

UDC 631.4:631.51

V. V. Medvedev, Dr. Sci. (Biol.), NUAAS Academician, Professor**I. V. Plisko, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher***National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky", Kharkiv, Ukraine, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net***PARAMETRIZATION OF SPATIAL HETEROGENEITY
OF A SOIL COVER WITHIN THE LIMITS OF SMALL AREAS
(THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS)**

Spatial heterogeneity within the limits of small areas (fields of crop rotations) is consequence of plurality of expression of soil properties due to not rigid, determined, and likelihood communications between vegetation, soil and a climate. Heterogeneity comes to light by means of methods of geostatistics under condition of significant factor of spatial variability, authentic autocorrelation function and spectral density of a dispersion with obvious peaks of waves. On the basis of variograms, 2-D-diagrams and corresponding indicators on a field allocate sites with a different level of fertility for differentiation agrotechnology operations. In article results of studying of spatial heterogeneity of 6 fields to Polesye, Forest-Steppe and Steppe on physical, physical-chemical and chemical soil parameters are stated. Their analysis has formed the basis for application on fields of various scripts of precise agriculture. For each investigated field technologies of precise agrotechnology – preseeding tollage, application of fertilizers and liming are proved. In article specifications of display parameters for parcellization fields on 3 levels of fertility and corresponding differentiation of operations are resulted.

Keywords: *heterogeneity, precise agriculture, technological substantiation, specifications.*

УДК 631.4:631.51

В. В. Медведев, д-р биол. наук, академик НААН, профессор**И. В. Плиско, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотрудник***Национальний научний центр «Інститут ґрунтознавства і агрохімії імені А. Н. Соколовського», г. Харків, Україна, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net***ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЇ НЕОДНОРОДНОСТІ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ГРАНИЦАХ МАЛЫХ АРЕАЛІВ
(ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)**

Пространственная неоднородность в пределах малых ареалов (полей севооборотов) является следствием множественности выражения свойств почв за счет не жестких, детерминированных, а

вероятностных связей между растительностью, почвой и климатом. Неоднородность выявляется с помощью методов геостатистики при условии значительного коэффициента пространственной вариабельности, достоверной автокорреляционной функции и спектральной плотности дисперсии с явными пиками волн. На основании вариограмм, 2-D-диаграмм и соответствующих индикаторов на поле выделяют участки с разным уровнем плодородия для дифференцирования агротехнологических операций. Изложены результаты изучения пространственной неоднородности шести полей в Полесье, Лесостепи и Степи по физическим, физико-химическим и химическим показателям почв. Их анализ послужил основанием для применения на полях различных сценариев точного земледелия. Для каждого исследованного поля обоснованы технологии точных агротехнологий – предпосевной обработки, внесения удобрений и известкования. Приведены нормативы индикаторных показателей для парцеллизации полей на 3 уровня плодородия и соответствующего дифференцирования операций.

Ключевые слова: неоднородность, точное сельское хозяйство, технологическое обоснование, нормативы.

УДК 631.4:631.51

В. В. Медведєв, д-р біол. наук, академік НААН, професор

І. В. Пліско, канд. с.-г. наук, ст. наук. співробітник

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н.Соколовського», м. Харків, Україна, , e-mail: vvmmedvedev@ukr.net

ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ПРОСТОРОВОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ В МЕЖАХ МАЛИХ АРЕАЛІВ (ТЕОРЕТИЧНІ І ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ)*

Просторова неоднорідність у межах малих ареалів (полів сівозмін) є наслідком множинності вираження властивостей ґрунтів за рахунок не жорстких, детермінованих, а імовірнісних зв'язків між рослинністю, ґрунтом і кліматом. Неоднорідність виявляється за допомогою методів геостатистики за умови значного коефіцієнта просторової варіабельності, достовірної автокореляційної функції й спектральної щільності дисперсії з явними пиками хвиль. На підставі вариограм, 2-D-діаграм і відповідних індикаторів на полі виділяють ділянки з різним рівнем родючості для диференціювання агротехнологічних операцій. Викладено результати вивчення просторової неоднорідності шести

*«Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф 76//102-2017»

полів у Поліссі, Лісостепу й Степу за фізичними, фізико-хімічними і хімічними показниками ґрунтів. Їх аналіз послужив підставою для застосування на полях різних сценаріїв точного землеробства. Для кожного дослідженого поля обґрунтовані технології точних агротехнологій – передпосівного обробітку, внесення добрив і вапнування. Наведено нормативи індикаторних показників для парцелізації полів за трьома рівнями родючості й відповідного диференціювання операцій.

Ключові слова: неоднорідність, точне землеробство, технологічне обґрунтування, нормативи.

Теоретичні аспекти. Неоднорідність ґрунту – зміна (варіабельність) його властивостей у межах елементарного ґрунтового ареалу або поліпедону. Тобто, це характеристика окремого ґрунтового контуру, а не ґрунтового покриву. Таке уточнення дуже важливе, оскільки воно відокремлює проблему від традиційного погляду на неоднорідність ґрунтів як формування під дією різних кліматичних, літологічних і інших чинників зональних типів ґрунтів.

Існування неоднорідності в межах малих ареалів є доказом множинності вираження будови і властивостей ґрунтів за майже повної ідентичності чинників ґрунтоутворення (Л. О. Карпачевський, 2001; Г. Иенни, 1948), наслідком існування не жорстких (функціональних), а більш складних (що виявляються лише методами імовірнісної статистики) зв'язків між властивостями ґрунтів і умовами середовища, по-різному спрямованої дії чинників ґрунтоутворення і, особливо, складних і суперечливих взаємозв'язків рослинності, ґрунту і клімату (Л. О. Карпачевський, 2001).

Ф. І. Козловський (2003) був одним з перших, хто неоднорідність ґрунту пояснив статистичною неоднорідністю розподілу, тобто, не випадковим характером варіювання ознаки ґрунту. Неоднорідність Ф. І. Козловським розглядається як наслідок природи ґрунту, а не привноситься штучно за рахунок методу дослідження. Тобто, просторова неоднорідність – це закономірне, а не випадкове явище. Для розмежування закономірності і випадковості використовується так звана теорія регіоналізованих змінних, яка пропонує математичний апарат для розмежування. Зокрема, якщо індикаторний показник характеризується значним коефіцієнтом просторової варіабельності, має достовірну автокореляційну функцію і спектральну щільність дисперсії з явними піками хвиль, з очевидністю можна констатувати наявність неоднорідності.

Практичні аспекти. Неоднорідність ґрунтів – важлива виробнича проблема. Неоднорідність (або «пестропольє») зумовлює неоднаковість у просторі поля властивостей ґрунтів, забезпеченості рослин елементами живлення, режимів вологи і тепла. Через неоднорідність родючості ґрунту окремих частин поля неоднакова. Унаслідок різного зволоження підвищених і понижених ділянок практично неможливо здійснити якісний передпосівний обробіток на всьому просторі поля, висіяти насіння на однакову глибину. Через

це маємо недружні сходи і розходження у фенологічному стані рослин, які зберігаються аж до збирання врожаю, що й відбивається на коефіцієнті варіації показника. У цьому ми могли переконатися, аналізуючи результати відповідних вимірювань на наших дослідних об'єктах. Численні літературні дані про строкатість урожаю на полі підтверджують спостереження (П. Г. Адєрихин, 1980; Л. В. Анісєвич, 2005; З. А. Прохорова, 1980; З. А. Прохорова и др., 1978; Т. А. Романова и др., 1988; В. П. Якушев и др., 2001; E. Volenius and oth., 2006; C. J. Dawson, 2006; R. J. Godwin and oth., 2002; J. Havrankova and oth., 2006). Неоднорідність урожаю прослідковується практично у всіх природних зонах, на всіх типах ґрунтів, зокрема на бідних дерново-підзолистих ґрунтах і багатих чорноземах.

Об'єкти і методи. У статті використано матеріали з вивчення просторової неоднорідності шести полів ріллі у Волинській (Колки, Романів), Чернігівській (Ведильці), Харківській (Комунар, Коротич) і Донецькій (Донецьк) областях, що здійснено за широкого набору показників – морфологічних, фізичних, фізико-хімічних і хімічних властивостей, за найбільш уживаними методами. Дослідження проведено за участі Волинського і Чернігівського виробничих центрів з охорони родючості ґрунтів.

Ґрунтовий покрив земельних ділянок у Поліссі переважно складався з дерново-підзолистих у різній мірі оглеєних ґрунтів, у Лісостепу – з чорнозему типового і темно-сірого опідзоленого ґрунту, а у Степу – чорнозему звичайного. Вимірювання *in situ* і відбирання зразків здійснювали з елементарних ділянок, закладених за регулярною сітки. На 1 га приблизно припадало по 1-2 ділянки – усього від 27 до 51 ділянок. Площа полів була від 11 до 105 га. Визначено основні статистичні і геостатистичні параметри. Обробку даних вели за стандартними програмами Statistica, Surfer і MapInfo.

Результати. За дослідженими показниками найбільшою просторовою неоднорідністю характеризуються поліські і лісостепові земельні ділянки (середні коефіцієнти варіації відповідно складають 0,42 і 0,49), найменшою (0,30) – поле у Степу (табл.1). Якщо скористатись відомою класифікацією Б. Г. Розанова (1975), то за таких коефіцієнтів варіабельності просторова неоднорідність досліджених ґрунтів гарантується. Очевидно, геостатистичні оцінки підтверджують такий висновок. Автокореляційна функція майже для всіх показників достовірна, а спектральна щільність дисперсії утворює явні піки хвиль. 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 ясно позначаються поріг дисперсії, радіус кореляції. Нагет-ефект появляється лише інколи. Це означає, що просторова варіабельність переважно присутня на середніх і великих відстанях і майже відсутня на малих відстанях.

**1. Середні коефіцієнти просторової варіабельності показників
на досліджених земельних ділянках**

Показники	Полісся	Лісостеп	Степ
Структурний склад посівного шару:			
брилистість	0,64	0,62	0,43
агрономічно цінна фракція	0,13	0,13	0,12
пил	1,90	0,46	1,09
Щільність будови:			
у посівному шарі	0,18	0,06	0,10
у плужній підшві	0,06	0,14	0,07
Твердість:			
у посівному шарі	0,24	0,15	0,15
у плужній підшві	0,18	0,12	0,05
Уміст гумусу	0,40	0,09	0,10
pH	0,07	0,11	0,03
Сумарний мінеральний азот	0,36	0,44	0,59
Рухомий фосфор	0,56	0,77	0,70
Рухомий калій	0,50	0,72	0,23
Урожай	0,29	0,19	0,18
Середній коефіцієнт варіації	0,42	0,49	0,30

Просторова неоднорідність властивості візуалізується на 2-D- і 3-D-діаграмах, причому вона майже завжди виражена незалежно від величини коефіцієнта варіації ознаки. Як приклад, на рис. 1 і 2 демонструються результати статистичної і геостатистичної обробки двох індикаторних показників (гостро варіабельного – вмісту рухомого фосфору і помірно варіабельного – pH). До речі, не зважаючи на дуже різні рівні просторової варіабельності показників, їхні геостатистичні оцінки принципового не відрізняються одна від одної.

Здобуті численні картографо-аналітичні оцінки неоднорідності дозволили виявити деякі загальні закономірності її прояву в досліджених об'єктах. Значну величину варіабельності супроводжує неоднорідність на різних відстанях. Як правило, нагет-ефект з'являється лише за максимальних параметрів варіабельності. Водночас, чим вища варіабельність, тим вища імовірність достовірної автокореляційної функції і появи декількох піків на спектральній щільності дисперсії.

Імовірність асиметричності і ексцесу вибірки (або те саме – ускладнення просторової структури ознаки ґрунту) так само прямо пов'язано з коефіцієнтом варіації і дисперсією.

Отже, є всі підстави припускати, що за високої величини варіабельності просторова структура ознаки ґрунту ускладнюється.

Як ми встановили, усі досліджені об'єкти і всі вимірювані індикаторні властивості показали помірну і високу неоднорідність. Зрозуміло, унаслідок цього технологія вирощування рослин стає складнішою, а її ефективність нижчою, але це за класичного землеробства. Методологія точного землеробства

пропонує декілька сценаріїв подолання неоднорідності і поліпшення господарських результатів:

✓ сценарій 1. Подрібнення поля на окремі ділянки. Фактично мова йде про виправлення помилок, допущених землевпорядниками під час нарізки полів, коли несумісні за властивостями ґрунти попали в одне поле сівозміни;

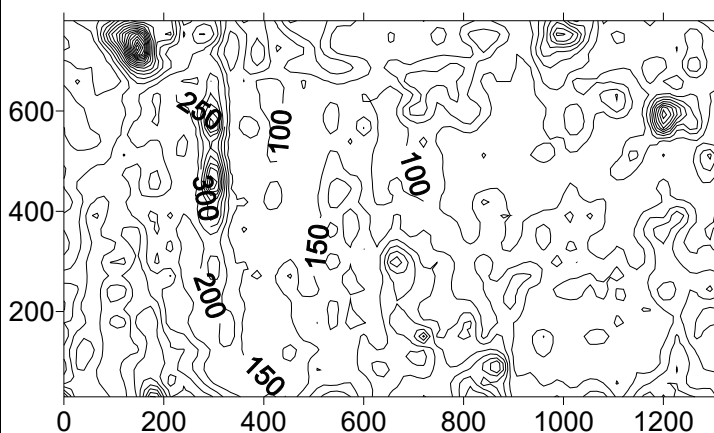
✓ сценарій 2. Адаптація технологій до особливостей поля, врахування варіабельності його виробничих характеристик у технологіях вирощування культур. Цей сценарій власне і є точним землеробством;

✓ сценарій 3. Усунення неоднорідностей поля шляхом інтенсифікації технологій на ділянках з пониженою родючістю з метою поступового її вирівнювання. Сценарій стає реальним за умови достатнього забезпечення ресурсами і багаторічного застосування.

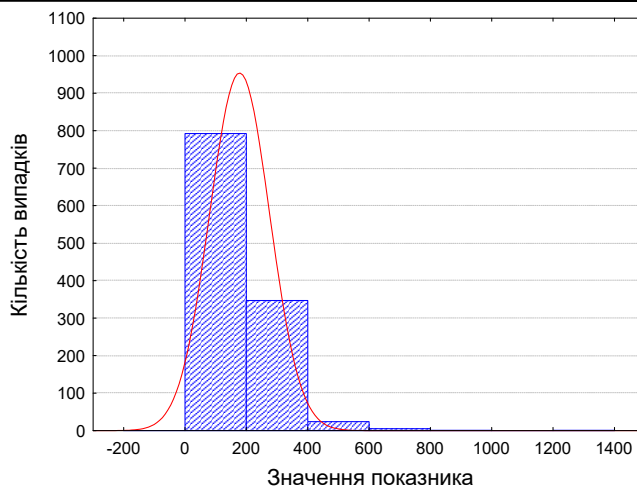
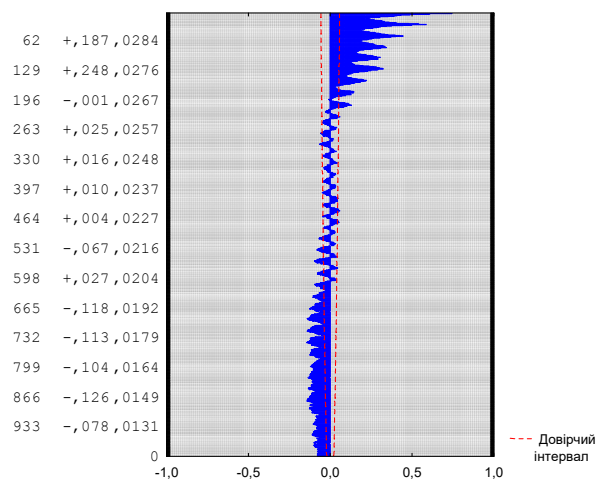
З метою конкретизації сценаріїв на досліджуваних полях розглянемо діапазон коливань урожаїв озимої пшениці, ц/га: на об'єкті Романів – від 20,2 до 54,3, Колки – від 1,4 до 20,2; Ведильці – від 9,0 до 32,2; Коротич – від 10,7 до 29,8; Комунар – від 19,4 до 43,3; Донецьк – від 31,6 до 60,3. Значний розмах коливань зберігся і у післядії на тих полях, де такі спостереження проводили (Романів, Коротич, Комунар). Характерно, що значний розмах коливань відмічався і в полі з найбільш сприятливими показниками родючості (Комунар), і в полі з найгіршими агрономічними параметрами (Колки). Найвірогідніше, такий значний діапазон коливань відбиває не тільки строкатість родючості ґрунтів поля, але й інші чинники природного і, особливо, господарського походження. Безумовно, суттєво на строкатість впливає неякісність виконання сівби, удобрення, догляд за посівами. До того ж і збирання врожаю, унаслідок недосконалості комбайнів, супроводжується втратами, що також частково пояснює значний діапазон коливань урожаю. Тому вирішення завдання понизити строкатість родючості поля слід починати з підвищення якості виконання агротехнологічних операцій.

Розмах коливань, мг/кг гр	1041
Напівсума крайніх значень, мг/кг гр	572
Мінімальне значення, мг/кг гр	51
Верхній кuartиль, мг/кг гр	220
Медіана, мг/кг гр	155
Нижній кuartиль, мг/кг гр	116
Максимальне значення, мг/кг гр	1093
Середнє значення, мг/кг гр	177
Стандартне відхилення	89
Дисперсія	7892
Коефіцієнт варіації	0,50
Коефіцієнт асиметрії	2,2
Нагет-ефект	3732
Поріг дисперсії	8000
Радіус кореляції, м	500

а)



б)



P ₂ O ₅ , мг/кг ґрунту	Площа	
	%	га
< 150	47,81	50,20
150 – 300	44,00	46,20
300 – 450	7,14	7,50
450 – 600	0,69	0,73
600 – 750	0,17	0,18
750 – 900	0,12	0,12
>900	0,07	0,07

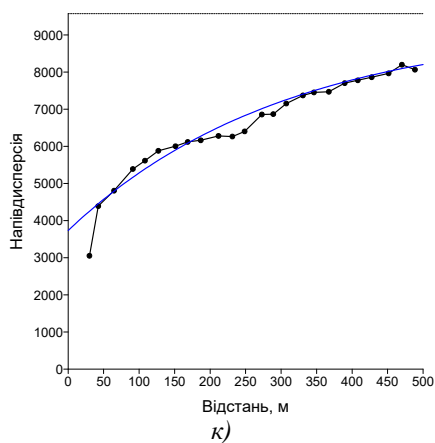
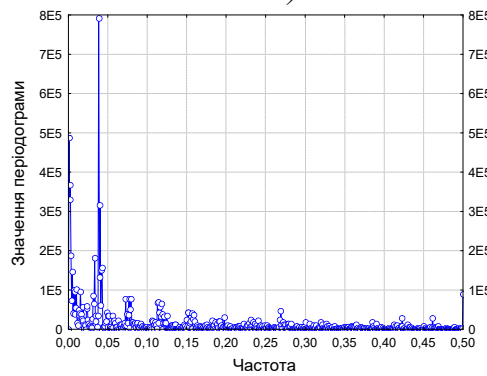
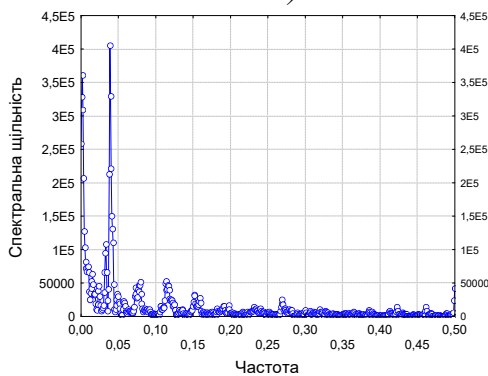
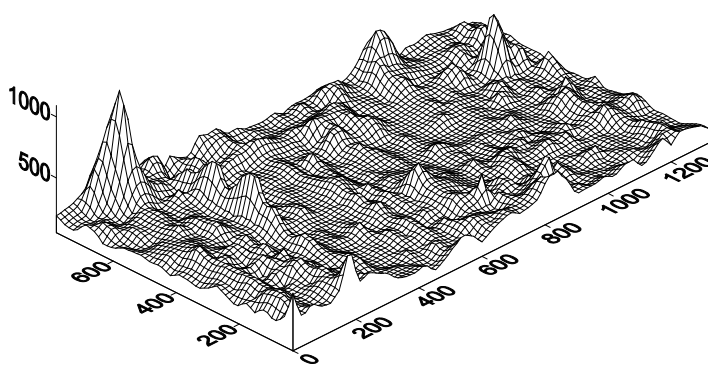
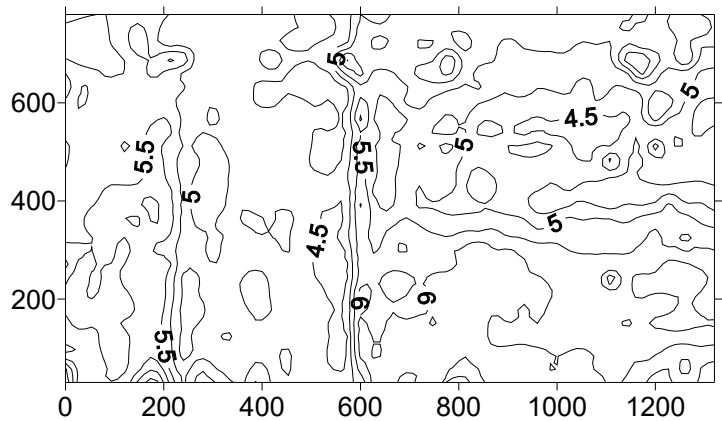


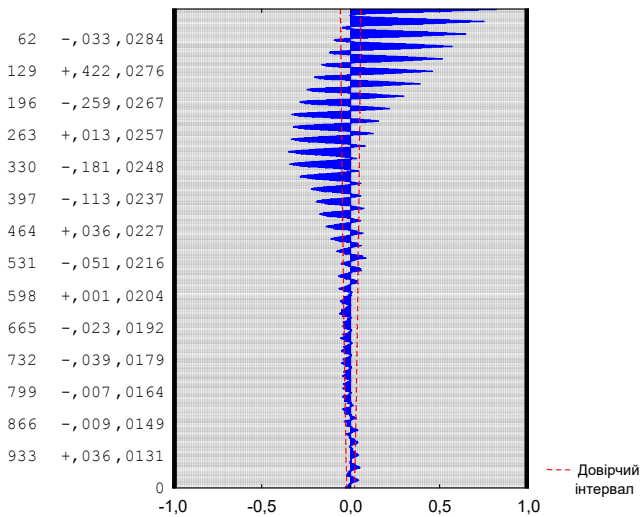
Рис. 1. Статистичні і геостатистичні оцінки просторової неоднорідності вмісту рухомого P₂O₅, мг/кг ґрунту, в орному шарі у дерново-підзолистому ґрунті (Чернігівська область):
 а) статистичні, б) геостатистичні оцінки, в) 2-D-діаграма, автокореляційна функція з довірчим коридором (цифри зліва означають коефіцієнти кореляції з оцінкою помилки залежно від відстані, справа – критерій Пірсона); г) гістограма, д) оцінка площ контурів на 2-D-діаграмі, ж) 3-D-діаграма; з) спектральна щільність дисперсії, л) періодограма, к) варіограма

Розмах коливань	3,28
Напівсума крайніх значень	5,76
Мінімальне значення	4,12
Верхній кватиль	5,75
Медіана	5,25
Нижній кватиль	4,74
Максимальне значення	7,40
Середнє значення	5,27
Стандартне відхилення	0,589
Дисперсія	0,347
Коефіцієнт варіації	0,112
Коефіцієнт асиметрії	0,196
Нагет-ефект	0
Поріг дисперсії	0,38
Радіус кореляції, м	500

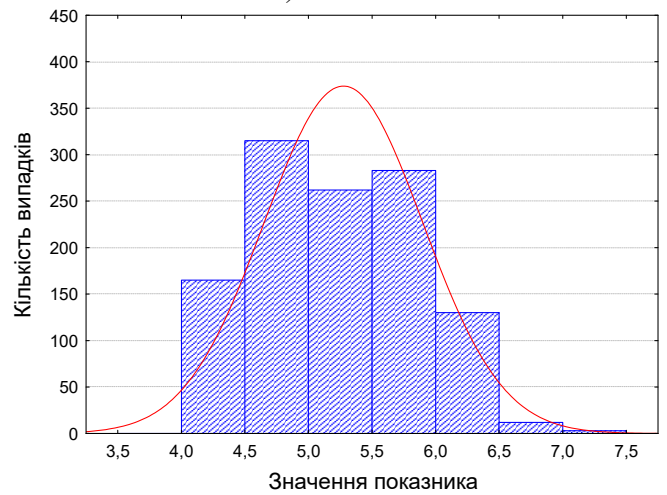
а)



б)



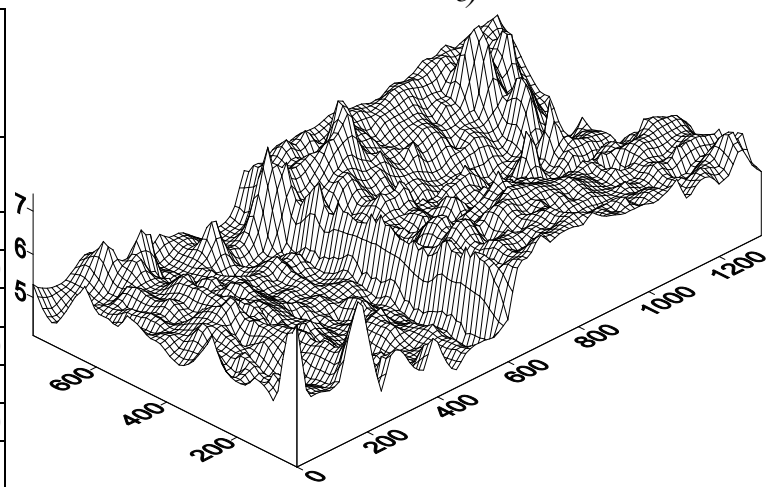
в)



г)

рН (0-20 см)	Площа	
	%	
< 4,5	8,70	< 4,5
4,5 – 5,0	30,42	4,5 – 5,0
5,0 – 5,5	24,23	5,0 – 5,5
5,5 – 6,0	24,22	5,5 – 6,0
6,0 – 6,5	11,74	6,0 – 6,5
6,5 – 7,0	0,67	6,5 – 7,0
> 7,0	0,02	> 7,0

д)



ж)

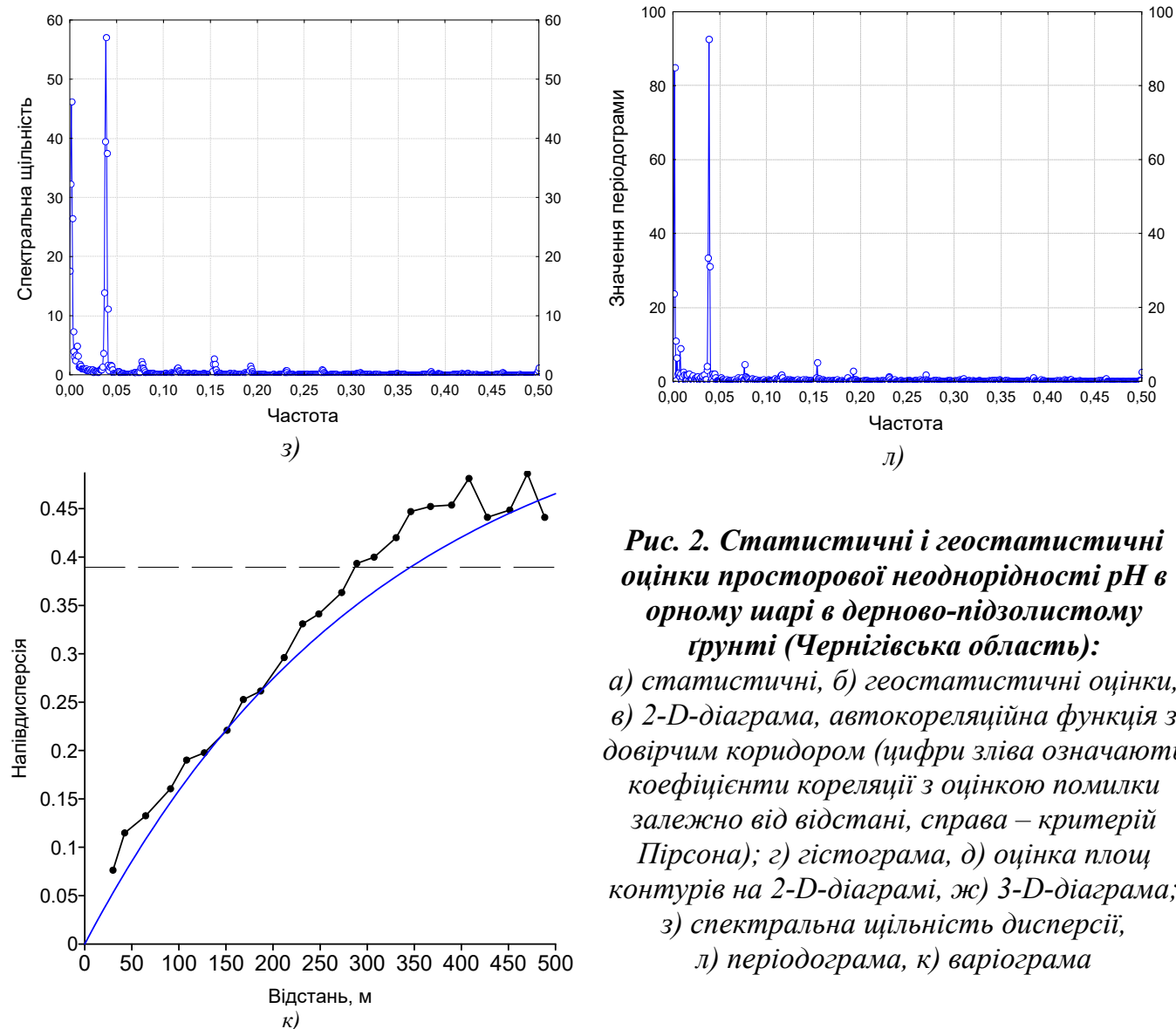


Рис. 2. Статистичні і геостатистичні оцінки просторової неоднорідності рН в орному шарі в дерново-підзолистому ґрунті (Чернігівська область):

а) статистичні, б) геостатистичні оцінки, в) 2-D-діаграма, автокореляційна функція з довірчим коридором (цифри зліва означають коефіцієнти кореляції з оцінкою помилки залежно від відстані, справа – критерій Пірсона); г) гістограма, д) оцінка площ контурів на 2-D-діаграмі, ж) 3-D-діаграма; з) спектральна щільність дисперсії, л) періодограма, к) варіограма

Далі коротко розглянемо найбільш актуальні проблеми, що викликають строкатість урожаю і потребують застосування точних агрозаходів на кожному з досліджуваних об'єктів.

Колки. Реалізуються 1-й и 2-й сценарії впровадження точного землеробства. Поле характеризується різним рівнем підґрунтових вод, на частині поля вони практично виходять на поверхню, що робить неможливим її використання в ріллі. Цю частину поля фактично залишено під заростання природною рослинністю. Найбільший діапазон коливань в урожаєх є наслідком неефективної роботи осушувальної системи. Перезволоження як чинник зниження врожаю позначається приблизно на третині площі поля, але особливо сильно на площі 0,10-0,15 га. Решта поля (11 га) хоча й характеризується підвищеною гідроморфністю у кореневмісному шарі, все ж таки придатна для використання у ріллі. Поле має вкрай низьку забезпеченість основними елементами живлення. Один з варіантів точного землеробства (підтримувальне

внесення добрив тільки з розрахунку на винос урожаєм) тут можливий лише стосовно мінеральних добрив: азотних на площі не більше ніж на 0,7 га, фосфорних – не більше 0,25 га, калійних – 0,38 га. Далі відзначимо роль надзвичайно високої кислотності (рН менше 4,0) на площі 0,78 га. Не вносити вапно можна лише на площі 0,24 га. На решті поля треба застосувати комплекс агро меліоративних заходів. Строкатисть урожаю підсилює також висока рівноважна щільність будови в орному шарі (вище $1,55 \text{ г/см}^3$ на 1,5 га) і у плужній підшві (вище $1,60 \text{ г/см}^3$ на площі 0,4 га). Відмовитися від основного і навіть передпосівного обробітку можна на площі майже 2 га.

Таким чином, для об'єкта Колки треба реконструювати осушувальну систему, систематично й підвищеними нормами вносити добрива і вапнувати ґрунт, здійснювати точний передпосівний і основний обробіток ґрунту. Перелічені заходи треба здійснювати постійно в тих частках поля, які їх потребують, тобто там, де відповідні параметри найбільш несприятливі.

Романів. Реалізується сценарій 2. Поле характеризується низькою забезпеченістю органічною речовиною (майже на 50 % площі вміст гумусу у ґрунті менше 2 %), азотом (майже 100 % площі), фосфором (37 %) і калієм (82 %), помірною (17 %) і підвищеною (1 %) кислотністю. Тоді як майже 70 % площі має рівноважну щільність будови ґрунту у посівному шарі менше $1,3 \text{ г/см}^3$, не більше 30 % поля переущільнено на глибині плужної підшві ($>1,4 \text{ г/см}^3$). Спираючись на перелічені характеристики поля, можна рекомендувати застосовувати точні агротехнології до внесення органічних, фосфорних і калійних добрив, обробітку ґрунту (треба диференціювати традиційний, мінімальний і нульовий обробіток замість зональних передпосівного і основного обробітку). Особливо важлива диференціація у просторі надглибокого (можливо чизельного) обробітку для усунення надлишкової щільності у плужній підшві. Для подолання кислотності також доцільно вапнування за технологією точного землеробства, тобто, тільки там, де в ньому є потреба.

Ведильці. Реалізуються сценарії 1 і 2, частково 3. Із 105 га поля розорюється приблизно 2/3, решту поля залужено. Такий поділ існує вже декілька років і його бажано закріпити в новому землеустрої. У розорюваній частці поля слід звернути увагу на надзвичайно низький вміст азоту (практично протягом усієї вегетації) і гумусу (на 80 % площі поля ґрунт містить менше 1,5 % гумусу), підвищений – фосфору (на більше ніж 50 % поля ґрунт утримує близько 150 мг/кг ґрунту P_2O_5) і помірний – калію (близько 100 мг/кг ґрунту K_2O на 40 % площі), майже на 33 % площі ґрунт кислий з рН 4,5-5,0 и на 11 % – з рН $<4,5$. Водночас ґрунти поля мають підвищені параметри щільності будови у посівному шарі (вище $1,40 \text{ г/см}^3$ на 34 % поля) і твердості вище 40 кгс/см^2 у плужній підшві майже на 57 % площі. Перелічене означає, що досліджене поле вкрай потребує застосування точних агротехнологій. Це в першу чергу стосується внесення фосфорних і калійних добрив, вапнування (саме цьому

заходу слід приділити найбільшій увазі згідно зі сценарієм 3), вибіркового розпушування плужної підшви і передпосівного обробітку.

Коротич. Реалізуються всі три сценарії. Поле площею близько 35 га характеризується несприятливими агрофізичними властивостями ґрунту – підвищеною брилистістю у передпосівний період (уся площа поля) і під час основного обробітку (29 % площі мають брил вище припустимого рівня – 20 %). Рівноважна щільність будови у посівному шарі майже на 45 % площі поля перевищує $1,30 \text{ г/см}^3$, і тому ця частка поля потребує ретельного передпосівного обробітку. Також несприятливою є твердість у плужній підшві (біля 40 кгс/см^2 майже на всій площі поля). На 45 % площі поля ґрунт має рН 5,0-5,5, а на 28 % – рН менше 5,0, що, відповідно, потребує підтримувального вапнування і вапнування повною нормою. Забезпеченість поживними елементами різна – азотом низька і навіть 15 % поля – висока, калієм – висока і помірна. Виходячи з цих даних, слід підкреслити сприятливі передумови для впровадження на полі точного землеробства.

Комунар. Реалізується другий сценарій. Поле площею 35 га характеризується сприятливими ґрунтово-агрохімічними властивостями. Це пояснюється тим, що на 90 % поля ґрунт вміщує близько 5 % гумусу; тут не треба проводити хімічну меліорацію, набагато вища забезпеченість рослин поживними речовинами, за винятком азоту. Саме у цьому полі найбільш значні можливості для мінімалізації і навіть повної відмови від внесення мінеральних добрив, крім азоту, від обробітку (бо вміст агрономічно корисної фракції структури і щільність будови близькі до оптимальних величин). Нема потреби в розпушуванні плужної підшви. Треба тільки провести мало інтенсивне передпосівне розпушення для зменшення брилистості. Отже, це поле не потребує великих витрат на виконання агротехнологічних операцій, тому вивільнені ресурси доцільно спрямувати на інші поля. Цей випадок доводить доцільність планування точного землеробства на всій площі, а не тільки в окремому полі.

Донецьк. Реалізується другий сценарій. Поле площею 50 га характеризується сприятливими і помірними показниками ґрунтово-агрохімічних властивостей. Щільність будови в посівному й орному шарах не перевищує критичної величини ($1,3 \text{ г/см}^3$), помірно ущільнено плужну підшву (лише приблизно на 25 % площі, імовірно, доцільне глибоке чизелювання для її усунення), близький до оптимуму вміст агрономічно корисної фракції структури. Але все ж таки, у структурному складі ґрунту посівного шару дефляційно небезпечної фракції (розміром менше 1 мм) 18 %, а брилистої – більше 60 %, тобто поле потребує надзвичайно обережного обробітку, який би виключав розпилення, і помірного подрібнення брил, також без утворення дефляційно небезпечної структури. Ґрунт поля містить більше 4 % гумусу (на 90% площі). Разом з тим, для поля характерна надзвичайно низька забезпеченість азотом, помірна фосфором і калієм, що також обумовлює

доцільність диференційованого застосування мінеральних добрив.

Узагальнення матеріалів про просторову неоднорідність показників досліджуваних полів дозволяє опрацювати вихідні дані для технологічного обґрунтування точного землеробства. Результати демонструються в табл. 2.

2. Вихідні дані для технологічного обґрунтування освоєння точних агротехнологій на досліджених полях

Об'єкт	Індикатор просторової неоднорідності ґрунтів поля	Агротехнологічна операція	Загальна площа поля, га	Агротехнологічні групи ґрунтів поля з різним рівнем родючості, площа, га		
				1	2	3
Романів	P ₂ O ₅ K ₂ O рН уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Вапнування Передпосівний обробіток	63	13	50	0
				23	40	0
				50	8	5
				24	12	27
Колки	P ₂ O ₅ K ₂ O рН уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Вапнування Передпосівний обробіток	11	0	2,4	8,6
				0	4,6	6,4
				0	0	11
				2,8	4,4	3,8
Ведільці	P ₂ O ₅ K ₂ O рН уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Вапнування Передпосівний обробіток	105	74	27	4
				25	77	3
				34	28	43
				10	55	40
Коротич	P ₂ O ₅ K ₂ O рН уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Вапнування Передпосівний обробіток	31	9	22	0
				28	3	0
				14	11	6
				15	11	5
Комунар	P ₂ O ₅ K ₂ O рН уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Вапнування Передпосівний обробіток	30	30	0	0
				30	0	0
				12	18	0
				15	12	3
Донецьк	P ₂ O ₅ K ₂ O уміст брил у посівному шарі	Основне внесення Так само Передпосівний обробіток	50	5	45	0
				8	42	0
				38	12	0

Агротехнологічні групи: 1 – із сприятливими властивостями ґрунтів. Припустима відмова від виконання будь-яких агротехнологічних операцій, 2 – із звичайною або мінімальною агротехнологією; 3 – з поліпшеною (насиченою заходами) агротехнологією

Аналізуючи цю таблицю, не можна не звернути уваги на значну строкатість у співвідношенні площ 1-ої, 2-ої і 3-ої агротехнологічних груп у ґрунтах різних природних зон і різного генезису. Як і слід було очікувати, природна родючість ґрунтів Полісся, Лісостепу і Степу суттєво розрізняється. Досить несподіваним

було виявлення значних площ із сприятливими властивостями на поліських об'єктах Романів и Ведильці. Це істотний резерв мінімалізації (аж до повної відмови) передпосівних і багатьох інших операцій з обробітку ґрунту, а також скорочення доз добрив. Треба підкреслити, що це поки ще нереалізований резерв, оскільки добре відомо, наскільки мало популярні у Поліссі мінімальні і, тим більше, нульові і подібні їм технології. І це, водночас, свідчить на користь широкого застосування точних технологій у цій зоні.

У полях з чорноземними ґрунтами майже нема ділянок, які б відносилися до 3-ої технологічної групи, тобто, ділянок, які потребують поліпшеної (більш насиченої агрозаходами) технології вирощування культур. Зате великі площі ґрунтів у полях, які віднесено до 1-ої і 2-ої агротехнологічних груп. Тобто знову ж таки можна констатувати наявність сприятливих передумов для розвитку точного землеробства і в Лісостепу, і в Степу. Однак, зміст і спрямованість агротехнологій, як видно із співвідношення площ на досліджених об'єктах, різна.

Основною є інформація про розміри площ ділянок з різним рівнем родючості. У точному землеробстві виділяють три рівні родючості стосовно кожного індикатора, як це демонструється в таблиці. Їх виокремлення здійснюється на підставі обробки 2-D-карт-діаграм за допомогою нормативів, які розроблюють для кожного індикатора (табл. 3-6). Контури майбутніх агротехнологічних ділянок одержують після об'єднання контурів на кригінг-карті. Остання передається механізатору як план-завдання за наявності спеціалізованої техніки. Якщо така техніка відсутня, то карти-діаграми піддаються подальшій обробці. На цьому етапі контури на 2-D-діаграмі спрямляють до максимально виправданої прямокутної форми. Це полегшить виконання операцій за допомогою звичайної техніки. Послідовність трансформації 2-D-діаграм показано на рис. 3.

Ураховуючи різноманітність вихідної інформації для освоєння точних технологій, доцільно для кожного елемента технології опрацювати своєрідну технологічну карту впровадження, де було б визначено необхідні параметри агрозаходу (площа, норма, техніка, терміни і 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 може опрацьовуватися в декількох варіантах. Якщо підприємство обмежено в ресурсах, воно може не виконувати ніяких операцій на землях першої агротехнологічної групи, а приступати безпосередньо до посіву сільськогосподарської культури. Сприятливі параметри на цій частці поля цілком дозволяють удіяти саме так. Вивільнені ресурси (добрива, меліоранти, паливо-мастильні матеріали і т.і.) можна або зекономити для інших цілей, або спрямувати на частки поля 3-ої агротехнологічної групи цього ж або інших

полів, де родючість треба підвищувати. На ділянках 2-ої агротехнологічної групи операції треба виконувати відповідно до зональних рекомендацій.

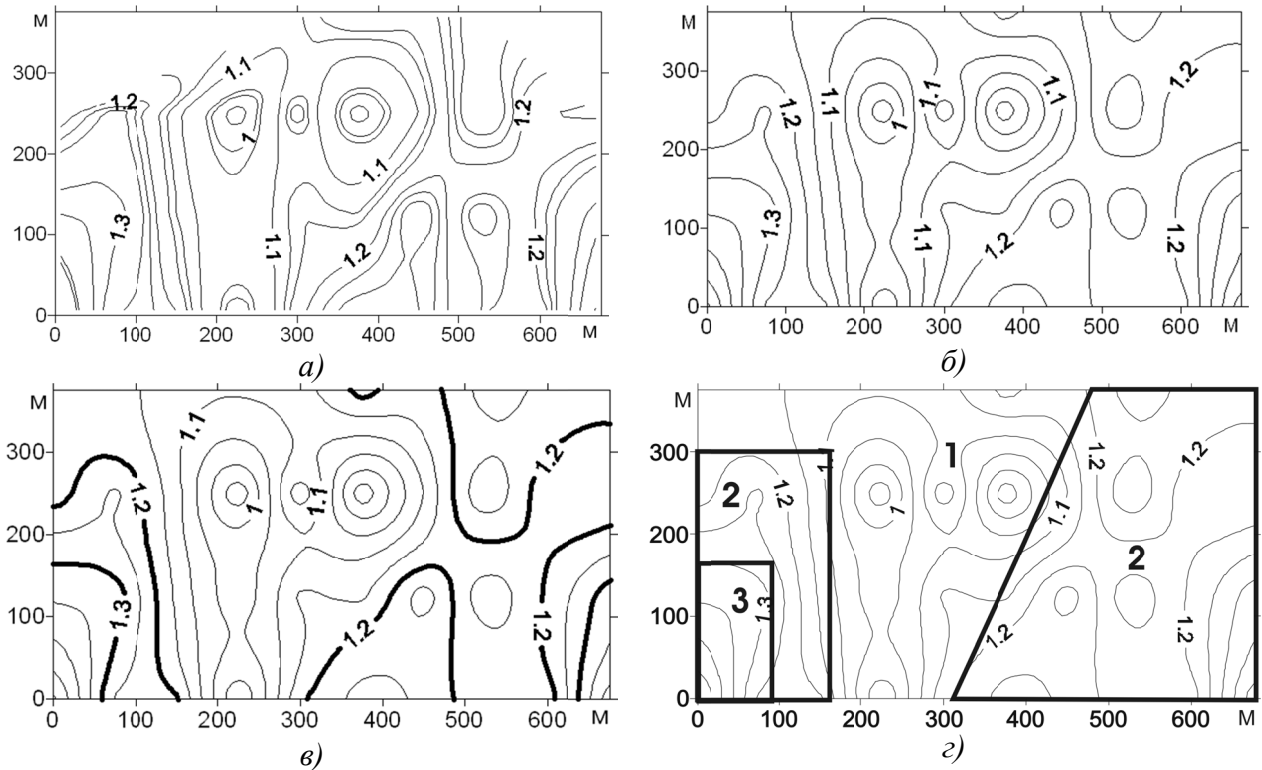


Рис. 3. Послідовність трансформації 2-D-діаграм: а – діаграма щільності будови ґрунту в посівному шарі, побудована за вихідними даними; б – із застосуванням блок-крігінгу; в – після поєднання контурів відповідно до нормативів; г – після спрямлення контурів. Об'єкт Романів. Цифрами 1, 2, 3 на рисунку «г» відповідно позначено: 1 – ділянка, яка не потребує попереднього передпосівного обробітку; 2 – ділянка, яка потребує щонайменше 1-кратної передпосівної культивування; 3 – ділянка, яка потребує ретельної, щонайменше 2-кратної, передпосівної культивування

3. Попередні нормативи вмісту макроелементів живлення в ґрунті для обґрунтування диференційованого (точного) внесення мінеральних добрив у просторі поля

Показник	Уміст, мг/кг ґрунту	Норма внесення
Сумарний мінеральний азот	>30	0
	30-15	За виносом на запланований врожай
	<15	Так само + додаткова кількість за рахунок варіанта 0
Рухомий фосфор (за Чиріковим)	>150	0
	150-50	За виносом на запланований врожай
	<50	Так само + додаткова кількість за рахунок варіанта 0
Рухомий калій (за Чиріковим)	>120	0
	120-40	За виносом на запланований врожай
	<40	Так само + додаткова кількість за рахунок варіанта 0

**4. Попередні нормативи внесення органічних добрив
в умовах точного землеробства
залежно від просторової неоднорідності**

Показник	Відхилення (%) від середнього (+-%)	Норма внесення
Уміст загального гумусу	Стабільно підвищений уміст протягом 2-3 останніх турів агрохімічної паспортизації	0
	-5-10	Середнє розрахункове внесення, виходячи з можливостей підприємства
	-10 і більше	Так само + додаткова кількість за рахунок економії у варіанті 0
Урожай	+ 20-30 і більше	0
	0 (середньо багаторічний вихід продукції)	Середнє розрахункове внесення, виходячи з можливостей підприємства
	- 20-30 і більше	Так само + додаткова кількість за рахунок економії у варіанті 0

**5. Попередні нормативи рН для обґрунтування диференціації
вапнування кислих ґрунтів у просторі поля в точному землеробстві**

рН	Сценарії вапнування
7,0 - 5,5	без меліорації
5,5 – 5,0	підтримувальна меліорація
<5,0	систематичне внесення вапна у підвищених дозах

**6. Попередні нормативи фізичних властивостей оброблюваного шару
для обґрунтування інтенсивності механічного обробітку***

Показник	Якісна оцінка оброблюваного шару	Рекомендації щодо інтенсивності обробітку
Кількість брил у посівному шарі, %: <5 5-15 >15	сприятлива задовільна незадовільна	обробіток не потрібний помірний обробіток обробіток інтенсивний
Щільність будови у посівному шарі, г/см ³ : <1,2 1,2 – 1,3 >1,3	сприятлива задовільна незадовільна	обробіток не потрібний помірний обробіток інтенсивний
Твердість у плужній підшві, кгс/см ² : <20 20-40 >40	сприятлива задовільна незадовільна	обробіток не потрібний так само інтенсивний

*Нормативи придатні для ґрунтів середнього і важкого гранулометричного складу

На завершення наведемо нормативи індикаторних властивостей ґрунту, на підставі яких простір поля поділяють на агротехнологічні групи. Нормативи вмісту поживних макроелементів орацьовано на основі розробок А. Я. Буки (Оптимізація..., 2000), О. О. Бацули і ін. (О. О. Бацула 2003) і С. М. Рижукі і ін. (Методика..., 2003), реакції ґрунтового розчину і, відповідно, хімічної меліорації – відповідають виробничій практиці, яка склалася на кислих ґрунтах, нормативи для внесення органічних добрив і механічного обробітку запропоновано нами. Нормативи демонструються в табл. 3-6.

Висновки. Проаналізовано просторову неоднорідність індикаторних (для точного землеробства) властивостей ґрунту шести полів з Полісся, Лісостепу і Степу. Неоднорідність більшості індикаторів свідчить про певні перспективи впровадження точного внесення добрив, вапнування і механічного обробітку майже на всіх досліджених об'єктах. Простір кожного поля на підставі відповідних нормативів поділено на три агротехнологічні групи для диференціації заходів. Площі агротехнологічних груп після аналізу 2-D-діаграм запропоновано використовувати як вихідні дані для обґрунтування впровадження точних агротехнологій і опрацювання технологічних карт. Запропоновано метод трансформації ділянок для впровадження точних технологій – безпосередньо після блок-кригінгу за умови забезпеченості господарства технічними засобами і після їхнього спрощення – за умови відсутності спеціальної техніки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

Карпачевский Л. О. Некоторые методические аспекты учета пространственной неоднородности в почвоведении / Л. О. Карпачевский // Масштабные эффекты при исследовании почв. – Москва: МГУ, 2001. – С. 39 – 46.

Karpasyevsky L. O., 2001, "Some methodical aspects of the account of spatial heterogeneity in soil science". In book.: "Scale effects at soil research", Press of the Moscow State University, pp. 39-46.

Иенни Г. Факторы почвообразования / Г. Иенни. – Москва: Изд. иностр. лит, 1948. – 347 с.
Ienny H., 1948, "Factors of soil formation", Изд. иностр. Lit. 347 p.

Козловский Ф. И. Теория и методы изучения почвенного покрова. Почвенный индивидуум и методы его определения / Ф. И. Козловский // Москва: ГЕОС, 2003. – С. 249-267.

Kozlovsky F. I., 2003, "Theory and methods of studying of a soil cover. A soil individual and methods of its definition", Moscow. GEOS, pp. 249-267.

Адерихин П. Г. Пространственное варьирование свойств почв и продуктивность сельскохозяйственных растений внутри элементарного почвенного ареала / П. Г. Адерихин, Д. И. Шубина // Структура почвенного покрова и ее значение для квартирования почв, учета и использования почвенных ресурсов. – Кишинев, 1980. – С. 36-38.

Aderichin P. G., Shubina D. I., 1980, "Spatial soil properties heterogeneity and efficiency of agricultural plants inside of an elementary soil area". Structure of a soil cover and its value for soil mapping, the account and use of soil resources, Kishinev, pp. 36-38.

Аніскевич Л. В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук / Л. В. Аніскевич. – Київ, 2005. – 36 с.

Aniskevich L. V., 2005, "Control system norms of entering of materials in technologies of precise agriculture". The author's abstract of dis. on degrees of d. t. science. Kiev, Nat. Agr. University, 36 p.

Прохорова З. А. Изучение неоднородности свойств дерново-подзолистых почв, пестроты урожайности и связи между ним / З. А. Прохорова // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв: научн. тр. – Москва, 1980. – С. 104-118.

Prokhorov Z. A., 1980, "Studying of heterogeneity of properties soddy-podsolic soils, diversity of productivity and communication between them". Sc. Proc. «Theoretical bases and methods of definition of optimum parameters of soil properties». Moscow, pp. 104-118.

Прохорова З. А. Структура почвенного покрова в вопросах методики почвенно-агрохимических исследований / З. А. Прохорова, Н. П. Сорокина // Структура почвенного покрова и использование почвенных ресурсов». – Москва: Наука, 1978. – С. 201-208.

Prohorova Z. A., Sorokina N. P., 1978, "Structure of a soil cover in questions of a technique it is soil-agrochemical researches". In book: "Structure of a soil cover and use of soil resources", Moscow, Press "Science", pp. 201-208.

Романова Т. А. Интенсификация земледелия в условиях неоднородности почвенного покрова / Т. А. Романова, Т. Н. Пучкарева, А. Н. Никитина, А. М. Зотович. – Минск: БелНИИТИ, 1988. – 44 с.

Romanova T. A., Puchkareva T. N., Nikitina A. N., Kotovich A. M., 1988, "Intensification of agriculture in conditions of heterogeneity of a soil cover", Minsk, Belniint, 44 p.

Якушев В. П. Точное земледелие (аналитический обзор) / В. П. Якушев, Р. А. Полуэктов, Э. И. Смоляр, А. Г. Топаж // Агрохимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 28-33.

Jakushev V.P., Poluektov R.A., Smolar E.I., Topazh A.G., 2001, "Precise agriculture (state-of-the-art review)", Agrochemical bulletin, Vol.5, pp. 28-33.

Boleinius E., Rogstrand G., Arvidsson J., Stenberg B., Thylen L., 2006 "On-the-go measurements of soil penetration resistance on a Swedish Eutric Cambisol", International Soil Tillage Research Organisation 17 th Triennial Conference, Kiel, Germany, pp.867-870.

Dawson C.J. Implications of Precision Farming for Fertilizer Application Policies / C.J. Dawson // Наук. вісник НАУ. – Київ, 2006. – Вип.101. – С. 27-42.

Dawson C.J., 2006, "Implications of Precision Farming for Fertilizer Application Policies", The scientific bulletin of National agrarian university, Kiev, Vol.101, pp. 27-42.

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, pp.8.

Havrankova J., Godwin R. J., Wood G. A., 2006, "Ground Remote Sensing Systems for Determining Canopy Nitrogen in Winter Wheat", International Soil Tillage Research 17th Triennial Conference, Kiel, Germany, pp.910-915.

Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв / Б. Г. Розанов. – Москва, 1975. – 294 с.

Rozanov B. G., 1975, "Genetic's soil morphology", Moscow, 260 p

Оптимізація доз застосування азотних добрив на основі рослинної і ґрунтової діагностики живлення рослин (методичні рекомендації) / під ред. А. Я. Буки. – Харків, 2000. – 32 с.

"Optimization of application of nitric fertilizers dozes on the basis of vegetative and soil diagnostics of plants (methodical recommendations)", 2000, For edition A. J.Buka. Kharkiv, 32 p.

Бацула О. О. Нові технології і нормативи застосування органічних і мінеральних добрив / О. О. Бацула, Є. В. Скрильник, М. В. Лісовий, А. І. Фатєєв // Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах; під ред. С. М. Рижук і В. В. Медведєва. – Київ-Харків, 2003. – С. 54-85.

Batsula O. O., Skrilnik E. V., Lesovyi M. V. et al., 2003, "New technology and specifications of application of organic and mineral fertilizers". In book.: "Technology of reproduction of soil fertility in modern conditions". Under S. M. Rizhuk's and V. V. Medvedev's edition. Kiev-Kharkiv, pp. 54-85.

Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / під ред. С. М. Рижук, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. – Київ, 2003. – 64 с.

"A technique agrochemical certification of the lands for agricultural assignment", 2003, Under edition of S.M.Rizhuk, M.V. Lesovyi, D.M.Bentsarovsky. Kiev, 64 p.