

УДК 631.4:631.51

## НАУКОВІ ОСНОВИ ТОЧНОГО МЕХАНІЧНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ І ПЕРСПЕКТИВИ ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ\*

Віталій Медведєв, Ірина Пліско, Світлана Накісько

*ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”,  
вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків, Україна,  
e-mail: pochva@meta.ua*

Точний механічний обробіток – принципово нова стратегія землеробства, що базується на застосуванні інформаційних технологій та нових технічних засобів і передбачає здійснення технологічних заходів з основного і передпосівного обробітку з урахуванням просторової неоднорідності фізичних властивостей кореневмісного шару як індикаторів диференціації обробітку поля. Висвітлено основні положення та етапи методики визначення просторової неоднорідності ґрунтів земельної ділянки. Надано характеристику індикаторів точного механічного обробітку ґрунту та перспективних методів вимірювання параметрів для точного обробітку, в тому числі технічного та програмного забезпечення.

Запропоновано попередні нормативи фізичних властивостей оброблюваного шару для обґрунтування інтенсивності основного механічного обробітку ґрунту. Надано характеристику основних етапів переходу до точного землеробства, а також механізми, які покликані забезпечити його ефективне функціонування. Розраховано очікувану економічну ефективність точного землеробства.

Детально проаналізовано просторову неоднорідність орних земель України за основними фізичними показниками (структурним складом, щільністю будови та твердістю) у посівному шарі та плужній підшві. Проаналізовано деякі загальні закономірності прояву просторової неоднорідності досліджених властивостей ґрунтового покриву земельних ділянок і врожаю в усіх природних зонах України, що слугує основним аргументом для переходу від узагальнених зональних технологій до точного механічного обробітку. Опрацьовано вихідні дані для технологічного обґрунтування освоєння точного обробітку (за вмістом брил у посівному шарі). На підставі урахування успішного досвіду освоєння систем точного землеробства розглянуто перспективи на користь впровадження точного землеробства в Україні.

*Ключові слова:* ґрунт, просторова неоднорідність, точний обробіток, фізичні властивості.

Точне землеробство – новий етап розвитку агросфери, пов’язаний з використанням геоінформаційних систем, глобального позиціонування, бортових комп’ютерів,

---

\* Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф 76/32-2018.

управлінських і виконавських механізмів, здатних диференціювати способи обробітку відповідно до неоднорідності поля. Розвинуті в аграрному розумінні країни щораз ширше використовують методи точного обробітку. Новітні технології вважають більш економічними і ґрунтозахисними, тому їхню перспективність сьогодні не піддають сумніву. Україна як впливова аграрна держава не повинна пройти осторонь світових тенденцій. Окрім того, стосовно деяких елементів точного землеробства Україна має пріоритетні позиції, які треба закріплювати і розвивати.

Поданий нижче розділ визначає цілісну систему поглядів на агрономічні, ґрунтово-агрохімічні, економічні, екологічні, технічні, організаційні і наукові аспекти розвитку точного обробітку в Україні.

Необхідність розвитку точного обробітку в Україні визначається певними чинниками.

Точний обробіток унаслідок очевидних економічних і екологічних переваг поступово поширюється не тільки у розвинутих країнах Західної Європи і Північної Америки, де такий обробіток почав розвиватися ще з 90-х років минулого століття, а й у країнах Азії, Південної Америки і навіть Африки. Україні слід уже давно використовувати нову технологію, адже саме вона визначає рівень розвитку аграрного сектору і його конкурентну спроможність на світових ринках, зокрема, після приєднання України до Світової організації торгівлі.

За зведеними даними, точний обробіток зменшує потребу в ресурсах на 30–50 % [2; 4; 6; 11]. У сучасних умовах впровадження точного обробітку стане важливим заходом інтенсифікації землеробства без значних додаткових витрат.

Впровадження нових технологій, а також комп'ютеризації та інформатизації сприятимуть більшій привабливості праці в агросфері, що перетворить агронома у сучасного менеджера, підвищить рівень економічної культури й екологічної свідомості в сільській місцевості.

Метою статті є забезпечення ефективного економічного й екологічного розвитку точного обробітку ґрунту на основі раціональнішого врахування неоднорідностей фізичних властивостей ґрунтів поля.

Отож необхідно визначити місцеві (локальні) закономірності просторової неоднорідності ґрунтового покриву поля та адаптувати і впровадити нову інформаційно-геостатистичну методологію.

Методика базується на таких геостатистичних принципах:

- дослідженнями треба охопити весь простір земельної ділянки (без винятків);
- точки випробування розмістити за регулярною сіткою замість методу маршрутів або методу ключів, типових ландшафтів або розрізів;
- неоднорідність треба оцінювати кількісно комплексом статистичних і геостатистичних показників;
- оцінювання неоднорідності на полі треба повторювати протягом щонайменше 2–3-х років;
- оцінювання неоднорідності властивостей ґрунтів необхідно синхронізувати з визначенням неоднорідності врожайних даних на полі (також протягом 2–3-х років);

- масштаб досліджень або густина регулярної сітки повинна відповідати зональній (усередненій, експертній) варіабельності показників;
- до програми спостережень варто включити показники, за допомогою яких можна коригувати технології обробітку.

Методика складається з підготовчого, польового і камерального етапів і завершується виокремленням на полі ділянок з різними параметрами родючості для здійснення диференційованих агрозаходів.

На підготовчому етапі на полі, обраному для дослідження неоднорідності, рівномірно розміщують регулярну сітку елементарних ділянок із розрахунку 1 ділянка на 0,5 га у Поліссі і на 1 га – у Лісостепу та Степу. На цьому етапі досліджене поле забезпечують такою супутньою інформацією, як адміністративний поділ, топографічні, агрокліматичні, фізико-географічні, ґрунтово-агрохімічні дані та економічні результати господарської діяльності.

На польовому етапі здійснюють морфологічні дослідження профілю ґрунту, фізичні, фізико-механічні та інші виміри ґрунту, визначають ступінь покриття поверхні ґрунту рослинністю, врожайність, відбирають ґрунтові і рослинні зразки. Водночас описують інші особливості кожної елементарної ділянки – еродованість, відклади дрібнозему, мочари, кам'янистість, оглеєння, тріщини, кірку тощо.

На камеральному етапі виконують аналітичні роботи відповідно до обраних індикаторів точного землеробства і здійснюють математичну обробку даних. У результаті останньої визначають варіаційно-статистичні елементи (середнє арифметичне, його помилку, точність вимірювання параметрів, коефіцієнт варіації, дисперсію, середнє квадратичне відхилення, асиметрію, ексцес та ін.). Застосовують програмний засіб *Statistica*. Визначають також специфічні геостатистичні параметри (поріг дисперсії, радіус кореляції, нагет-ефект), визначають автокореляційну функцію і достовірність її відхилення від нуля, спектральну щільність дисперсії, періодограму, будують 2-D- і 3-D-діаграми. Застосовують програмний засіб *Surfer*.

Головними геостатистичними умовами неоднорідності земельної ділянки є достовірна автокореляційна функція та чіткі значимі піки спектральної щільності дисперсії показника. Додатковим критерієм неоднорідності є коефіцієнт варіації. Проте наголосимо, що часто навіть за невеликих або помірних його значень неоднорідність земельної ділянки є реальним фактом, що потребує врахування у диференціації агротехнологій.

Після доведення неоднорідності індикаторного показника будують 2-D-діаграму для визначення контурів з різними параметрами. Після цього контури поєднують у 3 агротехнологічні групи відповідно до нормативів. Якщо площа 1-ї (з оптимальними параметрами, де можна відмовитись від обробітку) або 3-ї (з найгіршими показниками) груп перевищує 10 % від загальної площі ділянки, то застосовувати точні технології доцільно.

Камеральний етап завершують техніко-економічним обґрунтуванням і розробкою технологічної карти виконання робіт на виокремлених частках земельної ділянки.

Для ефективного впровадження точного обробітку необхідно використовувати індикатори (показники) стану ґрунту. Основна вимога до індикаторів – здатність оцінити

ті властивості ґрунту у просторі поля, за допомогою яких можна диференціювати механічний обробіток.

До індикаторів фізичного стану ґрунту, поряд із загальноприйнятими щільністю будови і структурним складом, рекомендують долучити твердість, яка краще характеризує ґрунт як середовище для розвитку коренів рослин і дає змогу виявити навіть незначні відхилення фізико-механічних властивостей ґрунту від норми в окремих частинах посівного, орного і підорного шарів, точніше описує конфігурацію плужної підшви, більшою мірою залежить від вологості, агрофону і властивостей ґрунту (вмісту гумусу, гранскладу, складу поглинених основ, структурності). Здобути у результаті обстеження твердості твердограми – новий і важливий методичний спосіб характеристики міцності ґрунту і його окремих часток у 2- і 3-вимірному форматах, а також розподілу твердості в оброблюваному шарі ґрунту з виявленням зон, які потребують різного за способом та інтенсивністю розпушування.

Основна вимога до вимірювальних процедур у точному землеробстві – здійснювати їх у полі безпосередньо перед тим, як виконуватимуть технологічну операцію. Ще краще, якщо реєстрація параметра і реалізація технологічного заходу збігатимуться у часі. Такий режим називають *on-line*. Він має чимало переваг, порівняно зі звичайним режимом вимірювання параметрів ґрунту. Головна з них полягає у тому, що відбір зразків ґрунту, їхнє транспортування й аналітичні лабораторні процедури зайві. Режим *on-line* дає змогу отримати дані про стан ґрунтів з урахуванням реальної вологості ґрунту, обмінних реакцій, різноманітних міграцій, емісій, динаміки процесів, що постійно відбуваються у ґрунті. Здебільшого ці процеси залишаються поза увагою дослідника, якщо аналітична процедура передбачає висушування зразка, штучне, нехарактерне для ґрунту хімічне екстрагування компонентів під дією кислотних або лужних розчинів.

Для точного землеробства – принципово нової системи менеджменту в агрономії – потрібна і принципово нова система інформації, яка усуває проміжні операції та забезпечує управлінські механізми безпосередніми і точними даними з урахуванням реального зволоження ґрунту і фізіологічних особливостей рослин. Тільки за таких умов еколого-економічні переваги точного землеробства буде реалізовано повною мірою. Саме через цю причину треба всіляко підтримати нові розробки з інструментального дистанційного контролю стану ґрунтів і рослин. Зокрема:

- інтегральну оцінку родючості ґрунту – за допомоги методів електромагнітного випромінювання, або електропровідності [1; 8; 12];
- фізичний стан ґрунту – високочастотного радіолокаційного зондування (структурний склад поверхневого шару), методу радарграм (щільність будови), навісних пенетрометрів (твердість), вологомірів *TDR* (*time domain reflectometer*) [3; 12].

Сьогодні на ринку є чимало пропозицій щодо програмного і технічного забезпечення точного землеробства. Наприклад, компанія *AGKO* (колишня *Massey Ferguson*) розробила систему *Fieldstar*, *CLAAS – Agro-COM*, *CASE – AFS*, *New Holland – CERES*, *Deutz-Fahr – TCS-SAT*, *Deere & Company – Green-Star*. Фірма “Амацоне” пропонує обладнання для диференційованої сівби. Пропоновані системи принципово подібні і відрізняються лише деякими технічними характеристиками. Найпопулярнішою в європейських країнах є система *Fieldstar*, яка дає змогу проводити картографічні роботи на полі у режимі

*on-line* (визначати врожай, забур'яненість, деякі властивості ґрунтів), узгоджувати агротехнологічні операції з картами урожайності і станом рослин, визначати місцезнаходження з точністю навіть до 1 см. Система надійно суміщається з іншими системами (наприклад, системою автоматичного підтримання колій за маршрутної технології виконання машинно-тракторних операцій), здатна створювати паспорти поля, виконувати інші роботи. По суті, це поліфункціональна інформаційна система, незамінна для сучасного сільськогосподарського менеджера.

Важливим чинником успіху *FieldStar* у Європі були її безперечні можливості в охороні довкілля. *FieldStar* за рахунок економії палива, гербіцидів, пестицидів і добрив сприяла екологічному оздоровленню. Система підвищила культуру та ефективність сільськогосподарської праці завдяки покращенню і використанню інформації та комп'ютеризації.

Серед вітчизняних розробників слід відзначити Національний університет біоресурсів і природокористування, де розроблено та успішно апробовано технічні засоби для внесення змінних норм мінеральних добрив. Під час розробки системи її автори [1; 9] проаналізували існуючі численні закордонні і вітчизняні програмні засоби та опрацювали вимоги до тих, що найбільше задовольняють потреби точного землеробства. У системі використано також вітчизняні програмні засоби і прилади – “Алмаз”, “Оризон” та ін.

У НДІ “Квант-навігація” розроблено й успішно випробувано бортовий навігаційно-управлінський та інформаційно-вимірювальний комплекс “Сула”, призначений для диференційованої сівби. Комплекс здатний визначити місцезнаходження МТА, обробляти і передавати інформацію про роботу виконавських механізмів, формувати команди агрегатам.

ВАТ “Хартрон” сумісно з інститутами УААН розробив експериментальну установку “Слобожанець” для автоматизованого ведення сівби [5]. Розробку супроводжували комплектом програм автоматизованого робочого місця фермера (агронома), у тому числі: підпрограма документації, управління виконавськими механізмами, моделювання роботи сільгосптехніки з бортовими обчислювачами, управління базами даних, програма “Технологічний процес”, експертна система “Рослинництво” з підсистемами “Ґрунт”, “Насіння”, “Погода”, “Сівба”, “Захист рослин”, “Підживлення”, “Врожай”. Отож створено концепцію з необхідною інфраструктурою виробничих технологій, інформаційних і технологічних способів впровадження точного землеробства.

Нормативи індикаторних властивостей ґрунту, на підставі яких простір поля поділяють на три агротехнологічні групи, подано у табл. 1.

Перша агротехнологічна група – зі сприятливими (оптимальними) властивостями ґрунтів – допускається відмова від виконання будь-яких агротехнологічних операцій; друга агротехнологічна група – зі звичайною (зональною) агротехнологією; третя агротехнологічна група – з поліпшеною (насиченою заходами) агротехнологією.

На першій з них установлюють вихідну характеристику поля за геолого-гідрологічними і топографічними показниками, а також характеристику поля за індикаторними показниками. На цьому ж етапі обов'язковими є геостатистичні

(з урахуванням просторової неоднорідності) визначення врожайності сільськогосподарських культур і опрацювання відповідної карти. Цю операцію необхідно проводити щорічно, оскільки такі дані разом з іншими характеристиками є об'єктивною основою оцінювання просторової неоднорідності поля і коректності наступного диференціювання агротехнологій.

Таблиця 1

Попередні нормативи фізичних властивостей оброблюваного шару  
для обґрунтування інтенсивності механічного обробітку\*  
Preliminary norms of the physical properties of the treated layer for substantiation  
of the intensity of mechanical tillage

Показник у посівному шарі	Агротехнологічна група	Якісна оцінка оброблюваного шару	Рекомендації з інтенсивності передпосівного обробітку
Кількість брил, % < 5 5–15 > 15	1 2 3	Сприятлива Задовільна Незадовільна	Обробіток не потрібний Помірний обробіток Інтенсивний обробіток
Щільність будови, г/см <sup>3</sup> : < 1,2 1,2–1,3 > 1,3	1 2 3	Сприятлива Задовільна Незадовільна	Обробіток не потрібний Помірний обробіток Інтенсивний обробіток
Твердість, кгс/см <sup>2</sup> : < 20 20–40 > 40	1 2 3	Сприятлива Задовільна Незадовільна	Обробіток на потрібний Помірний обробіток Інтенсивний обробіток

\* Нормативи придатні для ґрунтів середнього і важкого гранулометричного складу.

Обстеження другого етапу передують або синхронізують з технологічними операціями з вирощування культур і проводять для визначення показників, на підставі яких коригують обробіток ґрунту. На цьому ж етапі збирають інформацію про погодні умови, стан рослин і економічну ситуацію. Остання потрібна для того, щоб варіювати розмір інвестицій у технологію залежно від попиту на сільськогосподарську продукцію і цінової ситуації на ринку.

Тільки після створення достовірної бази даних про неоднорідність властивостей ґрунтів поля, а також одержання щорічних (за 2–3 роки) карт врожайності культур виділяють робочі ділянки, купують і освоюють програмно-технічні засоби та починають етап реального впровадження точного землеробства.

Агрономічний персонал вищої і середньої ланки в Україні достатньо підготовлений для сприйняття і поступового впровадження точного землеробства. Водночас необхідні додаткові заходи, які сприятимуть розумінню необхідності, економічному зиску, екологічній доцільності і прискоренню впровадження точного землеробства. У кожній області треба організувати демонстраційні поля, видати методичну літературу, провести семінари (можливо, запросити на них фермерів з країн Західної Європи, які мають

щонайменше 15-річний досвід господарювання за системою точного землеробства). Існуючі науково-технічні програми аграрних досліджень бажано доповнити позиціями, спрямованими на адаптацію й удосконалення точного землеробства з урахуванням конкретних природно-господарських умов України.

Відповідно до розрахунків, точне землеробство є найперспективнішим для впровадження в умовах Лісостепу і Полісся України, а також у господарствах, які здатні працювати в системі точного землеробства на так званому другому рівні (повноцінна база даних, програмно-технічне забезпечення для трактора і комбайна). Орієнтовні витрати при цьому становитимуть від 50 до 100 тис. дол. США. За умови впровадження на площі 500–600 га, засіяної зерновими культурами, часткової економії витрат на зменшення площ з інтенсивним або надглибоким обробітком і зростання врожайності на 5 ц/га (за численними зарубіжними даними, це мінімально реальне зростання [7; 10; 11]) понесені витрати можна окупити за 1–2 роки.

Точне землеробство – ресурсозбережувальна, ґрунтозахисна, інноваційна і конкурентоспроможна технологія, яка сприятиме структурно-технологічній перебудові агросфери та нарощуванню економічного потенціалу держави. Отож держава і, передусім, Мінагрополітики та НААНУ – її провідні аграрні установи, повинні запропонувати економіко-виробничі та соціальні механізми, спрямовані на:

- забезпечення підтримки виробничих, технічних, освітянських і наукових аспектів точного землеробства;
- моніторинг і широке висвітлення результатів науково-демонстраційних і виробничих експериментів;
- підготовку кваліфікованих фахівців, озброєних новими знаннями;
- створення атмосфери сприяння новітнім технологіям.

Результати багаторічних досліджень властивостей ґрунтів і врожаю сільсько-господарських культур у типових полях Полісся, Лісостепу і Степу засвідчили, що просторова неоднорідність за усіма індикаторами притаманна ґрунтовому покриву орних земель України. Неоднорідність встановлюють за основними геостатистичними критеріями – автокореляційною функцією і спектральною щільністю дисперсії. Коефіцієнти варіації є переважно високими і помірними.

Діапазон коливань врожаїв (ц/га) є таким: на поліських об'єктах “Романів” – від 20,2 до 54,3, “Колки” – від 1,4 до 20,2 та “Ведильці” – від 9,0 до 32,2; на лісостепових об'єктах “Коротич” – від 10,7 до 29,8 і “Комунар” – від 19,4 до 43,3; на степовому об'єкті “Донецьк” – від 31,6 до 60,3. Значний розмах коливань зберігся і у післядії на тих полях, де такі спостереження проводили (Романів, Коротич, Комунар). Характерно, що значний розмах коливань помічено як у полі з найсприятливішими показниками родючості (Комунар), так і в полі з найгіршими агрономічними параметрами (Колки). Найвірогідніше, значний діапазон коливань відображає не тільки строкатість родючості ґрунтів поля, а й інші чинники природного та, передусім, господарського походження. Безумовно, суттєвий внесок у строкатість привносить неякісність виконання сівби, удобрення, догляду за посівами. До того ж, і збирання врожаю, внаслідок недосконалої комбайнів, супроводжується втратами, що

також частково пояснює значний діапазон його коливань. Тому вирішення завдання понизити строкатість родючості поля слід починати з підвищення якості виконання агротехнологічних операцій.

Найбільшою просторовою неоднорідністю характеризуються поліські земельні ділянки, середній коефіцієнт варіації яких становить 0,45 (табл. 2). За такого коефіцієнта варіації просторова неоднорідність досліджених ґрунтів гарантується. Геостатистичні оцінки підтверджують такий висновок. Автокореляційна функція майже для усіх показників достовірна, а спектральна щільність дисперсії утворює значимі піки хвиль.

Таблиця 2

Середні коефіцієнти просторової варіабельності фізичних індикаторів  
на досліджених земельних ділянках  
Average coefficients of spatial variability of physical indicators  
on investigated land plots

Індикатор	Полісся	Лісостеп	Степ
Структурний склад посівного шару:			
брилуватість	0,64	0,62	0,43
агрономічно цінна фракція пил	0,13	0,13	0,12
Щільність будови:	1,90	0,46	1,09
у посівному шарі			
у плужній підшві	0,18	0,06	0,10
Твердість:	0,06	0,14	0,07
у посівному шарі			
у плужній підшві	0,24	0,15	0,15
Урожай	0,18	0,12	0,05
Середній коефіцієнт варіації	0,29	0,19	0,18
	0,45	0,23	0,27

Геостатистичні оцінки різняться між собою тільки тим, що достовірність функції простежується на різних відстанях, а піки – в області різних хвильових частот. Напівдисперсія у більшості випадків апроксимується сферичною моделлю, на якій чітко позначаються поріг дисперсії, радіус кореляції. Нагет-ефект з'являється лише інколи. Це означає, що просторова варіабельність переважно присутня на середніх і великих відстанях і майже відсутня на малих відстанях. Радіус кореляції переважно сягає 300–500 м, що означає, що розміри окремих робочих ділянок на полі створюють умови для ефективного господарювання.

Високою неоднорідністю характеризуються всі фізичні індикатори: брилуватість посівного шару ґрунту, щільність будови, твердість посівного шару і кількість агрономічно корисних агрегатів. У зв'язку з цим перевагу на орних ґрунтах слід віддати точному передпосівному обробітку. Неоднорідність найбільше виражена у посівному шарі. Це означає, що диференціація агрозаходів особливо важлива у період передпосівного обробітку ґрунту. Уперше встановлені параметри міцності плужної підшви і несучільний характер її прояву дає змогу припустити перспективність точного глибокого основного обробітку у цих випадках.



Здобуті численні картографо-аналітичні оцінки неоднорідності сприяли виявленню деяких загальних закономірностей її прояву в досліджених об'єктах. Значну величину варіабельності супроводжує неоднорідність на різних відстанях. Зазвичай нагет-ефект з'являється лише за максимальних параметрів варіабельності. Водночас вища варіабельність зумовлює вищу ймовірність достовірної автокореляційної функції і появи декількох піків на спектральній щільності дисперсії.

Отже, за високої величини варіабельності просторова структура ознаки ґрунту ускладнюється. Узагальнення матеріалів про просторову неоднорідність показників досліджених полів дає змогу опрацювати вихідні дані для технологічного обґрунтування точного землеробства (табл. 3).

Таблиця 3

Вихідні дані для технологічного обґрунтування освоєння  
точного обробітку (за вмістом брил у посівному шарі)  
Output data for the technological substantiation of the development of precision tillage  
(according to the content of blocks in the crop layer)

Об'єкт	Агротехнологічна операція	Загальна площа поля, га	Агротехнологічні групи ґрунтів поля з різною брилуватістю, площа, га		
			1-ї	2-ї	3-ї
Романів, Волинська обл.	Основний обробіток	63	13	50	0
	Передпосівний обробіток		38	19	43
Колки, Волинська обл.	Основний обробіток	11	0	2,4	8,6
	Передпосівний обробіток		2,8	4,4	3,8
Ведильці, Чернігівська обл.	Основний обробіток	105	74	27	4
	Передпосівний обробіток		10	52	38
Коротич, Харківська обл.	Основний обробіток	31	9	22	0
	Передпосівний обробіток		16	12	5
Комунар, Харківська обл.	Основний обробіток	30	30	0	0
	Передпосівний обробіток		15	12	3
Донецьк, Донецька обл.	Основний обробіток	50	5	45	0
	Передпосівний обробіток		38	12	0

Аналізуючи таблицю 3, не можна не звернути уваги на значну строкатість у співвідношенні площ 1-ї, 2-ї і 3-ї агротехнологічних груп у ґрунтах різних природних зон і різної генези. Як і слід було очікувати, фізичні властивості ґрунтів Полісся, Лісостепу і Степу суттєво відрізняються. Доволі несподіваним було виявлення значних площ зі сприятливими властивостями на поліських об'єктах Романів і Ведильці. Це істотний резерв мінімалізації (аж до повної відмови) основного і передпосівного обробітку. Треба наголосити, що це й досі нереалізований резерв, адже добре відомо, наскільки малопопулярні у Поліссі мінімальні, передусім нульові та подібні до них технології. І це свідчить на користь широкого застосування точних технологій у досліджуваній зоні.

У полях з чорноземними ґрунтами майже нема ділянок, які б належали до 3-ї технологічної групи, тобто ділянок, які потребують поліпшеного (більш насиченого) обробітку ґрунту, проте великі площі ґрунтів у полях, які зачислено до 1-ї і

2-ї агротехнологічних груп. Отож можна констатувати наявність сприятливих передумов для розвитку точного обробітку в Лісостепу і в Степу. Однак зміст і спрямованість агротехнологій, як бачимо зі співвідношення площ на досліджених об'єктах, є різною.

Враховуючи різноманітність вихідної інформації для освоєння точних технологій, доцільно для кожного елементу технології опрацювати своєрідну технологічну карту впровадження, де було б визначено необхідні параметри агрозаходу (площа, норма, техніка, терміни та ін.) для кожного контуру поля.

Отже, для техніко-економічного обґрунтування потрібні дані про площі виконання тієї або іншої агротехнологічної операції і точну її локалізацію на полі з чітко окресленими межами. Далі, залежно від забезпеченості господарства ресурсами, техніко-економічне обґрунтування можна опрацювати у декількох варіантах. Обмежене у ресурсах підприємство може не виконувати жодних операцій на землях першої агротехнологічної групи, а безпосередньо розпочинати посів сільськогосподарської культури. Сприятливі параметри на цій частці поля дозволяють діяти саме так. Вивільнені ресурси (добрива, меліоранти, паливно-мастильні матеріали тощо) можна або зекономити для інших цілей, або спрямувати на частки поля 3-ї агротехнологічної групи цього ж або інших полів, де родючість треба підвищувати. На ділянках 2-ї агротехнологічної групи операції треба виконувати відповідно до зональних рекомендацій.

Перелічимо обставини, які однозначно свідчатимуть на користь перспективності розвитку в Україні точного землеробства:

- наявність у всіх природних зонах країни просторової неоднорідності індикаторних властивостей ґрунтового покриву, у тому числі морфологічних, фізичних, фізико-механічних, хімічних, фізико-хімічних, агрохімічних властивостей і головного з них – врожаю, що підтверджують наші дослідження, а також численні наукові роботи, виконані в подібних ґрунтово-кліматичних умовах;
- посиленій останніми роками інтерес до вивчення просторової неоднорідності у зв'язку з вимогами точного землеробства, у тому числі за допомогою найбільш інформативного геостатистичного методу: якщо у 80–90-х роках минулого століття цей напрям досліджували здебільшого у розвинутих західних країнах лише одиниці, то тепер кількість дослідників і географія досліджень суттєво розширилися;
- успішна комерційна діяльність численних фірм, що випускають необхідне обладнання і програмні засоби [6]: на початку 90-х років цим займалася лише *Massey Ferguson* (тепер *AGKO*), а зараз практично кожна більш-менш велика фірма, що випускає сільськогосподарську техніку, пропонує відповідні технічні засоби та їхній супровід;
- успішний досвід освоєння системи точного землеробства в Україні (у Київській, Чернігівській та інших областях).

Якщо наведені аргументи та інтерес, який проявляють до точного землеробства за повідомленням [4] у 25-х країнах, здаються непереконливими, Мінагрополітики слід організувати перевірку системи у сільськогосподарських підприємствах країни. Адже це реальна інноваційна, екологічно й економічно обґрунтована розробка, яку держава, за прикладом інших країн, повинна підтримати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аніскевич Л. В.* Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук [спец.] 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільсько-господарського виробництва” / Нац. аграр. університет. Київ, 2005. 36 с.
2. *Болотова Т. М., Лісовий М. П., Макаров В. І.* Агроекономічний аналіз точних технологій у рослинництві // Вісник аграрної науки. 2006. № 11. С. 36–39.
3. *Гічка М. М.* Сезонні особливості радіолокаційного зондування агрофізичних властивостей ґрунтів // Агрохімія і ґрунтознавство. 2005. Вип. 66. С. 59–66.
4. *Калайда В. В.* Система точного землеробства John Deere Greenstar // Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук. праць Національного аграрного університету. Київ, 2002. Т. 11. С. 241–243.
5. *Айзенбер Я. Е., Макаров В. І., Коновалова Т. М., Лісовий М. П., Медведєв В. В., Лісовий М. В.* Методологія, інформатика та інженерне забезпечення точного землеробства в Україні // Вісник аграрної науки. 2002. № 1. С. 22–27.
6. *Мур М.* Роль системи “Філдстар” та інформаційних технологій у сучасному сільському господарстві // Механізація сільськогосподарського виробництва : зб. наук. праць Національного аграрного університету. 2002. Т. 11. С. 98–102.
7. *Оценка технологий точного земледелия / В. П. Якушев, В. А. Полуэктов, Э. И. Смоляр, А. Г. Топаж // Агротехнический вестник. 2002. № 3. С. 36–40.*
8. *Поздняков А. И., Позднякова А. Д.* Количественная интерпретация данных вертикального электрического зондирования с применением R-функции // Почвоведение. 1983. № 10. С. 120–125.
9. *Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Ковбаса В. П., Зелінський М. З.* Розробка спеціалізованого обладнання сільськогосподарських машин для технологій точного землеробства (рекомендації). Київ : Національний аграрний університет, 2003. 58 с.
10. *Якушев В. П., Полуэктов Р. А., Смоляр Э. И., Топаж А. Г.* Точное земледелие (аналитический обзор) // Агротехнический вестник. 2001. № 5. С. 28–33.
11. *Godwin R. J., Earl R., Taylor C., Wood G. A., Bradley R. I., Welsh J. P., Richards T., Blackmore B. S., Carver M., Knight S.* Precision farming of cereals // Practical guidelines and crop rotation. Project Report 267, Home-Grown Cereals Authority. London, 2002. P. 8.
12. *Petersen H., Fleige H., Rabbel W., Horn R.* Geophysical Methods for Imaging Soil Compaction and Variability of Soil Texture on Farm Land // Advances in Geoecology 38 “Soil Managing for Sustainability”, Catena Verlag GMBH, 35447, Reiskirchen, Germany, 2006. P. 261–272.

REFERENCES

1. Aniskevych, L. V. (2005). Systemy keruvannia normamy vnesennia materialiv v tekhnolohiiakh tochnoho zemlerobstva : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. tekhn. nauk [spets.] 05.05.11 "Mashyny i zasoby mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva". Nats. ahrar. universytet. Kyiv. 36 pp. (in Ukrainian).
2. Bolotova, T. M., Lisovyi, M. P., & Makarov, V. I. (2006). Ahroekonomichnyi analiz tochnykh tekhnolohii u roslynnnytstvi. *Visnyk ahrarnoi nauky. 11*, 36–39 (in Ukrainian).
3. Hichka, M. M. (2005). Sezonnii osoblyvosti radiolokatsiinoho zonduvannia ahrofi zychnykh vlastyvostei gruntiv. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo, 66*, 59–66 (in Ukrainian).
4. Kalaida, V. V. (2002). Systema tochnoho zemlerobstva John Deere. Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva. 11. Kyiv. 241–243 (in Ukrainian).
5. Aizenber, Ya. E., Makarov, V. I., Konovalova, T. M., Lisovyi, M. P., Medvediev, V. V., & Lisovyi, M. V. (2002). Metodolohiia, informatyka ta inzhenerne zabezpechennia tochnoho zemlerobstva v Ukraini. *Visnyk ahrarnoi nauky. 1*, 22–27. (in Ukrainian).
6. Mur, M. (2002). Rol systemy "Fildstar" ta informatsionnykh tekhnolohii u suchasnomu silskomu hospodarstvi. *Zb. nauk. prats Natsionalnoho. ahrarneho universytetu "Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva"*. T. 11. 98–102. (in Ukrainian).
7. Yakushev, V. P., Poluehktov, V. A., Smolyar, E. I., & Topazh, A. G. (2002). Ocenka tekhnologij tochnogo zemledeliya. *Agrohimicheskij vestnik. 3*, 36–40. (in Russian).
8. Pozdnyakov, A. I., & Pozdnyakova, A. D. (1983). Kolichestvennaya interpretaciya dannyh vertikal'nogo ehlektricheskogo zondirovaniya s primeneniem R-funkcii. *Pochvovedenie. 10*, 120–125. (in Russian).
9. Voitiuk, D. H., Aniskevych, L. V., Kovbasa, V. P., & Zelynskyi, M. Z. (2003). *Rozrobka spetsializovanoho obladdnannia silskohospodarskykh mashyn dlia tekhnolohii tochnoho zemlerobstva (rekomentatsii)*. Kyiv : Natsionalnyi ahrarnyi universytet, 58 pp. (in Russian).
10. Yakushev, V. P., Poluehktov, R. A., Smolyar, E. I., & Topazh, A. G. (2001). Tochnoe zemledelie (analiticheskij obzor). *Agrohimicheskij vestnik. 5*, 28–33. (in Russian).
11. Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, C., Wood, G. A., Bradley, R. I., Welsh, J. P., Richards, T., Blackmore, B. S., Carver, M., & Knight, S. (2002). Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop rotation. *Project Report 267*, Home-Grown Cereals Authority. London. 8 pp.
12. Petersen, H., Fleige, H., Rabbel, W., & Horn, R. (2006). Geophysical Methods for Imaging Soil Compaction and Variability of Soil Texture on Farm Land. *Advances in Geocology 38 "Soil Managing for Sustainability"*, Catena Verlag GMBH, 35447, Reiskirchen, Germany. 261–272 pp.

Стаття: надійшла до редакції 02.10. 2017  
доопрацьована 01.11. 2017  
прийнята до друку 06.12. 2017

## SCIENTIFIC BASIS OF PRECISION MECHANICAL TILLAGE AND PERSPECTIVES OF ITS IMPLEMENTATION IN UKRAINE

**Vitaliy Medvedev, Iryna Plisko, Svitlana Nakisko**

*National Scientific Center "Institute for Soil Science and  
Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky"  
Chaikovska St., 4, UA – 61024 Kharkiv, Ukraine,  
e-mail: pochva@meta.ua*

Precision mechanical tillage is a fundamentally new agricultural strategy of farming, which is based on the use of information technology and new technical means and involves the implementation of technological measures for the main and pre-sowing tillage, taking into account the spatial heterogeneity of the physical properties of the root-content layer as indicators of differentiation of field tillage. In the article were presented the main provisions and stages of the method of determining the soil spatial heterogeneity of the plot. It was characterized indicators of precision mechanical soil tillage and promising methods for measuring parameters for precision tillage, including technical and software.

It was proposed the preliminary norms of the physical properties of the treated layer for substantiation of the intensity of the basic mechanical soil tillage. It was proposed the characteristic of the main stages of the transition to precision farming and the mechanisms that should ensure its effective functioning, it was calculated the expected economic efficiency of precision farming.

In the article was analyzed the spatial heterogeneity of arable land of Ukraine in terms of basic physical characteristics (structure, bulk density and penetration resistance) in the crop layer and plow sole. Some general patterns of manifestation of the spatial heterogeneity of the investigated properties of the soil cover of the land plots and the crop in all natural zones of Ukraine are analyzed, it serving as the main argument for the transition from generalized zonal technologies to precision mechanical tillage. The baseline data for the technological substantiation of the development of precision tillage (according to the content of the blocks in the seed layer) was worked out. Prospects for the introduction of precision agriculture in Ukraine are considered, based on the successful experience of mastering precision farming systems.

*Key words:* soil, precision tillage, spatial heterogeneity, physical properties.