

УДК 576.8:631.86

Г. О. Іутинська, д. б. н., проф.

КОНЦЕПЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ І СТВОРЕННЯ ДІЮЧОЇ СИСТЕМИ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ҐРУНТІВ

Представлено ієрархічну систему мікробіологічних показників для моніторингу ґрунтів. Вона базується на чутливості мікроорганізмів до умов навколишнього середовища, їх фізіологічної і біохімічної активності на різних рівнях організації. При використанні інтерактивної системи АСТРІД методом групового урахування аргументів за експериментальними даними побудовані математичні моделі, які описують зміни чисельності мікроорганізмів в залежності від ряду екологічних факторів і присутності важких металів у ґрунті. Показано перспективність індуктивного підходу в моделюванні мікробіологічних процесів в ґрунті.

Сучасні агроєкосистеми підлягають значному техногенному впливу, наслідком якого все частіше є забруднення ґрунтів ксенобіотиками. Значні площі орних земель України також забруднені токсичними іонами важких металів, радіонуклідами, пестицидами [1]. Полютанти чинять негативний вплив на ґрунтову мікробіоту, тому виникає нагальна необхідність проведення постійних довгострокових спостережень за її станом [2]. Такі спостереження необхідно проводити у системі мікробіологічного моніторингу ґрунтів з метою оцінки, прогнозування та попередження негативних змін в мікробному ценозі ґрунту під дією природних і антропогенних чинників. Мікробний моніторинг ґрунтів має входити до загальної мережі державного екологічного моніторингу і повинен складатися з таких етапів:

- визначення стану мікробної системи ґрунту за комплексом біоіндикаційних показників;
- розробка математичних моделей динаміки біоіндикаційних показників;
- включення мікробіологічних показників та моделей їх кількісних змін у державну комп'ютерну мережу екологічного моніторингу ґрунтів.

Спеціального комплексу мікробіологічних досліджень потребує проблемно орієнтований моніторинг, зокрема земель, що забруднені важкими металами, пестицидами, нафтою і продуктами нафтопереробки, радіонуклідами.

Розроблена нами концепція мікробіологічного моніторингу ґрунтів базується на системному підході до мікробіоти як складної самоврегульованої відкритої біологічної системи з ієрархічною структурою організації, що має такі рівні: позаклітинний, клітинний, популяційний, ценотичний [3]. Для кожного з цих рівнів були визначені найчутливіші біодіагностичні показники.

На позаклітинному рівні біологічної системи ґрунту цінну інформацію отримують, досліджуючи активність ряду ферментів. Так, активність гідролаз і оксидоредуктаз може бути показником біологічного стану ґрунту, коли необхідно оцінити вплив різних чинників: обробітку ґрунту, доз і видів добрив, отрутохімікатів, ступеня ерозії ґрунту, ґруновтомлення та інше. На позаклітинному рівні біологічної системи за умов дії важких металів особливо чутливими до дії важких металів є оксидоредуктази. Показана можливість використання аскорбатовоксидазної активності як показника, що характеризує вплив важких металів на біологічну систему ґрунту на доклітинному рівні її організації.

На клітинному рівні негативний вплив забруднень проявляється в мутагенній дії на генетичний апарат мікробної клітини. Поява мутантних штамів може призвести до непередбачуваних екологічних наслідків, тому доцільно у екологічному моніторингу ґрунтів проводити вивчення мутагенного впливу забруднень на генетичний апарат клітин тест-мікроорганізмів або мікробне угруповання в цілому. Нами з використання тесту Еймса виявлено, що пестициди, які нині застосовують у виробництві, є потенційно генетично активними, вони індують мутації у мікроорганізмів з частотою, яка у 1,5 — 3,8 рази перевищує рівень виникнення спонтанних мутацій. Крім того, пестициди змінюють природний спектр ізоферментів ґрунтових мікроорганізмів: виявлений перерозподіл активності між окремими видозмінами ферменту, зникнення існуючих і поява нових ізоформ або навіть повне припинення синтезу відповідного ферменту. Такі зміни були виявлені у

спектрах глюкозофосфатізомерази, фосфоглюкомутази, ізоцитратдегідрогенази, естерази, б-фосфоглюконатдегідрогенази, супероксиддисмутази, діафори, а також ферменту системи анти-радикального захисту – супероксиддисмутази [4].

Дослідження на популяційному рівні полягають у вивченні поведінки окремих видів (або штамів) мікроорганізмів. Це дає можливість виявити чутливі до антропогенного чинника форми, які можна використати як біоіндикатори на його присутність. Вивчення особливостей росту окремих культур азотфіксуючих мікроорганізмів за присутності іонів важких металів показало, що у моніторингу ґрунтів можна використовувати чутливі штами *Azotobacter chroococcum* як тест-культури на забруднення Cd^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} і Zn^{2+} . Окремі штами цього виду втрачають здатність до росту вже при низьких дозах забруднення — 1 ГДК. Виділено ряд штамів стрептоміцетів, чутливих до важких металів: *S. versipellis* (секція *Cinereus* / серія *Achromogenes*), *S. griseoalbus* (*Albocoloratus*) та *S. viridogenes* (*Cinereus/Chrysomallus*).

На ценотичному рівні моніторингових досліджень мікробних угруповань ґрунту важливо отримати дані про чисельність мікроорганізмів окремих еколого-трофічних або таксономічних груп, їх співвідношення у складі мікробного ценозу, визначити флуктуації їх чисельності, розрахувати показники стійкості і гомеостазу. Одним з важливих показників на ценотичному рівні у моніторингу забруднених ґрунтів є рослинно-мікробні взаємодії, які можна охарактеризувати ефективністю бобово-ризобіального симбіозу. На прикладі *Rhizobium leguminosarum* і *R. japonicum* показано, що важкі метали негативно впливають на нодуляційну активність бульбочкових бактерій. За високих рівнів забруднення припиняється формування бульбочок і гальмується азотфіксуюча активність [5].

Отже, для мікробіологічного моніторингу ґрунтів, забруднених важкими металами, запропонована система біодіагностичних показників, яка наведена у таблиці.

Система показників для мікробіологічного моніторингу ґрунтів, забруднених важкими металами

Ієрархічний рівень	Індикаційний показник	Біотест
Позаклітинний	Активність ґрунтових ферментів	Аскорбатоксидаза Нітрогеназа
Клітинний	Токсичність і мутагенна активність забрудненого ґрунту	<i>Salmonella typhimurium</i> TA 100 і TA 90, <i>E. coli</i> WP2, Стрептоміцинстійкі мутанти мікробного угруповання ґрунту
Популяційний	Ростові реакції чутливих мікробних популяцій	<i>Azotobacter chroococcum</i> 5,10, <i>Streptomyces viridogenes</i> 570
Ценотичний	Гомеостаз мікробного угруповання ґрунту Активність бобово-ризобіального симбіозу	Вживання мікроорганізмів, швидкість відновлення чисельності та функцій мікробного ценозу Нодуляційна активність ризобій

Для використання результатів мікробіологічних спостережень в діючій системі екологічного моніторингу ґрунтів з комп'ютерною мережею обробки даних необхідно проводити їх формалізацію шляхом побудови математичних моделей. Системний підхід дає підставу для використання методів математичного аналізу та інформаційних технологій, доказом чого є побудова математичних моделей відгуку ґрунтової мікрофлори на забруднення важкими металами.

Одним з найефективніших методів моделювання експериментальних даних для моніторингових досліджень є метод групового урахування аргументів (МГУА) [6]. Це індуктивний метод для побудови лінійних, нелінійних, поліноміальних, авторегресійних та інших моделей складних процесів за короткими вибірками даних. В його основу покладені принципи зовнішнього доповнення, автоматичної генерації і послідовної селекції ускладнюваних структур моделей [7]. Моделі були розроблені в Міжнародному науково-навчальному центрі ЮНЕСКО інформаційних технологій і систем НАН і МОІН України [8].

Вхідними даними для побудови моделей були незалежні змінні: концентрація рухомих форм важких металів, середньодекадні значення температури, вологості ґрунту і повітря, чисельність мікроорганізмів у ґрунті контрольної незабрудненої ділянки. Вихідними (залежними) змінними були дані про чисельність мікроорганізмів на ділянках, забруднених важкими металами. На базі динаміки цих змінних будуються лінійні моделі динаміки чисельності мікроорганізмів у ґрунті в залежності від екологічних факторів і дози забруднення. Із побудованих моделей видно, що істот-

но впливали на чисельність органотрофів у забрудненому ґрунті всі змінні вмісту важких металів, неінформативними були змінні, що характеризують температуру і вологість повітря.

На рис. 1. зображені експериментальна крива і графічний вигляд моделі, які узагальнюють результати 4-річних спостережень за мікробіотою ґрунту. У кожній році вибірку складали дані за трьома строками відбору зразків. Тобто за 4 роки було проведено 12 етапів спостережень, які в моделі розташовані в порядку зростання – від 1-го до 12-го.

Аналіз цих графіків показує, що в більшості випадків експериментальні і розраховані за моделлю дані збігаються. Проте є випадки їх розходження, наприклад, у ґрунті, забрудненому дозою 2 ГДК на 4-му етапі спостережень, а також у ґрунті, забрудненому дозою 4 ГДК на 5-му етапі спостережень. Такі розходження можна пояснити просторовою неоднорідністю ґрунту, наявністю кореневих залишок, іншими мікролокальними умовами, які могли викликати коливання чисельності мікроорганізмів, не передбачені моделлю. Незважаючи на ці розходження, модель адекватно відображає динаміку чисельності мікроорганізмів.

Перевірка моделі в екзаменаційному режимі підтвердила задовільний збіг прогнозованих та

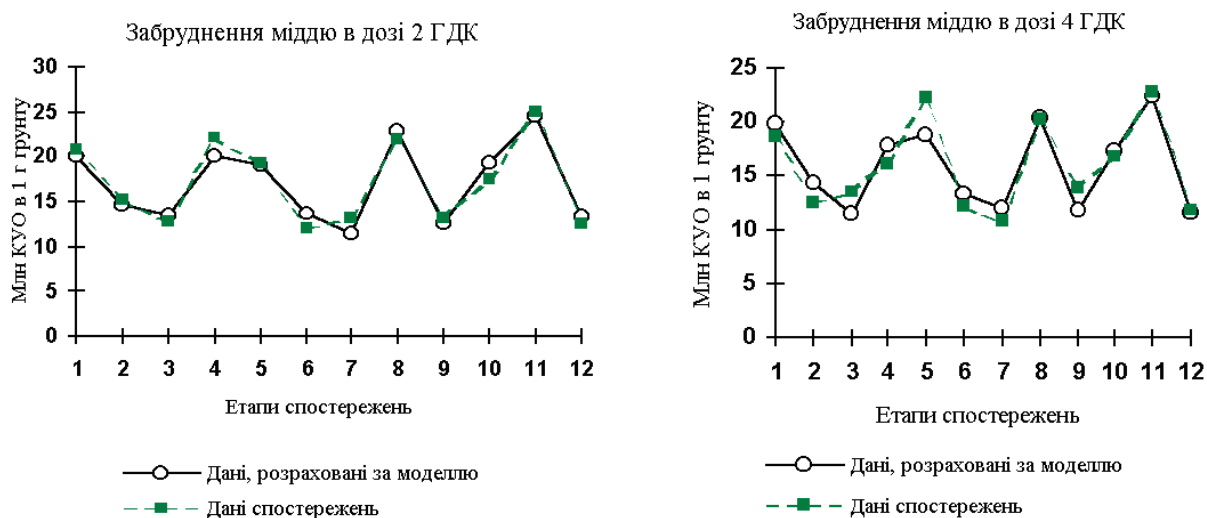


Рис. 1. Динаміка чисельності органогетеротрофних мікроорганізмів у ґрунті, забрудненому важкими металами

експериментальних даних. Для цього на графік наносили три останні точки, які згідно з моделлю прогнозували очікувану кількість мікроорганізмів при визначеному вмісті важких металів у ґрунті. Отримані впродовж наступних досліджень експериментальні дані майже повністю збіглися з прогнозованими. Статистичні показники якості моделі також свідчать про те, що експериментальні й розраховані дані збігаються на 75,3 %.

Моделі дозволяють вирішити задачу відновлення відсутніх або втрачених даних, а також надають можливість використовувати їх в системі екологічного моніторингу ґрунтів для оцінки ситуацій, відновлення даних в проміжних точках та прогнозування розвитку мікроорганізмів за певних екологічних умов.

Розроблена система мікробіологічних показників може бути задіяна у функціональній структурі регіонального мікробіологічного моніторингу ґрунтів (рис. 2). Згідно з цією схемою складовими регіонального моніторин-

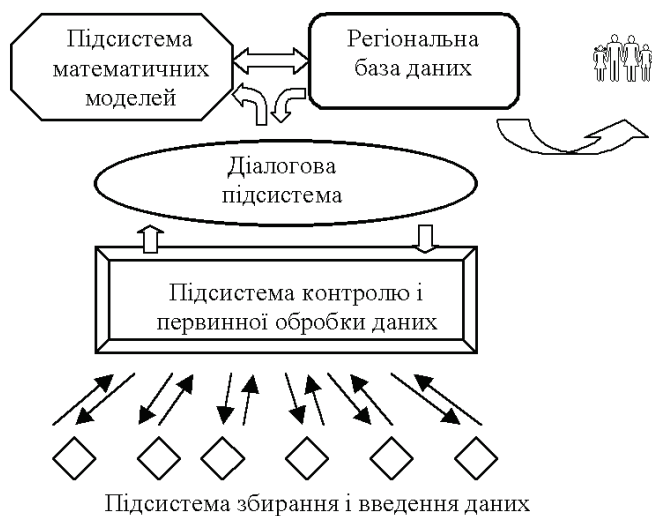


Рис. 2. Функціональна структура моніторингу ґрунтів

гу ґрунтів є:

а) підсистема збору і введення даних, яка здійснює визначення цілого ряду індикаційних показників, в тому числі мікробіологічних, що характеризують стан ґрунту, і передає їх каналами зв'язку і введення в загальну систему моніторингу;

б) підсистема контролю і первинної обробки інформації, яка проводить контроль за надходженням даних про стан ґрунту та здійснює первинну обробку і розподіл даних по базах даних системи;

в) діалогова система спілкування, яка дає можливість аналізувати і порівнювати поточні дані з регіональною базою даних і з роботою всієї системи моніторингу;

г) регіональна база даних, яка акумулює інтегровані показники, в тому числі мікробіологічні, екологічного стану ґрунтів;

д) підсистема математичних моделей, в яку входить і модель динаміки чисельності мікроорганізмів в контрольному і забрудненому ґрунті і яка дає можливість прогнозувати розвиток екологічної ситуації в даному регіоні;

ж) підсистема взаємодії з користувачем, яка забезпечує екологічною інформацією місцеві органи управління, громадськість, засоби інформації тощо.

Таким чином, моніторинг складається з операцій вимірювання, аналізування, описування, моделювання, оптимізації та прогнозування. Інформацію, що отримують в процесі моніторингових досліджень, використовують з метою охорони довкілля. Проведення моніторингу дає можливість отримувати детальну інформацію про фактичний стан ґрунту, оцінювати та прогнозувати його зміни під впливом антропогенного навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Земельні ресурси України / Під ред. В. В. Медведєва, Т. М. Лактіонової. — Київ: Аграрна наука, 1998. — 148 с.
2. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія. — К.: Арістей, 2006. — 282 с.
3. Андреюк Е. И., Іутинская Г. А., Валагурова Е. В., Козырицкая В. Е., Иванова Н. И., Остапенко А. Д. Иерархическая система биоиндикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. — 1997. — № 12. — С. 1491—1496.
4. Ямборко Н. А., Глазко В. И., Іутинская Г. А. Влияние фунгицидов биологического и химического происхождения на ферментные спектры почвенных микроорганизмов // Агроекологічний журнал. — 2004. — № 4. — С. 29—33.
5. Андреюк К. І., Іутинська Г. О., Антипчук А. Ф., Валагурова О. В., Козирицька В. С., Пономаренко С. П. Функціонування мікробних угруповань ґрунту в умовах антропогенного навантаження. — К.: Обереги, 2001. — 239 с.
6. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. — К.: Наукова думка, 1982. — 245 с.
7. Кротов Г. И., Коппа Ю. В., Степашко В. С. Интерактивное моделирование сложных объектов на основе алгоритмов МГУА // Кибернетика и вычислительная техника. — 1994. — Вып. 104. — С. 44—51.
8. Іутинська Г. О., Степашко В. С., Коппа Ю. В. Моделювання динаміки чисельності мікроорганізмів у ґрунті, забрудненому важкими металами // Мікробіологічний журнал. — 2002. — № 3. — С. 59—67.

Іутинська Галина Олександрівна — заступник директора інституту з наукової роботи.

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАНУ