

# НАУКОВІ ОСНОВИ ФІТОТОКСИКОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Н. О. РИЖЕНКО

*Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,  
кафедра екологічної безпеки  
Київ-035, вул. Митрополита Василя Липківського, 35,  
e-mail: alsko2011@ukr.net,*

*У статті висвітлено наукові основи фітотоксикології як наукового напрямку, що почав формуватися у процесі досліджень патогенезу рослин у зв'язку із техногенними забрудненнями екосистем та наслідків дії токсикантів на функціонування рослинних організмів. Обґрунтовано теоретичне і прикладне значення фітотоксикологічних досліджень в агро- та природних екосистемах. Предметом фітотоксикології є оцінка впливу політанта на фітокомпонент екосистеми, об'єктом – фітотоксичні властивості політантів, їх вплив на фітокомпонент екосистеми. Висвітлено загальні принципи фітотоксикологічного оцінювання небезпечності політантів в екосистемах на прикладі металів. Наведено схеми міграції металів у агро- та природних екосистемах. Запропоновано загальну формалізацію міграції політантів у екосистемі на прикладі металів:  $I_m = E_m + A_k$ , де  $I_m$  – імміграційна складова,  $E_m$  – еміграційна складова,  $A_k$  – акумульована складова. Це співвідношення характеризується фітотоксикологічною валентністю екосистеми та фітотоксикологічною небезпечністю забрудника. Фітотоксикологічна валентність екосистеми – здатність рослинного комплексу зберігати гомеостаз в результаті імміграції алохтонного компоненту в екосистему. Фітотоксикологічна валентність визначає міру здатності екосистеми пристосовуватися до імміграції алохтонних речовин (металів). Фітотоксикологічна небезпека залежить від властивостей забрудників, їх дози та середовища. Запропоновано градація екосистем залежно від різного співвідношення акумульованої та еміграційно частини політантів: 1. Транзитний тип, коли:  $\Delta E_m > \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$  – частка еміграційної складової політантів,  $\Delta A_k$  – частка акумульованої складової політантів. Фітотоксикологічна валентність максимальна, фітотоксикологічна небезпека для екосистеми прямує до нуля. 2. Акумулятивний тип, коли:  $\Delta E_m < \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$  – частка еміграційної складової політантів,  $\Delta A_k$  – частка акумульованої складової політантів. Фітотоксикологічна валентність зменшена, фітотоксикологічна небезпека значно зростає. 3. Комбінований (транзитно-кумулятивний) тип, коли:  $\Delta E_m \approx \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$ . Фітотоксикологічна валентність низька, фітотоксикологічний небезпека висока. Кількість та частка алохтонних речовин (металів), що акумулюються в підсистемах «Рослина» та «Ґрунт» характеризують рефлексію фітокомпонента екосистеми – здатність екосистеми реагувати на дію забрудника. Така здатність лежить в основі порогової концепції токсичності (залежність «доза-ефект»), яка дає можливість кількісно оцінити фітотоксичний ефект забрудника.*

*Ключові слова: фітотоксикологія, агро- та природні екосистеми, метали, токсичність, фітокомпонент, біокумуляція, алохтонні речовини*

Протягом 2 млн. років людство перебувало у рамках гомеостазу з біосферою. Гомеостаз підтримувався анімістським світоглядом (Зубаков, 2003). Ця стратегія життя закінчилась, коли людство навчилось експлуатувати природні ресурси. Результатом природопідкорюваної стратегії став вихід еволюції на рубіж тотальної екокатастрофи, перейшовши який біосфера може одним стрибком перетворитися на техносферу (Шеляг-Сосонко, 2008; Ситник, 2003). На сьогодні втрата продуктивних земель порівняно із середньорічним темпом за 10 тис. років цивілізації збільшилась у 30 разів, дегуміфікація ґрунтів зросла у 24 рази, при цьому середній приріст врожайності за останні 50 років дорівнював лише 30%. Зникнення загрожує більше, ніж 26 тисячам видів рослин та тварин Землі, зокрема, близько 1000 в Україні (Шеляг-Сосонко та ін., 2003; Ситник, 2003; Зубаков, 2003). Геологічна динаміка загально біосферних

екологічних криз спричиняється, безсумнівно, антропофактором (Реймерс, 1994). Головну роль у збалансованому розвитку біосфери відіграє, як відомо, закон чисельності особин у трофічному ланцюгу (Ситник, 2003; Дедю, 1990). Це саморегулююча система із продуцентів-консументів-редуцентів, кількість особин яких щороку коливається у межах певної середньої величини (Реймерс, 1994). Тим самим забезпечується збалансований кругообіг речовини, а отже, і компонента та територіальна екологічна рівновага (Реймерс, 1994; Ситник, 2003). Рослинність є джерелом утворення фітомаси та відіграє провідну роль у наявності повноцінних умов здорового функціонування людини, слугуючи не тільки фабрикою кисню, важливим фактором ґрунтоутворного процесу, продуцентом у трофічних ланцюгах, останньою ланкою яких є людина, але й глобальним фільтром біосфери, виконуючи роль буферу, на

який припадає надходження суттєвої частки забруднюючих речовин. Рослинність відіграє провідну роль у забезпеченні збалансованого кругообігу речовини, а отже, і екологічної рівноваги екосистем, створюючи тонку плівку життя — фітострому, загальним вектором розвитку якої є збільшення різноманіття, організованості, стабільності, диференційованості та адаптованості до умов середовища відповідно до її енергоакумулюючої, геохімічної, стабілізуючої та інформаційної планетарної ролі. Фітострома, акумулюючи енергію Сонця і продукуючи біомасу, забезпечує функціонування біосфери, її постійний склад і територіальну та компоненту динамічну рівновагу (Реймерс, 1994; Ситник, 2003). До індикаторних процесів глобальної екокризи В. Зубаков (Зубаков, 2003) відносить геохімічне забруднення повітря, води і ґрунтів, геохімічне отруєння біоти в результаті металізації, хемотоксикації, радіотоксикації, а також активізацію процесів техногенезу і порушення біогеохімічних кругообігів у біосфері. Від основної функції екосистем – здатності накопичувати енергію в органічній речовині, по-іншому, продуктивності, від її розмірів та динаміки повністю залежить життя всього існуючого на Землі. Продуктивність – найбільш важливий показник природних угруповань. Звідси випливає очевидна необхідність дослідження цієї категорії та її використання рослинами (Реймерс, 1994). В умовах будь-якого типу забруднення металами вивчення фітопродукційного процесу є особливо важливим, оскільки показник продуктивності відбиває енергетичне зміщення в екосистемі, яке викликає кількісні (зменшення продуктивності) та якісні зміни (збільшення вмісту поллютантів в рослині та зменшення необхідних речовин для самої рослини та консументів).

Виникнення парадигмального оформлення науки є об'єктивним явищем кристалізації певних знань, що виокремились у процесі соціально-економічного розвитку суспільства (Риженко, 2005, 2006, 2009). Фітотоксикологія як науковий напрямок почала формуватися у процесі генетичних, біохімічних та фізіологічних досліджень патогенезу рослин на організменному, популяційному і фітоценотичному (біогеоценотичному) рівнях у зв'язку з аномальним станом та розвитком абіотичних факторів (під останніми розуміється все розмаїття хронічного та імпаکتного

забруднення екосистем хімічного та фізико-хімічного походження), тобто йдеться про дослідження наслідків дії токсикантів на функціонування рослинних організмів. Фітотоксикологія (грец. *phyto* – рослина, *toxikon* – отрута, *logos* – зміст, поняття, судження, підстава) – науковий напрямок, який вивчає токсичні впливи на рослини, викликані природними або синтетичними забрудниками, на організменному, популяційному і фітоценотичному (біогеоценотичному) рівнях. Як правило, токсичні впливи на фітокомпонент екосистеми пов'язані із аномальним станом та розвитком абіотичних факторів, тобто зазвичай досліджують природу механізмів та наслідків дії токсикантів на функціонування рослинних організмів.

Теоретичною передумовою фітотоксикологічного дослідження є явище міграції алохтонних речовин (зокрема, металів) у екосистемі, що має соціокультурну мотивацію. Походження мотивації, безперечно, пов'язано із цільовими причинами отримання комфортних умов існування людини (внесення агрохімікатів для підвищення продуктивності агроекосистем, викиди в атмосферне повітря для отримання енергії тощо). У зв'язку з цим перелік елементів у геохімічних аномаліях, які утворюються в результаті порушення біогеохімічних циклів речовин, на певному етапі розвитку суспільства є відносно постійним. За думкою багатьох авторів типовий склад геохімічної техногенної аномалії сучасності є таким: Pb, Cu, Zn, Mo, Ba, Co, Mn, Fe, Ni, As, оскільки їх накопичення в довкіллі триває високими темпами (Прохорова и др., 1996; Brian et al., 2010). У початковий період формування індустріального розвитку суспільства крупні техногенні аномалії утворювались значною кількістю (більше 10) числом хімічних елементів. Елементи з найбільшою контрастністю (із більшим відносним вмістом) отримали назву пріоритетних забруднювачів. На наступному етапі розвитку науково-технічного прогресу асоціація складу геохімічної аномалії значно розширилась. Згідно еколого-геохімічного закону В.А. Алексеєнко, асоціації хімічних елементів, що утворюють крупні техногенні геохімічні аномалії, визначені в основному рівнем розвитку науки і техніки у період забруднення (Реймерс, 1994). Поступово перелік техногенних джерел надходження токсичних металів у екосистемі розширюється (рис.1).



*Рис. 1. Основні техногенні джерела надходження токсичних металів у екосистеми (Гончарук, Загоскіна, 2017)*

За часовою складовою забруднення (у результаті соціокультурної мотивації) може бути системним (з різною періодичністю та тривалістю), або імпульсним (разова акумулятивна ситуація з різною кількісною складовою) (Козьякова, 2002). Оскільки явище міграції алохтонних речовин (металів) має апріорно патогенетичну направленість на певні рослинні комплекси різної структурно-функціональної фрагментації, екосистемне пізнання є очевидно аксіоматичним.

Предметом запропонованого наукового дослідження, є актуальне явище алохтонного забруднення речовин (металів) антропогенного походження у природні та агроекосистеми (Реймерс, 1994). Дослідження включає два типи екосистем, що репрезентують найбільш розповсюджений сучасний рослинний покрив в Україні – природні та агроекосистеми, оскільки агроекосистеми займають більше 70 % площ держави. Природні ж екосистеми, які представляють природно-заповідний фонд, складають біля 6 %, лісогосподарські ландшафти – до 15% території країни (Ситник, 2003).

Агроекосистеми за типом системної організації є складними енергетично регульованими людиною екосистемами. Пізнання їх забезпечує неklasичний тип раціональності (дуалістичний дискретний та континуальний аналіз екосистем) (Реймерс, 1994; Дедю, 1990) у зв'язку із типом життєвого циклу (як правило, однорічні культури) та структурно-функціональної організації (звичайно простою структурою). Природні (нативні) екосистеми з точки зору системної організації є складні системи, що здебільшого розвиваються самостійно розвиваються на фоні несуттєвого впливу з боку людини. Динаміку цього типу екологічних систем спричиняє безперервний кругообіг мінеральних речовин. Ентропія такої

екосистеми прямує до нуля (Дедю, 1990). Природні екосистеми за структурно-функціональною організацією порівняно до агроекосистем більш складні, саморегулюються, життєвий цикл їх триває десятками, сотнями років.

У фітотоксикології, як у біологічній науці, існують емпіричні узагальнення поряд із обов'язковими винятками, а тому вони пояснюють тільки певну частину явищ, що досліджують і не завжди пропонують нові факти. Останнє пов'язано із тим, що ми намагаємось у відкритих системах (агро- та природних екосистемах) використовувати класичні методи пізнання. Однак, як зазначає Реймерс, існує багато екологічних узагальнень, що достатньо надійно передбачають нові факти, а логічні закономірності, хоча, і відомі, але ж залишаються важливими узагальненнями (Реймерс, 1994). Крім того, поняття і зміст класичного ряду законів, зокрема, з термодинаміки, що є дійсними виключно для закритих систем (наприклад, щодо ентропії системи) наповнюється іншим змістом за впливу людини. Екосистемне пізнання фітотоксикологічного дослідження передбачає формалізацію змістовних рамок поняття екосистеми, якій властиві: саморозвиток, динамічність (добова, багаторічна, сезонна динаміка, еволюція), саморегуляція компонентів та холистичність (системність, упорядкованість), емерджентність, інваріантність, позиційність, дискретність-континуальність, закономірний (специфічний) матеріально-енергетичний інформаційний потік (Шеляг-Сосонко, 2008). Тому її функціонування ґрунтується на специфічних функціональних екологічних законах. Сучасне уявлення про екосистемний рівень організації речовини та енергії наведено у аксіомі дискретності-континуальності, згідно

якої структурно-функціональні та інформаційні межі компонентів у векторном оцінюванні не співпадають з морфологічними межами екосистеми (Реймерс, 1994).

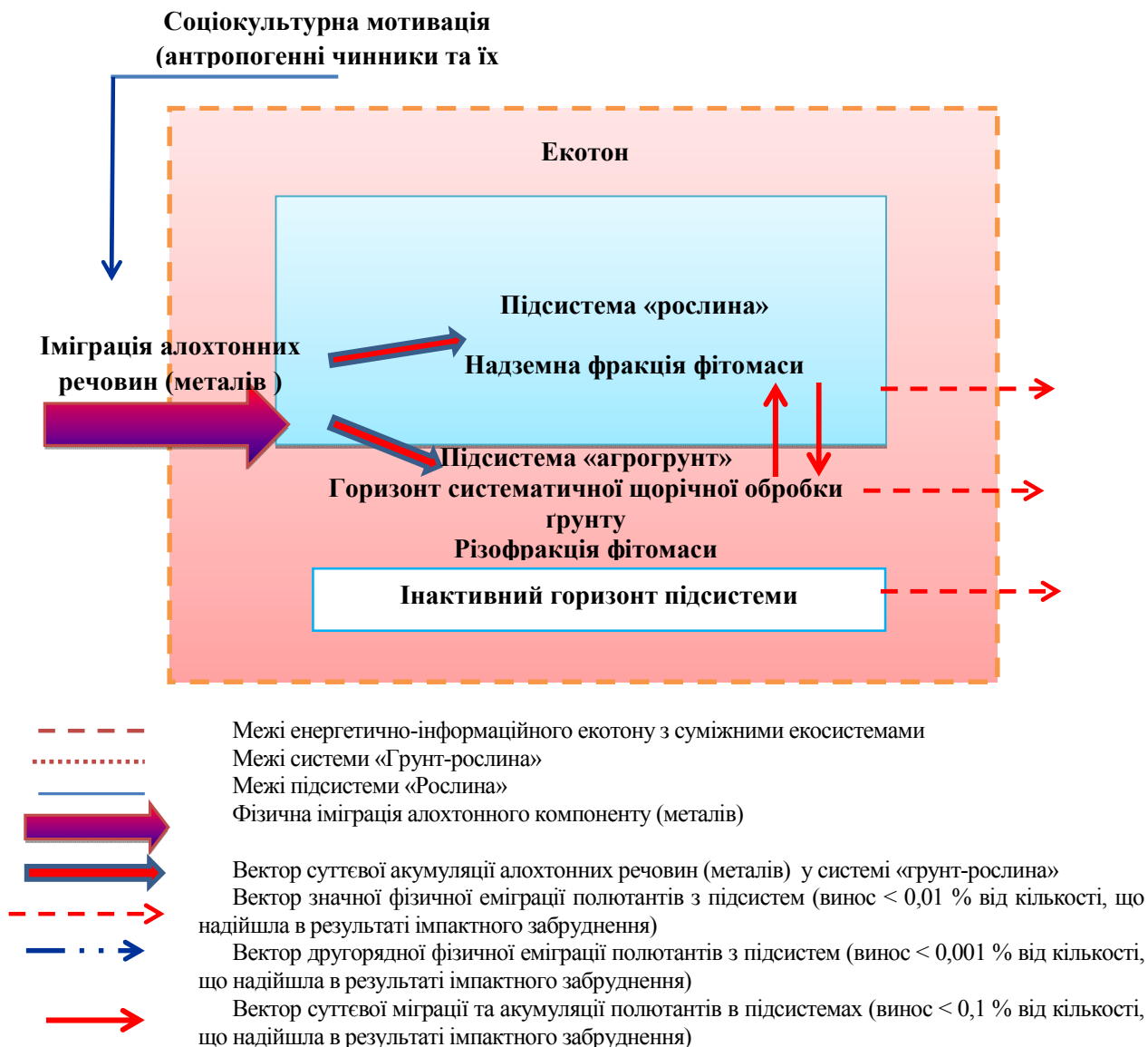
Мета фітотоксикологічного дослідження полягає, у перш за все, у пізнанні реакції (продукційний процес) емерджентної системи (природної та агроекосистеми) у зв'язку із впровадженням у неї від тригерної концентрації (мінімум) до максимальних ефектів (збільшення ентропії, що веде до руйнації екосистеми). Фітотоксикологічний поріг залежить від якісно-кількісної складової алохтонного компоненту (металів) та рефлексії конкретної екосистеми на певний токсикант у певний час функціонування та розвитку (рис. 2, 3). Саме тому фітотоксикологічне нормування повинно бути інтегровано у загальне токсикологічне нормування поряд із гігієнічними підходами.

Спираючись на основні біогеохімічні закони (Основний біогеохімічний закон В.М. Гольдшмітта,

та Закон біогенної міграції атомів В.І. Вернадського), у екосистемі, можна виділити 3 суттєвих шляхи міграції та кумуляції: 1. Фізична міграція з підсистем (іміграційно-еміграційний, або транзитний вектор); 2. Біоаккумуляція різними фракціями фітомаси: цей вектор є визначальним з фітотоксикологічної точки зору; 3. Міграція у ґрунтовому профілі за радіальним та кумулятивно-транзитним типом (рис. 2, 3) (Реймерс, 1994).

Враховуючи шляхи надходження токсикантів антропогенного походження у екосистемі, підсистема «ґрунт» є первинним акумулятором металів, а далі – підсистема «Рослина» стає основним акумулятором металів, оскільки основна частина металів виноситься саме фітокомпонентом (Козьякова, 2002). Явище еміграції алохтонних речовин у агроекосистемі складається із фізичної та біологічної міграції з різним рівнем концентрації у різних підсистемах агроекосистеми (рис. 2, 3).

Після надходження токсиканта до «воріт» екосистеми, на другому етапі міграційного процесу



**Рис. 2. Міграція алохтонних агентів (металів) у агроекосистемі**

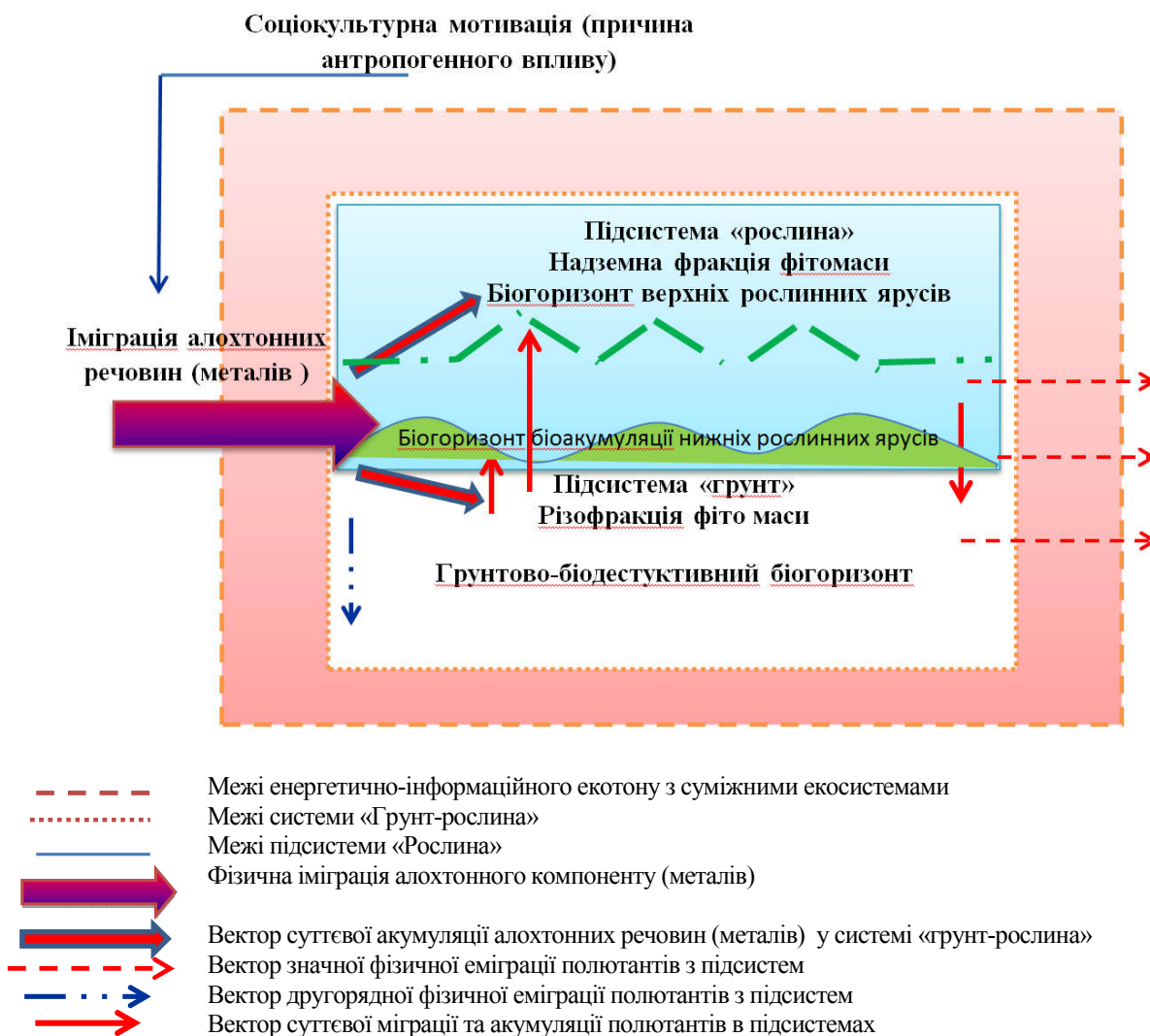
алохтонних речовин (металів) відбувається біохімічне та геохімічне впровадження цих сполук через фізіологічні та геохімічні реакції, що значною мірою формує біопродукційний процес. У фітотоксикологічному контексті суттєвого значення набуває оцінка біокумуляції металів у підсистемі «Рослина» (рис. 2).

У зв'язку з цим фітотоксикологічне дослідження агроекосистеми передбачає, насамперед, облік кількісних та якісних характеристик біокумулятивного та продукційного процесу. Значення інтенсивності біокумуляції рослинністю у природних екосистемах також важко переоцінити, адже саме поглинання токсикантів рослинами є суттєвим вектором фізичної еміграції токсикантів (рис. 3). За думкою Г. Еленберга та інших авторів, агроекосистема має більш потужні канали руху мінеральних речовин (а отже і впроваджених у цей процес токсикантів), ніж природні екосистеми (Ellenberg, 1973; Голубец, 1982).

Співвідношення еміграційної та акумулятивної складових алохтонних речовин формалізується рівнянням:

$$I_m = E_m + A_k,$$

де  $I_{mAr}$  – іміграційна складова алохтонних речовин,  $E_{mAr}$  – еміграційна складова,  $A_k$  – акумульована складова. Це співвідношення характеризується фітотоксикологічною валентністю екосистеми та фітотоксикологічною небезпечністю забрудника. Фітотоксикологічна валентність екосистеми – здатність рослинного комплексу зберігати емерджентність та гомеостаз в результаті іміграції алохтонного компоненту в екосистему. Фітотоксикологічна валентність визначає міру здатності екосистеми пристосовуватися до іміграції полютантів (металів). Фітотоксикологічна небезпека залежить від властивостей забрудників, їх дози та середовища їх перебування.



**Рис. 3 Міграція алохтонних агентів (металів) у природній екосистемі**

Кількість та частка алохтонних речовин, що акумулюються в підсистемах «Рослина» та «Ґрунт» характеризують рефлексію фітокомпонента екосистеми – здатність екосистеми реагувати на дію алохтонного компоненту. Така здатність лежить в основі відомої порогової концепції токсичності (класична залежність «доза-ефект») та основного закону токсикології (екотоксикології), який сформулював Парацельс (Куценко, 2004; Ryzhenko et al., 2017).

Фітопатичний алгоритм екосистеми охоплює параметричну суттєвість впливу структурно-функціональну організацію від тригерного до максимального ефекту (від мікро- до макроконцентрації алохтонного компоненту у екосистемі). Чим більше фітотоксикологічна валентність, тим більша здатність фітокомпоненту утримувати гомеостаз на фоні збільшення алохтонного компоненту (рис. 4). Відомі випадки, коли у разі великої фітотоксикологічної валентності невисокі концентрації токсикантів реалізують процес гормезису в екосистемі (Козьякова, 2002; Гончарук та ін., 2017; Реймерс, 1994; Прохорова и др., 1996).

У зв'язку із наявністю різних порогових рефлексій екосистеми можна згрупувати в 3 типи:

1. *Транзитний тип*, коли:

$\Delta E_m > \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$  – частка еміграційної складової алохтонних речовин,  $\Delta A_k$  – частка

акумульованої складової. Фітотоксикологічна валентність максимальна, фітотоксикологічна небезпека для екосистеми прямує до нуля.

2. *Акумулятивний тип*, коли:

$\Delta E_m < \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$  – частка еміграційної складової алохтонних речовин,  $\Delta A_k$  – частка акумульованої складової. Фітотоксикологічна валентність зменшена, фітотоксикологічна небезпека значно зростає.

3. *Комбінований (транзитно-кумулятивний) тип*, коли:

$\Delta E_m \approx \Delta A_k$ , де  $\Delta E_m$  – частка еміграційної складової алохтонних речовин,  $\Delta A_k$  – частка акумульованої складової. Фітотоксикологічна валентність низька, фітотоксикологічний небезпека висока.

Фізична міграція забрудників (металів) залежить від структурно-фізичних властивостей підсистем, які, в свою чергу, характеризують здатність утримувати екосистемою у часі алохтонні речовини без впровадження їх у біогеохімічні процеси. Механізм активації акумулятивної здатності екосистеми залежить від фітокомпонента екосистеми, адже фітокомпонент, як правило має у екосистемі домінуючу та середовище утворюючу функцію (це лежить у ключі закону В.І. Вернадського про біогенну міграцію атомів) (Реймерс, 1994). У зв'язку з цим, ступінь біогеохімічної активної акумуляції алохтонних речовин визначає фітотоксикологічну валентність екосистеми та, частково, рівень небезпечності токсикантів для фітокомпонента.

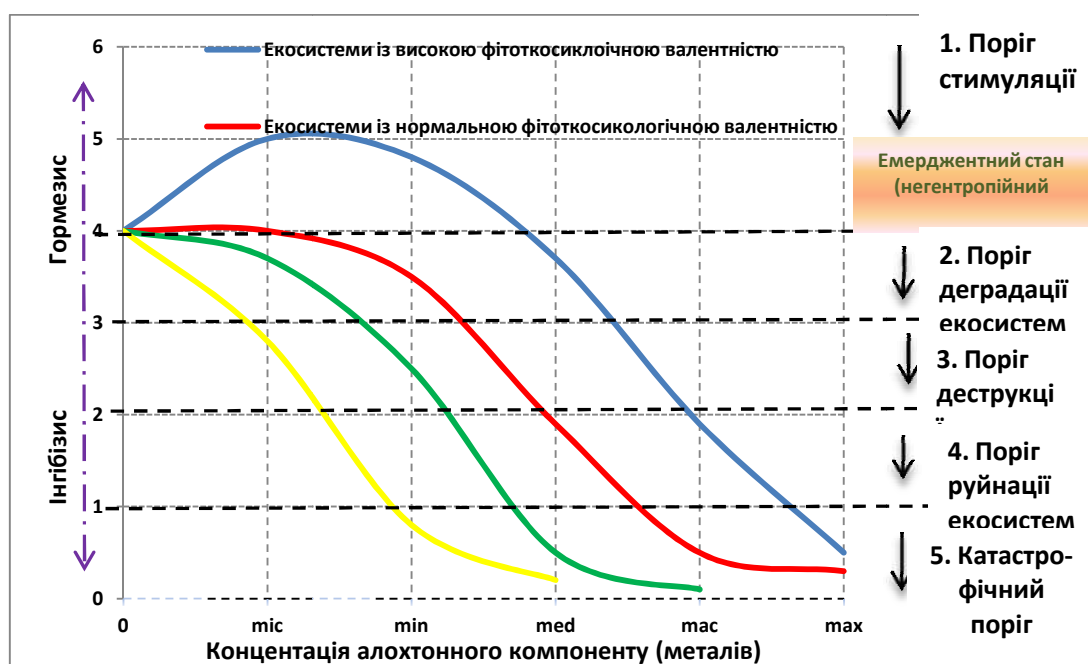


Рис. 4. Чотири типи порогових рефлексій екосистеми

Таким чином, викладено наукові основи фітотоксикології як нового наукового напрямку. Обґрунтовано теоретичне і прикладне значення фітотоксикологічних досліджень в агро- та природних екосистемах. Висвітлено загальні принципи фітотоксикологічного оцінювання небезпечності металів в екосистемах.

### Список літератури

1. Brian J. Alloway. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability / Third ed. Alloway Brian J. – UK, Springer, 2010. – 235 p.
2. Ellenberg H. Ziele und Stand der Okosystemforschung / Okosystemforschung – Berlin : Springer-Verlag, 1973. – 31 p.
3. Ryzhenko N.O., Kavetsky S.V., Kavetsky V.M. Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni Phytotoxicity Assessment as Function of Its Substance Polarity Shift // International Journal of Bioorganic Chemistry. – Vol. 2, Is. 4, – P. 163–173. doi: 10.11648/j.ijbc.20170204.12
4. Голубец М.А. Актуальные вопросы экологии. – К: Наукова думка, 1982. – 158 с.
5. Гончарук Е. А., Загоскина Н. В. Тяжелые металлы: поступление, токсичность и защитные механизмы растений (на примере ионов кадмия) // Вісник Харківського Національного аграрного університету. Серія біологія. – 2017. – № 1 (40). – С. 35–49.
6. Дедиу І.І. Екологічний енциклопедичний словарь. – Кишинев: Глав. Ред. МСЭ, 1990. – 408 с.
7. Зубаков В. Аспекти екогеософської парадигми // Вісник НАН України. — 2003. — № 1. — С. 30–38.
8. Козьякова Н.О. Екотоксичний вплив важких металів (Cd, Pb, Cu, Zn) на систему «грунт-рослина» в умовах Полісся та Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття вч. ступеня канд. с-г. наук.: спец. 03.00.16 «Екологія». – Київ, 2002. – 19 с.
9. Куценко С.А. Основы токсикологии: научно-методическое издание. – СПб.: ООО «Издательство Фолиант», 2004. – 720 с.
10. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза // Вестник СамГУ. – 1996. – Специальный выпуск. – С. 125–147.
11. Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
12. Риженко Н.О. Фітотоксикологічний підхід дослідження функціонування екосистеми // Науковий вісник НАУ. – 2005. – Вип. 86. – С. 251–256.
13. Риженко Н.О. Фітотоксикологія: виникнення і методологія // Агроекологічний журнал. – Спеціальний випуск. – 2009. – С. 281–283.
14. Риженко Н.О. Фітотоксикологія: виникнення, методологія, основи // Науково-теоретичний збірник «Вісник Державного агроекологічного університету». – 2006. – №2 (17). – С. 60–69.
15. Ситник К. Ноосфера: міфи і реальність // Вісник НАН України. – 2003. – №2. – С. 51–62.

16. Шеляг-Сосонко Ю. Р. Біорізноманітність: концепція, культура та роль науки // Український ботанічний журнал. – 2008. – том 65, №1. – С. 3–25.
17. Шеляг-Сосонко Ю., Мовчан Я., Вакаренко Л., Дубина Д. Як відновити баланс екосистеми? // Вісник НАН України. – 2002. – № 10. – С. 5–14.

### References

1. Brian J. Alloway. Heavy metals in soils. Trace elements and Metalloids in Soils and their Bioavailability / Third ed. Alloway Brian J. – UK, Springer, 2010. – 235 p.
2. Ellenberg H. Ziele und Stand der Okosystemforschung/ Okosystemforschung – Berlin:Springer-Verlag, 1973. – 31 p.
3. Ryzhenko N.O., Kavetsky S.V., Kavetsky V.M. Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni Phytotoxicity Assessment as Function of Its Substance Polarity Shift // International Journal of Bioorganic Chemistry. – Vol. 2, Is. 4. – P. 163–173; doi:10.11648/j.ijbc.20170204.12
4. Golubets M.A. Topical issues of ecology. – Kyiv: Naukova Dumka, 1982. – 158 p.
5. Goncharuk E.A., Zagoskina N.V. Heavy metals: uptake, toxicity and protective mechanisms of plants (for example, cadmium ions) // News of Kharkiv National Agricultural University. Biology. – 2017. – № 1 (40). – P. 35–49.
6. Dediu I.I. Ecological encyclopedic dictionary. - Chisinau: Heads. Ed. ITU, 1990. – 408 p.
7. Zubakov V. Aspects of the ecogeosophical paradigm // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. – 2003. – №. 1. – P. 30–38.
8. Koziakova N.O. Ecotoxic influence of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) on the system "soil-plant" in the conditions of Polissya and Forest-Steppe of Ukraine: author's dissertation of Candidate Degree: Special 03.00.16 "Ecology". – Kyiv, 2002. – 19 p.
9. Kutsenko S.A. Bases of toxicology: scientific and methodical edition. – Saint-Pb.: ООО "Publishing House Foliant", 2004. – 720 p.
10. Prokhorova N.V., Matveev N.M. Heavy metals in soils and plants in the conditions of technogenesis // Bulletin of the Samara State University. – 1996. – Special issue. – P. 125–147.
11. Reimers N.F. Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). – Moscow: Rosiia molodaia, 1994. – 367 p.
12. Ryzhenko N.O. The phytotoxicological approach for the study of ecosystem functioning // Scientific herald of NAU. – 2005. – 86. – P. 251–256.
13. Ryzhenko N.O. Phytotoxicology: emergence and methodology // Agroecological journal. – Special issue. – 2009. – 3. 281–283.
14. Ryzhenko N.O. Phytotoxicology: emergence, methodology, foundations // Scientific and theoretical collection "Bulletin of the State Agroecological University". – 2006. – № 2 (17). – P. 60–69.
15. Sitnik K. Noosphere: myths and reality // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. – 2003. – №2. – P. 51–62.

16. Shelyagh-Sosonko Y. Biodiversity: the concept, culture and role of science // Ukrainian Botanical Journal. – 2008. – Vol. 65, №1. – P. 3–25.

17. Shelyag-Sosonko Yu., Movchan Ya., Vakarenko L., Dubyna D. How to restore the ecosystem balance? // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. – 2002. – № 10. – P. 5–14.

## SCIENTIFIC PRINCIPLES OF THE PHYTOTOXICOLOGICAL RESEARCH

**N. O. Ryzhenko**

*The article highlights the scientific principles of Phytotoxicology as an independent scientific environmental branch. We proposed the main ideas of Phytotoxicology. The subject of Phytotoxicology is the pollutants assessment of harmful effect on plants in the ecosystem. The object of Phytotoxicology is the phytotoxic properties of the pollutants and their effect on plants. Phytotoxicology began to be formed as a scientific branch due to full and all-round, but at the same time, dissected researching of the phytotoxicity process in different ecosystems levels. Many authors reveal the Phytotoxicity effects as a concrete fact in specific conditions for specific plants. However, there is lack of researching systematization and generalization ideas in this sphere. Although the problem of pollutants toxicity effect on is still really actual. We proposed the scheme of pollutants migration and bioaccumulation in agroecosystem and natural ecosystem (in example of metals). The general formalization of pollutants migration in the ecosystem is:  $IMP = EMP + BCP$ , where:  $IMP$  - immigration of pollutants to ecosystem,  $EMP$  - emigration of pollutants from ecosystem,  $BCP$  – bioaccumulation of pollutants in ecosystem. This formalization depends on phytotoxicological valence of the ecosystem and on the phytonocological pollutant hazard. The phytotoxicological valence of the ecosystem is the ability of the plant complex to hold the homeostasis despite the pollutants impact. Phytotoxicological valency determines the measure of the ability of the ecosystem to adapt to the pollutants migration. The phytotoxicological hazard of pollutants depends on the properties of the pollutants, their doses and the environment conditions. The accumulated in plants and in soil amount and proportion of pollutants (for ex. Metals) characterize the reflection of the ecosystem on pollution. Plant up-taking ability and pollutants pollution influence on soil, pollutants toxicity in ecosystem is revealed by “dose-effect” dependence.*

*Key words: phytotoxicology, agroecosystem, natural ecosystems, metals, toxicity, phytocomponent, plant up-taking, pollutants*

*Отримано редколегією 09.11.2017*