



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.4

© 2021

ТЕОРЕТИЧНІ І ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

В.В. Медведєв¹, І.В. Пліско²

¹доктор біологічних наук, професор, академік НААН

²доктор сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: ¹vvmedvedev@ukr.net, ²irinachujan@gmail.com

ORCID: ¹0000-0001-7319-8773, ²0000-0001-8111-7662

Надійшла 16.12.2020

Мета. На основі узагальнення наявного досвіду обґрунтувати теоретичні аспекти прогнозування змін стану ґрунтового покриття та розробити моделі прогнозування змін основних фізичних, агрохімічних, фізико-хімічних властивостей орних ґрунтів країни. **Методи.** Інформаційно-аналітичний, математико-статистичні (кореляційно-регресійний, педотрансферного моделювання). **Результати.** На основі аналізу літературних джерел доведено актуальність питань, пов'язаних із прогнозуванням змін основних властивостей орних ґрунтів України для запобігання розвитку деградаційних процесів і своєчасного використання ґрунтоохоронних заходів, які сприятимуть стабілізації рівня їх родючості в сучасних умовах. Проаналізовано основні методи прогнозування (експертні, екстраполяційні, інтраполяційні тощо) та обґрунтовано теоретичні аспекти прогнозування у ґрунтознавстві. За використання вибірок із бази даних «Властивості ґрунтів України» розроблено приклади моделей прогнозування змін гумусного стану, фізичних, фізико-хімічних та агрохімічних властивостей орних ґрунтів. Запропоновано основні державні пріоритети щодо технологічних заходів з охорони та стабілізації рівня родючості орних ґрунтів. **Висновки.** Установлено, що зі збереженням сучасного рівня взаємозв'язків в агросфері, який характеризується розвитком деградаційних процесів в умовах наявного дефіцитного балансу основних поживних речовин, підкислення та забруднення ґрунтів радіонуклідами й важкими металами, прогнозування змін основних властивостей ґрунтів і біорізноманіття залишатиметься негативним. Окреслено основні державні пріоритети щодо технологічних заходів з охорони та стабілізації рівня родючості орних ґрунтів.

Ключові слова: властивості ґрунтів, оцінювання, педотрансферне моделювання, прогноз змін.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-01>

Однією з найважливіших соціально-економічних проблем сучасного етапу розвитку українського суспільства є вивчення навколишнього природного середовища, передусім ґрунтового покриття як основного та незамінного ресурсу, прогнозування змін його стану в природних умовах і оцінювання можливих ризиків під впливом антропогенних факторів.

У широкому розумінні прогнозування являє собою науково обґрунтоване судження про можливі стани об'єкта в майбутньому і/або про альтернативні шляхи і терміни їх здійснення [1], тобто визначення тенденцій і перспектив розвитку певних процесів на основі аналізу даних про їхнє минуле і нинішній стан. У вузькому — це розподіл усіх суджень про майбутній стан об'єкта досліджень. Термін «прогноз» є еквівалентом терміна «екстраполяція», тобто розрахунок досліджуваних показників за межами отримуваних (дослідних) значень, однозначно він є пошуком найбільш виправданої моделі для виявлення проміжних значень у ряду спостережень.

Особливість ґрунтового прогнозування полягає в тому, що під час складання прогнозів слід урахувувати тенденції природного розвитку (еволюції) ґрунтів і можливі їх трансформації під впливом господарської діяльності людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі опубліковано чимало робіт, присвячених різним видам прогнозування, зокрема й ґрунтовому. Багатьох дослідників цікавить розроблення методології питання. Автор [2] зробив спробу проаналізувати і узагальнити методи прогнозування науково-технічного прогресу, які застосовують у різних галузях науки і техніки державні органи, приватні фірми і науково-дослідні інститути в ряді капіталістичних країн. Автор оцінив можливості і перспективи використання методів прогнозування, розглядаючи організаційні форми прогнозування у промислових компаніях і військових відомствах, охарактеризував основні прогностичні дослідження.

Автор [3] стверджує, що в цей час прогноз майбутнього ґрунтового тіла або його окремих горизонтів може бути лише антиципацією, тобто логічно сконструйованою

моделлю можливого майбутнього із ще невизначеним рівнем вірогідності.

У монографії [4] відзначено, що ґрунтові прогнози перебувають у стадії становлення. Застосування математичного апарату ґрунтується на великих спрощеннях і допущеннях. На думку автора, ґрунтознавці ще недостатньо підготовлені до прогнозування, вважаючи однією з найбільш освоєних галузей прогнозування ґрунтових галогеохімічних процесів в умовах меліорації.

Значну кількість наукових робіт присвячено питанням прогнозування стану ґрунтів і земель у зв'язку з проявом негативних екологічних наслідків господарської діяльності людини, зокрема при забрудненні ґрунтів важкими металами [5–9]. Автори [10] спробували узагальнити напрацювання з питань прогнозування у ґрунтознавстві. Варто зазначити, що досягнення у цій галузі мають зарубіжні дослідники, яких справедливо можна вважати новаторами [11–14].

Аналіз літературних джерел дає змогу зробити висновок про те, що загалом прогнозування — досить непопулярний напрям досліджень. Найчастіше воно майже не входить до планів наукових установ, майже немає й прогностичних публікацій. На нашу думку, основною причиною цього є відсутність довгих рядів рівновіддалених спостережень, які можна математично обробити й виявити домінуючі тенденції у зміні об'єкта досліджень.

Фактична відсутність в Україні моніторингу і повноцінної агрохімічної паспортизації (через недосконалу методику відбирання зразків, зміну полів упродовж терміну спостережень і скорочений перелік показників, що контролюються) також гальмує розроблення різних прогностичних моделей — міграції вологи, тепла, більшості елементів-забрудників, ризику деградацій (ерозії, підкислення, засолення, ущільнення тощо), емісії газів, вимивання азотних сполук, фосфору, пестицидів. І якщо інтерполяційні прогнози (підбір лінійних, нелінійних і синусоїдальних-тригонометричних функцій) іноді трапляються [15], то екстраполяційні прогнози (за межами експериментальних даних) майже невідомі. Через це нині залишаються незрозумілими процеси ґрунтоутворення в умовах зміни клімату

і, особливо посилення аридизації клімату в степовій і лісостеповій зонах України.

У зв'язку з цим у сучасних умовах актуальності набувають питання, пов'язані з прогнозуванням змін основних властивостей орних ґрунтів України для запобігання розвитку деградаційних процесів і своєчасного використання ґрунтоохоронних заходів, які сприятимуть стабілізації рівня їх родючості.

Мета досліджень — на основі узагальнення наявного досвіду обґрунтувати теоретичні аспекти прогнозування змін стану ґрунтового покриву та розробити моделі прогнозування змін основних фізичних, агрохімічних, фізико-хімічних властивостей орних ґрунтів країни.

Матеріали та методи досліджень. Застосовано інформаційно-аналітичний, математико-статистичні (кореляційно-регресійний, метод педотрансферного моделювання), прогнозний методи. Для розроблення педотрансферних моделей використано вибірки з бази даних «Властивості ґрунтів України», створеної у лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського».

Результати досліджень. До найпростіших методів прогнозування (прогнозу) належать методи Брауна й ковзного середнього, засновані на виявленні та аналізі тенденції у ряду, що здійснюється за допомогою його вирівнювання або згладжування. Експонентне згладжування — один із найпростіших і поширених способів вирівнювання ряду. Реалізацію цих методів показано на прикладі аналізу ряду спостережень за вмістом гумусу в орному шарі чорноземних ґрунтів середнього й важкосуглинкового гранулометричного складу, починаючи з часів В.В. Докучаєва. Складнішим, але недосте ефективним є регресійний, найбільш досконалим — метод Бокса-Дженкінса [16].

Використання лінійної регресії для цілей довгострокового прогнозування, на жаль, неефективне, тому що за межами експериментальних значень прогнозована крива різко відхиляється від реальної (рис. 1).

Домінування лінійних залежностей, що найчастіше трапляється у пошуку зв'язків у дослідженнях із ґрунтознавства, некоректне, оскільки в біологічних об'єктах найбільш характерними є складніші нелінійні залежності (рис. 2).

Є експертні прогнози, які зазвичай роблять авторитетні вчені зі значним досвідом дослідження ґрунтів. До таких належать В.В. Докучаєв, який понад 100 років тому прогнозував розвиток фізичної деградації ґрунтів у зв'язку з інтенсифікацією землеробської діяльності, німецький учений Х. Лемерман, російський учений Н.А. Качинський, що також застерігали від неконтрольованого захоплення важкою сільськогосподарською технікою для обробітку ґрунтів ще понад 100 років тому.

Можна навести прогнози багатьох інших учених про неминучість погіршення ґрунтів за незбалансованої і надто інтенсивної системи землеробства. На жаль, експертні прогнози не впливають на зміну землеробської стратегії, тому що сформована система використання засобів інтенсифікації залишається незмінною — лише нарощується міць і маса машинно-тракторних агрегатів, зростає кількість їхніх проходів по полю, збільшуються площі меліоративних земель, на яких скрізь відзначається погіршення структурного складу, щільності будови, причому переуцільнення просувається дедалі глибше й глибше, погіршуючи умови для життєздатності коріння рослин за всією глибиною кореневмісного шару.

До експертних належать прогнози, зроблені на основі результатів агрохімічної паспортизації. Хоча проведено вже 8–9 турів таких спостережень, їх значення для прогнозування гумусного стану і поживного режиму знецінюється через ігнорування просторової неоднорідності властивостей ґрунтів і невдалу методику відбирання ґрунтових зразків. Проте встановлене на ідставі паспортизації істотне зменшення вмісту гумусу в орних ґрунтах і значні трансформації поживного режиму заслуговують на увагу.

Прикладом екстраполяційних прогнозів, які являють собою «прогноз» у часі або розрахунок можливих майбутніх значень, може бути прогнозування змін гумусного стану орних ґрунтів. З цією метою було зібрано відповідні дані більш ніж за 100 років, із часу досліджень В.В. Докучаєва. Модель імітує динаміку вмісту гумусу в ґрунтах як стаціонарний процес, що має елементи інерції, відновлення (після того, як призупиниться дія зовнішнього фактора) і розсіювання. Ці

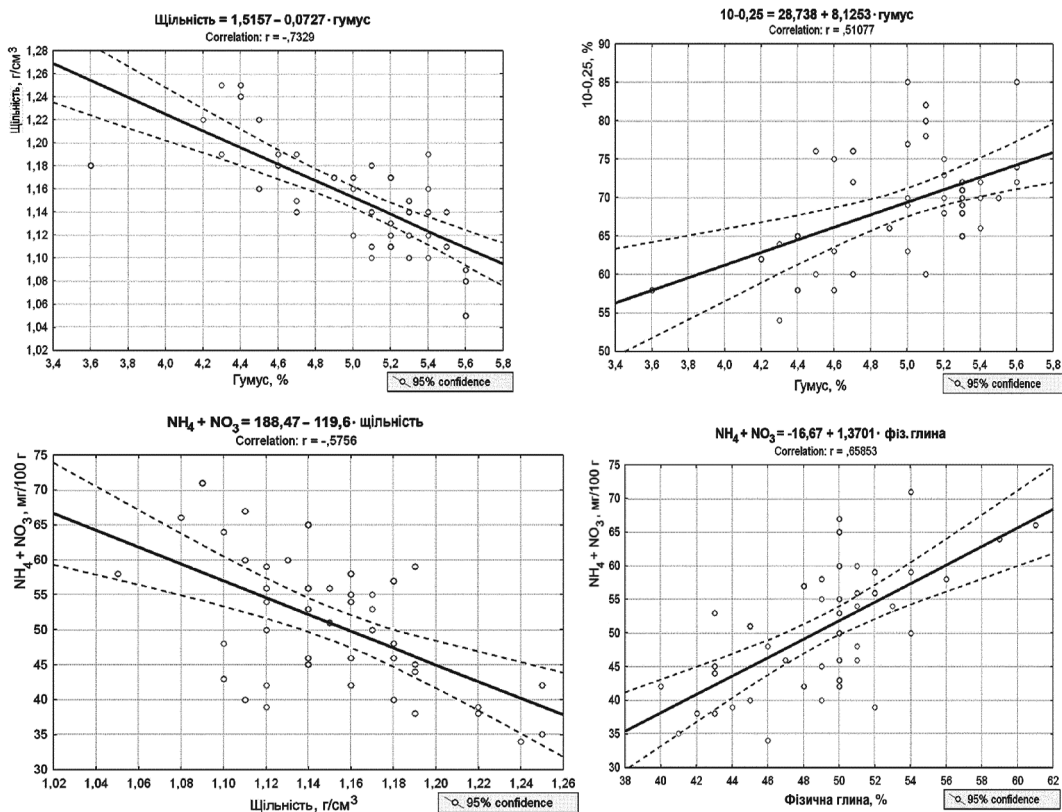
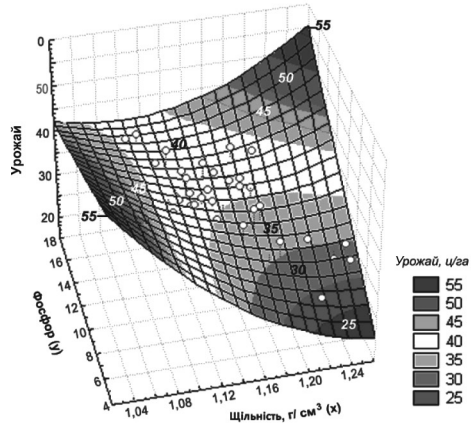


Рис. 1. Приклади некоректності екстраполяційного прогнозування за регресійною моделлю

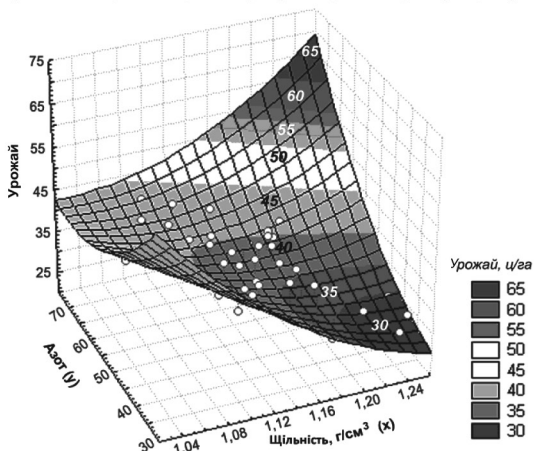
елементи методології якнайкраще визначають суть взаємодії ґрунту із зовнішніми факторами, що мають фізичну або соціально-економічну природу. Зокрема, модель здатна зіставити інерційність ґрунту як тіла природи, що підтримує у просторі й часі свої модальні параметри (тіла, що розсіює зовнішнє навантаження) і динамічні зовнішні фактори, які здатні підсилюватися, послаблятися або зникати зовсім. Обробка даних здійснюється за допомогою диференціальних рівнянь, які ускладнюються на кожному наступному етапі. У результаті аналізу одержали рівняння високого порядку, що могло описати, навіть малопомітні зміни в довгому ряду показників. Нас найбільше цікавив сучасний етап, після 1990 р., коли дія зовнішнього навантаження на ґрунт стала слабкішою, а також найближчі й віддалені роки. Виявилось, що вміст гумусу в ґрунті постійно з кінця XIX ст. й майже

до 60–70 років XX ст. знижувався, потім відчувалося помітне гальмування втрат (до кінця 80-х років), після чого попри відомі катаклізми в аграрному секторі країни — стабілізувався. У першому дефіцитному періоді втрати гумусу досягли майже 22% від вихідної кількості, прийнятої за 100%, у другому — втрати становили менше 5%. Саме це домінуюче місце мінералізаційних процесів у чорноземах упродовж більшої частини XX ст., що змінилося стабілізацією, і доводить досягнення простого відтворення родючості ґрунтів у 90-х роках XX ст. (після майже 25-ти років успішної хімізації). Відсутність зниження вмісту гумусу в ґрунтах упродовж наступних 10–15-ти років свідчить про інерційність самого ґрунту. Скільки діятиме інерційність, неясно, але можна передбачити 2 сценарії. Перший — консервація запасу гумусу за умови простого відтворення, другий — продовження

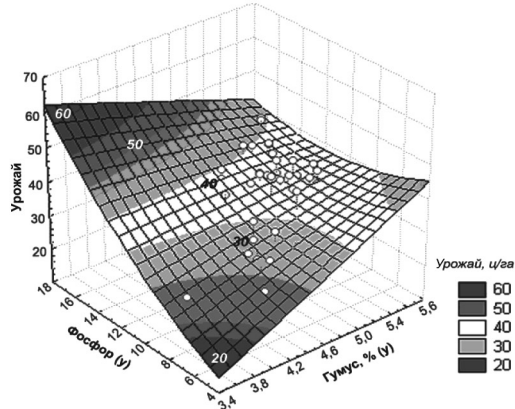
$$\text{Урожай} = 918,39 - 1345,263x - 16,469y + 495,849x^2 + 14,998xy + 0,004y^2$$



$$\text{Урожай} = 1116,07 - 1471,645x - 8,715y + 485,575x^2 + 6,345xy + 0,016y^2$$



$$\text{Урожай} = -58,01 + 19953x + 6,251y - 0,106x^2 - 1,537xy + 0,108y^2$$



$$\text{Урожай} = 139,83 - 3,865x - 2,319y + 0,028x^2 + 0,043xy + 0,014y^2$$

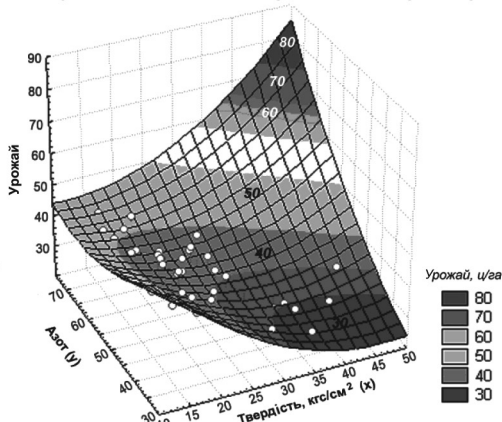


Рис. 2. Приклади типової нелінійної залежності врожаю від властивостей ґрунту

зниження за умови збереження дефіцитного балансу, тобто сучасного соціально-економічного стану аграрної сфери.

Основні закономірності динаміки вмісту гумусу в чорноземах України протягом більш ніж 130-річного періоду і можливі сценарії її подальшого розвитку показано на рис. 3.

Для реалізації інтраполяційних прогнозів проведено дослідження на спеціальній лабораторній установці, що дала змогу моделювати різні статичні навантаження на зразки непорушеної будови. Досліджували зразки чорнозему типового важкосуглинкового, чорнозему південного легкоглинистого і дерново-підзолистого супіщаного ґрунтів. Величини статичних навантажень змінювалися від 0 (контроль)

до 100 кПа. Зразки витримували під навантаженням до припинення деформації. Отримані результати показано на рис. 4.

Деформація досліджуваних ґрунтів описується експоненціальними залежностями. Однак, якщо в дерново-підзолистому ґрунті легкого гранулометричного складу спостерігається швидке виположування кривої за незначного збільшення щільності, то в чорноземі типовому важкосуглинковому збільшення щільності не завершується і продовжиться за подальшого наростання навантаження. Отже, механічна стійкість ґрунту легкого гранулометричного складу є істотно вищою порівняно з чорноземом, нездатним протистояти, навіть невеликому навантаженню.

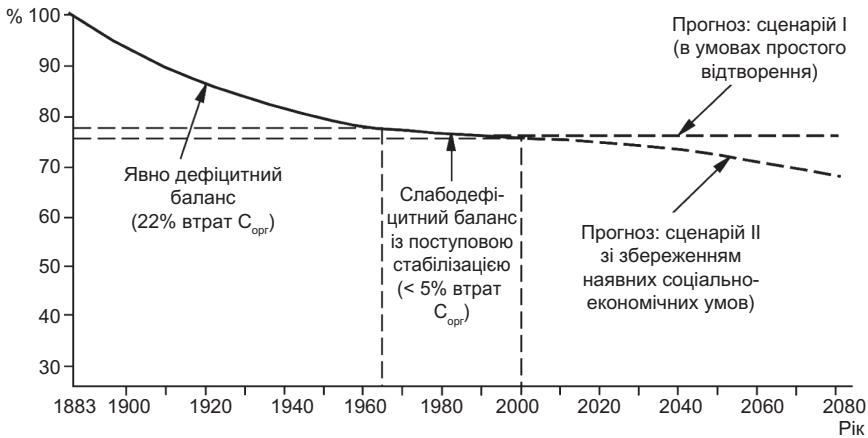


Рис. 3. Динаміка вмісту гумусу в чорноземах середньо- та важкосуглинкового гранулометричного складу за 1883–2000 рр. та прогноз його змін до 50–80 років XXI ст.

Залежності описуються такими рівняннями: для чорнозему типового: $\Delta P = 0,5926 (1 - e^{-0,0081u})$; чорнозему південного: $\Delta P = 0,5924 (1 - e^{-0,0055u})$; дерново-підзолистого ґрунту: $\Delta P = 0,1958 (1 - e^{-0,0123u})$, де u — параметр експонентної залежності при визначенні збільшення щільності будови ґрунтів; ΔP — збільшення щільності будови, $г/см^3$; χ — статичне навантаження на ґрунт, кПа.

Параметр u визначають у такий спосіб: $u = 105,56 - \sqrt{11142 - 111,11 \chi}$ при $\chi < 100$
 $u = \chi$ при $\chi \geq 100$.

Прикладами інтраполяційних прогнозів можуть бути педотрансферні моделі, побудовані для визначення властивостей ґрунтів на основі поєданого впливу вмісту гумусу і фізичної глини (рис. 5).

Прогнозування стану орних ґрунтів України. Прогнозування змін гумусового стану, здійснене порівнянням гумусованості за часів В.В. Докучаєва (1882 р.) із сучасним станом, свідчить про те, що втрати гумусу за цей майже 130-річний період досягли 22% у лісостеповій, 19,5 — степовій і майже 19% — у поліській зонах України.

За виняткової важливості органічного вуглецю і гумусу в продуктивному та екологічному функціонуванні ґрунтів втрата гумусу також розглядається як найістотніший провідний деградаційний процес, який потрібно призупинити. Стосовно органічного вуглецю і гумусу накопичено чимало

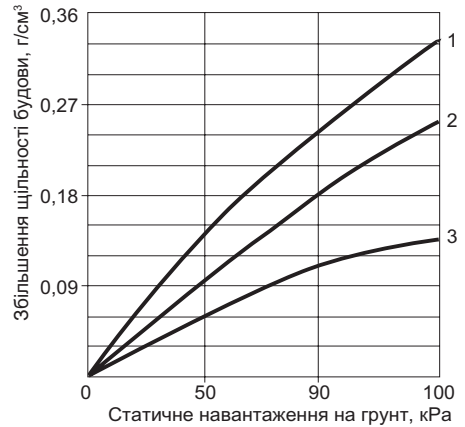


Рис. 4. Збільшення щільності будови залежно від навантаження для чорнозему типового важкосуглинкового (1), південного легкоглинистого (2) і дерново-підзолистого супіщаного ґрунтів (3)

інформації — про запаси, географію поширення, роль у формуванні властивостей і режимів ґрунту, динаміку під впливом будь-яких агротехнологій. Перші зведення про вміст гумусу в ґрунтах з'явилися ще в середині XIX ст. Щодо вуглецю і гумусу в літературі є унікальна за кількістю інформація, бази даних, різноманітні карти. Це найбільш популярні в дослідженнях показники, за винятком лише країн із піщаними ґрунтами, де гумусу вкрай мало, і його роль обмежена. Визначено головну закономірність антропогенної динаміки — в умовах реального

господарювання уміст вуглецю у ґрунті зменшується, особливо в умовах тропіків і субтропіків за майже 100–130 років із моменту перших визначень, на 20–50%. На жаль, приблизно такі самі темпи зменшення умісту гумусу характерні і для орних ґрунтів розвинутих країн та України, включаючи чорноземи. Можливі сценарії змін умісту гумусу в орних ґрунтах України показано на рис. 3.

Прогнозування змін фізичного стану ґрунтів. На думку вчених [17–19], останнім часом особливої уваги заслуговують фізичні властивості ґрунтів, негативні зміни яких спостерігаються скрізь, що призводить до фізичної деградації на орних ґрунтах країни. Останнє актуалізує необхідність детального вивчення з метою прогнозування їхніх змін у сучасних умовах, коли потрібно конкретно знати і кількісно прогнозувати розвиток певного природного процесу, щоб своєчасно і точно вирішити питання управління ними. Питання управління завжди ґрунтуються на попередніх прогнозних розрахунках, які виконують на підставі математичних моделей. Процедура прогнозного моделювання є дуже важливою при розробленні систем управління ґрунтовими ресурсами.

Сучасна фізика ґрунтів використовує різноманітний набір методів для визначення агрофізичних показників: прямі експериментальні визначення за допомогою різноманітних методів [20, 21] і різні розрахункові методи [22]. Загалом реалізація завдань педотрансферного моделювання, розроблення нових видів моделей дасть змогу розвинути напрям у ґрунтознавстві, пов'язаний із

прогнозами, різного роду оцінками та управлінням ґрунтом.

Прогнозування змін агрохімічного стану ґрунтів. На основі розрахунків балансу поживних речовин, зробленого групою провідних фахівців [23], у якому брали до уваги майже всі прибуткові й видаткові його статті, можна зробити висновок, що в останні 15–20 років баланс основних поживних речовин у ґрунтах країни став стійко дефіцитним. Якщо не застосувати радикальних заходів — насамперед підвищення рівня внесення мінеральних добрив, використання побічної продукції урожаю і місцевих джерел органічних речовин, родючість ґрунтів і далі знижуватиметься.

Крім трансформації хімічних властивостей ґрунтів України, важливим є питання забруднення ґрунтів радіонуклідами і важкими металами. Загалом ними забруднюється різною мірою до 20% території. Забруднення переважно локально є в Лівобережному Лісостепу і Степу, де зосереджено великі підприємства хімічної, металургійної, гірничодобувної галузей. Майже всі території, що прилягають до цих підприємств, забруднені на 1–5 порядків вище фонового значення. Це стосується свинцю, ванадію, міді, нікелю, хрому, марганцю, цинку, нафтопродуктів і, навіть ртуті.

Прогнозування змін фізико-хімічних властивостей ґрунтів. У природних умовах рН (актуальна й потенційна реакція ґрунтового розчину) змінюється у межах країни в широкому діапазоні — 4–9. Для ріллі в ґрунтах дернового процесу ґрунтоутворення,

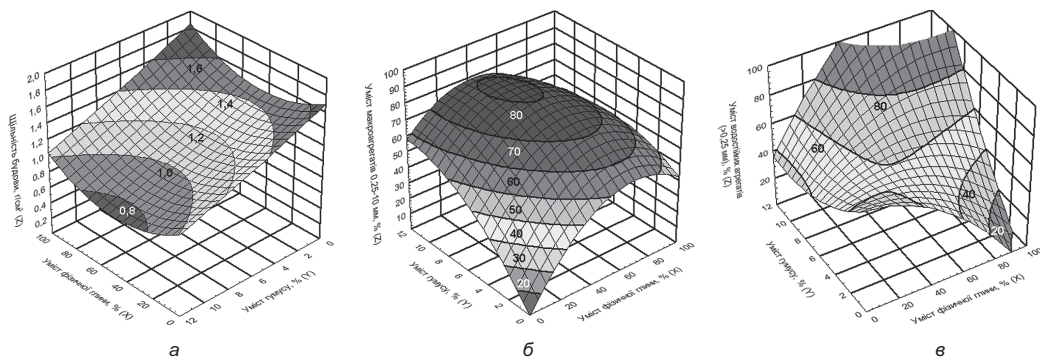


Рис. 5. Педотрансферні моделі квадратичного виду для визначення властивостей ґрунтів за даними вмісту в ґрунті фізичної глини і гумусу: а — щільність будови; б — уміст агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм; в — уміст водостійких агрегатів >0,25 мм

де спостерігається поступова декальцинація, показник рН нижчий, ніж на цілині, для ґрунтів підзолистого ряду — навпаки, оранка цілини трохи підлуговує ґрунтовий розчин. У природних умовах значення рН більш контрастні, в умовах ріллі — зближаються між собою, вирівнюються. Цю обставину потрібно враховувати при оцінці змін рН у часі стосовно 2-х еталонів — цілини й ріллі.

Показник рН залежить від багатьох умов і, головним чином, від клімату, рослинності, літологічного складу ґрунтотворних порід, на пряму ґрунтотворного процесу більшою мірою, ніж інші показники властивостей ґрунтів від впливу господарської діяльності людини.

Зіставлення карти рН сольового з матеріалами про літологічний склад ґрунтотворних порід свідчить про те, що ці показники насамперед пов'язані з наявністю і глибиною залягання у ґрунтах вапна. Підвищення кислотності ґрунтів зони Полісся і гірської області Карпат, як правило, зумовлено безкарбонатністю ґрунтотворних порід. Кислотність у ґрунтах Лісостепу, утворених на лесових породах, багатих вуглекислим кальцієм, знижується від сильно- до слабоопідзолених лісостепових ґрунтів та чорноземів типових і узгоджується зі ступенем їх вилугуваності.

Для ґрунтів степової і сухостепової зон України рН перебуває у межах 6–7, в інших зонах вирізняються певні регіони за значеннями рН. Чітко вирізняються зниженими значеннями рН Закарпатська низовина та Передкарпаття. Значення рН ґрунтів для цього регіону становить 4,4–4,7. Лише в межах найбільш вилугуваних ґрунтових масивів Полісся трапляються аналогічні значення рН.

У ґрунтах Карпат цей показник ще нижчий або дорівнює 4,3. При порівнянні величин рН із показниками гідролітичної кислотності, умістом рухомого алюмінію, даними гранулометричного складу можна дійти висновку, що вкрай низькі значення рН зумовлені своєрідною літологією ґрунтотворних порід, які сформувалися тут у ході перевідкладення і гіпергенезу флішевих порід, що переважають у гірських системах. За значеннями $pH_{\text{сол}}$, як і за іншими фізико-хімічними показниками, цей регіон являє собою самостійну геохімічну провінцію.

За значеннями рН особливе місце займає Полісся, де переважають легкі ґрунти, й у зв'язку з особливими кліматичними умовами (високою вологозабезпеченістю) різко виражений елювіальний процес і процеси оглеєння ґрунтів. Залежно від ступеня вираження цих процесів, окультуреності ґрунтів і характеру ґрунтотворних порід рН коливається від 4,4–4,7 до 7,0. Основну площу становлять ґрунти з рН 4,8–5,1 і 5,2–5,5. Трапляються невеликі масиви опідзолених лісостепових ґрунтів на лесових породах із рН 5,6–5,9 і ґрунти різного генезису на виходах до поверхні карбонатних порід (6,0–6,6 і >6,6). У цілинному чорноземі Лівобережного Лісостепу України ємність поглинання становить 51,0 мг-екв./100 г ґрунту.

Оранка й тривале використання цього чорнозему в зерно-буряковій сівозміні без застосування добрив призводять до поступового зменшення ємності поглинання: через 12 років — на 5%; 37 років — 9; 52 роки — 15 і 100 років — на 24%. Аналогічна закономірність спостерігається у ґрунтах Західного Лісостепу [24]. Особливо значною мірою (на 17–26% за 100 років) знижується уміст обмінного кальцію в умовах низької культури землеробства, повільніше знижується вміст обмінного магнію.

Прогнозування змін біорізноманіття. Хоча дослідження біорізноманіття останніми роками розвиваються й одержують підтримку, глобальних оцінок його реального впливу на екологічне функціонування ґрунтів немає. Також немає погоджених методів вивчення, відсутнє біорізноманіття в програмах моніторингу, навіть у найрозвиненіших країнах Європи та Північної Америки. Цей недолік, на думку дослідників ґрунтів, має бути усунений, тому що значення бактерій, грибів, дощових хробаків та інших організмів у регулюванні ґрунтових процесів, особливо динаміки органічної речовини, секвестрації та емісії, стає дедалі важливішим. Чим менше мікроорганізмів у ґрунті, тим гірші його властивості й режими. Зменшення біорізноманіття зазвичай спостерігається в умовах низької культури землеробства — недотриманні сівозмін, захопленні агрохімікатами, підвищенні інтенсивності обробітків. За даними опитування 20-ти провідних європейських

експертів, 56% ґрунтів країн ЄС мають проблеми з біорізноманіттям [10]. На їхню думку, чинниками, що впливають на біорізноманіття, є (у спадному порядку) надмірна інтенсифікація землеробства, зменшення кількості органічної речовини в орних ґрунтах, забруднення, зокрема генно-молекулярними організмами, переуцільнення, ерозія, кліматичні зміни, інвазійні впливи (ксенобіотичних, шкідливих для ґрунтів речовин). Основний висновок експертів: біорізноманіття — важлива умова стійкості ґрунтів проти будь-яких негативних впливів, а його підтримка — спосіб їхнього повноцінного функціонування. На жаль, прогноз змін біорізноманіття залишатиметься

негативним, поки зберігатиметься сучасний рівень взаємозв'язків в агросфері.

Отже, складність і напруженість ситуації, яка характеризує сучасний стан ґрунтового покриття України, потребує визначення державних пріоритетів щодо технологічних заходів з охорони ґрунтів. Головними з них є: призупинення зниження вмісту гумусу і досягнення його бездефіцитного балансу; збагачення ґрунтів поживними речовинами і, особливо фосфором; ефективний захист ґрунтів від ерозії; меліорація кислих і солонцевих ґрунтів; реконструкція зрошувальних систем, відновлення площ зрошення до проектного рівня; впровадження заходів щодо запобігання техногенній деградації ґрунтів.

Висновки

Узагальнено, що основною причиною непопулярності досліджень, пов'язаних із прогнозуванням, є відсутність довгих рядів рівновіддалених спостережень, які можна математично обробити й виявити домінуючі тенденції у зміні об'єкта досліджень. Відзначено, що розроблення нових видів моделей дасть змогу розвинути напрям у ґрунтознавстві, пов'язаний із прогнозами, різного роду оцінками й управлінням ґрунтом.

На конкретних прикладах моделей екстра- та інтерполяції проаналізовано основні методи прогнозування, які застосовують у ґрунтознавстві. Прогнозування змін гумусового стану на прикладі чорноземів здійснено порівняння гумусованості за часів В.В. Докучаєва (1882 р.) з їхнім нинішнім станом.

Доведено, що сучасна фізика ґрунтів

використовує різноманітний набір методів для визначення агрофізичних показників: прямі експериментальні визначення за допомогою різноманітних методів і різні розрахункові методи, зокрема педотрансферне моделювання.

Установлено, що зі збереженням сучасного рівня взаємозв'язків в агросфері, який характеризується розвитком деградаційних процесів в умовах наявного дефіцитного балансу основних поживних речовин, підкислення та забруднення ґрунтів радіонуклідами й важкими металами, прогнозування змін основних властивостей ґрунтів і біорізноманіття залишатиметься негативним.

Окреслено основні державні пріоритети щодо технологічних заходів з охорони та стабілізації рівня родючості орних ґрунтів.

Medvedev V.¹, Plisko I.²

NSC «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», 4 Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: ¹vvmedvedev@ukr.net, ²irinachujan@gmail.com; ORCID: ¹0000-0001-7319-8773, ²0000-0001-8111-7662

Theoretical and applied aspects of forecasting state of soil cover

Goal. To substantiate on the basis of generalization of the available experience theoretical aspects of forecasting changes in the state of soil cover and to develop models of forecasting changes in

the basic physical, agrochemical, physicochemical properties of arable soils of Ukraine. **Methods.** Information-analytical, mathematical-statistical (correlation-regression, pedotransfer modeling). **Results.** Based on the analysis of literature sources, the relevance is proved of issues related to forecasting changes in the basic properties of arable soils of Ukraine to prevent the development of degradation processes and timely use of soil protection measures that will stabilize their fertility in modern conditions. The main methods of forecasting (expert, extrapolation, interpolation, etc.) are analyzed and the theoretical aspects of forecasting in soil

science are substantiated. Using samples from the database «Soil Properties of Ukraine» they developed models for predicting changes in humus, physical, physicochemical, and agrochemical properties of arable soils. The main state priorities for technological measures to protect and stabilize the level of fertility of arable soils are proposed. **Conclusions.** It is established that with the preservation of the current level of relationships in the agrosphere, which is characterized by the development of degradation

processes in conditions of existing deficit of essential nutrients, acidification and contamination of soils with radionuclides and heavy metals, forecasting changes in soil properties and biodiversity will remain negative. The main state priorities for technological measures to protect and stabilize the level of fertility of arable soils are outlined.

Key words: soil properties, estimation, pedo-transfer modeling, change forecast.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202101-01>

Бібліографія

1. Светуцьков І.С., Светуцьков С.Г. Методи соціально-економічного прогнозування. *Теорія і методологія*. Москва: Юрайт, 2015. Т. 1. С. 351 с.
2. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса; пер. с англ. Изд. 2. Доп. 1974. 592 с.
3. Корнблум Э.А. О выборе методов прогнозирования коренных изменений почв рисовых полей. *Почвоведение*. 1978. № 2. С. 42–48.
4. Степанов И.Н. Почвенные прогнозы (последствия ирригационно-мелиоративных мероприятий). Москва: Наука, 1979. 83 с.
5. Кузнецов М.В., Зима О.Г. Моделивання та прогнозування стану забруднення ґрунтів Харківської області важкими металами. *Системи обробки інформації*. 2010. № 5 (86). С. 239–242.
6. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды: учебн. пособие. Москва: Наука, 2000. 350 с.
7. Ричак Н.Л. Динаміка просторово-почасового забруднення важкими металами ґрунтів м. Харкова. Харків: ХПІ, 2003. 200 с.
8. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды: учебн. пособие. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. 210 с.
9. Титенко А.В. Оценка состояния почвенного покрова в условиях интенсивного промышленного загрязнения. Харьков, 2004. 133 с.
10. Медведев В.В., Пліско І.В. Прогнозування у ґрунтознавстві. Харків: Стильна типографія, 2018. 170 с.
11. Pachepsky Ya.A., Rawls W.J., Timlin D.J. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field and regional-scale modeling. Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. *Geophysical monograph*. 1999. V. 108. P. 223–234.
12. Wilding L.P., Lin H. Advancing the frontiers of soil science towards a geosciences. *Geoderma*. 2006. V. 131. P. 257–274.
13. Bouma J. Hydropedology as a powerful tool for environmental policy research. *Geoderma*. 2006. V. 131. P. 275–280.
14. Bouma J., van Lane H.A.I. Transfer function and thresholds values: from soil characteristics to land qualities. *Proc. of the Int. Workshop on Quantified Land Evaluation Procedure*. Washington, DC, USA. 1987. P. 106–110.
15. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, результаты, задачи. Харьков: Мисс-друк, 2012. 536 с.
16. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление; пер. с англ. А.Л. Левшина; под ред. В.Ф. Писаренко. Москва: Мир, 1974. Вып. 1. 406 с.
17. Шеин Е.В., Зинченко С.И., Банников М.В. и др. Методы оценки и прогноза агрофизического состояния почв. Владимир, 2009. 105 с.
18. Шеин Е.В., Иванов А.Л., Бутылкина М.А., Мазиров М.А. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования. *Почвоведение*. 2001. № 5. С. 578–585.
19. Шеин Е.В., Архангельская Т.А. Педотрансферные функции: состояние, проблемы, перспективы. *Почвоведение*. 2006. № 10. С. 1205–1217.
20. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 415 с.
21. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 428 с.
22. Pachepsky Ya.A., Rawls W.J., Timlin D.J. The current status of pedotransfer functions: their accuracy, reliability, and utility in field and regional-scale modeling. Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. *Geophysical monograph*. 1999. V. 108. P. 223–234.
23. Заришняк А.С., Балюк С.А., Лісовий М.В., Комариста А.В. Баланс гумусу і поживних речовин у ґрунтах України. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 1. С. 28–32.
24. Гринченко А.М., Чеснак Г.Я., Мамонтов В.Т. Влияние сельскохозяйственного использования на изменение физико-химических свойств чернозема западной лесостепи Украины. *Труды Харьковского сельскохозяйственного института им. В.В. Докучаева*. 1972. Т. 170. С. 39–44.