

УДК 504.054:574.3; 504.53.06; 504.73.054; 581.5; 631.465

## СПОСІБ ІНДИКАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗАБРУДНЕНОЇ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ СИСТЕМИ ҐРУНТ – РОСЛИНА ЗА БІОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

В.Л. Самохвалова, А.І. Фатєєв, В.І. Якушко, І.М. Журавльова

*Спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт – рослина за біохімічними показниками. - В.Л.Самохвалова, А.І. Фатєєв, В.І. Якушко, І.М. Журавльова. – Розроблено спосіб, що відноситься до способів діагностики та оцінки забруднення важкими металами, використовуючи маркерні показники спрямованості біохімічних процесів, визначення рівнів вмісту активних форм забруднювачів в системі ґрунт–рослина, за яких проявляється погіршення екологічного її стану, токсичність забруднювачів. За впливу металів–токсикантів, використовуючи систему біохімічних показників, математичну обробку даних прогнозують забруднення системи ґрунт - рослина, поширюють встановлені взаємозв'язки на досліджувані типи ґрунтів різного генезису та рослини різних видів. Спосіб характеризується ефективністю, експресністю за одночасного підвищення об'єктивності отриманих результатів і зниження трудомісткості проведення робіт.*

**Ключові слова:** біохімічні показники, індикація, оцінка забруднення, важкі метали, система ґрунт – рослина.

**Адреса:** ННЦ «ІГА ім. О.Н.Соколовського», лабораторія охорони ґрунтів від техногенних забруднень, вул. Чайковського, 4, м. Харків, 61024

тел.: +380(572)704-16-67; E mail: v.samokhvalova@ua.fm або v.samokhvalova@mail.ru

*The approach of polluted by heavy metals soil – plant system indication and its ecological state assessment using biochemical indexes - V.L. Samokhvalova, A.I. Fateev, V.I. Yakushko, I.M. Zhuravleva. – The approach is developed which concerns to the ways of diagnostics and estimation of heavy metals contamination using the marker indexes of biochemical processes orientation, determination of levels pollutants active forms content in the soil-plant system, which worsening of its ecological state, shows up for pollutants toxicity. At heavy metals influencing systems of biochemical indexes is used, mathematical processing of data and forecast contamination of the soil-plant system; widen the set relationships on the explored soils types of different genesis and kinds of plants. The approach is characterized by efficiency, express at the simultaneous increase of objectivity of the received results and decline of labors intensiveness of works conducting.*

**Key words:** biochemical indexes, indication, estimation of contamination, heavy metals, soil-plant system.

**Address:** NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N.Sokolovsky", department for soil preservation from technogenic pollution, Chajkovsky str., 4, Kharkiv, 61024

tel.: +380(572)704-16-67, E-mail: v.samokhvalova@ua.fm або v.samokhvalova@mail.ru

Небезпека техногенного забруднення ґрунтів важкими металами (ВМ) полягає в тому, що тривалий час воно може не проявлятися, унаслідок буферних властивостей ґрунтів, і бути вагомим чинником негативних трансформацій як ґрунту в цілому, так і його окремих компонентів. У зв'язку з цим, активізувалися дослідження щодо пошуку способів індикації та оцінки сталої, перманентної або імпаکتної дії забруднення різної природи, ступеня негативного впливу сполук ВМ на ґрунтові властивості та якість рослин.

Розробка нових способів індикації та оцінки стану окремих складових трофічних ланцюгів за умов забруднення ВМ є вельми актуальною та доцільною до застосування в агроекології, екологічному нормуванні, екотоксикології ґрунтів, екологічній експертизі, при розробці концептуальних основ екологічного аудиту техногенно забруднених ґрунтів населених пунктів, сільськогосподар-

ських угідь, при оцінці небезпеки та прогнозуванні токсичної дії забруднювачів, розробці заходів детоксикації забруднених територій або проведенні комплексу технологічних, фізико-хімічних і біологічних заходів щодо санації (інактивації токсичності) забруднених ВМ ґрунтів та земель і, як наслідок, для зниження інтенсивності процесів деградації ґрунтів та рослин, які зазнали впливу фактору техногенного навантаження.

Способи індикації та оцінки є також корисними у вирішенні проблемних питань оцінки якості продукції урбофітоценозів, пошуку шляхів оптимізації її якісного складу, визначення якості ґрунтів за умов сталого або перманентного впливу фактору забруднення, за вирішення питань сертифікації продукції агроценозів, медико-біологічної оцінки рослинної продукції.

Відомо спосіб використання природного катализатору екологічної рівноваги агроценозів [1],

який включає застосування активатору ґрунтоутворення, який отримано змішуванням торфу, твердого луґу та целюлозолітичного ферменту з метою зниження техногенного впливу в біоценозі. Завдяки поступовому проникненню у ґрунт та рослини біологічно активних та ростових сполук, створюються умови для формування гумусу, обумовлюючи позитивний вплив на якісні та екологічні параметри ґрунту, продуктивність рослин, підтримання екологічної рівноваги агроценозу. Каталізатор є індикатором екологічної рівноваги агроценозів.

Проте внесенням запропонованої суміші в ґрунт неможливо вирішити проблему екологічної рівноваги агроценозів та досягти зниження техногенного впливу на довкілля. У способі індикація екологічної рівноваги агроценозу проводиться за прискорення розвитку ґрунтової біоти, розкладу і нейтралізації негативного впливу важких металів на біоценоз. Отже, можливість втілення способу обмежена відносно ґрунтів різних типів.

Спосіб не включає визначення якісних показників рослин. Останні є важливими складовими за визначення екологічної рівноваги агроценозів і, як наслідок, біологічної, гігієнічної якості продукції агроценозів, технологічних властивостей сировини з метою визначення спрямованості та інтенсивності процесів її переробки. Відсутнє також, у відомому способі, визначення показників мікробіологічної, біохімічної активності ґрунту, біохімічних показників рослин, які свідчать про рівновагу або її порушення в агроєкосистемі.

Інший відомий спосіб [2] передбачає виявлення зон екологічної небезпеки та зон надзвичайних екологічних ситуацій на основі використання критеріїв оцінки змін довкілля та стану здоров'я населення, критеріїв екологічного стану повітря, ґрунтів селітебних територій. Вибір критеріїв екологічної оцінки стану ґрунтів визначається специфікою їх розташування, генезисом, буферністю, направленістю використання. Основними показниками ступеня екологічного неблагополуччя є критерії фізичної деградації, хімічного та біологічного забруднення. Серед інших критеріїв оцінки екологічної ситуації території спосіб передбачає біохімічну оцінку за використання основних (співвідношення C:N, Ca:P, Ca:Sr в поверхневих водах, ґрунтах, рослинах, вміст біологічно активних мікроелементів), додаткових показників (співвідношення макроелементів у рослинах та кормах, вміст мікроелементів у рослинах), із урахуванням площі аномального вмісту. Проте, спосіб не урахує одну із головних складових, що надає можливість діагностування, проведення оцінки стану системи ґрунт – рослина – ферменти ґрунту та рослин. За характеру багатовитратності, трудомісткості рекомендованих досліджень спосіб також не передбачає визначення рівнів активності біохімічних показників екологічного стану системи ґрунт – рослина за умов забруднення.

Відомо підхід, що включає вивчення процесів деградації в рослинах у зв'язку з функціональною роллю катаболізму в адаптації рослинної системи до несприятливих умов довкілля [3]. Згідно із запропонованим підходом проводять визначення змін в інтенсивності процесів деградації, виходячи з того, що активація деградації органічних сполук, тобто запуск біохімічних процесів, відбувається за початкової дії стресу, як реакції – відповіді на вплив еколого-кліматичного, антропогенного фактору (стресору). За інтенсивністю процесів деградації, що каталізуються ферментами гідролазами, судять про напруженість обмінних процесів у рослинній системі, ураховуючи багатовекторність процесів катаболізму (деградація як коректуючий фактор, субстрат в обміні речовин та енергії, енергетична та сигнальна роль процесів розкладу). Такий підхід сприяє комплексному вивченню стану рослинної системи та забезпечує ефективність прогнозування її самовідновлення за умов дії стресового фактору. Однак, підхід не містить інформації щодо необхідності паралельних досліджень процесів деградації, її оцінки на базі визначень біохімічних показників за різного характеру дії елементів токсикантів у системі ґрунт – рослина.

Отже, відомі способи діагностики та оцінки забруднення характеризуються різними рівнями ефективності їх використання за умов сталого впливу техногенного забруднення ВМ, однак не містять інформації щодо використання діагностичних показників спрямованості біохімічних процесів системи ґрунт – рослина за умов забруднення. Окрім того, не передбачають визначення біохімічних показників стану рослин за умов забруднення урбофітоценозу, які є маркерами прояву токсичності ВМ, необхідності проведення заходів з інактивації токсичності системи ґрунт – рослина.

Тому, в основу винаходу поставлена мета розробки способу індикації та оцінки екологічного стану системи ґрунт – рослина за умов забруднення ВМ за рахунок використання системи біохімічних показників ґрунтів та рослин, які є маркерами функціонування забрудненої ВМ системи, що дозволяє діагностувати, визначати та оцінювати рівень забруднення, сприяє підвищенню репрезентативності, об'єктивності отриманих результатів за зниження трудомісткості.

Поставлена мета досягається за рахунок визначення біохімічних показників рослин та ґрунтів, по рівню активності яких судять про біохімічні процеси системи ґрунт–рослина, що дають змогу якісно та кількісно оцінити екологічний стан системи в цілому за умов забруднення ВМ.

За характером спрямованості процесів синтезу (анаболізм) та розкладу (катаболізм) визначаються рівні ферментативної активності ґрунту і рослин, які є каталізаторами спрямованості процесів синтезу й розкладу, що дозволило визначитись з

“слабкою” ланкою в системі (показник що знаходиться у мінімумі) та доцільністю впливу на неї шляхом залучення принципів антагонізму, заміщення, блокування або придушення, ліквідації.

Отже, діагностика стану, оцінка в системі передбачала виявлення та вплив на прояв забруднення ВМ, обмінні процеси, на функціонування системи ґрунт–рослина в цілому. Відповідно до “точки прикладання зусиль” (прояв забруднення – механізм процесу – функція) визначається ефективність діагностування, оцінки, способів впливу на надлишок ВМ або на нестачу мікроелементів – метаболітів у біологічній та біокосній системі.

Такий підхід допомагає виявити ефекти впливу забруднення, оцінити дисбаланс хімічних елементів системи ґрунт–рослина, визначитись із протидією йому, що підвищує рівень інформативності про стан системи ґрунт – рослина в умовах забруднення, дає можливість проводити оцінку якості, як за біохімічними показниками так і, використовуючи їх, прогнозувати якість продукції, одержаної на забруднених ВМ ґрунтах, біохімічний статус ґрунтів, стан стресу системи ґрунт – рослина. Останнє сприяє інтенсифікації процесу розробки інактиваторів токсичності ВМ агроекосистем і урбофітоценозів.

#### Матеріали та методи досліджень

Дослідження включали патентний пошук, підготовчий, польовий, аналітичний та камеральний етапи робіт.

Об'єктом патентного пошуку слугували наукові запатентовані розробки спеціалістів України та країн СНД в площині індикації та оцінки забруднення в системі ґрунт – рослина, визначення екологічного стану ґрунту, рослин у зоні техногенного забруднення, використання показників біохімічного статусу ґрунтів та рослин.

Методи досліджень – експертна оцінка, аналізування, співставлення.

Розробка нового способу включала декілька етапів: проведення польових, мікропольових та вегетаційних досліджень; визначення існуючого рівня вмісту хімічних елементів у зразках ґрунтів та рослин; дослідження основних закономірностей змін біохімічних показників ґрунтів та рослин, розробку прогнозних моделей змін маркерних показників спрямованості біохімічних процесів у системі ґрунт – рослина, прогнозу екологічного стану урбофітоценозів за умов надлишку ВМ та нестачі МЕ.

Польові дослідження в зонах сталої дії фактору техногенного забруднення ВМ проводили безпосередньо навколо основних центрів промислових емісій ВМ Харківського регіону (Зміївська ТЕС ВАТ “Центренерго”, Балакліівський ВАТ «Балцем», автотраси).

Мікропольовий та вегетаційний дослід (відповідно 21 варіант та 18 варіантів у трикратній

повторюваності) проводили за умов моделювання моно–та поліелементного характеру забруднення Cd, Pb, Cr, Ni чорнозему опідзоленого та чорнозему типового важкосуглинкового гранулометричного складу. В якості біотесту токсичного впливу забруднення ґрунту ВМ у модельних дослідах використовували рослини віки (*Vicia sativa*) та ячменю (*Hordeum vulgare*). Продуктивність агрофітоценозів, їх якісний склад визначали у кінці вегетаційного періоду.

Відбір ґрунтових, рослинних проб, підготування їх до аналізу здійснюють згідно вимог діючих стандартів ГОСТ 17.4.4.02-84 та ДСТУ 4287-2004 [4,5]. Мінералізація проб рослин за [6].

Визначення рівнів забруднення системи ґрунт–рослина проводиться згідно з існуючими методиками [7,8] за використання аналітичного методу атомно–абсорбційної спектроскопії (С – 115).

Досліджувались основні закономірності змін біохімічних показників ґрунтів та рослин (вміст сполук азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, вуглеводів, ліпідів, протеїнів, клітковини, золи, мікроелементів – метаболітів Cu, Co, Mn, Fe, Zn) за умов забруднення ВМ за перманентної дії фактору забруднення (моделювались моно–та поліелементний характер забруднення ґрунту Cd, Pb, Ni, Zn, Cr), за рівнів, що перевищують природний фон вмісту ВМ у чорноземних ґрунтах різного генезису (чорнозем опідзолений важкосуглинковий, чорнозем звичайний супіщаний Лісостепової зони України) в 2–4–6–8–10 разів. Такі рівні забруднення забезпечували прояв токсичності ВМ у системі ґрунт – рослина і зниження рівня продуктивності рослин.

Дослідження біохімічних показників рослин (18 параметрів) проводилось використовуючи комп'ютеризовану інфрачервону аналітичну систему PSCO /ISI IBM - PC 4250 (працює в ближній інфрачервоній області), для експресного визначення якості продукції агрофітоценозів з послідовним кількісним визначенням параметрів біохімічних показників.

Кількісне визначення рівнів біохімічних показників ґрунтів проводилось за [9,10]. Кількісну оцінку екологічного стану системи проводили за рівнем вмісту ферментів класу редукази і гідролази, тобто ферменти використовувались як маркери надлишку ВМ, нестачі макроелементів, мікроелементів–метаболітів. Так, за рівнем вмісту нітратредуктази визначався рівень вмісту нітратів у ґрунті і рослинах, за рівнем вмісту фосфатази – вміст фосфору органічного та мінерального в рослинах. Якісна оцінка здатності мікроорганізмів руйнувати забруднювач проводилась за рівнем дегідрогеназної активності ґрунтів, що дозволяє оцінити також рівень здатності ґрунтової системи до самоочищення.

Оцінка інших біохімічних показників проводилась за співставленням рівнів показників за за-

бруднення ВМ та його відсутності (контроль), з існуючими нормативними документами. Так, за співвідношенням азоту загального та мінерального в рослинах оцінювався рівень використання азоту для побудови молекул білку. Рівень синтезу протеїну рослинами визначався за показником його вмісту в тест-рослинах. За показником вмісту ліпідів діагностувався рівень ліпідного обміну, оцінювався – за співставлення з контролем. За показником вмісту цукрів (моно-та дицукрів) діагностувався рівень обмінних процесів вуглеводного обміну рослин, оцінювався – за співставлення з контролем.

У способі реалізовано можливість вирішення й зворотної задачі, а саме: за рівнем концентрації ВМ або мікроелементу-метаболіту в системі ґрунт-рослина можливо знаходження рівня біохімічної активності розрахунковим методом за рівнянням без залучення методів визначення біохімічних показників у ґрунтових і рослинних пробах, що сприяє економії часу та матеріальних ресурсів.

### Результати та їх обговорення

Аналіз патентів свідчить про те, що найбільш близьким аналогом по технічній суті й результату, що досягається, є експрес метод біотестування забруднених ґрунтів [11]. Спосіб включає відбір зразків ґрунтів та лісової підстилки, проведення аналізів на вміст забруднювачів, мікрофлори на щільних поживних середовищах, математичну обробку результатів аналізів та визначення активності ферменту каталази ґрунтів. Розраховується сумарна активність каталази ґрунтового профілю, що досліджується, коефіцієнт каталазної активності ґрунту, як співвідношення активності каталази у верхньому горизонті ґрунту до сумарної активності каталази ґрунтового профілю. За результатами виділяють рівень адаптації ґрунтової екосистеми, її здатність до самоочищення від забруднення, яка характеризується активністю ферменту каталази, а результати інактивації токсичності розпочинають виходячи з ступеня деградації ґрунту. Однак, зазначений спосіб вирішує завдання лише в узькому діапазоні вимог тому, що спосіб не урахує специфіки забруднення (спектр, рівні, характер забруднення), що порушує необхідну збалансованість між економічною та екологічною доцільністю проведення індикації, оцінки стану системи за забруднення ВМ, заходів з інактивації поллютантів, з урахуванням складу токсикантів, видових особливостей рослин, властивостей ґрунтів.

Адже для підвищення ефективності діагностики та оцінки стану системи ґрунт-рослина, вирішення проблемного питання проведення заходів інактивації токсичності в системі необхідним є, насамперед, вибір серед множини показників тільки тих, що характеризують спрямованість фізіолого-біохімічних процесів, значно звузити їх

спектр визначення, визначити рівні та характер забруднення, провести оцінку стану системи, прогнозувати спрямованість її розвитку.

Прототип також не містить інформації щодо урахування складних явищ синергізму та антагонізму макро- і мікроелементів у системі ґрунт-рослина, що визначають прояв токсичних властивостей забруднювачів та впливають на характер процесів самовідновлення системи ґрунт-рослина. Адже рівень ферментативної активності є відповідною реакцією на вплив забруднювачів у системі, а характер її функціонування та прояв властивостей пов'язаний із перерозподілом хімічних елементів. Таким чином, прототип містить лише складові вплив – відповідь, не містить необхідної важливої складової, що визначає стан системи ґрунт-рослина за умов забруднення – урахування принципу ієрархічності, зворотних зв'язків та визначення їх кількісного рівня.

Використовуючи лише каталазну активність, неможливо зробити об'єктивні висновки про стан ґрунтової системи за забруднення ВМ, адже ферментативна активність ґрунту може й збільшуватись, що призведе до хибних висновків щодо діагностики та оцінки його стану. Отже діагностика та оцінка забруднення ВМ не може базуватись на єдиному універсальному тест-показнику, на який слід орієнтуватись для виявлення токсичних властивостей поллютантів, прогнозування процесів самовідновлення ґрунтової системи за умов забруднення.

Технічне рішення також не передбачає паралельних визначень тест показників забруднення у системі ґрунт – рослина, що значно звужує його застосування, певною мірою унеможливує його запровадження для вирішення завдання діагностування, оцінки забруднення. Тому для підвищення ефективності діагностики та оцінки системи ґрунт-рослина необхідним є, насамперед, вибір серед множини показників тільки тих, що характеризують спрямованість біохімічних процесів в системі.

У прототипі відсутнє використання принципу перетворення кризи у потрібну функцію, що певною мірою унеможливує його запровадження для вирішення завдання діагностування, оцінки забруднення, доцільності проведення заходів з інактивації токсичності ВМ, прогнозування стану системи ґрунт-рослина, яка містить біокосну та біологічну складові.

Відповідно до нами запропонованого способу вище перелічені недоліки усуваються, тому що, по – перше, використовується принцип ієрархічності взаємозв'язку макро- та МЕ, перетворення кризи системи (забруднення системи ВМ, токсичність) у необхідну функцію (діагностика, оцінка токсичності ВМ); по-друге, реалізується пошук та визначення біохімічних показників спрямованості обмінних процесів у системі рослина – ґрунт; по-третє, ураховується функціональна роль процесів

деградації, які каталізуються ферментами гідролазами; по-четверте, за умов забруднення ВМ та нестачі мікроелементів – метаболітів визначаються точки “адресного прикладання зусиль” – симптом, механізм процесу, функція; по-п’яте, визначаються кореляції варіацій даних, їх характер за умов забруднення та без впливу стресору, виявляються кількісні рівні індикаторних показників екологічного стану системи ґрунт – рослина на базі спостережуваних зворотних зв’язків, теоретичних положень біохімії, фізіології та агрохімії, використовуючи елементи теорії продуктивності рослин, законів мінімуму і максимуму, відновлення рівноваги елементів у ґрунті з метою визначення якості рослин техногенних урбофітоценозів.

Отримана аналітична інформація статистично обробляється та підтверджується її достовірність, використовуючи модулі кореляційного, дисперсійного, регресійного, факторного аналізу у рамках пакета Statistica 6.0 послідовно обираються

фактори, які сумісно пов’язані, позначаються характер та кількісні їх рівні, проводиться аналіз (рис.1-4, табл. 1). Наприклад, зв’язки показників активності нітратредуктази, вмісту моноцукрів, фосфору, які виділено в таблиці 1, з рівнями забруднення ВМ мають обернений характер, на їх основі створюють математичні моделі. Таким чином, послідовно встановлювались суттєві прямі та нелінійні залежності між факторами (рівні забруднення ґрунтів ВМ, біохімічні показники). Далі інформація візуалізувалась. Результатом аналізу є вид функції відгуку (моделі) на надлишок ВМ або нестачу мікроелементів – метаболітів у системі ґрунт - рослина, що дозволило прогнозувати значення відгуків у тих станах, які не вивчались експериментально. Такий підхід забезпечив реалізацію можливості отримати якісні показники з кількісними значеннями для любого набору факторів, що досліджуються в системі, за конкретних рівнів кожного з них.

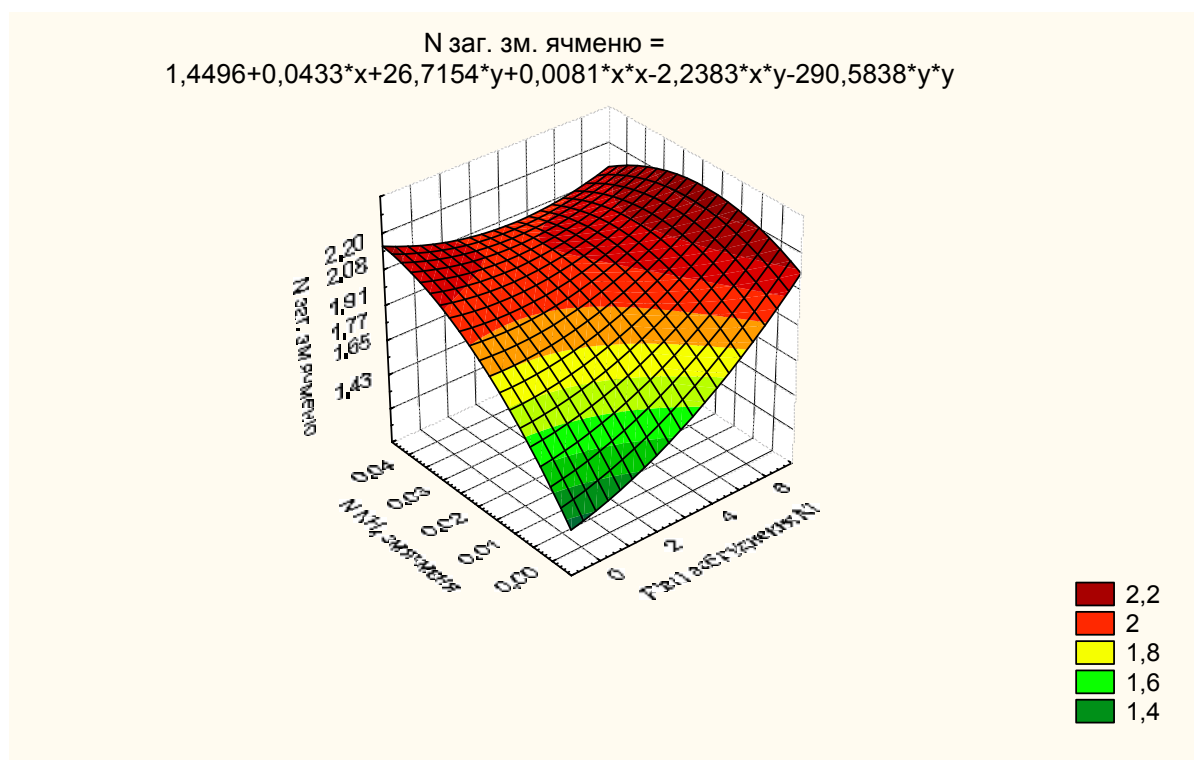


Рис. 1. Залежність вмісту загального азоту та аміачної форми азоту від рівнів забруднення ґрунту Ні.

Аналіз ефективності кожного з етапів дослідження виявив те, що діагностування впливу надлишку ВМ та нестачі МЕ, оцінка стану системи ґрунт – рослина, визначення біохімічних показників та показників біохімічної активності відображає існуючі в системі явища коергізму (антагонізму, синергізму) металів-токсикантів, макро - і

мікроелементів–метаболітів, зворотній зв’язок рівня забруднення та рівня біохімічної активності системи ґрунт - рослина. Результуючий вплив ВМ на систему ґрунт-рослина залежить від складу забруднення, чутливості рослин, ґрунтових умов, форм сполук ВМ та їх співвідношення.

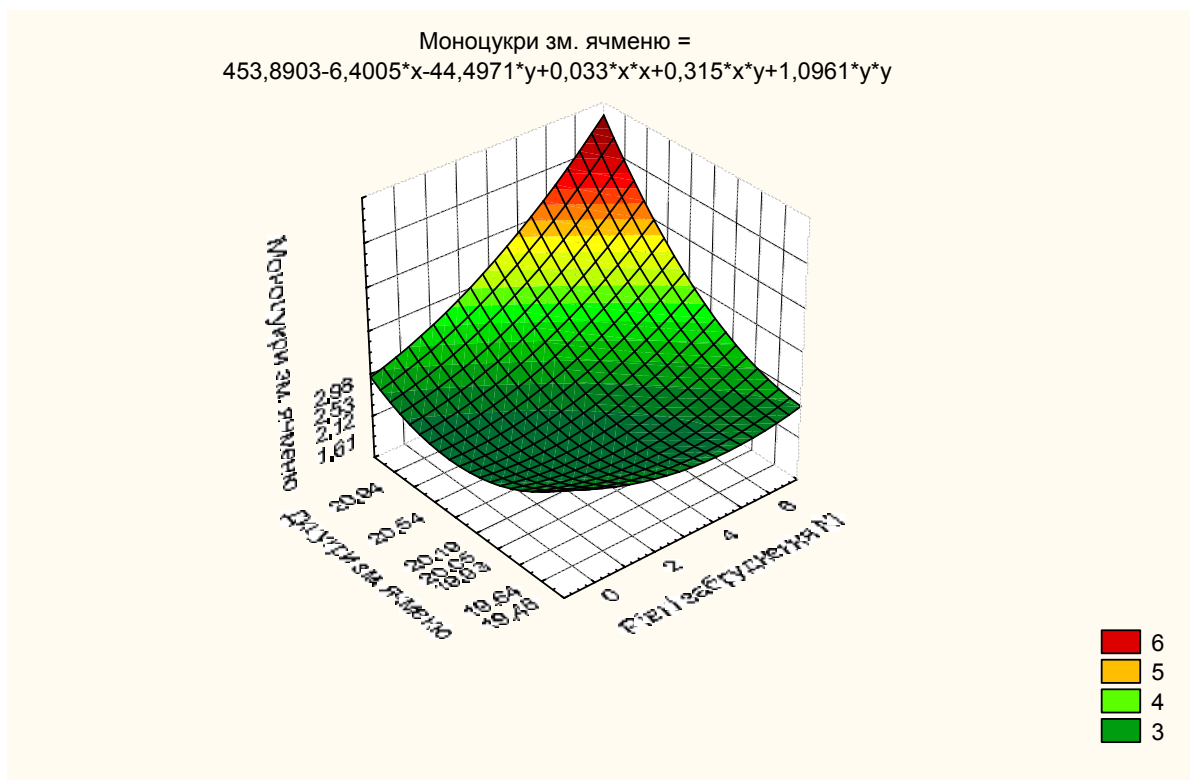


Рис. 2. Залежність вмісту моноцукрів та дицукрів у рослинах ячменю від рівнів забруднення ґрунту Ni.

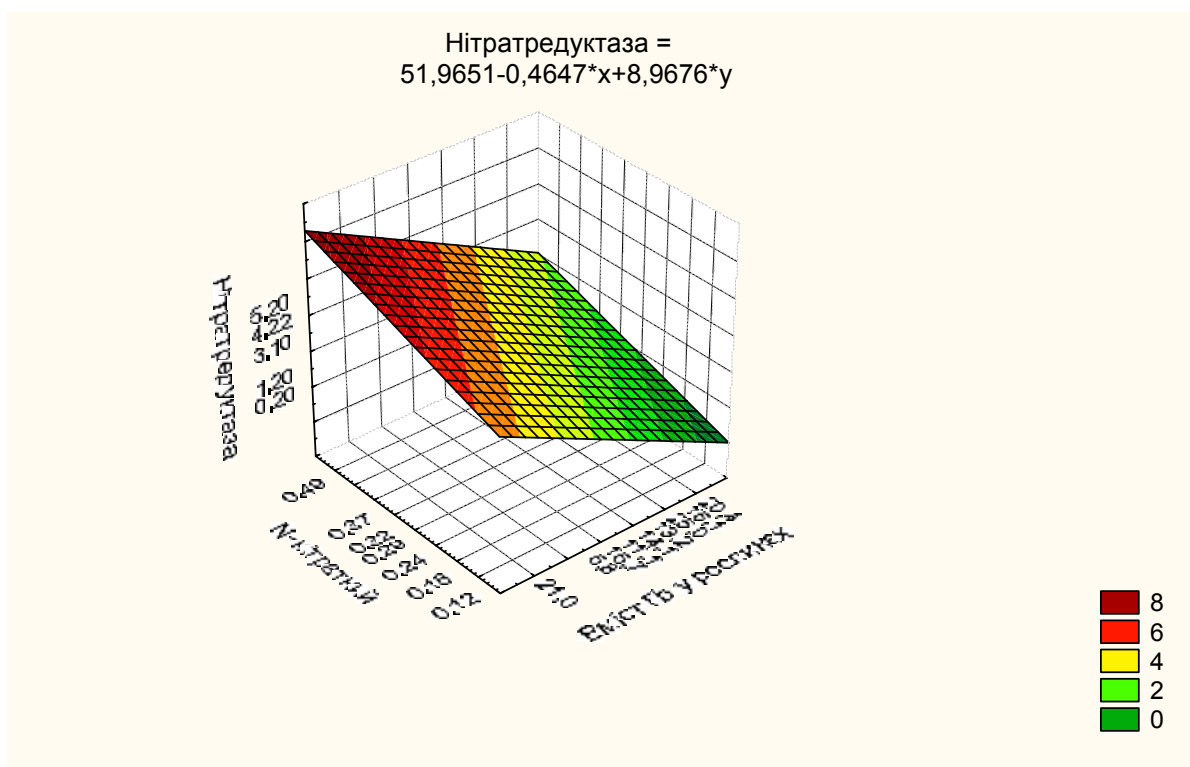


Рис. 3. Взаємозв'язок між активністю нітратредуктази рослин, вмісту нітратної форми азоту ґрунту та вмістом Pb у рослинах.

$$P_{\text{орг}}/P_{\text{мин}} = -19,0005 - 0,5382 * x + 0,384 * y - 0,0323 * x * x + 0,006 * x * y - 0,0016 * y * y$$

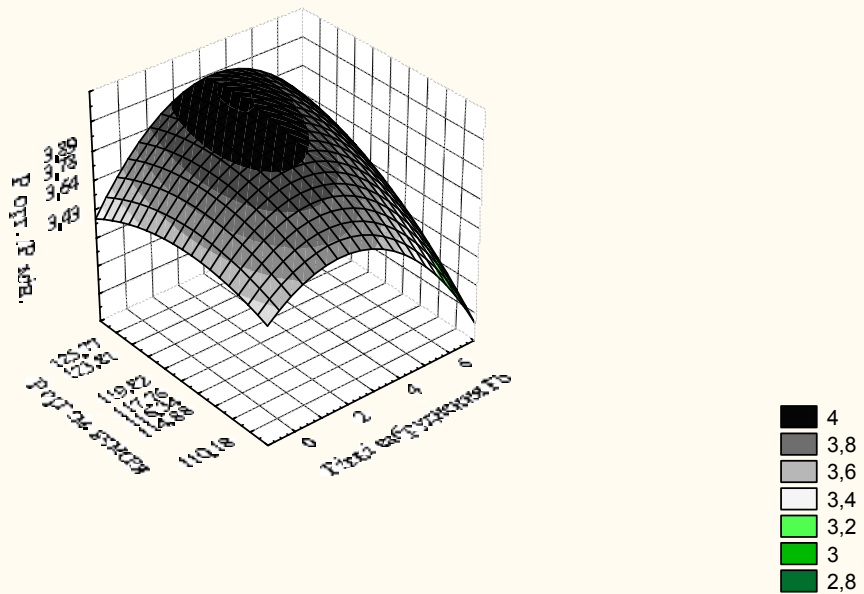


Рис. 4. Взаємозв'язок вмісту різних форм фосфору у рослинах ячменю та вмістом Рв у ґрунті.

Таблиця 1. Результати кореляційного аналізу (фрагмент) тест показників в системі ґрунт – рослина.  
Table 1. Results of cross-correlation analysis (fragment) of test indexes in the soil-plant system.

Показники	Матриця кореляцій (фрагмент)										
	Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu	Продуктивність надземної маси	Продуктивність кореневої маси	N загальний
Продуктивність надземної маси	0,22	-0,07	0,20	0,22	0,27	0,22	0,14	0,16	1,00	0,71	-0,15
Продуктивність кореневої маси	0,46	-0,30	0,46	0,46	0,69	0,46	0,42	0,41	0,71	1,00	-0,10
N загальний	0,25	0,34	0,24	0,25	-0,39	0,25	0,34	-0,07	-0,15	-0,10	1,00
N білковий	0,23	0,23	0,23	0,23	-0,30	0,23	0,37	-0,06	-0,19	0,03	0,95
N аміачний	0,06	-0,19	0,05	0,06	-0,14	0,06	0,29	-0,09	-0,04	0,26	0,60
N нітратний	0,45	0,37	0,45	0,45	-0,13	0,45	0,53	0,14	-0,04	0,16	0,91
K	-0,58	0,58	-0,56	-0,58	-0,59	-0,58	-0,63	-0,67	-0,25	-0,59	0,31
Моноцукри	-0,56	0,14	-0,56	-0,56	-0,22	-0,56	-0,73	-0,50	-0,09	-0,48	-0,27
Дицукри	-0,44	0,30	-0,39	-0,44	-0,01	-0,44	-0,64	-0,15	-0,10	-0,32	-0,66
Сума вуглеводів	-0,14	0,20	-0,13	-0,14	0,18	-0,14	-0,36	0,03	0,13	-0,21	-0,68
Нітратредуктаза	-0,58	-0,11	-0,59	-0,58	-0,01	-0,58	-0,52	-0,67	0,03	0,16	0,15
P органічний /P мінеральний	-0,76	0,10	-0,77	-0,76	-0,52	-0,76	-0,74	-0,74	-0,11	-0,48	-0,09
P мінеральний	0,78	-0,31	0,78	0,78	0,42	0,78	0,75	0,82	0,05	0,38	0,06
P органічний	-0,35	0,18	-0,37	-0,35	-0,33	-0,35	-0,50	-0,31	-0,06	-0,63	-0,20
Винос N	0,34	0,10	0,31	0,34	0,06	0,34	0,31	0,12	0,87	0,61	0,34

## Висновки

Відмітними рисами запропонованого нового способу, в порівнянні з відомими способами та підходами, є наступні:

- сприяє комплексному вивченню стану системи ґрунт – рослина, проведенню об'єктивної діагностики та оцінки її стану за умов різного характеру, рівнів забруднення Cd, Pb, Ni, Zn, Cr нестачі мікроелементів – метаболітів, ініціюванню проведення заходів інактивації токсичності ВМ;
- придатності для всіх типів техногенно забруднених ґрунтів з різними буферними властивостями;
- реалізовано можливість вирішення зворотної задачі за відомим рівнем окремих біохімічних показників (мікроелементи-метаболіти, макроелемен-

ти, ліпіди, жири, вуглеводи та ін.) в системі ґрунт-рослина є можливим знаходження рівня активності ферментів, що каталізують біохімічні перетворення, використовуючи розроблені математичні моделі без залучення методів визначення ензимів ґрунтів та рослин, що сприяє економії часу, матеріальних ресурсів, ефективності прогнозування біохімічного статусу системи ґрунт-рослина за умов забруднення ВМ;

- за використання маркерних показників спрямованості біохімічних процесів системи ґрунт – рослина за умов забруднення сприяє одержанню експрес – методу виявлення превалюючих процесів (синтез або розклад) її обміну, оцінки і прогнозування стану системи.

1. Патент С05F11/02, А01N65/00 RU №2257365С1, 27.07.2005, Бюл. № 21 «Естественный катализатор экологического равновесия агроценозов».
2. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика. – МинПР РФ, 1992. – 58 с.
3. Тарчевский И.А. Процессы деградации у растений. – М., 1996. - 294с.
4. ГОСТ 17.4.4.02. – 84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 15 с.
5. ДСТУ 4287-2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 5 с.
6. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Постановление Госстандарта России от 21.02.1995 № 78 /ГОСТ от 21.02.1995 № 26929-94.
7. МВВ 31-497058-015-2003 Визначення вмісту рухомих форм важких металів (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn, Mn, Fe) у ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 за М.К. Крупським і Г.М. Александровою на атомно-абсорбційному спектрофотометрі.
8. Методи аналізів ґрунтів і рослин – Харків: ННЦ ІГА, 1991. – С. 175-192.
9. Методы почвенной микробиологии и биохимии /Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 223с.
10. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. - М.: Наука, 1976. – 180 с.
11. Заявка на патент С05F11/02, А01N65/00 RU №2004111473А, 20.10.2005, Бюл. № 29 «Экспресс-метод биотестирования контаминированных почв.

Отримано: 10 жовтня 2007 р.

Прийнято до друку: 28 травня 2008 р.