні групи: чорні метали (Fe); важкі кольорові метали – Cu, Pb, Zn, Ni і Sn (до якої зараховують так звані малі, або молодші метали – Co, Sb, Bi, Hg, Cd); легкі метали – Al, Mg, Ca та ін. У сучасній кольоровій металургії розрізняють *важкі кольорові метали* – щільність 7,14-21,4 г/см³ (цинк, олово, мідь, свинець, хром та ін.) і *легкі кольорові метали* – щільність 0,53-3,5 г/см³ (літій, берилій та ін.). Отже, термін „важкі метали” існував ще до того, як виявили їх токсичність для живих організмів. І в більшості випадків не сам елемент є токсичним, а його присутність у навколишньому середовищі і доступність для живих організмів у високих концентраціях. Але так склалося, що терміни «*важкі метали*» і «*токсичні метали*» стали синонімами.

Існує кілька визначень поняття „важкі метали”, за якими, на жаль, не завжди можна виділити конкретну кількість елементів групи ВМ. Автори монографії «Тяжёлые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ» В. Л. Убугунов, В. К. Кашин (2004) вважають, що поява в літературі терміна «важкі метали» пов’язана з виявленням токсичності і небезпечності для живих організмів деяких з них. Але відомо, що термін "важкі метали" пов’язаний з високою відносною атомною масою. Однією з ознак, що дозволяють класифікувати метали краще вважати метали важкими, є густина. До важких металів умовно відносять хімічні елементи з атомною масою понад 50, що володіють властивостями металів або металоїдів [65]. За цією класифікацією, до важких металів відносять також Уран (U), Полоній (Po), Нептуній (Np) та багато інших, але оскільки вони мають властивість радіоактивності, то відношення у вивченні їх як екологічного фактору змінене, порівняно зі справжніми ВМ.

За класифікацією Н. Реймерса, важкими слід вважати метали з густиною більш, ніж 8 г/см³. Якщо за критерій брати тільки густину металу, то ця класифікація показує, що до важких металів не належать Рубідій (Rb) з густиною 1,532 г/см³, Цезій (Cs) – 1,9 г/см³, Стронцій (Sr), які є легкими, а також деякі радіоактивні елементи, зокрема Радій (Ra) з густиною 5,50 г/см³. За визначенням Н. Реймерса, окремо від важких металів відокремлюють благородні і рідкісні метали: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Разом з цим, у визначенні не враховано те, що за класифікацією Реймерса, до ряду важких металів не можуть належати такі елементи як Хром (Cr) і Марганець (Mn), хоча у літературі така позиція присутня через їх токсичність [94, 20]. За іншим визначенням, ВМ – це метали з густиною, що перевищує 5 г/см³ або атомним номером, більшим 20-ти [117], 40-ка [2] 50-ти [68]. Це визначення також не враховує того, що до категорії ВМ потрапляють радіоактивні метали. Хоч за критерієм густини речовини і розширюються межі ряду важких металів, і до них додаються V, Cr, Mn, Fe та інші елементи. У багатьох випадках Ж. З. Гуральчук після визначення ВМ подає перелік металів, які вона вважає важкими. Таким чином, стає зрозуміло її позиція відносно цієї проблеми [25]. Іноді, як додаткові критерії для визначення важких металів, крім атомної маси, густини і токсичності, додають ще поширення їх у навколишньому середовищі і ступінь включення ВМ у природні і техногенні цикли, що, на нашу думку, не лише не допомагає визначити конкретних елементів ВМ, а навпаки, ускладнює проблему. Наприклад, критерій поширення елемента в навколишньому середовищі вказує на його відповідність не до важких металів, а скоріше до рідкісних металів, до мікро-, чи макроелементів. У певних випадках під визначення важких металів потрапляють елементи, які є крихкими, наприклад, Вісмут (Bi), або до металоїдів, наприклад, Арсен (As). Про забруднення середовища останнім та його біологічну дію на живі організми існує чимало нових публікацій за останні десятиріччя [140, 153].

На погляд автора, число елементів у ряді важких металів стає більш конкретним, якщо визначення сформулювати таким чином: *Важкі метали – це елементи з металічними властивостями, які мають атомну масу вище 40 а. о., густину вище 5 г/см³ і не відносяться до радіоактивних елементів.*

Не слід забувати, що до ВМ належать мікроелементи, необхідні для життєдіяльності живих організмів і замінні елементи, яких в живих організмах є лише сліди. Тому, з екологічних і токсиколого-гігієнічних позицій, не всі метали названі важкими можна сприймати однозначно. Але все-таки бажаним є створити сталий ряд ВМ, для чого необхідне визначення цього поняття і необхідною є стійка внутрішня класифікація важких металів, яка полегшить дослідницьку роботу науковців.

Важкі метали в екосистемах

Важливим і необхідним є дослідження впливу важких металів на рівні біоценозів і екосистем, а також застосування відповідних заходів для очищення їх від забруднень, оскільки надлишкові дози важких металів типу Cd (II), Cr (VI), Cu(II), Ni (II), і Zn (II) руйнують природні водні та наземні екосистеми [131; 149].

Важливим є вдосконалення методів діагностики ВМ у екосистемах в цілому та впливи цих елементів на живі організми біогеоценозів. Наприклад, вчені Санкт-Петербурзького державного електротехнічного університету розробили метод, який дозволяє оцінити вплив важких металів за спектрами відбивання рослинності з космосу (важкі елементи можуть викликати зміни оптичних характеристик хлорофілу у видимому діапазоні спектру). Запропоновано чотирнадцять нових інформативних параметрів для оцінки різного роду забруднень, а також встановлено зв'язок цих параметрів з вмістом пігментів і окремих важких металів.

Яким же чином відбувається забруднення екосистем важкими металами? Які метали забруднюють великі території, а за рахунок яких виникають локальні забруднення? Як ці забруднення впливають на динаміку розвитку біоценозів і екосистем?

Саме на ці запитання намагаються відповісти сучасні науковці. Важкі метали можуть бути поширені на усій території або більшою мірою локалізуються на окремих «острівцях» екосистеми. Це залежить від різних природних і антропогенних факторів: наявності важких металів у материнській породі ґрунту, привнесення їх з інших територій за посередництвом води при вимиванні з ґрунтів інших екосистем, наявності на території промислових підприємств, доріг, населених пунктів та ін. На прикладі досліджень забруднення лісових екосистем важкими металами було виявлено, що практично вся територія Білорусі повністю охоплена зоною забруднень Zn і Pb, присутність яких мала локальний характер [15]. Навіть в одній екосистемі конкретні важкі метали, як і інші хімічні елементи, можуть бути приурочені до визначених регіонів. Наприклад, у лісових екосистемах на території Біловезької Пуші Fe і Cu, концентрації яких перевищували контрольний рівень, були поширені невеликими локальними зонами на межі з Польщею (Zn – в північній частині національного парку, Pb, Cd – в південній та північній частинах Пуші) [76].

Важкі метали поширені і накопичуються не тільки в екосистемах суші, але й у прибережних екосистемах водойм [7] і навіть в дуже рідкісних – глибоководних гідротермальних екосистемах, які виявили ще зовсім недавно, а саме в 1977 році з допомогою підводного апарату Алвін [78]. Гідротермальні донні угруповання адаптувалися до виживання в екстремальних умовах гранично високих концентрацій відновлених сполук сірководню, метану, водню, а також цілого ряду *важких металів*, регулюючи рівні внутріклітинного вмісту металів шляхом виділення і (або) перетворення іонів металів в їх нетоксичні форми. Встановлено, що деякі види організмів, які належать до цих унікальних екосистем, наприклад, вестиментифера (*Riftia pachyptila*), можуть накопичувати в 5-100 разів більше свинцю, заліза, міді, ніж інші організми [93].

Пristосованість і толерантність живих організмів в глибоководних екосистемах, а також багатьох організмів наземних екосистем до високих концентрацій ВМ вказують на те, що для живих організмів важкі метали не новий стресовий чинник. При чому за великі проміжки часу існування в умовах екстремуму, де стресовим фактором виступають засоленість, зокрема, солями важких металів, організми і цілі екосистеми здатні пристосовуватися до цих негативних факторів. Інтенсивне антропогенне ж привнесення в навколишнє середовище додаткових кількостей ВМ, особливо в регіони, де забрудненості ними не спостерігалось і немає в наш час, потрібно вважати негативним явищем для живої природи і, зокрема, людини, тому що екосистеми не завжди встигають пристосовуватись до таких забруднень і в багатьох випадках можуть деградувати.

Які ж дослідження впливів важких металів на функціонування екосистем проводять сучасні дослідники? Оскільки одним з найважливіших параметрів екологічних систем є продуктивність, то вивчають впливи важких металів на різні її показники окремих компонентів екосистеми, наприклад, різних популяцій вищих тварин і рослин [37].

В останні 20 років науковці продовжували досліджувати акумуляцію, міграцію та розповсюдження окремих важких металів у різних екосистемах: лісових [57], лучних [101] у гідроекосистемах прісних водойм [24]. Крім того, вивчають вплив металів на мікробіоценози і їх функціонування як складових екосистеми [103], а також в міжекосистемних об'єднаннях певних територій, наприклад, гір [42].

Виходячи з практичних міркувань, порівняно з природними екосистемами забруднення агроекосистем сполуками металів науковці досліджують більшою мірою [63, 65, 77, 22], разом із спробами прогнозувати ступінь забруднення агроценозів окремими важкими металами, наприклад, свинцем [85]. Також відомі спроби дати біоекологічну оцінку залучення ВМ в основні трофічні ланцюги агроценозів [55].

Забруднення ґрунтів важкими металами

Для досліджень впливів ВМ на живі організми, зокрема, рослини, та надорганізмові рівні організації живого потрібно в першу чергу дослідити рівні забруднення цими елементами навколишнього середовища.

Для рослин надзвичайно важливим середовищем є ґрунт, тому коротко розглянемо, що зроблено для вивчення забруднень важкими елементами едафічного середовища за останні десятиліття років.

Продовжуються розгорнуті ще у 80-х роках ХХ ст. дослідження забруднення ґрунтів важкими металами та токсичну і мутагенну дію таких факторів на живі організми [38, 71, 11].

Вивчають як процеси накопичення ґрунтами ВМ впливають на біологічну активність ґрунтів [84]. Досліджують впливи різних видів транспорту та підприємств на забруднення ґрунтів високими дозами металів, а саме: вплив залізничного транспорту [97], автотранспорту [104], рудників і шахт гірничо-видобувної промисловості, що поширені, як відомо, в багатьох країнах світу [139; 138, 135, 156, 154]. До особливої категорії ґрунтів можна віднести ті, що розміщені біля сміттєзвалищ. Тому окремо досліджують хімічне забруднення таких територій [5].

Продовжують досліджувати поширення і вміст конкретних важких металів у ґрунтах і пов'язаних з ними біоензимах різних регіонів [30, 4]. Також досліджується сезонна динаміка ВМ у різних типах ґрунтів, наприклад, в дерново-підзолистих ґрунтах [62]. Проводять геохімічні дослідження важких металів у ґрунтах України [32]. Вивчають трансформацію ВМ у орному шарі ґрунтів [20].

Вивчення впливів ВМ на різні систематичні групи рослин

Найбільша кількість металів знаходиться у ґрунтового та водному середовищі, звідки вони мігрують по трофічним ланцюгам, потрапляючи у рослинні організми, бактерії, гриби. Тому пріоритетним є вивчення впливів токсикантів саме на продуцентів, основою яких є рослини.

Важливим для теоретичної і практичної біології є дослідження впливу забруднень на життєдіяльність водоростей. Досліджують вміст ВМ і причини накопичення їх рослинами [102], вплив різних концентрацій цих елементів на морфологію водоростей [50], їх фізіологічні реакції [10] токсичну дію сполук металів на водні рослини [14].

Також водорості використовують для індикації забруднення ВМ навколишнього середовища [39, 48]. Вчені США створюють трансгенні водорості, які здатні ефективно очищувати водне середовище від деяких важких металів, наприклад, від ртуті, кадмію і міді [81]. Крім водоростей для індикації ВМ у водоймах використовують і вторинноводні рослини, такі як ряска, елодея, сальвінія плаваюча [96].

На початку ХІ століття, як і протягом 90-х років ХХ століття в Україні фізіологи рослин інтенсивно вивчають дію ВМ на мохи, обґрунтовуючи це їх специфічною анатомо-морфологічною структурою, здатністю пасивно поглинати іони ВМ безпосередньо з повітря усю поверхню тіла, а також широким спектром реакцій на полютанти. [53, 70, 109, 54, 27].

Накопичення важких металів в мохах та фізіологічні ефекти в цих рослинах вивчали ще у 80-х і 90-х роках радянські науковці [6, 28], а також і закордонні вчені [113, 129, 159, 167].

В останні десятиріччя мохи використовують як рослини-індикатори у дослідженні забруднень, зокрема важкими металами [44, 142].

Вивчають толерантність папоротей до різних концентрацій важких металів [114]. Виявили, що деякі папороті затримують ці елементи в коренях, не допускаючи накопичення великих їх кількостей в надземній частині, інші ж – накопичують великі кількості важких металів і мають високу стійкість до них та папороті, що є малостійкими до ВМ.

Групою американських вчених – В. Rathinasabapathi, М. Rangasamy, J. Froeba (2007) – доведено, що деякі папороті (*Pteris vittata* L.) специфічно накопичують деякі солі Арсену (As) з метою протидії шкідникам – коникам *Schistocerca americana* [161]. Звичайно досліджуються і можливі механізми накопичення Арсену (As) папоротями [128]. Крім папоротей, таку властивість мають й інші види рослин, наприклад, *Thlaspi caerulescens* (Ganges), але цей вид накопичує інший важкий метал – Цинк [160], *Sebertia acuminata*, *Alyssum bertolonii* [165, 166] і *Arenaria rubella* [143] накопичують нікель.

Досліджують також впливи ВМ на хвойні рослини. Наприклад, вивчали вплив ВМ в поєднанні з іншими полютантами на фізіолого-біохімічні реакції та поведінку метаболітів в рослинному організмі представників хвойних, [99], вміст цих елементів в соснах [1]. Хвойні використовують для діагностики стану навколишнього природного середовища (метод біоіндикації).

Звичайно ж найбільш важливими для людини є квіткові, та й у природі вони найбільш поширені, тому левова частка досліджень впливів ВМ припадає на цей відділ рослин. Вивчають дію важких елементів на фізіологічні процеси, морфологічну і анатомічну будову, цитогенетику, екологію рослин та ін.

Сучасні дослідження впливу важких металів на рослинний організм

Ще в другій половині 20-го століття проводилась величезна кількість експериментів і було доведено, що важкі метали у надмірних дозах мають негативний вплив на морфологічну та анатомічну будову рослин, так само як і нестача для рослин мікроелементів. У наш час дослідники продовжують детальніше вивчати дію цих елементів на морфологію та анатомію рослинного організму [90]. В цій сфері, наприклад, виявлено, що при вирощуванні сої на ґрунті, забрудненому 50 і 100 ГДК кадмію (Cd) кількість бульбочок на коренях рослин зменшувалась на 30,7 % і 44 % відповідно, а висота стебел – на 14-20% [34].

У 1990-х – 2000-х роках продовжували досліджувати реакцію рослин на важкі метали на фізіологічному рівні [81]. Вже в другій половині 20-го століття вивчали поглинання, транспорт і динаміку

мікроелементів у рослині [175, 176]. Зокрема, досліджували цитологічні та молекулярні механізми потрапляння цих елементів в клітини живих організмів [75].

Звичайно ж, дослідники продовжують активно вивчати процеси накопичення та розподілу ВМ, особливо мікроелементів у рослинах, та фактори, які на це впливають [23, 83, 165, 112, 124]. Так, вивчають накопичення окремих металів: марганцю [134], кадмію [88], нікелю [110] та ін. З'являються нові відомості про транспорт металів у рослинному організмі [125]. Давно відомо, що особливо важливу роль в цих процесах відіграють корені рослин [146]. Поглинання може здійснюватись і позакореневим шляхом – листками і стеблами рослин; це виявили ще в другій половині 20-го століття [120] і продовжують досліджувати в наш час. При цьому дуже важливим є дослідити механізми гіперакумуляції рослинами ВМ [121, 182, 183].

Вивчається динаміка вмісту ВМ в рослині протягом онтогенезу: в насінні, яка розвивається [158], в проростках та органах рослин різних стадій індивідуального розвитку, в пагонах [86], листках [29, 67, 185] зокрема, просторовий розподіл важких елементів у листку в процесі його розвитку [184].

Особлива увага приділяється дослідженню накопичення ВМ у врожаю сільськогосподарських рослин залежно від технологічних прийомів вирощування цих культур [80]; міграції важких металів у системі "грунт-рослина-тварина" [12, 132, 179]; впливу забруднення навколишнього середовища токсичними дозами ВМ та їх нагромадження в рослинних організмах [123].

Інтенсивно вивчається вплив металів – забрудників навколишнього середовища – на мінеральне живлення рослин [126]. Оскільки важкі метали можуть бути антагоністами або синергістами, то звичайно, що потрапляючи в рослинний організм в надлишку, антагоністи будуть пригнічувати метаболізм один одного в рослинному організмі, а синергісти – прискорювати обмін речовин самого рослинного організму. Наприклад, кадмій у рослинах ячменю змінює харчовий статус заліза [171].

Звичайно досліджується нові аспекти впливу ВМ на метаболізм різних органічних речовин в рослинних організмах, наприклад, вивчають дію міді на обмін індол-3-ацетату і лігніну в коренях арахісу [177], вплив свинцю на накопичення аскорбінової, дегідроаскорбінової, дикетоглутонової кислот у проростках соняшника [18], іонів кадмію на вміст вільних амінокислот у рослинах кукурудзи [89]. Вивчають дію кадмію, свинцю на вміст білків і фотосинтетичних пігментів в проростках салату (*Lepidium sativum*) [95].

Вплив на фотосинтез, фотосинтетичний апарат та фотосинтетичні процеси рослин. Оскільки для процесів фотосинтезу є необхідним пігмент хлорофіл, то актуальним питанням є дослідження впливів токсикантів на вміст і накопичення цього пігменту в зеленій частині рослини, що і вивчають останнім часом у різних конкретних диких видів і культурних сортів [33, 21]. Досліджують активність фотосинтезу в залежності від різних ВМ, наприклад, цинку як елемента мінерального живлення [155], вплив різних ВМ, наприклад, кобальту [127] на пігментний склад, електрон-транспортний ланцюг фотосинтетичного апарату рослин; вплив ВМ, зокрема, кадмію [144], на різні реакції фотосистеми II, циклу Кальвіна та інші реакції фотосинтезу.

Лише в 90-х роках почали більш-менш інтенсивно досліджувати дію важких металів на міцність хлорофіл-білково-ліпідного комплексу, який відіграє важливу роль у стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища [8].

Дія ВМ на ферментні системи. Найбільш важливий механізм токсичної дії ВМ на живі організми полягає в пригніченні активності багатьох ферментних систем. Це обумовлено здатністю ВМ вступати в хімічну взаємодію з сульфгідрильними (-SH) групами протеїнів живих організмів, в першу чергу ферментних, а також інших білкових структур. Зміна їх конформаційного стану призводить до блокування протікання ряду біохімічних процесів.

Уже в минулому столітті існувала чимала кількість наукових робіт щодо впливу важких металів як мікроелементів на ферментні системи. В останні десятиріччя продовжується, можливо, ще інтенсивніша робота в цій галузі фізіології як на теренах СНГ, так і в інших країнах світу [81, 178].

Досліджено, наприклад, що мідьвмісна аміноксидаза впливає на вироблення пероксиду, який в свою чергу впливає на закриття продихів у мишачого горошку (*Vicia faba*) [185]. Деякі ферменти рослин мають антиоксидантну дію при стресі, викликаному важкими металами. Такими ферментами є пероксидаза, каталаза, глутатіонредуктаза, гваяколпероксидаза, супероксидна дисмутаза та інші. Науковцями виявлено, що окремі речовини, наприклад, 28-гомобрасинолід, здатні в певних концентраціях підвищувати активність таких ферментів під час оксидативного стресу, тим самим підсилювати стійкість рослин до дії токсикантів [172].

Вивчають впливи конкретних важких металів на активність різних ферментів, наприклад, свинцю на аспартат- і аланіаміотрансферази [17]. Відмічено підвищення активності триптофансинтетази, а також вмісту індулілоцтової кислоти (ІОК) і триптофану в тканинах кукурудзи при внесенні цинку в поживне середовище [40].

Цікавою і потрібною для дослідження є проблема функціонування протонної помпи в рослин [16, 61, 19]. На думку сучасних авторів, найважливіший компонент універсального двигуна практично всіх активних транспортних потоків пролягає через плазматичну мембрану рослинної клітини [147]. Тому важливим є також вивчення впливу важких металів на функціонування цих протон-транспортних насосів клітинних мембран [106, 141].

Крім фізіологічної дії, досліджують також дію важких металів на клітинному [157] та цитогенетичному рівні рослин [9].

Постійно вдосконалюється методика дослідження важких металів. Ще в 90-х роках розроблені методики вивчення впливів солей ВМ на рослинний організм з використанням культури *in vitro* [105, 73].

Стрес рослин, викликаний важкими металами. Стійкість рослин до ВМ

З початку 90-х років ХХ ст. знаходимо багато робіт, в яких викладені дослідження механізмів стійкості рослин до токсикантів, зокрема, до важких металів [26, 130, 115, 164]. Доводять, що стійкість пов'язана з генетичними особливостями популяцій рослин [151; 150; 163]. Це не нова проблема, бо ще в 70-х роках ХХ століття було виявлено, що толерантність популяцій рослин до важких металів переважно високо специфічна і генетично успадковується. Вивчаючи мутації дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae*), Liu X. F., Supek F. та інші (1997) виявили ген BSD2, який попереджує гіпернакопичення деяких металів, наприклад, кобальту [145].

Також досліджують механізми толерантності рослин до надлишку іонів металів на молекулярному рівні [122]. Наприклад, останнім часом виявлено нові хелатори – речовини, які зв'язуються з важкими металами, утворюючи хелати [174], які в свою чергу часто беруть участь у виведенні їх з організму. Так, CaNa_2 -ЕДТА зв'язує та виводить з організму людини свинець, який знаходиться у крові та тканинах внутрішніх органів [87].

Механізми стійкості тісно пов'язані з механізмами поглинання ВМ рослинами. Тому важливо дослідити, які ж механізми кореневого живлення використовують рослини для того, щоб запобігти поглинанню великих кількостей неорганічних елементів, зокрема, ВМ [82]

Особлива увага при вивченні токсичної дії ВМ на рослини завжди надавалась речовинам-протекторам, які здатні підвищувати стійкість рослинних організмів до цих токсикантів. Такими виявились деякі фітогормони [52]. В. І. Баранов, Н. В. Воробець, Н. Д. Романюк, О. К. Сех [59] інтенсивно вивчають вплив регуляторів росту природного та синтетичного походження на стійкість до стресових чинників, зокрема, до важких металів. Відомо, що саліцилова кислота в живих організмах може бути протектором від різних шкідливих впливів. Таку протекторну її властивість підтверджують і проти шкідливої дії кадмію на ячмінь [152]. Вітамінні препарати також можна використовувати як речовини, що знижують токсичний вплив важких металів та радіоактивних елементів на об'єкти рослинного і тваринного походження [74].

Досліджуються еволюційні аспекти розвитку толерантності рослин до важкометалічних стресорів [181]. Хоча здогадувались про це ще в 70-х роках минулого століття [180].

Як відомо, з поняттям стійкості організмів до різних несприятливих факторів пов'язане також поняття стресу. В умовах коли гомеостатичні механізми уже недостатні для підтримання життєдіяльності, а нові генозалежні пристосування ще не завершені через повільну реалізацію (на яку клітина може витратити години і навіть дні), нативність живої системи забезпечується стресовими захисними механізмами. Стресові реакції рослин на молекулярно-клітинному рівні описані в однойменній праці Колупасва Ю. Є. [43].

Оксидативний стрес, який викликають деякі метали, наприклад, кадмій, вивчають і бразильські вчені [137]. Австралійські науковці досліджують захисні властивості мікоризи від тиску токсичних металів на рослинний організм [169].

На думку З. М. Курамшина в співавторстві з Р. М. Хайруллин (Стерлітамакська державна педагогічна академія, Башкирський державний аграрний університет, Уфа) одним із нових підходів до підвищення стійкості рослин до стресів, в тому числі до дії важких металів може стати використання ендоефітних бактерій (*Bacillus subtilis* і др.) для обробки насіння [3].

Рослини при тривалій дії негативних факторів здатні до них адаптуватись, тому активно вивчається питання пристосувань рослин до важких металів [66, 41, 56, 45]. Такі адаптації досліджуються і в широко розповсюджених видів рослин, і в ендеміків [134].

Важливими для захисту рослин від забруднень важкими металами можуть виявитися методи підвищення стійкості рослин проти засолення [118].

Нові методи очистки навколишнього середовища від забруднень важкими металами

Інтенсивно вивчають старі і розробляють нові методи очистки навколишнього середовища від забруднюючих речовин – ВМ [31, 13; 148].

У наш час поширеними є дослідження очистки ґрунтів методом біоремедіації – методології, що з метою детоксикації забруднювачів у ґрунті чи воді використовує мікроорганізми, рослини чи ферменти, що походять з рослин чи мікроорганізмів. Зокрема, перспективною вважається фіторемедіація – використання рослин, щоб ліквідувати, утримати чи трансформувати забруднювачі [58, 72, 119, 116]. Розробляють методи підвищення ефективності фіторемедіації забруднених ВМ ґрунтів [51]. Зокрема, досліджують можливість використання різних порід дерев для фіторемедіації ґрунтів від Cd, Pb, Cu та Cr, а для очищення ґрунтів від надлишків міді – вищезгадану *Ammania baccifera* [111]. Існує ще цілий ряд перспективних для фіторемедіації рослин: *Salix viminalis* [166], *Rumex tiashanicus*, *Rumex patientia*, *Sorghum bicolor* [46] для очистки ґрунтів від кадмію (Cd); *Zea mays* – від свинцю (Pb) [62] та інші.

Також для очищення ґрунтів від ВМ можна використовувати рослини, які здатні утворювати мікоризу [133]. Можливо, це пов'язано з деякими особливостями метаболізму рослин, які здатні утворювати симбіоз з грибами. Наприклад, мікориза стримує індукований кадмієм стрес у гороху [162].

Недавно була знайдена рослина-металофіл *Arabidopsis halleri*, яка здатна накопичувати великі кількості кадмію і цинку – 2,2% і 0,28% від сухої маси відповідно. Вченим-генетикам вдалося вивести сорт виду *Arabidopsis thaliana*, який також накопичує великі кількості цих двох металів. Хоча науковцями [138] ведуться широкі дослідження впливу сольового стресу на метаболізм цієї рослини.

Питання важких металів виступає одним із чинників, який гальмує процес застосування переробки міських відходів та надання у цьому державної підтримки. Цю проблему докладно розглядають співробітники Полтавського національного технічного університету та Полтавської аграрної академії Д. В. Федосеєнко, Д. Д. Федосеєнко [98].

Для вирішення цієї та пов'язаної з нею проблем автори пропонують організувати екологічні полігони для переробки таких відходів за допомогою рослин, а вилучену продукцію застосовувати для отримання енергії та технічної сировини, тобто вони також підтримують методи фітореMediaції і доводять, що це значно дешевше [168] і ефективніше, але потребує більше часу, ніж інші методи. Важливим є те, що ці методи застосовують на практиці. Наприклад, під науковим керівництвом проф. О. І. Терек за участю доцента М. С. Кобилецької та асистента, к.б.н. О. І. Пацули (кафедра фізіології та екології рослин Львівського національного університету імені Івана Франка) розроблено спільний українсько-угорський проект науково-технічного співробітництва на 2007-2008 рр. „Очищення приустьової ділянки ріки Тиса методами «фітореMediaції», який отримав грант на фінансування від Міністерства освіти і науки України.

Звичайно, одна культура або одна лише методика фітореMediaції не може вирішити проблеми забруднення ґрунтів сполуками металів. Тому вчені досліджують можливості інших рослин накопичувати великі кількості металів, а також методи очищення ґрунтів іншими організмами – бактеріям, грибами [108, 35], лишайниками, а також мохами [173].

Крім методів біореMediaції, пропонують для очищення ґрунтів і ряд інших (фізичних, хімічних) методів. Наприклад, науковці Дніпропетровського національного університету та Національного гірничого університету для знешкодження токсичних промислових відходів пропонують використовувати глинисті породи [47]. Їх можна використовувати як для очистки стічних вод і ґрунтів від іонів важких металів та деяких інших промислових відходів, так і для покращення якості ґрунтів та умов *живлення рослин*. Цікавим є метод виділення ВМ з промислових розчинів за допомогою іонообмінної смоли і електродіалізу, який дозволяє попереджувати забруднення оточуючого середовища [170]. Перспективним можна вважати також використання антидотів при забрудненні системи «ґрунт-рослина» [79, 59; 64]. Особливим питанням у наш час є проблема стічних вод як фактору забруднення навколишнього середовища [92]. Відомо, що в осадах стічних вод часто знаходяться солі важких металів [49], тому актуальним і перспективним залишається дослідження намулів, осадів на наявність ВМ, розробка нових і застосування вже існуючих методів очищення їх, застосування ВМ як добрив у збіднених на мікроелементи ґрунтах, вилучення солей металів і т.д.

Зрозуміло, що коло досліджень металів як токсичних елементів і як складових мікродобрив є набагато ширшим, ніж описано в даній роботі. Але в нашій статті ми лише намагалися зробити загальний огляд сучасних досліджень важких металів, їх впливу на навколишнє середовище, зокрема, на рослинний світ. Хоча більшість неописаних досліджень проводяться в межах розглянутих різнобічних аспектів вивчення ВМ.

Висновки

Отже, бачимо, що дослідження впливу важких металів на флору досить широко розгорнуті як у всьому світі, так і в Україні. Вивчаються впливи ВМ на всі групи рослинного світу, їх фізіологію, біохімію, цитогенетику, морфологію і анатомічні особливості та інші аспекти життєдіяльності рослин.

Досліджуються забруднення ґрунтів цими елементами, постійно розробляються нові методи індикації, ідентифікації ВМ та очистки ґрунтів від їх надлишку. Крім того, існують і розробляються нові проекти і гранти на застосування цих методів в практиці.

Важливим завданням сьогодення є застосування розроблених методів зменшення негативного впливу ВМ на навколишнє середовище, впровадження на практиці новітніх методів очистки педосфери від цих поллютантів.

Література

1. *Авениров А. К., Гончаров Г. Н., Исупова Н. В.* О содержании тяжелых металлов и радионуклидов в сосне Павловского парка // Вопросы экологии и охраны природы. – 1994. – №4. – С.106-110.
2. *Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почве и растениях. – Л.: Наука, 1987. – 201 с.
3. Аналитический обзор по тематике Всероссийской конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты исследования симбиотических систем», проведенной в Саратове 25-27 сентября 2007 г. в Институте биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН. – Режим доступа до журналу: http://www.inmi.ru/Microbsociety/documents/obzor_symbioses.doc.

4. Ачасова А. А. Почвенно-экологические условия формирования пространственной неоднородности содержимого трудных металлов в грунтах Левобережной Лесостепи Украины: Дис... канд. биол. наук: 03.00.18. – Х., 2002. – 261арк.
5. Баб'як Н. М. Хімічне забруднення ґрунтів території прилеглої до Луцького сміттєзвалища // Сучасні екологічні проблеми Українського Полісся та суміжних територій. – Ніжин, 2001. – С. 8-10.
6. Байк О. Л., Речевська Н. Я. Реакція мохів на токсичну дію важких металів // Матеріали І-ї Всеукр. Наук. Конф. «Онтогенез рослин в природному та трансформованому середовищі». – Тернопіль, 1998. – С. 6-8.
7. Баранова Н. М. Оцінка забруднення важкими металами сучасних відкладів прибережно-морських екосистем м. Одеси. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 2.
8. Бессонова В. П., Юсипова Т. І. Вплив Вважких металів на стан пігментів у хлоропластах деревних рослин. // Вісник Запорізького державного університету. – №1. – 1998. – Режим доступу до журналу: <http://web.znu.edu.ua/herald/articles/1513.pdf>
9. Белих О. С. Закономірності індукції цитогенетических ефектів у рослин при окремії і сумісній дії важких природних радіонуклідів і металів : Дис. ... канд. біол. наук : 03.00.01. – Сиктивкар, 2005.
10. Боднар О. І. Фізіологічні реакції водоростей на дію іонів металів // Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. – Вип. 417: Біологія. – 2008. – С. 299-301.
11. Бойко Н. В., Кривцова М. В., Чонка І. І., Стефурак В. П., Ніколайчук В. І., Фабрі З. Й. Важкі метали: від поширення у ґрунті до модельної інтоксикації та її біопротекції (на прикладі солі цинку) // Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. Проблеми урбоекології та фітомеліорації. – 2003. – Вип. 13. – № 5. – С.77-85.
12. Бойко Н. В., Чонка І. І., Чонка І. А. Радіологічне обстеження трави і молока в Закарпатській області України та визначення в них умісту деяких важких металів // Наук. Вісник УжНУ. Сер. біол. – 2000. – №8. – С. 151-154.
13. Бокова Т. І. Закономірності детоксикации антропогенных загрязнителей (важких металів) у системі «ґрунт – рослина – тварина – продукт харчування людини» : Дис. ... д-ра біол. наук : 03.00.16. – Новосибірськ, 2005.
14. Бурдин К. С., Золотухина Е. Ю. Тяжелые металлы в водных растениях (аккумуляция и токсичность). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 202 с.
15. Бусько Е. Г., Сидорович Е. А., Рупасова Ж. А. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси. – Мн., 1995. – 319 с.
16. Вахмистров Д. Б., Эн До О. переходной процесс при индукции протонного насоса корневых клеток // Физиология растений. – 1993. – Т.40 – №1. – С.100-104.
17. Воробець Н. М. Активність аспартат- і аланінамінотрансфераз соняшника за дії різних доз свинцю // Физиология и биохимия культурных растений. – 2002. – № 2. – С. 147-151.
18. Воробець Н. М., Микієвич І. М. Вміст аскорбінової, дегідроаскорбінової, дикетоглутонової кислот у проростках соняшника за дії іонів свинцю // Вісник Львівського університету. Серія: біологічна. – 2001. – № 27. – С. 244-251.
19. Воробьев Л. Н. Регулирование ионного транспорта: теоретические и практические аспекты минерального питания растений // Итоги науки и техники. Сер. Физиология растений.– М.: ВИНТИ, 1988. – Т. 5. – С. 179.
20. Гайдукова Н. Г., Кошеленко Н. А., Макарова И. Н. О трансформации тяжелых металлов в пахотном слое выщелоченного Западного Предкавказья.// Научный журнал КубГАУ. – 2007. – №27 (3). – С. 2-8.
21. Гливляс Н. В., Ніколайчук В. І. Вплив важких металів на ріст рослин та вміст хлорофілу в листках *Lotus corniculatus* L. // Науковий вісник УжНУ. Серія: біологія. – Вип. 9. – 2001. – С. 311-313.
22. Грабовський О. В. Міграція та акумуляція важких металів в агроценозах, прилеглих до автомагістралей, в умовах Закарпаття (ґрунт – рослини – тварини): Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.16. – Чернівці, 2002. – 22 с.
23. Гришко В. М., Данильчук О. В. Акумуляція деяких важких металів тополями та особливості міграції елементів у системі «ґрунт-рослина» // Інтродукція рослин. – 2007. – №3. – С. 85-90.
24. Гуменюк Г. Б. Розподіл важких металів у гідроекосистемі прісної водойми (на прикладі Тернопільського ставу): Автореф. дис. канд. біол. наук: 03.00.16. – Чернівці, 2003. – 22 с.
25. Гуральчук Ж. З. Надходження та детоксикація важких металів у рослинах // Живлення рослин: теорія і практика. – К.: Логос, 2005. – С. 438-475.
26. Гуральчук Ж. З. Механізми учойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, №2. – С. 107-117.
27. Демич Ю. А. Содержание тяжелых металлов в объектах окружающей среды и состояние растительных популяций // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. –2006. – №7 (47).

28. Демкив Л. О. Ответные реакции мхов на загрязнение внешней среды // Бриология в СССР, её достижения и перспективы. Конф. Посвящ. 90-летию со дня рождения А. С. Лазаренко. – Львов, 1991. – С. 66-70.
29. Дергунова А. Б., Рахимова Х. Х. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями древесных растений // Материалы II Всероссийской конференции "Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья" (21-22 апреля, 2005 г.). – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та. – 2005. – Т. I. – С. 713-716.
30. Дмитрук Ю. М. Цинк в грунтах і рослинах агроєкосистем Прут-Дністровської височенної лісостепової області // Наук. Вісник Чернівецького ун-ту. Сер. біол. – 1999. – Вип. 39. – С. 179-201.
31. Жигулина О. В. Агроєкологічне обґрунтування способів реабілітації дерено-підзолистих ґрунтів, забруднених важкими металами : На прикладі Рязанської області : Дис. ... канд. с.-х. наук : 03.00.16. – М., 2006.
32. Жовинский Э. Я., Кураева И. В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – К.: Наукова думка, 2002. – 214 с.
33. Журавльова І. М. Вплив важких металів на вміст хлорофілу в зеленій масі ячменю // Охорона та раціональне використання природних ресурсів Українських Карпат: Тези доповідей регіональної конференції, присвяченої 25-річчю біобазу УжНУ в с. Колочава та пам'яті її Фундатора В. Ю. Штаєра (23-25 травня, 2008 р., с. Колочава, Між гірський район Закарпатської області). – Ужгород, 2008. – 132 с.
34. Засць І. Є., Вознюк Т. М., Ковальчук М. В., Крамарьов С. М., Козировська Н. О. Активність консорціуму бактерій в агроценозах сої на забруднених важкими металами чорноземних територіях Придніпров'я // Наука та інновації. – 2007. – Т.3. – № 6. – С. 26-37.
35. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение. – М., 1991. – 151 с.
36. Исидоров В. А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. Пособие. – Санкт-Петербург: Химиздат, 1999. – 144 с.
37. Ігнатюк О. А. Залежність продукційно-енергетичних показників біосистем від рівня забруднення середовища важкими металами: Автореф. дис... канд. біол. наук. – К., 1999. – 19 с.
38. Іутинська Г. О., Петруша З. В., Іваниця В. А., Васильєва Т. В., Сопліна О. М. Токсичність і мутагенна активність важких металів – забруднювачів ґрунту. – № 2. – 2000. – С. 53-56.
39. Капков В. И. Водоросли как биомаркеры загрязнения тяжелыми металлами морских прибрежных экосистем. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук: 03.00.18. – Гидробиология. Москва, 2003.
40. Каракас К. Д., Сидоршина Т. Н., Ермак М. М. Влияние условий обеспечения цинком на рост кукурузы и активность триптофансинтетазы // Физиология и биохимия культурных растений. – 1990. – №1. – С. 47-52.
41. Кобилецька М. С. Адаптація рослин кукурудзи та сої до токсичної дії іонів кадмію: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.12. – Львів: 2003. – 134 с.
42. Козловський В. І. Важкі метали в екосистемах висотного профілю Чорногори (Українські Карпати): Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.16. – Л., 2002. – 20 с.
43. Колупаєв Ю. Є. Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень). – Харків, 2001. – 173 с.
44. Кондратюк С. Я., Кучерявий В. А., Крамарець В. А. та ін. Ліхеноіндикація забруднення повітря в м. Львові // Укр. Ботан. Журн. – 1991. – Т. 48. – №2. – С. 72-76.
45. Коршиков И. И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – К.: Наук. думка, 1996. – 240 с.
46. Кравець О. П. Сучасний стан та проблеми фітоочищення ґрунтів від радіонуклідів і важких металів // Физиология и биохимия культ. растений. – 2002. – Т. 34. – № 5. – С. 377-386.
47. Кроик А. А., Лапицкий В. Н., Борисовская Е. А. Возможности использования глинистых пород для обезвреживания токсичных промышленных отходов // Материалы 3-й международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов", 7-8 февраля 2006 г. – Харьков, 2006. – С. 77-79.
48. Курilenko В. В., Осмоловская Н.Г. Биоиндикаторная роль высших растений при диагностике загрязнений водных экосистем на примере малых водоемов г. Санкт-Петербурга // Водные ресурсы. – 2007. – Т 34. – № 6. – С. 757-764.
49. Кутукова Ю. Д. Стан важких металів у грунтах і нагромадження їхніми рослинами при внесенні опадів, стічних вод і меліорантов : Дис. ... канд. біол. наук : 03.00.27. – М., 2001.
50. Гайсина Л. А., Хайбуллина Л. С. Влияние тяжелых металлов на морфологию почвенной водоросли *Xanthonema Silva* // Почвоведение. – № 3. – 2007. – С. 343-347.
51. Линдман А. В., Шведова Л. В., Тукумова Н. В., Невский А. В. Повышение эффективности фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Сборник материалов 4-й международной

- конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов" 31 января – 1 февраля 2007 г. – Харьков, 2007 – С. 47-48.
52. Лелюк А., Терек О. Використання регуляторів росту рослин як протекторних сполук у разі забруднення важкими металами рослин сої та соняшнику. // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – Вип. 43. – 2007 – С. 228-232.
 53. Лобачевська О. В. Стратегія адаптацій мохів до забруднення довкілля важкими металами // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – К., 2001. – С. 73-76.
 54. Масєвська С., Кардаш О., Демків Л., Лобачевська О. Особливості поглинання іонів важких металів мохом *Plagiomnium undulatum* (Hedw.) // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2000. – Вип. 26. – С. 134-141.
 55. Матвеев В. М. Біоекологічна оцінка залучення важких металів в основні трофічні ланцюги і біогеохімічний круговорот в умовах агрофітоценозів: На прикладі лісостепового Високого Заволжя : Дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. – Самара, 2004.
 56. Микієвич І. М. Роль аскорбінової кислоти та ферментів її метаболізму в адаптації рослин до токсичної дії іонів свинцю: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.12. – Л., 2003. – 20 с.
 57. Михеев О. В. Акумуляція та біогенна міграція кадмію у лісових екосистемах степового Придністров'я: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.16. – Дніпропетровськ, 1996. – 20 с.
 58. Моклячук Л. І. Науково-методичні основи екоотоксикологічного моніторингу і ремедіації забруднених органічними ксенобіотиками ґрунтів. // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук: 03.00.16 – Екологія – К.: ІАЕ УААН, 2008. - 40 с.
 59. Моргул В. В., Мусіяка В. К., Яворська В. К. Історія розвитку фізіології рослин в Україні / Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – К., 2001. – С. 6-19.
 60. Москальчук Л. Н. Средство для снижения степени токсичности загрязненных металлами, в том числе тяжелыми, лесных и сельскохозяйственных почв RU №2041910, С09К 17/14, С09К 101:00, 20.08., Бюл. № 23. – 1995.
 61. Новак В. А., Иванкина Н. Г. Природа электрогенеза и транспорта ионов в растительных клетках // Докл. АН СССР. – 1978. – Т.42. – №5. – С.1229.
 62. Головач О., Козловський В., Демків О. Забруднення сільськогосподарських ґрунтів важкими металами та характер їхнього перерозподілу у рослинах кукурудзи. // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2004. – Вип. 38. – С. 205-21.
 63. Овчаренко М. М. Тяжёлые металлы в системе почва-растение-удобрение // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 4. – С. 8-18.
 64. Овчинников Н. А., Безденежных В. С. Способ реабилитации почв RU №2064748, А01В 79/02, В09С 1/100, 10.08. – 1996.
 65. Пархоменко Н. А. Агроэкологическая оценка действия тяжелых металлов в системе почва-растение : Дис... канд. с.-х. наук : 06.01.04 : Омск, 2004. – 237 с. РГБ ОД, 61:05-6/104.
 66. Пацула О. І. Адаптаційні реакції соняшника до токсичної дії іонів свинцю та кадмію: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.12. – К.: 2006. – 19 с.
 67. Пелецкая И. Г. Содержание тяжёлых металлов в листьях дубов пушистого и скального в условиях юного берега Крыма // Тези Міжнар. конф. «Сучасні екологічні проблеми Українського Полісся та суміжній території». – Ніжин, 2001. – С. 100-101.
 68. Пинский Д. Л., Орешкин В. Н. Тяжёлые металлы в окружающей среде // Экспериментальная экология. – М.: Наука, 1991. – С. 201–213.
 69. Попова А. А. Сезонная динамика и баланс тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве: Автореф. Дис... канд. с.-х. наук. – 1992. – 24 с.
 70. Речевська Н. Я. Адаптація мохів до токсичної дії важких металів. // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. – К., 2001. – С. 98-101.
 71. Риженко Н.О., Кравецький В.М. Оцінка фітотоксичності Cd, Cu, Zn, Pb за умов моно- та мультиметалічного забруднення ґрунту. – № 3. – 2007. – С. 22-24.
 72. Ричак Н.Л. Покращення стану міських ґрунтів шляхом фітомеліорації // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – Харків-Кременчук. – 1999 – Вип.1 (3). – С.171-177.
 73. Rogozinskiy M. S., Shelifost A. E., Kostyshin S. S., Volkov P. A. Действие ионов тяжелых металлов на растения в культуре in vitro // Физиология и биохимия культ. растений. – 1998. – Т. 30. – № 6. – С. 465-471.
 74. Родіна О. В. Застосування вітамінних препаратів для зниження токсичного впливу радіоактивних елементів і важких металів на об'єкти рослинного і тваринного походження: Дис. ... канд. хім. наук : 03.00.16. – М., – 2003.
 75. Романенко А. С., Салаяев Р. К. Электронно-микроскопическое изучение поступления тяжелых металлов в клетки корней растений // Цитология. – 1978. – Т.20. – №5. – С. 491-495.

76. Романюк И.Г., Стрелков А.З., Толкач В.Н. Накопление техногенных поллютантов в лесных экосистемах Беловежской Пуши // Сохранение биологического разнообразия лесов Беловежской Пуши. – Каменюки – Минск, 1996. – 354 с.
77. Рошко В. Г., Грабовський О. В. Оцінка забруднення важкими металами агроценозів, межуючи з автомагістралями // Наук. вісн. УжДУ. Сер. біол. – 1999. – № 6. – С. 259-262.
78. Сагалевич А. М., Москалев Л. И. Хемобиос на дне Тихого океана // Природа. – 1991. – №5. – С.33-40.
79. Самохвалова В. Л. Використання антидотів за забруднення системи ґрунт–рослина важкими металами. Повідомлення 7. Спосіб визначення та прогнозування екологічного стану ґрунту в зоні техногенного забруднення. // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія. – 2008. – Вип. 22. – С. 136-142.
80. Свириденко Д. Г. Вплив технологічних прийомів оброблення зернових культур на нагромадження 137 Cs і важких металів у врожаї і біологічній активності ґрунтів : Дис. ... канд. біол. наук : 03.00.01, 03.00.16. – Обнинск, 2006.
81. Серегин И. В., Иванов В. Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиол. Растений. – 2001. – Т.48. – №4. – С. 606-630.
82. Серегин И. В., Иванов В. Б. Является ли барьерная функция эндодермы единственной причиной устойчивости ветвления корней к солям тяжелых металлов? // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – № 6. – С. 922-925.
83. Серегин И. В., Иванов В. Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – №6. – С. 915-921.
84. Симочко Л. Ю., Єнінгі Р. І. Вплив важких металів на біологічну активність ґрунту придорожних урбанізацій // Науковий вісник УжНУ. Серія: біологія. – 2007. – Вип. 20. – С. 60-64.
85. Скопечская Е. В. Эколого-физиологическая оценка свинцовой нагрузки в системе "грунт- растение" и прогнозирование степени загрязнения агроценозов: Дис... канд. биол. наук: 03.00.16 / Е. В. Скопечская; Киев. нац. ун-т им. Т.Шевченко. – К., 2001. – 165 с.
86. Случик І. Й., Стефурак В. П. Акумуляція важких металів у пагонах видів роду *Populus L.* В умовах урбанізованого середовища // Наук. вісник Чернівецького ун-ту. Сер. біол. – 2000. – Вип. 77. – С. 51-59.
87. Стежка В. А. Науково обґрунтовані принципи і підходи до вторинної медико-біологічної профілактики екологічно обумовленої та професійної патології, пов'язаної з впливом на людину сполук свинцю. Частина II. Фармакологічні засоби профілактики розвитку інтоксикації та детоксикації організму від важких металів // Сучасні проблеми токсикології. – 2006. – № 2.
88. Терек К. В., Юревич М. С., Речевська Н. Я. Нагромадження кадмію проростками кукурудзи та їх реакція на токсичну дію металу // Физиология и биохимия культурных растений. – 2000. – Т. 32. – С. 506–511.
89. Терек О. І., Кобилецька М. С. Вплив іонів кадмію на вміст вільних амінокислот у рослинах кукурудзи // Укр. ботан. журн. – 2002. – Т. 59. – С. 75–79.
90. Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф., Казнина Н.М. Влияние ионов свинца на рост и морфофизиологические показатели растений ячменя и овса // Физиология и биохимия культурных растений. – 2001. – Т. 33. – №5. – С. 387-393.
91. Трансгенные водоросли чистят воду от ртути // Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология». – 2006. – Режим доступа до журналу: <http://www.cbio.ru/>
92. Трахтенберг И.М., Левицкий Е.Л. Приоритетные аспекты развития токсикологии в Российской Федерации (обзор статей, опубликованных в журнале "Токсикологический вестник" в 2001-2002 гг.) // Сучасні проблеми токсикології. – 2002 р. – № 3. – С. 88-91.
93. Тяжелые металлы в донной фауне океанов // Тезисы XVI Международной конференции по морской геологии "Геология морей и океанов". – М., 2005. – Т. I. – С.274-275.
94. Убугунов В.Л., Кашин В.К. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях г. Улан-Удэ. - Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – 2004. – 128 с.
95. Удиванкин А.В. Влияние тяжелых металлов и их смесей на содержание белков и фотосинтетических пигментов в побегах кресс-салата (*lepidium sativum*) // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия. – 2006. – №7 (47). – С. 232-235.
96. Федоненко О.В., Філіппова Є.В., Шарамок Т.С. Оцінка рівня забруднення запорізького водосховища важкими металами за допомогою макрофітів // Науковий вісник УжНУ. Серія: біологія. – Вип. 24. – 2008. – С. 100-103.
97. Федорова А. И., Каверина Н. В. Тяжелые металлы в почвах зоны влияния крупного железнодорожного узла (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского государственного университета: География, геоэкология. – 2001. – №1 – С. 98-104.

98. Федосеєнко Д. В., Федосеєнко Д. Д., Горб О. О. Еколого-економічні аспекти використання міських відходів в сільськогосподарському виробництві: проблема важких металів // Сборник материалов 1-й Международной конференции "Сотрудничество для решения проблемы отходов". – Харьков, 2004. – С. 65-67.
99. Фуксман И.Л. Роль вторичных метаболитов в физиолого-биохимических механизмах реакции сосны обыкновенной на стресс // Вестник Башкирского университета. – 2001. – № 2. – С. 131-133.
100. Химическая энциклопедия (в пяти томах). Т 3: Меди–Полимерные / под. ред. И. Л. Кнунянца (гл. ред.) и др. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1992. – 639 с.
101. Цаплина М. А. Распределение тяжелых металлов в основных компонентах лугового биоценоза // Агрехимия. – 1992. – №9. – С. 76-81
102. Чернова Е. Н., Христофорова Н. К., Вышкварцев Д. И. Тяжелые металлы в морских травах и водорослях залива Посьета Японского моря // Биология моря. – 2002. – Т. 28. – № 6. – С. 425-430.
103. Чугунова М. В. Влияние тяжёлых металлов на почвенные микробиоценозы и их функционирование: Автореф. дис. канд. биол. наук. – 1990. – 17 с.
104. Шейкина Е. Ю., Мислюк О. А. Экологическая оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами вдоль основных транспортных магистралей города Черкассы // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – №1.
105. Шелифост А. Е., Павельчук Г. И., Костышин С. С., Волков Р. А. Использование культуры in vitro для изучения влияния тяжелых металлов на растения // Тез. докл. Всесоюзн. конф. "Достижения биотехнологии – агропромышленному комплексу". – Черновцы, 1991. – Т. 2. – С. 60.
106. Шемет С. Вплив кадмію на ріст і ацидофікуючу активність паростків кукурудзи. // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – Вип. 35.– 2004. – С. 257-261.
107. Шумейко В. М., Овруцький В. М., Глуховський І. В. Екологічна токсикологія: предмет, поняття, джерела виникнення. // Сучасні проблеми токсикології. – 1998. – № 1. – С. 55-63.
108. Щелов А.И., Цветнова О.Б. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения. // Биология и медицина, 9 с. – Режим доступа до журналу http://www.csr.spbu.ru/pub/RFBR_publications/articles/biology/2004/griby'_bioindikatory'_04_bio.pdf.
109. Щербатенко О. Маєвська С. Адаптивні реакції мохів на вплив іонів свинцю. // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. – 2006. – Вип. 41. – С. 137-141.
110. Ягодин Б. А. Никель в системе почва-удобрение-растения-животные и человек. // Агрехимия. – 1991. – №1. – С. 128-137.
111. Alex-Alan F. de Almeida, Valle Raúl R., Mielke Marcelo S., Gomes Fábio P. Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr // Braz. J. Plant Physiol., 2007. – vol.19, №2. – P. 83-98.
112. Angelova V., Ivanova R. and Ivanov Kr. Study accumulation of heavy metals by plants in field condition // Geophysical Research Abstracts. – 2005. – Vol. 7. – 03931, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-03931.
113. Anthonovich J., Shaw J. Inter- and intraspecific variation of mosses in tolerances to copper and zinc // Evolution (USA). – 1987. – P. 1312-1325.
114. Anthony G., Kachenko A. C., Balwant Singh A., Naveen P., Bhatia B. Heavy metal tolerance in common fern species // Australian Journal of Botany. – 2007. – Vol. 55. – №1. – P. 63-73.
115. Baker A. J. M., Reeves R. D., Hajar A. S. M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. and C. Presl (Brassicaceae) // New Phytol. – 1994. – №127. – P.61–68.
116. Barocsi Attila, Csintalan Zsolt, Kocsanyi Laszlo, Dushenkov Slavik, Kuperberg J. Michael, Kucharski Rafal, Richter Peter I. Optimizing Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Exploiting Plants' Stress Adaptation // International Journal of Phytoremediation. – 2003.– Vol. 5. – Issue 1. – P. 13-23.
117. Barcelo J., Poschenrieder Ch. Plant-water relations as affected by heavy metal stress: a review // J. Plant Nutr. – 1990. – Vol.13, №1. – P. 1-37.
118. Bohnert H. J., Jensen R. G. Metabolic Engineering for Increased Salt Tolerance – the Next Step // Functional Plant Biology. – 1996. – Vol. 23. – № 5. – P. 661-667.
119. Bollag J.-M., Bollag V. B., Soil contamination and the feasibility of biological remediation // Bioremediation. Science and Applications / Skipper H.D., Turco R.F. eds. – Wisconsin (USA), 1995. – P.1-12.
120. Bowen J. E. Absorption of Copper, Zinc, and Manganese by Sugarcane Leaf Tissue. // Plant Physiol. – 1969. – № 44 (2). – P. 255–261.
121. Brooks R. R. Geobotany and hyperaccumulators. // Plants that hyperaccumulate heavy metals / Brooks RR (ed). CAB International,. – Wallingford (UK), 1998. – P. 55–94.
122. Clemans S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // Planta. – 2001. – Vol. 212, № 4. – P. 475-486.

123. *Conesa H. M., Faz A, Arnaldos R.* Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). // *Sci Total Environ.* 2006. – 31, 366(1) – P. 1-11.
124. *Deng D. M., Shu W. S., Zhang J., Zou H. L., Ye Z. H., Wong M. H.* Zinc and cadmium accumulation and tolerance in populations of *Sedum alfredii*. // *Environ Pollut.* – 2007. – № 147. – P. 381-386.
125. *Ducic T., Polle A.* Transport and detoxification of manganese and copper in plants // *Braz. J. Plant Physiol.* – vol.17 no.1. – 2005.
126. *Varenes A., Torres M. O., Coutinho J. F., Rocha M. M. G. S., Neto M. M. P. M.* Effects of heavy metals on the growth and mineral composition of a nickel hyperaccumulator. // *J. plant nutr.* – 1996. – Vol.19. – № 5 – P. 669-676.
127. *El-Sheekh M.M., El-Naggar A.H., Osman M. E. H., El-Mazaly E.* Effect of cobalt on growth, pigments and the photosynthetic electron transport in *Monoraphidium minutum* and *Nitzschia perminuta* // *Braz. J. Plant Physiol* – 2003. – Vol. 15, №3.
128. *Fayiga A. O., Ma L. Q.* Using phosphate rock to immobilize metals in soil and increase arsenic uptake by hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Sci Total Environ.* // *Sci Total Environ.*, 2005.
129. *Folkenson L.* Heavy metal accumulation in the moss *Pleurozium schreberi* on the surroundings of two peat-fired power plants in Finland // *Ann. Bot. Fen.* – 1981. – Vol. 18. – № 3. – P. 245-253.
130. *Gabbrielli R., Mattioni, C., Vergnano, O.* Accumulation mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator. // *J. Plant Nutr.* – 1991. – Vol. 14. – № 10. – P.1067-1080.
131. *Gardea-Torresdey J. L., Polette L., Arteaga S., Tiemann K.J., Bibb J., Gonzalez J.H.* Determination of the content of hazardous heavy metals on *Larrea tridentata* grown around a contaminated area. // *Proceedings of the Eleventh Annual EPA Conf. On Hazardous Waste Research / Edited by L.R. Erickson, D.L. Tillison, S.C. Grant and J.P. McDonald, Albuquerque, NM.* – 1996. – P. 660.
132. *Gardea-Torresdey J. L., de la Rosa G, Peralta-Videa J. R., Montes M., Cruz-Jimenez G., Cano-Aguilera I.* Differential uptake and transport of trivalent and hexavalent chromium by tumbleweed (*Salsola kali*). // *Arch Environ Contam Toxicol.* – 2005. – Vol. 48, № 2. – P. 225-232.
133. *Gohre Vera, Paszkowski Uta.* Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation // *Planta.* – 2006. – № 223. – P. 115-1122.
134. *González A., Lynch. J.P.* Subcellular and tissue Mn compartmentation in bean leaves under Mn toxicity stress // *Functional Plant Biology.* – Volume 26. – № 8. – 1999. – P. 811-822.
135. *Gemici U., Tarcan G.* Assessment of the pollutants in farming soils and waters around untreated abandoned Türkönü mercury mine (Turkey). // *Bull Environ Contam Toxicol.* – 2007. – Vol. 79. – №1. – P. 20-24.
136. *Goncalves, J., Becker F., Alexssandro G., Cargnelutti, D. et al.* Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedlings // *Braz. J. Plant Physiol.* – 2007. – Vol. 19. – № 3. – P. 223-232.
137. *Jae Kwang Kim, Takeshi Bamba, Kazuo Harada, Eiichiro Fukusaki, Akio Kobayashi.* Time-course metabolic profiling in *Arabidopsis thaliana* cell cultures after salt stress treatment // *Journal of Experimental Botany.* – 2007. – Vol. 58. – № 3. – P. 415-424.
138. *Jung M.C., Thornton I., Chon H.T.* Arsenic, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of the Dalsung Cu-W mine in Korea. // *Sci Total Environ.* – 2002. – Vol. 295. – № 1-3. – P. 81-90.
139. *Kim M.J., Jung Y.* Vertical distribution and mobility of arsenic and heavy metals in and around mine tailings of an abandoned mine. // *J. Environ. Sci Health A Tox Hazard Subst. Environ. Eng.* – 2004. – Vol. 39. – № 1. – P. 203-222.
140. *Kim M. J., Ahn K. H., Jung Y., Lee S., Lim B. R.* Arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, and zinc contamination in mine tailings and nearby streams of three abandoned mines from Korea. // *Bull Environ Contam Toxicol.* – 2003. – Vol. 70(5). – P. 942-791.
141. *Kollmeier M., Felle H. H., Horst W. J.* Genotypical differences in aluminum resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduced basipetal auxin flow involved in inhibition of root elongation by aluminum? // *Plant Physiol.* – 2000. – Vol. 122. – P. 945-956.
142. *Kozanecka T., Chojnicki J., Kwawowski W.* Content of heavy metals in plant from pollution-free regions // *Polish Journal of Environmental Studies.* – 2002. – Vol. 11. – №. 4. – P. 395-39.
143. *Kruckeberg A. R., Peterson, P. J., Samiullah Y.* Hyperaccumulation of nickel by *Arenaria rubella* (Caryophyllaceae) from Washington State // *Madrono West Am J Bot.* - 1993. – Vol. 40, № 1. – P. 25-30.
144. *Küpper H., Parameswaran A., Leitenmaier B., Trtílek M., Šelík I.* Cadmium-induced inhibition of photosynthesis and long-term acclimation to cadmium stress in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* // *New Phytologist.* – 2007. – Vol. 175 (4). – P. 655-674.
145. *Liu X. F., Supek, F., Nelson N., Culotta V. C.* Negative control of heavy metal uptake by the *Saccharomyces cerevisiae* BSD2 gene // *J. biol. chem.* – Vol. 272:18. – 1997 – P. 11763-11769.

146. *Maas E. V., Ogata G.* Absorption of Magnesium and Chloride by Excised Corn Root. // *Plant Physiol.* – 1971. – Vol. 47(3). – P. 357–360.
147. *Marré E.* Integration of Soule Transport in Cereals // *Recent Advances in the Biochemistry of Cereals* / Ed. D.L. Laidman, R.G. Win Jones. London et. al.: Acad. Press. –1979. – P. 3.
148. *Mc Grath S. P., Cunliffe C. H.* A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges. // *J. Sci. Food. Agric.* – 1985. – № 36. – P. 794-798.
149. *Meagher R. B.* Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. // *C. Op. in Plant Biol.* – 2000. – № 3. – P. 153-162.
150. *Mengoni A., Barabesi C., Gonnelli C., Galardi F., Gabbrielli R., Bazzicalupo M.* Genetic diversity of heavy metal-tolerant populations in *Silene paradoxa* L. (Caryophyllaceae): a chloroplast microsatellite analysis // *Mol Ecol.* – 2001. – № 10. – P. 1909-1916.
151. *Mengoni A., Gonnelli C., Galardi F., Bazzicalupo M.* Genetic diversity and heavy metal tolerance in populations of *Silene paradoxa* L. (Caryophyllaceae): a random amplified polymorphic DNA analysis. // *Mol Ecol.* 2000. – №9:1319-1324.
152. *Metwally A., Finkemeier I., Georgi M., Dietz K. J.* Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings // *Plant Physiology.* – 2003. – Vol. 132. – P. 272-281.
153. *Milton A., Johnson M.* Arsenic in the food chains of a revegetated metalliferous mine tailings pond. // *Chemosphere.* – 1999. – Vol. 39, № 5. – P. 765-79.
154. *Milton A, Johnson M.S, Cook J.A.* Lead within ecosystems on metalliferous mine tailings in Wales and Ireland // *Sci Total Environ.* – 2002. – № 1. – Vol. 299 (1-3). – P. 177-190.
155. *Monnet F., Vaillant N., Hitmi A., Sallanon H.* Photosynthetic activity of *Lolium perenne* as a function of endophyte status and zinc nutrition // *Functional Plant Biology* – Volume 32. – № 2. – 2005 – P. 131-139.
156. *Morton-Bermea O., Carrillo-Chávez A., Hernández E., González-Partida E.* Determination of metals for leaching experiments of mine tailings: evaluation of the potential environmental hazard in the Guanajuato mining district, Mexico // *Bull Environ Contam Toxicol.* – 2004. – 73 (4). – P. 770-776.
157. *Ortega-Villasante C., Rellán-Álvarez R., Del Campo Francisca F., Carpena-Ruiz Ramón O., Hernández Luis E.* Cellular damage induced by cadmium and mercury in *Medicago sativa*. // *Journal of Experimental Botany.* – 2005. – 56(418) – P. 2239-2251.
158. *Pearson J. N., Rengel Z., Jenner C. F., Graham R. D.* Dynamics of zinc and manganese movement in developing wheat grains // *Functional Plant Biology.* – 1998. – Vol. 25. – № 2. – P. 139-144.
159. *Pakarinen P.* Metal content of ombrotrophic Sphagnum mosses in NW Europe // *Ann. Bot. Fenn.* – 1981. – Vol.18., № 4. – P. 281-292.
160. *Pollard A. J., Baker, A. J. M.* Deterrence of herbivory by zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae) // *New phytol.* – 1997. – Vol.135, № 4. – P.655-658.
161. *Rathinasabapathi B., Rangasamy M., Froeba J., Cherry R. H., McAuslane H. J., Capinera J. L., Srivastava M., Ma L. Q.* Arsenic hyperaccumulation in the Chinese brake fern (*Pteris vittata*) deters grasshopper (*Schistocerca americana*) herbivory // *New Phytologist.* – 2007. – Vol 175. – №2. – P. 363–369.
162. *Rivera-Becerril F., Calantzis C., Turnau K., Caussane Jean-Pierre L., Belimov Andrei A., Gianinazzi Silvio, Strasser Reto J., Gianinazzi-Pearson V.* Cadmium accumulation and buffering of cadmium-induced stress by arbuscular mycorrhiza in three *Pisum sativum* L. genotypes // *J. Exp. Bot.* – 2002. – Vol. 53. – P. 1177-1185.
163. *Ross K., Cooper N., Bidwell J.R., Elder J.* Genetic diversity and metal tolerance of two marine species: a comparison between populations from contaminated and reference sites. // *Mar Pollut Bull.* – 2002. – Vol. 44.– P. 671–679.
164. *Rossens N., Verbruggen N., Meerts P., Ximénez-Embgen P., Smith J.A.C.* Natural variation in cadmium tolerance and its relationship to metal hyperaccumulation for seven populations of *Thlaspi caerulescens* from Western Europe. *Plant Cell Environ.* – 2003. – № 26. – P.1657–1672.
165. *Sagner S., Kneer R., Wanner G., Cosson J. P., Deus Neumann B., Zenk M. H.* Hyperaccumulation, complexation and distribution of nickel in *Sebertia acuminata*. // *Phytochemistry Oxford.* – 1998. – Vol. 847, № 3. – P. 339-347.
166. *Saxena P. X., Krishna Raj S., Dan T. et al.* Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soils // *Heavy metal stress in plant: from molecules to ecosystems.* Prasad M. N. V., Hagemeyer J. Springer-Verlag Berlin Heilaleberg. – 1999. – P. 305-331
167. *Schaw J.* Metal tolerance in Bryophytes // *Metal tolerance in Plants: Evolutionary Aspects.* Boca Raton. – 1990. – P. 133-152.
168. *Schnoor J. L.* Phytoremediation of Soil and Groundwater. // *The University of Iowa. GWRTAC.* – 2002. – P. 29. – tab.8.
169. *Schützendübel A., Polle A.* Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization // *J. Exp. Bot.* – 2002. – № 53. –P. 1351-1365.

170. Spoor P. B., Janssen L. J. J. Removal of heavy metal ions from dilute process solutions by ion-exchange resin assisted electrodialysis // *Electrochemistry at the Turn of the Millennium*. – Annu. ISE Meet. Warsaw, 2000. – 51st / 589 c.
171. Sharma S., Kaul S., Metwally A., Goyal K., Finkemeier I., Dietz K. J. Cd phytotoxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status. *Plant Science*. – 2004. – Vol.166. – №5. – P. 1287-1295.
172. Sharma S., Priyanka N., Bhardwaj Renu, Arora Nitika et al. Effect of 28-homobrassinolide on growth, zinc metal uptake and antioxidative enzyme activities in *Brassica juncea* L. seedlings // *Braz. J. Plant Physiol.* – 2007.– Vol. 19. – №.3. – P. 203-210.
173. Steinnes E. Long-range atmospheric transport to Norway studied by moss analysis using ICP-MS // *ICP Inf. Newslett.* – 2001. – Vol. 26.– № 12.
174. Stephan Clemens. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. // *Planta*. – 2001. – Vol. 212. – № 4. – P. 475-486.
175. Tiffin L. O. Translocation of Nickel in Xylem Exudate of Plants // *Plant Physiol.* – 1971. – Vol. 48, №3. – P. 273-277.
176. Tiffin L. O. Translocation of Manganese, Iron, Cobalt, and Zinc in Tomato // *Plant Physiol.* – 1967. – Vol. 42. – № 10. – P. 1427-1432.
177. Tsai-Chi Li, Teng-Yung Feng, Wen-Shaw Chen, Zin-Huang Liu. The acute effect of copper on the levels of indole-3-acetic acid and lignin in peanut roots // *Functional Plant Biology*. – Vol. 28, № 4. – 2001. – P. 329-334.
178. Vatamaniuk O. K., Mari S., Lu Yu-Ping, Rea P. A. Mechanism of heavy metal ion activation of phytochelatin (PC) synthase: blocked thiols are sufficient for PC synthase-catalyzed transpeptidation of glutathione and related thiol peptides // *The journal of biological chemistry*. – 2000 – Vol. 275. – №. 40. – P. 31451–31459.
179. Weis J.S., Weis P. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. // *Environ Int.* – 2004. – Vol. 30. – № 5. – P. 685-700.
180. Wu L., Bradshaw A. D., Thurman D. A. The potential for evolution of heavy metal tolerance in plants. III. The rapid evolution of copper tolerance in *Agrostis stolonifera* // *Hereditas*. – 1975. – № 34. – P. 165-187.
181. Wu L. Colonization and establishment of plants in contaminated environments // *Shaw A.J. (ed). Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects*. – CRC Press, Boca Raton, FL. – 1990. – P. 269-284.
182. Yang X. E., Long X. X., Ni W. Z., Fu C. X. *Sedum alfredii* Hance: a new Zn hyperaccumulating plant first found in China. // *Chin Sci Bull.* – 2002. – № 47. – P. 1634-1637.
183. Yang X. E., Long X. X., Ye H. B., He Z. L., Calvert D. V., Stoffella P. J. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). // *Plant Soil*. – 2004. – № 259. – P. 181–189.
184. Yuncai Hu., Sabine von Tucher, Urs Schmidhalter. Spatial distributions and net deposition rates of Fe, Mn and Zn in the elongating leaves of wheat under saline soil conditions. // *Functional Plant Biology*. – Vol. 27. – № 1. – 2000. – P. 53-59.
185. Zhenfeng A., Wen J., Youliang L., Wenhua Z. Hydrogen peroxide generated by copper amine oxidase is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba* // *Journal of Experimental Botany*. – 2008. – Vol. 59, № 4. – P. 815-825.

Стаття поступила до редакції: 01.10.2008; прийнята до друку 11.10.2008.

Біланч М. М. – аспірант кафедри генетики, фізіології рослин і мікробіології Ужгородського національного університету.

Рецензент: доктор біологічних наук, професор Парпан В. І. – завідувач кафедрою біології та екології Прикарпатського національного університету.