

Валентин Нехай, Віталій Литвинов

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ

Валентин Нехай, Віталій Литвинов

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СОСТОЯНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

Valentyn Nekhai, Vitaliy Litvinov

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF INFORMATION TECHNOLOGIES OF MODELLING AND FORCASTING OF SOIL FERTILITY STATE

Розглянуто окремі історичні аспекти щодо застосування інформаційних технологій прогнозування стану родючості ґрунту на основі математичного моделювання агроєкосистем.

Ключові слова: інформаційні технології, прогнозування, математичне моделювання, математичні моделі, родючість ґрунту.

Рис.: 1. Бібл.: 21.

Рассмотрены отдельные исторические аспекты использования информационных технологий прогнозирования состояния почвы на основе математического моделирования агроэкоцистем.

Ключевые слова: информационные технологии, прогнозирование, математическое моделирование, математические модели, плодородие почвы.

Рис.: 1. Библ.: 21.

The present article deals with individual historical aspects of applying information technologies to forecast soil state on the basis of the agricultural and ecological system of mathematical modelling.

Key words: information technologies, forecasting, mathematical modelling, mathematical model, soil fertility.

Fig.: 1. Bibl.: 21.

Постановка проблеми. Землеробство як вид господарської діяльності виникло багато століть тому. Пріоритет розвитку землеробства і на сьогодні зумовлюється тим, що для його здійснення людство використовує унікальні явища природи: земельні ресурси, фотосинтетичні властивості рослин перетворювати сонячну енергію в хімічну. При цьому не витрачаючи на це значних фінансових ресурсів, а в результаті отримуючи продукти харчування.

У зв'язку зі збільшення населення планети для задоволення продовольчих потреб відбувається інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, що призводить до погіршення якості сільськогосподарських земель. Тому постає питання посилення заходів з відновлення земель, що означає розроблення стратегії використання сільськогосподарських земель, спрямовану не тільки на отримання поточного врожаю, а і з метою збереження та відновлення якісних показників ґрунту.

Під дією природних і антропогенних факторів ґрунт змінює свій якісний стан і така зміна негативно впливає на ефективну родючість сільськогосподарських земель. Тому одним з головних завдань сучасної державної політики у сфері землекористування є забезпечення раціонального використання та охорони продуктивних земель на основі його екологізації, охорони і захисту землі як складової навколишнього природного середовища, збереження, примноження і відтворення її продуктивної сили як ресурсу.

Одним із запобіжних заходів негативному впливу є використання автоматизованих систем в управлінні станом ґрунтів, що підвищить ефективність формування рішень в умовах складності, невизначеності та нестационарності процесу. Вирішення такого завдання неможливе без створення адекватних інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану родючості ґрунту, які б достатньою мірою відображали причинно-наслідковий характер процесів, що протікають в об'єктах природокористування під дією природних і антропогенних факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Родючість ґрунту як одна з найбільш ґрунтовних природних функцій, яка забезпечує формування біологічних активів, характеризується значною часовою та просторовою мінливістю. Вплив факторів на стан ґрунту досліджували такі науковці, як: П. О. Костичев, В. Р. Вільямс, Д. М. Прянишников, К. К. Гедройц, О. М. Соколовський.

Перші роботи з використання методу математичного моделювання були розпочаті в 20–40-х роках Є. М. Гапоном, В. П. Гортіковим, М. М. Веригінім. Починаючи з 60-х років ХХ ст. економіко-математичному моделюванню присвячено значну кількість наукових публікацій, серед яких найбільшій уваги заслуговують наукові надбання вчених: М. Є. Браславця, А. М. Гатауліна, А. А. Горелова, Д. М. Гвішані, Дж. Джефферса, Ю. А. Дубова, Р. Г. Кравченка, М. І. Лукачева, К. Д. Льюїса, Я. Г. Неуйміна, Л. І. Поліщука, В. В. Розена, Б. К. Скирти, Дж. Франса, О.С. Фрида, Дж. Торнлі та багатьох ін.

Математичне моделювання продукційного процесу сільськогосподарських культур розглядалося М.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковським, І.Г. Мушкіним, Р.О. Полуектовим та іншими.

Моделі управління родючістю розглядали: В. М. Бельченко, Д. М. Дурманов, І. І. Карманов, В. А. Светов, Л. І. Шишов та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Різноманітність ґрунтів за генезисом, гранулометриєю і зволоженням обумовлює строкатість земельних ресурсів за властивостями і родючістю. За 50 років після закінчення великомасштабних обстежень земельних ресурсів дослідження 1957–1961 рр. показали, що ґрунтовий покрив зазнав змін [1]. У зв'язку з цим результати якісного оцінювання ґрунтів за родючістю в Україні не відповідають повною мірою реальному стану. Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати у структуру системи управління сільськогосподарськими підприємствами новітні інформаційні технології, які ґрунтуються на сучасних даних про стан ґрунтів, що забезпечить достовірне отримання, збереження, обробку даних і підтримку процесів прийняття технологічних рішень з питань підвищення якості ґрунту, доцільності й строків сівби сільськогосподарських культур, норм і строків внесення добрив, поливу тощо.

Мета статті. Проведення науково-історичного аналізу становлення та розвитку інформаційних технологій моделювання та прогнозування стану ґрунту для вирішення наукових проблем раціонального використання земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. В історії розвитку землеробства науковці висловлювали різні погляди щодо природи родючості ґрунту та факторів, що впливають на її стан. Кінець ХVІІІ століття – початок ХІХ ст., характеризується превалюванням теорії німецького науковця, ґрунтознавця А. Теєра, згідно з якою основою родючості ґрунту є вміст у ньому гумусу. В середині ХІХ ст. Ю. Лібіх, один із засновників агрономічного ґрунтознавства, розробив теорію мінерального живлення рослин, за якою родючість ґрунту обумовлювалась вмістом у ньому мінеральних поживних речовин, що стало основою для виробництва та широкого використання мінеральних добрив. Такої ж думки дотримувався французький учений Ж. Б. Бусенго, підкреслюючи значну роль азотного живлення рослин як фактора підвищення родючості ґрунту.

Велику увагу вмісту в ґрунті органічних речовин та його фізичним властивостям, зокрема структурі, приділяв російський мікробіолог та геоботанік П. А. Костичев. В. Р. Вільямс визнавав головною ознакою родючості ґрунту лише його структуру.

Д. М. Прянишников вважав, що структура та інші фізичні властивості ґрунту є головною ознакою, яка характеризує родючість ґрунту та забезпечує рослини поживними речовинами. Внесення органічних, мінеральних добрив та використання як сидератів бобових рослин, на думку вченого, слугує підвищенню родючості ґрунту.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

К. К. Гедройц, О. Н. Соколовський наголошували, що значну роль у створенні ґрунтової родючості відіграють найбільш дисперсні часточки – ґрунтові колоїди.

Традиційно всі процеси, що протікають в агроекосистемах, вивчалися в сукупності агрономічних наук, таких як землеробство, агрохімія, рослинництво, захист рослин, залишаючись в основному на якісному (описовому) рівні. Це значною мірою було обумовлено як значною складністю цих процесів, так і відсутністю фундаментальних знань у галузі ґрунтознавства (фізики ґрунтів), фізіології та біохімії рослин. У результаті цього всі технологічні рекомендації також носили якісний характер, а окремі кількісні вказівки, наприклад щодо застосування рекомендованих доз добрив або зрошувальних норм, часто призводили навіть до негативних або до непрогнозованих результатів.

Значний поштовх у розвиток фізичної хімії ґрунтів дало використання методу математичного моделювання, яке було розпочато в 20–40-х роках. Є. М. Гапон [2] запропонував одну з перших термодинамічних моделей катіонного обміну в ґрунтах, ввів оригінальну модель для опису неоднорідності іонообмінних властивостей ґрунтів [3]. В. П. Гортіковим було запропоновано математичний опис впливу реакції ґрунтового розчину на його обмінну здатність [4]. Перша модель фільтраційної, або конвективної дифузії у ґрунтах була запропонована М. М. Верігінін [5].

Розкриття механізмів масопереносу і масообміну в ґрунтах і їх математичне моделювання дали можливість розробити й обґрунтувати широкий спектр способів меліорації ґрунтів і технологічних прийомів вирощування сільськогосподарських культур.

Але слід зазначити, що у процесі використання моделей фізичної хімії у ґрунтознавстві виникає проблема, пов'язана з неминучістю доповнення фундаментальних рівнянь емпіричними і напівемпіричними співвідношеннями, застосування яких обмежено деякими діапазонами значень змінних стану досліджуваних систем [6].

Відмінність культур, що характеризується врожайністю, стійкістю і якістю врожаю, стан ґрунту, в аспектах деградації та забруднення, стан навколишнього середовища, різна складність управління, обумовлена розмірами території та рівня родючості ґрунту, створюють об'єктивну неможливість розробки універсальної моделі.

Все вищевикладене обумовлює необхідність формування системи моделей та їх класифікації. Д. М. Гвішіані формулює це як принципи багатомодельного опису досліджуваних процесів та явищ [7]. О. С. Фрід пропонує таку класифікацію описових моделей [8].

Перша класифікація моделей ґрунтується на елементах родючості (ресурси, механізми) та вирішуваним завданням, що передбачає розподіл моделей на інформаційні та моделі управління. Перші являють собою сукупність наших знань про родючість і дають можливість їх впорядкувати. Моделі управління, крім інформації про родючість, дають можливість приймати рішення для завдань господарської діяльності, тобто цілеспрямованої зміни компонентів родючості ґрунту для досягнення бажаного результату.

Інформаційні моделі родючості є розвитком відомого трикутника Д. М. Прянишникова ґрунт-рослина-добриво і дають формалізований опис його компонентів і зв'язків між ними.

У моделях управління родючістю при слабких порушеннях екосистеми (ґрунту) об'єкт управління вже існує. У процесі управління не повинно відбуватися істотних змін основних структурно-функціональних характеристик [9]. При сильних порушеннях екосистеми (ґрунту) управління спрямоване на створення нового об'єкта з якісно іншими характеристиками, а потім здійснюється його виведення на заданий рівень функціонування. Головні вимоги, що висувуються до моделей управління родючістю ґрунтів, – їх реалізованість і економічна ефективність.

Використання моделей стану родючості та динамічних моделей створює певні гарантії для реалізації завдань управління. Вибір різних моделей стану (шкали забезпечено-

сті, комплексні моделі забезпеченості, моделі круговороту й балансу) впливає на складність моделі управління. У 80–90-х роках ХХ століття в управлінні використовуються, в основному, найпростіші однофакторні моделі [10].

Більшість пропонованих у той час моделей управління носить характер рекомендацій щодо досягнення деяких заданих цілей (стану родючості, врожайності тощо). Таким чином, можна визначити два етапи моделювання управління родючістю ґрунтів, які умовно можна назвати «рекомендаційним» і «оптимізаційним». На думку В. А. Сіднеєва, у моделях слабо опрацьовуються альтернативні варіанти управління, недостатньо ясні концепції багатокритеріального управління, коли треба враховувати і економічну ефективність [11].

Друга класифікація моделей родючості відноситься до тимчасових меж моделей родючості. Моделі довгострокові характеризують багаторічні явища, середньострокові – сільськогосподарський сезон, рік, короткострокові - характеризують етап розвитку рослин і більш короткі періоди. Для моделей стану родючості та статичних моделей управління тимчасові межі вказуються тільки в показниках прив'язки моделі. У динамічних моделях час, крім того, використовується безпосередньо як змінний показник. Середньострокові моделі доцільно прив'язувати до різних типів погодних умов [12].

Третя класифікація відноситься до територіальних меж моделей родючості (області їх екстраполяції) і відповідає традиційній практиці ґрунтознавства у галузі картографування і районування. Серед них розрізняють моделі глобальні, що застосовуються до всієї території земної суші, або до території великих країн. Моделі регіональні відносяться до обмежених територій (ландшафтів) з близькими характеристиками клімату і рельєфу [9].

Четверта класифікація моделей родючості пов'язана з формою подання моделі: таблиця, у вигляді формул, графічна, програма для ЕОМ [13].

Початок ХХІ століття характеризується великою кількістю інформації про навколишнє середовище і визначити обсяг існуючої інформації, а тим більше контролювати всі інформаційні потоки неможливо, на допомогу людству прийшли інформаційні технології, які посіли своє місце практично в усіх сферах життя людини, у тому числі й агропромисловому секторі.

Під поняттям «інформаційні технології» розуміють сукупність засобів і методів інформаційних процесів, зокрема отримання, обробки, зберігання, передачі інформації з використанням технічних і програмних засобів.

Використання сучасних інформаційних технологій забезпечує оперативний збір, оброблення, збереження та поширення геопросторової інформації про структуру площ, стан і продуктивність сільськогосподарських угідь, що у свою чергу допомагає вирішувати питання, пов'язані з прогнозуванням обсягів виробництва та формуванням цін на ринках сільськогосподарської продукції.

Оцінювання поточного стану сільськогосподарських культур проводиться за допомогою тематичної інтерпретації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що потребує апріорного встановлення зв'язків між спектральними характеристиками посівів (спектральна яскравість, вегетаційні індекси) та фізіологічними параметрами стану посівів (біомаса, густина стояння, листовий індекс, забезпеченість вологою та основними елементами живлення, ступінь враження шкідниками та хворобами).

Дистанційне зондування Землі (Remote Sensing of Earth) розглядається як метод отримання інформації про об'єкти на земній поверхні, а також про процеси та явища, що відбуваються на ній. Залежно від способу розміщення реєструючих пристроїв методи ДЗЗ класифікуються на: наземні, авіаційні та космічні. Незважаючи на певні відмінності, всі вони мають спільну рису – одержання інформації відбувається завдяки реєст-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рації електромагнітного випромінювання, що відбивається від об'єктів дослідження, або випромінюється земною поверхнею.

До переваг методів ДЗЗ слід віднести:

- отримання інформації відбувається без будь-якого втручання в об'єкт дослідження;
- методи ДЗЗ характеризуються здатністю одночасно отримувати інформацію з великих площ;
- сенсори, що використовуються в системах ДЗЗ, здатні реєструвати електромагнітні випромінювання у багатьох діапазонах спектра (видимому, інфрачервоному, мікрохвильовому та радіодіапазоні), що значно підвищує їх інформативність та розширює коло вирішуваних задач.

Також слід відзначити наявні обмеження застосування методів ДЗЗ [14]:

- наявність певної частини поверхні землі при зондуванні, «закритих» метеорологічними та іншими явищами на момент зйомки, що можуть закривати поверхню ґрунту;
- багатofакторність формування дистанційного зображення ґрунтів;
- обмежений набір ґрунтових параметрів, які можуть безпосередньо визначатися методами ДЗЗ;
- пріоритет емпіричних робочих моделей над теоретично узагальнюючими;
- можлива наявність технічних шумів при дистанційній зйомці.

Також заслуговує на увагу сучасна комп'ютерна технологія «Географічна інформаційна система» (Geographic Information System), яка слугує для картографування та аналізу об'єктів реального світу, а також подій, що відбуваються на земній кулі. Ця технологія поєднує традиційні операції роботи з базами даних (запит, статистичний аналіз) та забезпечує повноцінну візуалізацію і проведення просторового аналізу. Ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування у широкому спектрі задач, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ та подій, їх можливих наслідків, розробленням стратегічних рішень.

Розвиток геоінформатики змінює зміст та технологію управління станом родючості ґрунту, в тому числі питання моніторингу за станом земельних ресурсів, картування ґрунтів, землевпорядні роботи тощо.

Система моніторингу стану агроресурсів та прогнозування урожайності (СМАПУ) – це складна багатоскладова інформаційна система, яка здатна в оперативному режимі надавати відомості про поточний стан та майбутню урожайність сільськогосподарських культур на певних площах.

Залежно від розміру контрольованої системою території розрізняють СМАПУ локального, регіонального та національного (або транснаціонального) рівнів.

Прикладом СМАПУ регіонального рівня є система KARS, розроблена регіональним Центром використання наук про Землю в межах Програми прикладного використання даних ДЗЗ штату Канзас (США).

Найбільш відомими СМАПУ національного (або транснаціонального) рівнів є система FAS/PECAD, створена Підрозділом обстеження та оцінки продуктивності сільськогосподарських культур Закордонної сільськогосподарської служби Департаменту сільського господарства США та європейська система MCYFS — (система прогнозування врожайності посівів на базі програми MARS), яка почала працювати в оперативному режимі з 2002 року.

Окремі елементи СМАПУ локального рівня використовуються в дослідному господарстві корпорації "АГРО-СОЮЗ" (Синельниківський район Дніпропетровської області).

Сьогодні дистанційне зондування Землі і ГІС тісно пов'язані між собою: на основі дешифрування знімків створюється електронна карта, яка є основою будь-якої геоінформаційної системи.

Як зазначає І. К. Лур'є, за допомогою ГІС здійснюється всебічне вирішення багатьох завдань, пов'язаних з просторовим аналізом інформації і прогнозом явищ та обґрунтуванням головних чинників і причин, а також їх можливих наслідків, і прийняття на основі цього конструктивних рішень [15].

Оцінювання екологічного стану довкілля на основі комплексу комп'ютерних екологотехногеохімічних карт значною мірою носить суб'єктивний характер. Тому постало питання розроблення науково обґрунтованого методу оцінювання стану довкілля на основі нечіткої логіки [16].

Методи теорії нечітких множин і нечіткої логіки (fuzzy logic) [17] дають можливість описувати якісні, неточні поняття і наші знання про навколишній світ, а також оперувати цими знаннями з метою отримання нової інформації. Нечітка логіка, більш природно, описує характер людського мислення і хід його висновків, ніж традиційні логіко-формальні схеми. Тому використання математичних засобів для представлення нечіткої початкової інформації дає можливість отримувати моделі, які адекватно відтворюють різні аспекти невизначеності, які постійно виникають під час оцінювання екологічного стану довкілля.

Формалізація нечітких знань і процес здійснення нечітких висновків ґрунтується на правилі нечіткої продукції, під яким у загальному випадку розуміють вираз [18]:

$$(i) : Q; P; A \Rightarrow B; S; F; N , \quad (1)$$

де (i) – ім'я нечіткої продукції;

Q – сфера застосування нечіткої продукції;

P – умова застосування ядра нечіткої продукції;

A – умова ядра (антецедент);

B – висновок ядра (консеквент);

\Rightarrow – знак логічної секвенції (висновку);

S – метод або спосіб визначення кількісного значення степені істинності висновку ядра;

F – коефіцієнт визначеності або упевненості нечіткої продукції;

N – післямова продукції.

Також до перспективних напрямів застосування інформаційних технологій управління земельними ресурсами є використання в моделюванні штучних нейронних мереж. Ефективність застосування штучних нейронних мереж полягає в тому, що вони являють собою потужний інструмент апроксимації та можуть бути використані в тих випадках, коли всі інші методи не підходять.

Оскільки для апроксимації достатньо певного набору експериментальних даних, необхідних для навчання нейромережі, то не потрібно задавати структуру функціональної залежності, що пов'язує вхідні та вихідні змінні.

Всі задачі, які може вирішувати штучна нейронна мережа, зводяться до апроксимації багатовимірної функції, тобто побудови відображення [19]:

$$F : x \rightarrow y \quad (2)$$

Залежно від того, яка активізаційна функція вибрана, це відображення реалізує один із типів задач, що може вирішувати нейронна мережа. Сформовану задачу (2) теж можна звести до реалізації деякого відображення:

$$C \rightarrow (X, Y) \quad (3)$$

У результаті відображення (2) необхідно забезпечити не лише формування адекватних вихідних сигналів згідно з усіма прикладами навчальної вибірки, але й з усіма можливими вхідними сигналами, які не ввійшли до навчальної вибірки.

Як зазначає В. В. Круглов, функціональні можливості штучних нейронних мереж залежать від їх структури, тобто від кількості шарів і нейронів у кожному шарі мережі, а також визначення необхідних зв'язків між шарами [20].

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Основними факторами, що визначають родючість ґрунту, є запаси гумусу, достатній вміст поживних речовин і вологи, оптимальні тепловий і повітряний режими, біопродуктивність земельних угідь тощо.

Проблемою є те, що на сьогодні наявна інформація про якісний склад земельних ресурсів України базується на матеріалах великомасштабних досліджень ґрунтів 1957–1961 рр. та частково на результатах їх коригувань у 70–80-х роках минулого століття, що обумовлює її моральну та фізичну застарілість та ускладнює виявлення емпіричних залежностей під час побудови моделей прогнозування стану ґрунтів. Це у свою чергу вимагає пошуку нових інформаційних технологій та методичних підходів до побудови математичних моделей прогнозування родючості ґрунту.

Таким чином, на сучасному етапі основою побудови інформаційних технологій моделювання стану родючості ґрунту є моніторинг ґрунтів земель сільськогосподарського призначення, що передбачає виконання таких завдань [21]:

- проведення спостережень, збір, аналіз і опрацювання інформації щодо якісного стану ґрунтів (розвиток ґрунтової ерозії, стан структури ґрунту, підкислення, засолення, солонцюватість, заболочення ґрунтів, динаміка вмісту гумусу й елементів живлення), забруднення ґрунтів важкими металами, радіонуклідами, залишковими кількостями пестицидів та іншими токсичними речовинами;
- здійснення комплексного аналізу агроекологічної ситуації на землях сільськогосподарського призначення, оцінки та прогнозу можливих змін стану родючості ґрунтів з урахуванням природних і антропогенних факторів, еколого-меліоративного стану зрошуваних і осушуваних земель;
- розроблення і впровадження науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень про попередження та ліквідацію наслідків негативних процесів та заходів щодо забезпечення відтворення родючості ґрунтів;
- створення та ведення інформаційних баз даних про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення та інформаційно-аналітичної системи для розроблення заходів у сфері охорони та управління родючістю ґрунтів (рис.).

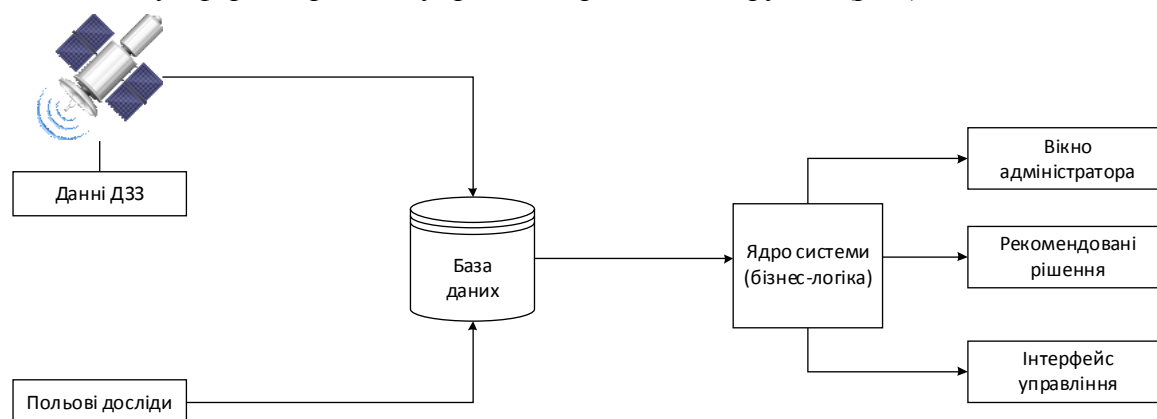


Рис. Структурна схема автоматизованої системи управління станом ґрунту

Моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення здійснюється за допомогою:

- аналізу та узагальнення архівного (базового) фонду даних;
- ґрунтово-агрохімічного та еколого-меліоративного (суцільних і вибіркового) обстежень ґрунтів, агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення;
- функціонування мережі стаціонарних ділянок та польових дослідів, на яких ведуться спеціальний, кризовий та науковий моніторинг ґрунтів і забезпечуються комплексні дослідження, контроль за властивостями ґрунтів, розроблення прогностичних моделей та ґрунтозахисних технологій;

– використання даних дистанційного зондування та глобальної системи визначення місцезнаходження досліджуваних ділянок.

Проведення моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення здійснюється в такому порядку:

– проведення ґрунтово-агрохімічного обстеження та агрохімічної паспортизації земельних ділянок;

– проведення комплексних та спеціальних спостережень на стаціонарних контрольних ділянках за станом ґрунтів з метою вивчення процесів трансформації та міграції біогенних і хімічних речовин у ґрунтах, а також розроблення прогностичних моделей;

– ведення польових дослідів, на яких забезпечуються комплексні дослідження властивостей ґрунтів, їх родючості (з урахуванням кількості та якості рослинницької продукції), ефективності застосування мінеральних добрив, хімічних меліорантів та інших агрохімікатів, а також розробляються ґрунтозахисні технології;

– створення та ведення інформаційних баз даних про стан ґрунтів та інформаційно-аналітичної системи для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень про відвернення та ліквідацію наслідків негативних процесів, планування ґрунтозахисних та інших заходів у сфері охорони родючості ґрунтів;

– проведення комплексного аналізу та оцінювання змін якісного стану ґрунтів; виявлення негативних явищ і кризових територій, обґрунтування, планування заходів щодо їх усунення та підвищення родючості ґрунтів.

У повному варіанті інформаційна система підтримки прийняття рішень у сільськогосподарських підприємствах, повинна включати багатoshарову електронну карту господарства й атрибутивну базу даних історії полів з урахуванням всіх виконаних агротехнічних заходів. У загальному випадку електронна карта полів повинна включати інформацію про:

- мезорельєф (з показом мезоформ рельєфу, форм схилів);
- крутість схилів;
- експозицію схилів (теплі, холодні, нейтральні);
- мікрорельєф (з показом контурів з переважанням тих або інших форм мікрорельєфу, що мають агрономічне значення);
- мікроклімат;
- рівень ґрунтових вод, їх мінералізація та склад;
- ґрунтоутворюючі і підстилаючі породи;
- мікроструктуру ґрунтового покриву (ґрунтова карта);
- вміст гумусу в ґрунті;
- забезпеченість рухливими формами елементів і мікроелементами мінерального живлення рослин;
- значення рН ґрунтів;
- фізичних властивостей ґрунтів;
- забруднення важкими металами, радіонуклідами й іншими токсикантами;
- еродованість ґрунтів, ерозійну небезпеку й інші види фізичної деградації (зсувів, селів та ін.);
- перезволоження і заболоченість ґрунтів;
- засоленість ґрунтів (типи і міри засолення);
- рослинний покрив з оцінкою стану природних кормових угідь;
- лісову рослинність з оцінкою стану природних лісів і лісових насаджень;
- розподіл корисних видів тварин, птиць, оцінку їх територіального впливу;
- фітосанітарний стан посівів.

Висновки та пропозиції. Використання інформаційних технологій моделювання та прогнозування родючості ґрунтів має велике науково-практичне значення для їх раціонального використання, застосування добрив, меліорацій, засобів механізації виробничих процесів у землеробстві та рослинництві.

Процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень в агроєкосистемах можна здійснити у чотири основні етапи.

На першому етапі створюється картографічна основа інформаційної системи управління – цифрова карта поля.

Другий етап включає польове обстеження територій з метою уточнення даних про використання та функціональне призначення об'єктів, відображених на цифровій карті, для формування семантичної інформації, а також агрохімічне обстеження з відбором зразків ґрунтів і просторової прив'язкою місць відбору за допомогою ДЗЗ.

На третьому етапі розробляється база даних користувача з прив'язкою їх до конкретних об'єктів цифрової карти, з їх подальшою інтерполяцією на всю територію господарства та інтеграцією в систему управління.

Четвертий етап полягає у налагодженні системи та впровадженні в управлінський процес.

Список використаних джерел

1. *Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України* / за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, О. Г. Тараріко, В. О. Грекова, А. Д. Балаєва. – К. : НУБіП, 2010. – 113 с.
2. Гапон Е. Н. К теории обменной адсорбации в почвах / Е. Н. Гапон // Журн. общей химии. – 1933. – Т. 3. – С. 144–152.
3. Гапон Е. Об уравнении изотермы обменной адсорбации / Е. Н. Гапон // Коллоид. – 1937. – Т. 3. – С. 859–862.
4. Гортиков В. Знак заряда карбоната кальция в связи с условиями его образования и составом почвенного раствора / В. Гортиков, И. Остапенко // Сб. рефератов научно-исследовательских работ ВИУАА за 1932-1934 гг. – М., 1936. – С. 425.
5. Веригин Н. Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники / Н. Н. Веригин // Изв. АН СССР. ОТН. – 1953. – № 10. – С. 1369–1382.
6. Пачепский Я. А. Математические модели физико-химических процессов в почвах : монография / Я. А. Почепский. – М. : Наука, 1990. – 180 с.
7. *Природа* моделей и модели природы / Д. М. Гвишиани, И. Б. Новик, С. А. Пегов и др. – М. : Мысль, 1986. – 269 с.
8. Фрид А. С. Система моделей плодородия почв / А. С. Фрид // Плодородие почв: проблемы, исследования, модели. – М., 1985. – С. 37–43.
9. Шишов Л. Л. Критерии и модели плодородия почв / Л. Л. Шишов, И. И. Карманов, Д. Н. Дурманов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 184 с.
10. *Комплексное агрохимическое окультуривание полей* / В. М. Бельченко, В. А. Светов, Л. И. Перлов и др. – М. : Агропромиздат, 1987. – 144 с.
11. Синдеев В. А. Система показателей уровня использования земли в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства / В. А. Синдеев // Земельный кадастр и повышение эффективности использования земель : науч. тр. Львовский СХИ. – Львов, 1983. – С. 32–36.
12. Прохорова З. А. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта / З. А. Прохорова, А. С. Фрид. – М. : Наука, 1993. – 189 с.
13. Федосеев А. П. Использование гидрометеорологической информации для обоснования агротехнических решений / А. П. Федосеев, Е. Е. Жуковский // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1983. – № 2. – С. 138–143.
14. Гічка М. М. Наукове обґрунтування використання методів дистанційного зондування в моніторингу ґрунтів : дис. ... канд. с.-г. наук : спец. 06.01.03 / Гічка Максим Миколайович. – Х., 2007. – 191 с.

15. Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС / И. К. Лурье // Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Ч. I / под ред. А. М. Берлянта. – М. : МГУ им. Ломоносова, 2002. – 140 с.
16. Горбійчук М. І. Метод оцінки стану ґрунтів з використанням fuzzy-технологій / М. І. Горбійчук, О. В. Пендерецький, М. А. Шуфнарівч // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – Вип. 3, № 5 (33). – С. 29–32.
17. Горбійчук М. І. Застосування fuzzy-технологій для оцінки стану ґрунтів / М. І. Горбійчук, М. А. Шуфнарівч // Problems of decision marking under uncertainties: Materials digest of the International Conference, Kyiv–Rivne, May 12–17, 2008, – Kyiv–Rivne, 2008. – С. 268–272.
18. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия–Телеком, 2004. – 452 с.
19. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTech / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
20. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
21. Моніторинг ґрунтів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.agro-business.com.ua/u-pravovomu-poli/223-monitoryng-gruntiv.html>.

References

1. Baliuk, S.A., Medvediev, V.V., Tarariko, O.H., Hrekov, V.O., Balaiev, A.D. (2010). Nacionalna dopovid pro stan rodshuchosti gruntiv Ukrainy [National Report on the State of Soil Fertility Ukraine]. Kyiv: NUBiP (in Ukrainian).
2. Gapon, E.N. (1933). K teorii obmennoj adsorbacii v pochvah [To exchange adsorption theory in the soils]. *Zhurn. obshhej himii – Journal. General chemistries*, vol. 3, pp. 144–152 (in Russia).
3. Gapon E. (1937). Ob uravnenii izotermi obmennoj adsorbacii [The equation of exchange adsorption isotherm]. *Kolloid. – Colloid. Journal*, vol. 3, pp. 859–862 (in Russia).
4. Gortikov, V., Ostapenko, I. (1936). Znak zariada karbonata kaltsiia v sviazi s usloviiami ego obrazovaniia i sostavom pochvennogo rastvora [Sign of the calcium carbonate of the charge in connection with the conditions of its formation and composition of the soil solution]. *Sb. referatov nauchno-issledovatel'skikh rabot VIUAA za 1932–1934 gg. – Coll. Abstracts of scientific research VIUA for the 1932-1934 years*. Moscow, pp. 425 (in Russia).
5. Verigin, N.N. (1953). Nekotorye voprosy khimicheskoi gidrodinamiki, predstavliaiushchie interes dlia melioratsii i gidrotekhniki [Some issues of chemical hydrodynamics of interest for land reclamation and hydraulic engineering]. *Izv. AN SSSR. OTN – Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, no. 10, pp. 1369–1382 (in Russia).
6. Pachepskii, Ya.A. (1990). *Matematicheskie modeli fiziko-khimicheskikh processov v pochvakh [Mathematical models of physical and chemical processes in soils]*. Moscow: Nauka (in Russia).
7. Gvishiani, D.M., Novik, I.B., Pegov, S.A. (1986). *Priroda modelei i modeli prirody [Nature models and models of nature]*. Moscow: Mysl (in Russia).
8. Frid, A.S. (1985). Sistema modelei plodorodiia pochv [The system of soil fertility models]. *Plodorodie pochv: problemy, issledovaniia, modeli – Soil fertility: problems, research, models*. Moscow, pp. 37–43 (in Russia).
9. Shishov, L.L., Karmanov, I.I., Durmanov, D.N. (1987). *Kriterii i modeli plodorodiia pochv [Criteria and models of soil fertility]*. Moscow: Agropromizdat (in Russia).
10. Belchenko, V.M., Svetov, V.A., Perlov, L.I. et al. (1987). *Kompleksnoe agrohimicheskoe okulturanie polei [Complex agrochemical cultivation fields]*. Moscow: Agropromizdat (in Russia).
11. Sindeev, V.A. (1983). Sistema pokazatelei urovnia ispolzovaniia zemli v usloviiakh intensifikatsii selskohoziastvennogo proizvodstva [System-level land use indicators in terms of intensification of agricultural production]. *Zemelnyi kadastr i povyshenie effektivnosti ispolzovaniia zemel – Land Registry and improve the efficiency of land use*. Lvov, pp. 32–36 (in Ukrainian).
12. Prohorova, Z.A., Frid, A.S. (1993). Izuchenie i modelirovanie plodorodiia pochv na baze dlitel'nogo polevogo opyta [Study and modeling of soil fertility on the basis of long-term field experiment]. Moscow: Science (in Russia).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

13. Fedoseev, A.P., Zhukovskii, E.E. (1983). Ispolzovanie gidrometeorologicheskoi informacii pri programmirovanii urozhav [The use of hydro-meteorological information to support agro-technical solutions]. *Vestnik selskokhoziaistvennoi nauki – Bulletin of Agricultural Science*, no. 2, pp.138–143 (in Russia).
14. Gichka, M.M. (2007). Naukove obhruntuvannia vykorystannia metodiv dystantsiinoho zonduvannia v monitorynhu hruntiv [The scientific justification for the use of remote sensing techniques to monitor soil]. *Candidate's thesis*. Kharkiv (in Ukrainian).
15. Lure, I.K. (2002). Osnovy geoinformatiki i sozdanie GIS [Basics of Geoinformatics and GIS creation]. Proceedings from *Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy – Remote sensing and geographic information systems*. Part I. Moscow: Moscow State University. Lomonosov (in Russia).
16. Gorbiiichuk, M.I., Penderetskyi, O.V., Shufranovych, M.A. (2008). Metod otsinky stanu hruntiv z vykorystanniam fuzzy-tehnologii [Method for the assessment of soil using fuzzy-technology]. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovykh tehnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 5 (33), pp. 29–32 (in Ukrainian).
17. Gorbiiichuk, M.I., Shufranovych, M.A. (2008). Zastosuvannia fuzzy-tehnologii dlia orsinky stanu hruntiv [Application of fuzzy-technology for the assessment of soil]. *Problems of decision marking unter uncertainties: Materials digest of the International Conference* (Kyiv–Rivne, May 12–17). Kyiv–Rivne, pp. 268–272 (in Ukrainian).
18. Rutkovskaia, D., Pilinskii, M., Rutkovskii, L. (2004). *Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]* (I. D. Rudinskii, Trans.). Moscow: Hotline Telecom (in Russia).
19. Leonenkov, A.V. (2005). *Nechetkoe modelirovanie v srede MatLab i fuzzyTech [Fuzzy modeling in MatLab and fuzzyTech]*. St. Petersburg: BHV – Petersburg (in Russia).
20. Kruglov, V.V. (2001). *Iskusstvennye neironnye seti. Teoriia i praktika [Artificial Neural Networks. Theory and practice]*. Moscow: Hotline – Telecom (in Russia).
21. *Monitorynh hruntiv [Monitoring soil]*. Retrieved from <http://www.agro-business.com.ua/opravovomu-poli/223-monitoryng-gruntiv.html>.

Нехай Валентин Валентинович – аспірант кафедри програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Нехай Валентин Валентинович – аспірант кафедры программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Nekhai Valentyn – PhD student of Department of Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: valentin_nehai@meta.ua

Литвинов Віталій Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Литвинов Виталий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Litvinov Vitaliy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vlitvin@ukrsoft.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9622-3871>