

В. Л. Самохвалова, А. І. Фатєєв

## ОЦІНКА ТОКСИЧНОЇ ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ОСНОВІ ВИВЧЕННЯ ІНДИКАТОРНИХ ПРОЦЕСІВ СИМБІОТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії  
ім. О. Н. Соколовського" УААН

Запропоновано новий спосіб експресної ідентифікації, оцінки та прогнозу забруднення високобуферних ґрунтів важкими металами (ВМ) за умов його моно- та поліелементного характеру. Використана симбіотична система, екологічний стан якої є важливим фізіологічним показником стану біологічної системи та може слугувати як індикаторний показник екологічного стану біоосної системи.

Ключові слова: симбіотична система, ідентифікація, оцінка, прогноз, токсичність, забруднення, важкі метали.

V. L. Samokhvalova, A. I. Fateev

### ASSESSMENT OF TOXIC ACTION POLLUTION BY HEAVY METALS ON THE BASE OF SYMBIOSIS SYSTEM INDICATOR PROCESS

The new approach to express identification, assessment, prognosis of high buffer soils toxic action of pollution by heavy metals in conditions of its mono- and polyelemental nature is offered. Symbiosis system as important physiological indicator of biological system status and as indicator factor of ecological state of the soil system is used.

Key words: symbiosis system, identification, assessment, prognosis, toxic action, pollution, and heavy metals.

Серед існуючих способів оцінки екологічного стану ґрунтової системи, які запатентовано в останні роки, заслуговують уваги біологічний моніторинг за допомогою тест-організмів: *інфузорій* (Бузлама и др., 1999), згідно зі способом визначення токсичності екологічних систем – ґрунту, води, продуктів харчування, лікарських речовин та інших об'єктів проводиться шляхом оцінки впливу речовини об'єкта, який досліджується на швидкості розмноження тест-організмів, але за умов нечіткої визначеності природи речовини з токсичними ознаками, використання методу підрахунку кількості тест-організмів, який характеризується певним суб'єктивізмом; *кореневої системи рослин на ранніх стадіях онтогенезу* (Шарошкин и др., 1998), згідно зі способом оцінка придатності ґрунту для вирощування рослин відбувається за допомогою визначення чутливості рослин до абіотичних ґрунтових факторів шляхом визначення сумарного водопоглинання, але без урахування характеру та природи несприятливих ґрунтових факторів, різної здатності коренів різних культур агроценозів до поглинання води, в тому числі і на ранніх стадіях розвитку. Інший відомий спосіб (Лапина и др., 1989) припускає *використання проростків або колеоптилів*. Визначають відносний приріст відрізків проростків на ранніх стадіях розвитку рослин, але без урахування існуючих фізіологічних закономірностей поглинання та накопичення ВМ у різні фази вегетації, характеру забруднення та спектру забруднювачів, що значно звужує можливості використання способу для оцінки токсичності поллютантів; *нематод* (Макаревская, 1996), згідно зі способом здійснюється визначення кумулятивної дії токсичних речовин ґрунту, проводиться оцінка токсичності з використанням речовин, які надходять до ґрунту у

мікро- та макродозах, але без урахування специфіки та природи токсикантів; *мікробної індикації забруднення ґрунту* (Гузев и др., 1984), спосіб відрізняється тим, що ступінь забруднення сіроземи типового визначають за зміною структури та складу мікробіоценозу (різні види грибів, актиноміцетів) ґрунту шляхом прямого мікроскопіювання з застосуванням скануючого електронного мікроскопу, що потребує наявності відповідного інструментарію та високого рівня кваліфікації спеціалістів. Інший відомий спосіб (Григор'єва та ін., 1998) передбачає використання живильних середовищ з подальшою інкубацією та визначенням фізіологічних груп мікроорганізмів з метою мікробної індикації радіоактивного забруднення в зонах жорсткого контролю, але не передбачає індикацію забруднення ґрунту ВМ.

Відомі способи визначення забруднення ґрунту ВМ на основі використання властивостей та показників екологічного стану ґрунту: *за коефіцієнтом акумуляції у фонових і забруднених ґрунтах* (Муха и др., 1997), згідно зі способом визначення забрудненості ґрунту ВМ передбачає відбір ґрунтових зразків з подальшим визначенням вмісту валових форм хімічних елементів у ґрунті та в ґрунотвірній породі з урахуванням коефіцієнта акумуляції, що потребує часу, відповідного обладнання для визначення різних форм хімічних елементів у ґрунтовій системі; *за магнітним сприйняттям ґрунту* (Языков, Мыков, 1999), згідно з яким відбирають зразки ґрунту, використовують датчик магнітного сприйняття, проводять заміри з подальшим виносом значень на карту досліджуваної території та по їх збільшенню відносно фону виділяють забруднені ВМ (група заліза – Fe, Co, Ni) ділянки, що потребує значних матеріальних витрат, спеціального обладнання, спосіб також не передбачає визначення елементів-токсикантів (Cd, Pb, Zn) при геохімічному моніторингу; *за показником санітарно-гігієнічного стану ґрунту* (Судаков и др., 1999), згідно з яким визначається та прогнозується стан ґрунту у зоні промислового свинарства за вмістом амоніфікуючої мікрофлори, визначенням активності ферментів (каталази, нітратредуктази, уреаз), вмісту нітратів та аміаку ґрунту, виділяючи стадії стресу ґрунтової системи, що потребує застосування інструментальних методів, часу, значних матеріальних витрат, спосіб не передбачає проведення досліджень у зонах техногенного забруднення ґрунтів ВМ, визначення їх токсичної дії, спектру та характеру забруднення, що значно звужує можливість використання зазначеного способу з запропонованою метою комплексного вивчення екологічного стану ґрунту та ефективного прогнозування перспектив його відновлення.

Серед критеріїв оцінки і методичних підходів щодо визначення токсичності ВМ, реалізованих у світовій практиці, слід виділити порівняння з максимальним фоновим умістом ВМ у ґрунтах, необхідність заходів деконтамінації, здатність елементів до міграції у суміжні середовища, функціональне призначення земель (Assessment of the quality ..., 2001). Однак найбільш цінним результатами є розробка та використання інтегральних показників рівня біогенності ґрунту з метою нормування токсикантів неорганічної природи.

Одним з інтегральних показників є азотфіксація, яка відноситься до числа найважливіших ланок кругообігу азоту в ґрунті. Відомий метод оцінки забруднення ґрунтів (Умаров и др., 1981; Летунова и др., 1985) включає визначення потенційної азотфіксуючої активності (ПАФ) ґрунту за умов забруднення ВМ (Zn, Pb) з подальшим зіставленням вмісту металів-токсикантів з величиною ПАФ ґрунту. Визначення інтегрального показника біогенності ґрунту проводиться шляхом використання досить високочутливого ацетиленового методу. Однак у ґрунтах спостерігаються значні розходження у рівні потенційної азотфіксуючої активності індивідуальних зразків, що свідчить про зниження ролі ВМ як вагомого екологічного фактора та збільшення прояву дії фактора гетерогенності ґрунту. Таким чином, для ретельного обґрунтування цього методу оцінки забруднення ґрунту ВМ необхідним є проведення систематичних детальних досліджень з ґрунтами зонального ряду, які характеризуються різними рівнями існуючого й потенційними рівнями можливого

забруднення ВМ, у той час як згідно з запропонованим способом немає необхідності у такого роду довготривалих дослідженнях.

Відома методика оцінки забруднення ґрунтів за загальносанітарним показником шкідливості екзогенних хімічних речовин (Гончарук, Сидоренко, 1986; Методические рекомендации ..., 1976), згідно з якою відбувається визначення допустимих концентрацій хімічної речовини за її впливом на біологічну активність ґрунту шляхом використання методів визначення загальної чисельності ґрунтової мікрофлори та методів визначення біологічної активності ґрунту. Однак недоліками визначення загальносанітарного показника шкідливості слід вважати придатність цього показника при визначенні забруднення ґрунтової системи хімічними речовинами лише при необхідності проведення стадійних експериментальних досліджень (попередніх, основних), обов'язковому дотриманні принципу екстремальності, що не завжди є можливим, доцільним та не відповідає реальним природним умовам. Крім того, оцінка ступеня забруднення ґрунту ВМ при використанні мікроорганізмів характеризується зниженням рівня точності визначення. Останнє обумовлене тим, що мікроорганізми вирощуються на живильних середовищах, які суттєво відрізняються за своїми властивостями від ґрунтових умов. Також використовується досить невеликий спектр індикаторних показників і процесів, які можуть бути придатними для оцінки забруднення ґрунту ВМ, не враховується поліелементний характер забруднення при біологічному моніторингу ґрунтової системи. Окрім того, дослідження з визначення загальносанітарного показника шкідливості хімічних речовин за терміном триває 2 місяці та розпочинаються за умов невизначеності, які саме групи тестів мікроорганізмів (чутливі групи мікробоценозу) слід використовувати для адекватної оцінки впливу фактора забруднення ґрунту на біологічну активність ґрунтової системи з урахуванням природи екоотоксиканта та токсичної його дії, що збільшує вплив суб'єктивного фактора при оцінці характеру забруднення ґрунтової системи екоотоксикантами неорганічної природи.

В основу досліджень поставлена основна мета - розробка нового способу експресного виявлення та оцінки токсичної дії забруднення ґрунту ВМ (Cd, Pb, Zn, Ni) на основі визначення інтегрального показника рівня біогенності ґрунту - активності функціонування симбіотичної системи (бобово-ризобіальний симбіоз, продуктивність бобових рослин, утворення бульбочок на коренях, активність азотфіксації в симбіозі), яка відображає вплив фактора забруднення, що дозволяє встановити небезпеку та оцінити токсичний вплив ВМ у системі ґрунт – рослина.

Використання індикаторних показників, які характеризуються достатньою простотою визначення, експресністю та високим рівнем інформативності, сприяє оперативному виявленню наявності фактора забруднення та негативного впливу ВМ на систему ґрунт – рослина. Таким чином, є можливість урахування як прямої (токсична дія полютанту), так і опосередкованої дії ВМ (функціональний стан рослин та вплив забруднення ґрунту на інші ланки агроценозу, біогеоценозу).

Запропонований спосіб оцінки здійснюється шляхом виконання досліджень у певній послідовності проведення робіт, яка полягає в наступному. В основі кількісної оцінки дії фактора забруднення ґрунту ВМ лежить принцип пороговості, тобто ступінь дії хімічних елементів залежить від концентрації їх у вивчаємі системі, дози та терміну дії токсичного агенту неорганічної природи. Як “екологічна мішень” (слабка ланка) дії токсичного агенту виступають індикаторні процеси симбіотичної системи, які є важливими фізіологічними показниками стану біологічної системи та можуть слугувати як показники стану біокосної системи.

Проводиться послідовна оцінка техногенного впливу ВМ у системі ґрунт - рослина. Перший етап – ґрунтово-мікробіологічний скринінг забруднення ВМ (попередній). Основна мета етапу – виявлення токсичних рівнів навантаження на ґрунтову систему, при яких відбуваються зміни в функціонуванні системи ґрунт –

рослина та визначення найбільш чутливих показників (Богачова, 1996). Другий – проведення модельних досліджень (основний). Основна мета етапу – оцінка токсичної дії фактора забруднення ґрунтової системи у ході проведення модельних досліджень щодо вивчення індикаторних процесів симбіотичної системи (бобово-ризобіальний симбіоз). Як індикаторні процеси була використана симбіотична система, представлена бобово-ризобіальним симбіозом (бульбочкові бактерії, бобова тест-культура, азотфіксація в симбіозі).

Дослідження проводились на базі лабораторії охорони ґрунтів від техногенних забруднень ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського» УААН. Вивчалися рівні забруднення ВМ за умов моделювання моно- та поліелементного характеру забруднення Cd, Pb, Zn, Ni, у 2 та 4 рази перевищуючи їх фоновий вміст у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому дослідного господарства “Комунар” Харківської області Харківського району, з подальшим вирощуванням бобової (віка – *Vicia orobus*) та не бобової (ячмінь – *Hordeum vulgare*) культур.

Активність функціонування бобово-ризобіального симбіозу у модельних дослідженнях визначалась з урахуванням морфологічних ознак бульбочок бобової культури (кількість, колір, форма) за наступною схемою досліду: 1) контроль; 2) Ni<sub>2</sub>; 3) Pb<sub>2</sub>; 4) Cd<sub>2</sub>; 5) Zn<sub>2</sub>; 6) Ni<sub>2</sub>Pb<sub>2</sub>Cd<sub>2</sub>Zn<sub>2</sub>; 7) Ni<sub>4</sub>; 8) Pb<sub>4</sub>; 9) Cd<sub>4</sub>; 10) Zn<sub>4</sub>; 11) Ni<sub>4</sub>Pb<sub>4</sub>Cd<sub>4</sub>Zn<sub>4</sub> у трикратній повторності в поліетиленових судинах діаметром 20×25 см. Вологість ґрунту підтримували із розрахунку 60 % від повної вологості.

Для оцінки ефективності функціонування бобово-ризобіального симбіозу в умовах забруднення проводять спостереження за утворенням бульбочок на коренях бобової культури з подальшим урахуванням кількості, форми та кольору бульбочок (морфологічних ознак) на коренях бобової культури в 2 строки (фаза 3-4 дійсних листочків, фаза цвітіння). Для цього надземна частина рослин зрізається, корінці ретельно змиваються водою. Підраховують кількість бульбочок на кожній рослині окремо (загальна кількість рослин – 20 у трикратній повторності) з подальшим зважуванням ваги бульбочок, які відділяють від коренів, та дослідженням інших морфологічних ознак бульбочок (колір, форма) з використанням бінокулярного мікроскопу МБС-9.

Аналіз вмісту азоту тестових культур проводили з використанням комп'ютеризованої інфрачервоної аналітичної системи PSCO / ISI IBM - PC 4250 (яка працює у ближній інфрачервоній області) для експресного визначення якості сільськогосподарської продукції (1989 р.).

Після отримання аналітичної інформації щодо оцінки токсичності дії фактора забруднення ґрунту ВМ проводився аналіз (визначення залежностей у системі даних, побудова регресійних рівнянь та їх адекватна оцінка, візуалізація) отриманих результатів шляхом використання багатомірних статистичних методів аналізу (модулі “Базові статистики”, “Множинна регресія”) у рамках пакету STATISTICA 6.0.

На базі визначення індикаторних процесів симбіотичної системи проводиться якісна оцінка токсичності забруднення ґрунту ВМ шляхом порівняння отриманих даних у контролі і різних варіантах забруднення ґрунту ВМ. Таким чином, є можливість експресної ідентифікації токсичної дії фактора забруднення ґрунтової системи ВМ та визначення забруднення Cd, Zn, використовуючи лише два морфологічні показники – колір та форму бульбочок коренів тестової культури. Аналіз чисельності бульбочок на коренях тест-культури (інша морфологічна ознака) вказує на існуючі зворотні залежності між вказаним індикаторним показником та рівнями, моно- і поліелементним характером забруднення ґрунтової системи (табл. 1).

Наступним індикаторним показником стану симбіотичної системи є коефіцієнт симбіотичної азотфіксації. В експериментальних дослідженнях розрахунки розмірів симбіотичної азотфіксації проводили, використовуючи метод порівняння

(зіставлення) вмісту азоту у бобовій та не бобовій культурах з подальшим визначенням коефіцієнта азотфіксації. Відомий принцип розрахунку складається з урахування абсолютних розмірів азотфіксації ( $N_f$ ) по різниці

$$N_f = N_b - N_{nb} , \quad (1)$$

де  $N_b$  – уміст загального азоту в урожаї бобової культури;  $N_{nb}$  – уміст загального азоту в урожаї не бобової культури, та розрахунку коефіцієнта азотфіксації ( $K_{fic}$ ) за формулою

$$K_{fic} = N_f / N_b * 100 \quad (2)$$

Результати використання інструментальних та розрахункових методів щодо визначення коефіцієнта азотфіксації свідчать про зниження рівня азотфіксації (абсолютних та відносних величин) за умов забруднення ґрунту ВМ. Найбільш токсично вплинули на розрахунковий показник азотфіксації Cd та Pb (токсиканти першого класу небезпечності). Отже, розрахунки зниження рівнів азотфіксації свідчать про збільшення рівня техногенного навантаження ґрунтової системи.

Важливим індикаторним показником функціонування симбіотичної системи є продуктивність бобової тест-культури. Аналіз результатів вказує на зниження цього показника при зростанні рівнів забруднення та урахуванні його характеру. Так, перевищення рівнів забруднення ґрунту ВМ у 4 рази при поліелементному його характері сприяло зниженню продуктивності бобової тест-культури до 11 г/посудину, що становить 39 % у порівнянні з контролем (табл. 1).

Результати використання статистичних методів досліджень свідчать про доцільність і можливість їх використання з метою кількісної оцінки токсичної дії забруднення ґрунтової системи ВМ. Так, на основі використання модуля “Базові статистики” отримали кореляційні матриці, які відображають існуючі залежності визначаємих параметрів (табл. 2). Аналіз табл. 2 свідчить про достовірні існуючі зворотні залежності між рівнем забруднення ґрунту ВМ та індикаторними показниками функціонування бобово–ризобіального симбіозу.

Базуючись на використанні модуля “Множинна регресія”, будують регресійні моделі з подальшою оцінкою їх адекватності, представленням результатів регресійного аналізу у чисельному та графічному вигляді, аналізом установлених залежностей, який включає використання отриманого рівняння з метою розрахунків рівнів забруднення ґрунту та прогнозу токсичної його дії (рис. 1-2). Візуалізація результатів проводилась після обробки інформації безпосередньо з поточного файлу даних та включала в себе стандартні методи для графічного представлення інформації у відповідності з використаною програмою.

Кількісна оцінка токсичних рівнів забруднення ґрунту ВМ проводилась розрахунковим методом. На основі отриманої експериментальним шляхом інформації, регресійних моделей щодо екологічних показників та індикаторних процесів системи будують графік залежностей вивчаємих індикаторних показників, аналітично розраховують рівні забруднення ґрунту ВМ з урахуванням якісного спектру забрудників, моно- та поліелементного характеру забруднення, що сприяє економії часу та матеріальних ресурсів при аналізі характеру впливу фактора забруднення ВМ на систему ґрунт – рослина. Останнє дозволяє встановити існуючі закономірності в системі ґрунт – токсична дія фактора забруднення ВМ – тест-рослина та підтвердити закономірності, які отримані емпіричним шляхом, довести необхідність і можливість використання індикаторних процесів симбіотичної системи з метою оцінки та прогнозу токсичної дії ВМ. Одержані регресійні рівняння та графіки залежностей даних кількості бульбочок, коефіцієнта азотфіксації та рівнів забруднення ґрунту ВМ дають можливість експресної ідентифікації, кількісно оцінити забруднення ґрунту ВМ та прогнозувати токсичну дію фактора забруднення

Таблиця 1

## Оцінка токсичності забруднення ґрунту за різних його рівнів та характером

Варіанти експериментальних модельних досліджень	Індикаторні показники функціонування симбіотичної системи			
	Морфологічні ознаки		Коефіцієнт азотфіксації (середня величина за 3 роки досліджень), %	Продуктивність бобової тест-культури (середня за три роки досліджень), г/посудину
	Чисельність бульбочок (середня величина за 3 роки)	Колір та форма бульбочок		
1.Контроль	17	Світлі, добре розвинуті, овальні	45	28
2.Ni2	11	Світлі, добре розвинуті, овальні	31	25
3.Pb2	10	Світлі, добре розвинуті, овальні	31	22
4.Cd2	10	Світлі з коричневим нальотом, добре розвинуті, овальні	28	22
5.Zn2	8	Світлі, добре розвинуті, овальні	28	22
6.Ni2Pb2Cd2Zn2	5	Світлі, добре розвинуті, овальні, більші за розмірами в порівнянні з контролем	28	18
7.Ni4	5	Світлі, добре розвинуті, овальні, концентруються уздовж головного корня кореневої системи	26	24
8.Pb4	7	Світлі, добре розвинуті, овальні з коричневим нальотом, окремі більш меншого розміру в порівнянні з іншими, плоскі	22	23
9.Cd4	7	Світлі, добре розвинуті, загострені, більші за розміром в порівнянні з контролем	17	21
10.Zn4	5	Світлі, недорозвинуті, плоскі	33	18
11.Ni4Pb4Cd4Zn4	2	Світлі, добре розвинуті, овальні, більші за розмірами в порівнянні з контролем	30	11

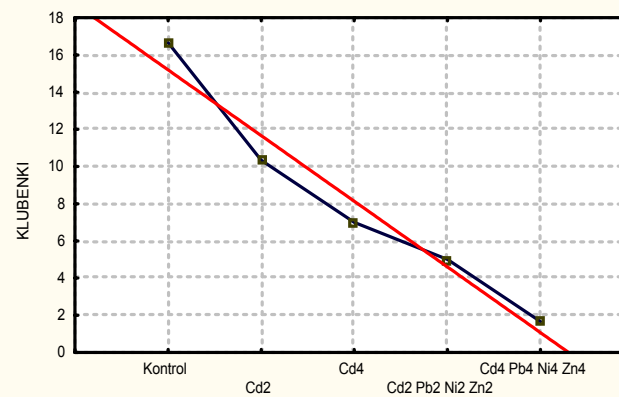
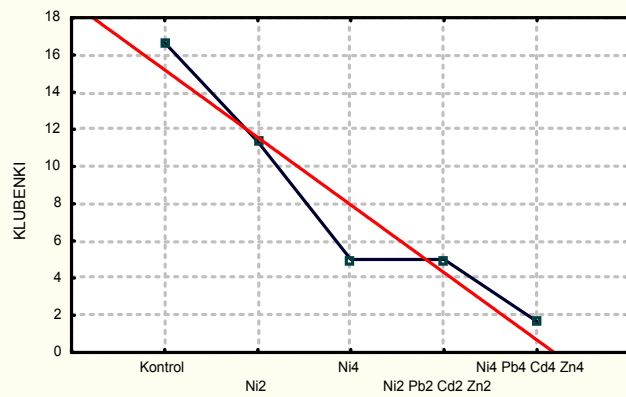
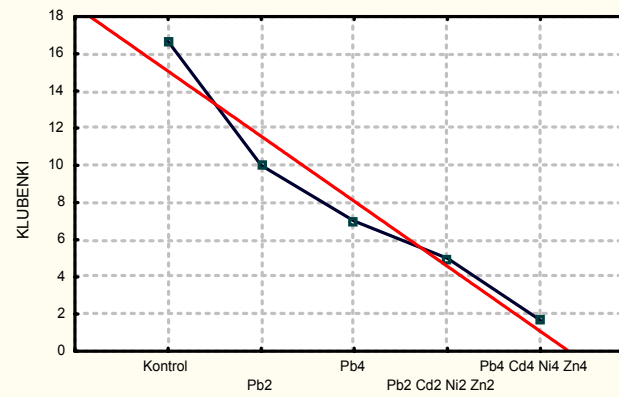
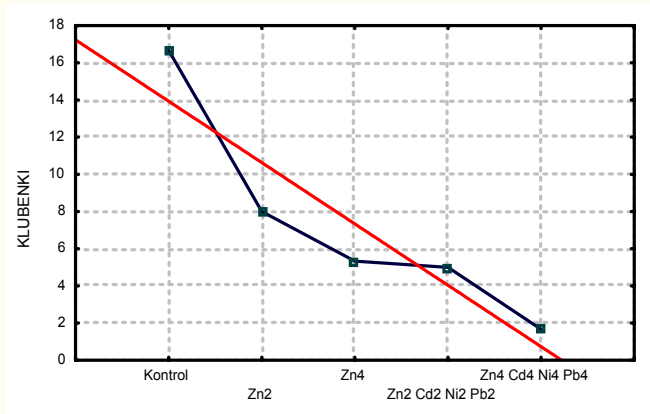


Рис. 1. Регресійні моделі для даних: рівні, характер забруднення ґрунту ВМ та кількість бульбочок

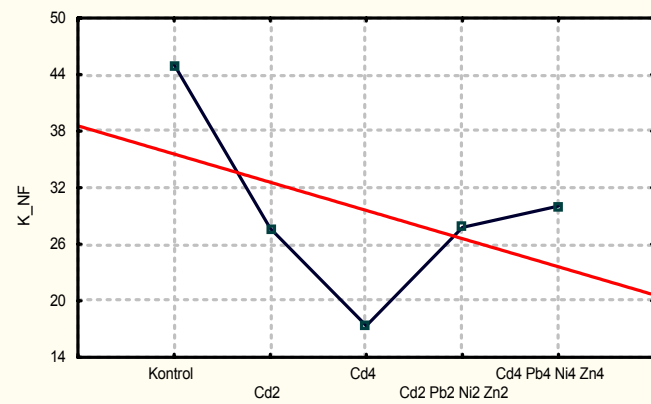
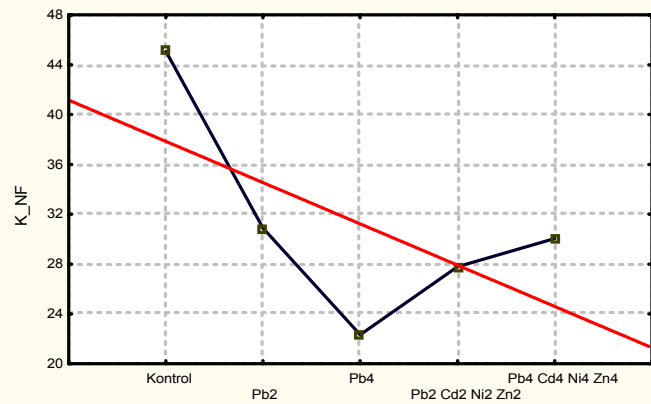
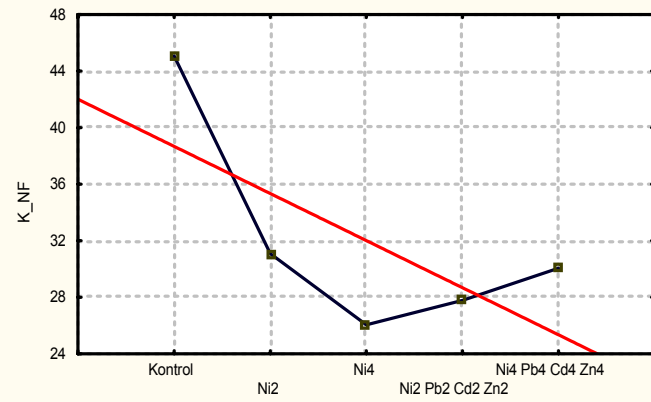
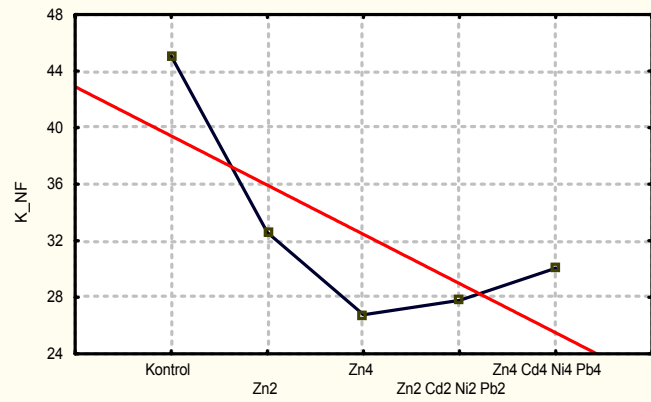


Рис. 2. Регресійні моделі для даних: рівні, характер забруднення ґрунту ВМ та коефіцієнт азотфіксації



з урахуванням якісного спектру забрудників, моно- та поліелементного характеру забруднення, що сприяє економії часу та матеріальних ресурсів при аналізі впливу фактора забруднення ВМ на систему ґрунт – рослина, дозволяє підтвердити закономірності, отримані емпіричним шляхом, та довести необхідність, доцільність використання індикаторних процесів симбіотичної системи як тестових з метою експресної оцінки токсичної дії ВМ на чорноземних ґрунтах, що значною мірою сприяє підвищенню ефективності екологічного моніторингу ґрунтів, які зазнали дії фактора техногенного навантаження.

Таблиця 2

**Матриця парних кореляцій між параметрами**

<b>Correlations (Zn.sta)</b>			
Marked correlations are significant at $p < ,05000$			
	LEVELS	K_NF	KLUBENKI
LEVELS (рівні забруднення)	1,00	<b>-0,74</b>	<b>-0,92</b>
K_NF (коефіцієнт азотфіксації)	<b>-0,74</b>	1,00	<b>0,91</b>
KLUBENKI (кількість бульбочок)	<b>-0,92</b>	<b>0,91</b>	1,00
<b>Correlations (Pb.sta)</b>			
Marked correlations are significant at $p < ,05000$			
	LEVELS	K_NF	KLUBENKI
LEVELS (рівні забруднення)	1,00	<b>-0,62</b>	<b>-0,97</b>
K_NF (коефіцієнт азотфіксації)	<b>-0,62</b>	1,00	<b>0,76</b>
KLUBENKI (кількість бульбочок)	<b>-0,97</b>	<b>0,76</b>	1,00
<b>Correlations (Ni.sta)</b>			
Marked correlations are significant at $p < ,05000$			
	LEVELS	K_NF	KLUBENKI
LEVELS (рівні забруднення)	1,00	<b>-0,70</b>	<b>-0,96</b>
K_NF (коефіцієнт азотфіксації)	<b>-0,70</b>	1,00	<b>0,84</b>
KLUBENKI (кількість бульбочок)	<b>-0,96</b>	<b>0,84</b>	1,00
<b>Correlations (Cd.sta)</b>			
Marked correlations are significant at $p < ,05000$			
	LEVELS	K_NF	KLUBENKI
LEVELS (рівні забруднення)	1,00	<b>-0,59</b>	<b>-0,98</b>
K_NF (коефіцієнт азотфіксації)	<b>-0,59</b>	1,00	<b>0,63</b>
KLUBENKI (кількість бульбочок)	<b>-0,98</b>	<b>0,63</b>	1,00

\* Значущі коефіцієнти кореляції виділені.

Таким чином, запропонований новий спосіб порівняно з відомими способами та методами має такі особливості:

- дозволяє максимально знизити термін визначення дії фактора забруднення ґрунту ВМ при моно- та поліелементному характері забруднення;
- наочність за рахунок досить елементарного визначення візуальних показників (морфологічні ознаки – кількість, форма, колір бульбочок на коренях тест-культури), розрахункового показника активності симбіотичної азотфіксації, що дозволяє оцінити дію фактора забруднення ґрунту ВМ якісно і кількісно;

- ефективність при оцінці низьких рівнів (перевищення фонових рівнів вмісту ВМ у ґрунті в 2-4 рази) забруднення ґрунту ВМ;
- економічність: економічно вигідний, оскільки для свого здійснення не потребує виготовлення нових механізмів і технологічного обладнання, специфічного інструментарію та використання методів аналізу, які потребують значних матеріальних витрат;
- доступність використання у практиці, легка відтворюваність.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено новий спосіб оцінки токсичної дії ВМ (Cd, Pb, Zn, Ni) на основі вивчення індикаторних процесів симбіотичної системи, який передбачає визначання екологічного стану бобово-ризобіального симбіозу (продуктивність бобових рослин, активність азотфіксації в симбіозі, утворення бульбочок на коренях бобової тест-культури та їх морфологічні ознаки - кількість, форма, колір).

2. Спосіб дозволяє експресну ідентифікацію токсичної дії фактора забруднення ВМ. Ідентифікацію та оцінку якісного характеру забруднення ВМ (Cd, Zn) пропонується проводити за редукцією кількості бульбочок на коренях бобової культури з подальшим визначенням морфологічних ознак бульбочок – колір, форма. Кількісну оцінку забруднення ґрунту ВМ (Cd, Pb, Zn, Ni) пропонується проводити на базі використання показника чисельності бульбочок на коренях та коефіцієнта симбіотичної азотфіксації з подальшим визначенням рівнів забруднення ґрунту, використовуючи статистичні методи аналізу, що дозволяє встановити рівень забруднення ґрунту, оцінити ризик та прогнозувати токсичну дію мікродоз (перевищення у 2-4 рази природного вмісту) ВМ у системі ґрунт – рослина за умов моно- та поліелементного характеру забруднення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Богачова В. Л. Вплив техногенного забруднення ґрунту важкими металами на елементи його родючості, урожай та якість сільськогосподарської продукції: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Харків, 1996. - 26 с.

Бузлама В. С., Ващенко Ю. Е., Востроилова Г. А., Титов Ю. Т. Способ биологического мониторинга экологических систем и объектов. – RU № 2125261, 20.01.1999.

Гончарук Е. И., Сидоренко Г. И. Гигиеническое нормирования химических веществ в почве: Руководство. - М.: Медицина, 1986. – С. 56-73.

Григор'єва Л. В., Корчак Г. І., Бей Т. В. Спосіб мікробної індикації радіоактивного забруднення ґрунту. – UA № 20956, 27.02.1998, Бюл. № 1;

Гузев В. С., Левин С. В., Бабьева И. П., Звягинцев Д. Г. Способ определения степени загрязнения почв тяжелыми металлами. – SU № 1092412, 15.05.1984; Бюл. № 18.

Лапина Н. Ф., Ласточкина Л. А., Тулупов П. Е., Лапин А. Г. Способ определения степени загрязнения почв тяжелыми металлами. – SU № 1455300, 30.01.1989; Бюл. № 4.

Летунова С. В., Умаров М. М., Ниязова Г. А., Мелехин Е. И. Активность азотфиксации как один из возможных критериев определения ПДК тяжелых металлов в почве // Почвоведение. – 1985. - № 9. – С. 104-107.

Макаревская З. С. Способ биологической оценки токсичности вносимых в почву веществ. – RU № 2056046, 10.03.1996; Бюл. № 7.

Методические рекомендации по установлению ПДК химических веществ в почве. – М., 1976. – 63 с.

Муха В. Д., Сулима А. Ф., Карпинец Т. В., Левшаков В. Л. Способ определения загрязнения почвы химическим элементом. – RU № 2084891, 20.07.1997.

Судаков В. Г., Коваленко Л. А., Бабушкина Л. Г. Способ определения и прогнозирования санитарно-гигиенического состояния почвы в зоне промышленного свиноводства. – RU № 2129160, 20.04.1999.

Умаров М. М., Перцовская А. Ф., Звягинцев Д. Г. Определение активности азотфиксации ацетиленовым методом при гигиеническом нормировании тяжелых металлов в почве // Гигиена и санитария. – 1981. - № 2. – С. 24-27.

Шарошкин Н. М., Лызлов Е. В., Магуров П. Ф. Экспресс-метод оценки пригодности почвы для выращивания растений. – RU №2113712, 20.06.1998.

Языков Е. Г., Мыков О. А. Способ определения техногенной загрязненности почвенного покрова тяжелыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель). – RU № 2133487, 20.07.1999.

Assessment of the quality of Contaminated Soils and Sites in Central and Eastern European Countries (CEEC) and New Independent States (NIS) // International Workshop on Cotaminated Soils and Sites/ Sofia, Bulgaria, September, 30-October, 3, 2001. – P. 250

*Надійшла до редколегії 05.08.04*