

УДК: 631.41: 528.94: 51-71

**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ АГРОХІМІЧНОГО СТАНУ
ҐРУНТІВ У ЗОНІ СУХОГО СТЕПУ**

В. І. ПІЧУРА, кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри екології та сталого розвитку

Н. В. БЕЗНІЦЬКА, аспірант,

Херсонський державний аграрний університет

E-mail: pichuravitalii@gmail.com

***Анотація.** Аналіз динаміки агрохімічних показників у просторі і часі можна розглядати як одну з найважливіших і об'єктивних процедур визначення ефективності систем землеробства, особливо в його ґрунтозахисному аспекті і програмуванні врожаю сільськогосподарських культур. Дослідження змін агрохімічних властивостей ґрунтів на зрошуваних і незрошуваних землях сухого степу (на прикладі Херсонської області України) проведено в шарі 0...40 см за 42 роки (1970 – 2012 рр.). Просторово-часове моделювання неоднорідності розподілу досліджуваних показників проводили із застосуванням ГІС-технологій та багатомірної статистики. Представлені серії тематичних карт, графічні та статистичні характеристики часових тенденцій та просторових змін агрохімічних властивостей ґрунтів за результатами вибірки даних у 4450 точках на території області. Визначена загальна закономірність погіршення агрохімічного стану ґрунтів. Відсутність регулярного, рівномірного і необхідної кількості надходження мінеральних добрив, прояв вітрової та водної ерозії, включаючи іригаційну, і дефляції ґрунтів, а також тривале зрошення призвело до зменшення вмісту гумусу в середньому на 0,36 %, обмінного калію на 18 %, рухомого фосфору на 34,17 %, нітрифікаційного азоту на 17,0 %. Представлені підходи, методи і результати просторово-часового моделювання дають можливість комплексно підійти до питання детального вивчення неоднорідності формування агрохімічного стану та ефективності використання сільськогосподарських земель з метою подальших розробок і впровадження науково-обґрунтованих меліоративних заходів та проектних рішень підвищення ефективності природокористування в степовій зоні. Отримані результати визначають територіальні пріоритети регіональної політики, дозволяючи застосовувати диференційовану ефективність ґрунтозахисного блоку систем землеробства.*

***Ключові слова:** ґрунти, агрохімічні показники, просторово-часова трансформація, моделювання, ГІС-технології, багатомірна статистика*

Актуальність. При якісній оцінці сільськогосподарських ландшафтів просторово-часові закономірності впливу агрокліматичних умов і культури

землеробства на стан та зміни ресурсів ґрунтової родючості в значній мірі відображається на агрохімічному стані орних ґрунтів. Аналіз динаміки агрохімічних параметрів в просторі і часі можна розглядати як одну з найважливіших і об'єктивних процедур визначення ефективності систем землеробства, особливо в його ґрунтозахисному аспекті і програмуванні врожаю сільськогосподарських культур [1].

Агрохімічні принципи якісної оцінки земель набувають особливої актуальності, якщо не застосовуються або недостатньо ефективні ресурсозберігаючі принципи господарської діяльності землекористувачів. Основними агрохімічними показниками, які характеризують родючість і енергетичний потенціал ґрунтів, є вміст гумусу і рухомих форм елементів живлення. Агрофізичні параметри орних ґрунтів багато в чому обумовлені вмістом і темпами оновлення органічної речовини ґрунтів [2].

Запаси поживних речовин і їх доступність рослинам, а також запаси продуктивної вологи знаходяться в тісній залежності від природно-кліматичних умов агроландшафтів (особливостей рельєфу, ґрунтоутворюючих порід, клімату, гідрогеологічних умов і т.д.) і застосовуваної системи землеробства, що в підсумку визначає величину і якість врожаю сільськогосподарських культур [3, 4]. Агрохімічні показники мають високу просторову неоднорідність розподілу навіть в межах однакових ґрунтових різниць, що є наслідком як природних особливостей, так і досягнутого рівня культури землеробства [5].

Агрохімічні питання і різні підходи до ефективного ведення еколого-агромеліоративного моніторингу, принципи і особливості бонітування, якісна оцінка незрошуваних і зрошуваних земель, їх раціональне використання представлені в наукових працях Н. Ф. Тюменцева, С. Н. Тайчінова, В. В. Медведєва, С. А. Балюка, В. О. Ушкаренко, С. Ю. Булигіна, М. І. Ромащенко, Ф. Н. Лисецького, Р. А. Акбірова, Б. М. Гончікова, Ц. Ц. Цибікдоржієва, В. Caguan, А. М. Mouazen, Т. Talsma, В. Е. Butler, J. Popp, L. E. Jackson, Н. А. Torbert, J. Letey та інших вчених [6-12].

Мета дослідження – визначити просторово-часові закономірності трансформації агрохімічного стану ґрунтів у зоні сухого степу на прикладі Херсонської області України із застосуванням ГІС-технологій та багатомірної статистики.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження просторової неоднорідності агрохімічних показників і динаміки їх зміни в ґрунтах Херсонської області проведено для періоду тривалістю 42 роки. Моделювання проводили, використовуючи в якості інформаційної основи результати дев'яти п'ятирічних турів обстеження: з II (1970 – 1974 рр.) до X туру (2008 – 2012 рр.). Для оцінки агрохімічного стану сільськогосподарських земель використані дані за 296 стаціонарами X туру обстежень, які розташовані в межах семи природно-сільськогосподарських районів.

Оцінка агрохімічного стану ґрунтів проведено для шару 0...40 і включають такі показники: вміст гумусу (%), нітрифікаційного азоту (мг/кг), рухомого фосфору (мг/кг), обмінного калію (мг/кг), вміст (%) гранулометричної фракції фізичної глини (< 0,01 мм). У ґрунтових зразках визначено склад водної витяжки, загальний вміст гумусу (за методом Тюріна), вміст рухомих форм фосфору і калію (за методом Мачигіна).

Крос-кореляційні просторові закономірності розподілу агрохімічних показників у ґрунті визначені із використанням кореляційно-регресійного аналізу. Просторова неоднорідність зміни агрохімічних властивостей ґрунтів вивчені із застосуванням автокореляційного аналізу.

Просторове моделювання неоднорідності розподілу агрохімічних показників проводили із застосуванням методу радіально-базисної функції робочого модуля Geostatistical Analyst of ArcGis. Нев'язка просторових моделей визначена за допомогою розподілу стандартної похибки обчислень. Достовірність просторового моделювання склала: вмісту гумусу – 92,0 %, нітрифікаційного азоту – 85,8 %, рухомого фосфору – 87,8 %, обмінного калію – 91,4 %, вмісту (%) гранулометричної фракції фізичної глини (< 0,01 мм) – 84,1 %.

Для обробки та аналізу вхідних даних використані ліцензійні програмні продукт STATISTICA Advanced + QC для Windows, v.10 Ru і ArcGis 10.1.

Результати досліджень та їх обговорення. На основі даних дистанційного зондування Землі супутникового знімку Landsat 8 нами було здійснено дешифрування космічного знімку та встановлені межі сільськогосподарських земель (рис. 1).

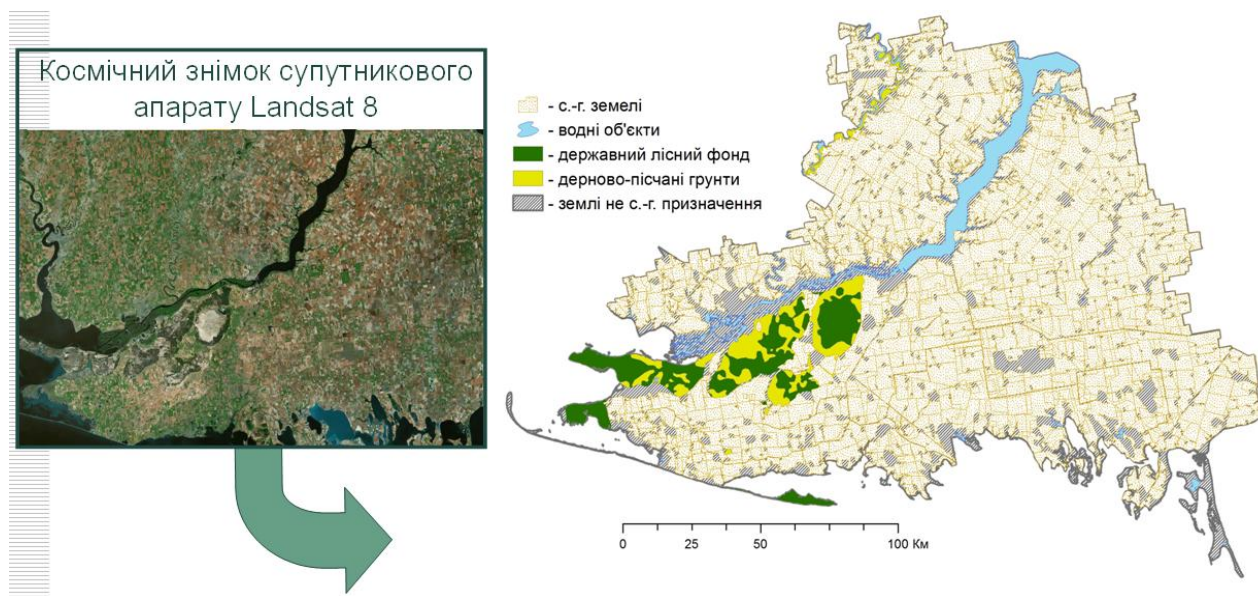


Рис. 1. Дешифрування розподілу сільськогосподарських земель на території Херсонської області

Загальна площа Херсонської області склала 2846,1 тис га, сільськогосподарські землі становлять 1971,0 (69,25 %) тис га, в т.ч. ріллі – 1777,6 тис га (90,2 %). В останні 36 років (1980 – 2016 рр.) спостерігалось стабільне використання земель сільськогосподарського призначення з незначною тенденцією їх збільшення на 0,3 %. На території області зосереджено 20 % зрошуваних земель України, їх площа становить близько 426,8 (21,65 %) тис га, тобто п'яту частину від усіх сільгоспугідь області. За останніми даними Державного агентства водних ресурсів України (рис. 2) зрошувані землі, які використовуються в поливному режимі складають 287,4 тис га (67 %), не використовуються 139,4 тис га (33 %).

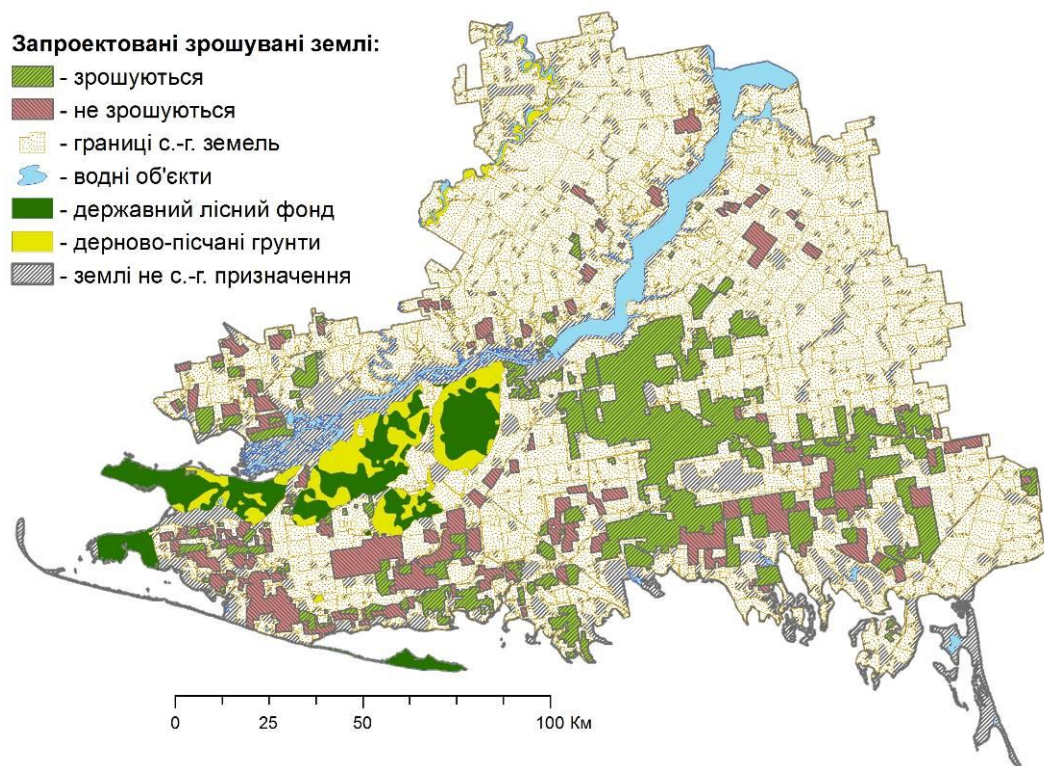


Рис. 2. Просторовий розподіл зрошуваних земель на території Херсонської області

Забезпеченість гумусом. Гумус є одним з основних ресурсів потенційної родючості ґрунтів і інтегральним індикатором ефективності агротехнологічного блоку систем землеробства. Ґрунтовий покрив Херсонської області характеризується малогумусними ґрунтами із вмістом гумусу в межах 0,30-3,85 %. Просторова неоднорідність вмісту гумусу визначена складністю структури ґрунтового покриву, яка обумовлена, в першу чергу, зональними факторами ґрунтоутворення і неоднорідністю гідротермічних умов, по-друге – розвитком глейовими процесів в ґрунтових подах за рахунок їх спорадичного перезволоження талими і дощовими водами, по-третє – інтенсивним проявом процесу осолонцювання і засолення при неглибокому заляганні ґрунтових вод.

Особливості ґрунтового покриву визначають початковий вміст гумусу, який в результаті господарської діяльності зазнає динамічних змін, що визначаються інтенсивністю і культурою землеробства в межах земельних ділянок (полів сівозмін) і землекористувань. В умовах зрошення вміст гумусу в різних типах ґрунтів області (в шарі 0...40 см) в середньому на 0,1-0,5 %

менший, ніж на незрошуваних землях, що обумовлено інтенсивністю і технологічними особливостями зрошувальних меліорацій (якість води, поливні норми, сівозміни та ін.) [13].

Дегуміфікація ґрунтів пояснюється посиленням мінералізації органічної речовини в результаті інтенсивної обробки і незбалансованості продукційного і ґрунтоутворюючого процесів [14, 15], недостатнім надходженням в орний горизонт поживних залишків і органічних добрив, збільшенням частки пропашних культур, скороченням частки багаторічних трав і польових сівозмін, тривалим одностороннім застосуванням мінеральних добрив (особливо фізіологічно кислих форм), неповним використанням рослинних залишків на добриво, випалюванням стерні, нерідко спалювання залишків соломи, проявом водної ерозії, включаючи іригаційну, і дефляції ґрунтів, а також результатом тривалого зрошення.

На час другого туру обстежень почався період інтенсивного розвитку іригації, що призвело до значного зменшення вмісту гумусу за період 1970 – 1989 рр. – в середньому на 0,36 % (з 2,56 % до 2,20 %). В південній частині Херсонської області, де зосереджено більше половини зрошуваних земель – 253,2 тис га (59,3 %), відзначено значне зниження гумусованості ґрунтів і високу просторову неоднорідність. Період 1985 – 2012рр. характеризувався стабільним гідромеліоративним навантаженням з незначною динамікою ($V = 3,3 \%$) і негативною спрямованістю зміни вмісту гумусу (трендом) в часі (t): $T = -0,0061 \cdot t + 2,2914$; $R^2 = 0,022$.

В результаті геомодельовання була створена просторова модель сучасного стану розподілу гумусу у ґрунтах Херсонської області (рис. 3). Найбільше середньозважене значення вмісту гумусу 3,04 % зафіксовано в чорноземах звичайних, які розташовані в північній частині області, найменший вміст гумусу знаходиться в дерново-пісчаних ґрунтах – 0,88.

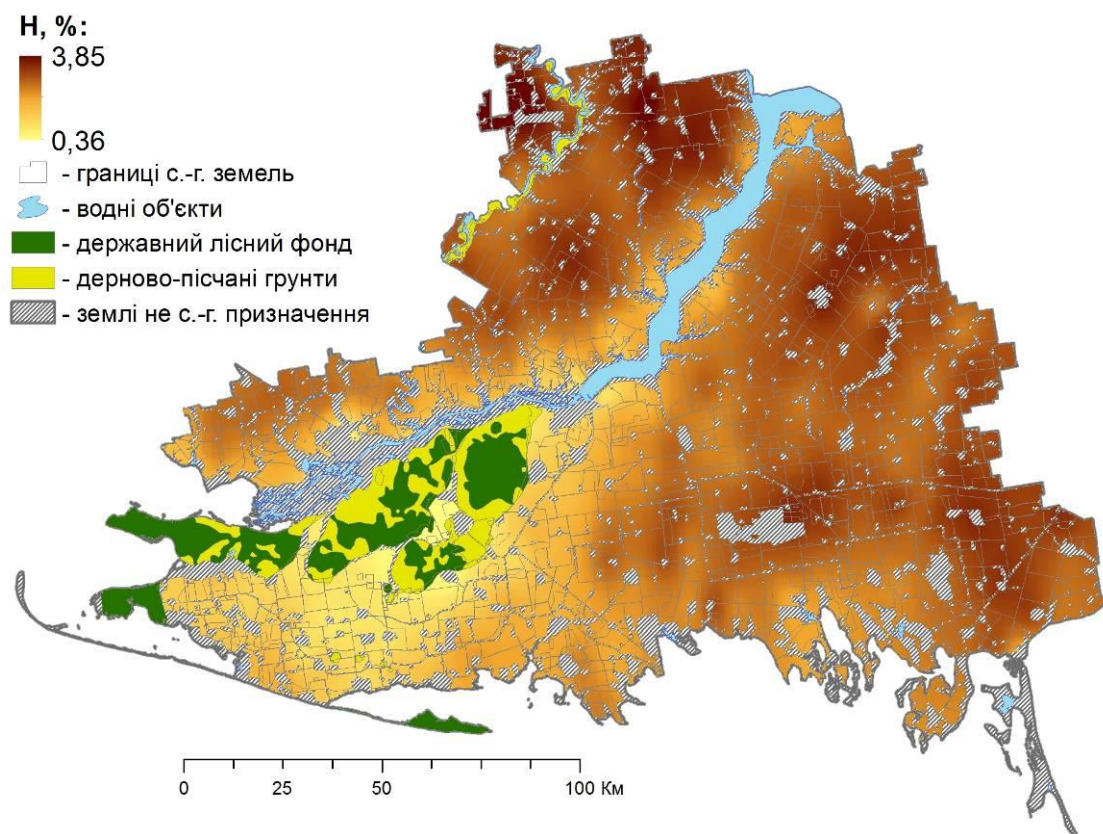


Рис. 3. Картограма просторового розподілу гумусу у ґрунтах Херсонської області

Вміст гумусу в ґрунтах (табл. 1), яке відповідає якісним градаціям середнього і підвищеного вмісту (> 2,1%), характеризує 72,5 % площі сільськогосподарських земель.

1. Розподіл вмісту гумусу в ґрунтах сільськогосподарських земель області

Вміст гумусу, %		Розподіл с.-г. земель	
		<i>тис га</i>	%
дуже низьке	< 1,10	124,4	6,3
низьке	1,10 – 2,09	418,3	21,2
середнє	2,10 – 3,09	1182,3	60,0
підвищене	3,10 – 4,09	246,0	12,5
Всього		1971,0	100

Графічні та статистичні характеристики особливостей просторової неоднорідності розподілу гумусу (рис. 4, 5) вивчені, використовуючи створену

нами просторову растрову модель розподілу гумусу, за результатами вибірки даних в 4450 точках на території області. Це забезпечило значне підвищення якості інтерпретації просторово-графічної інформації та результатів моделювання.

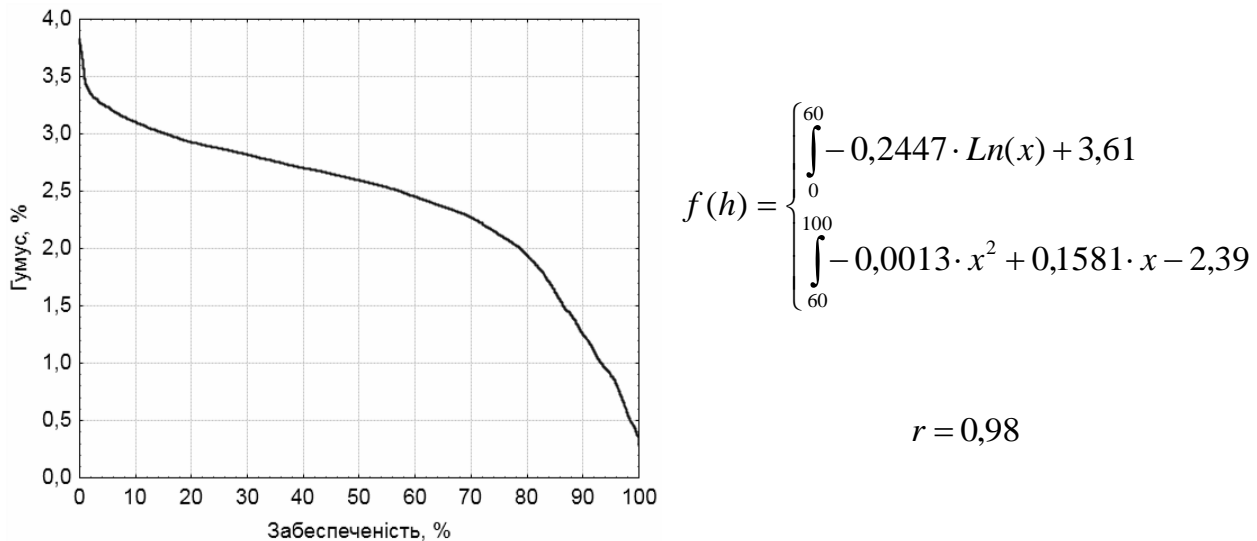
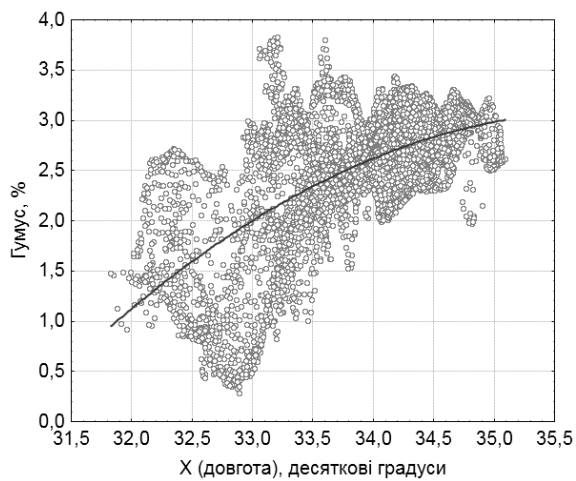
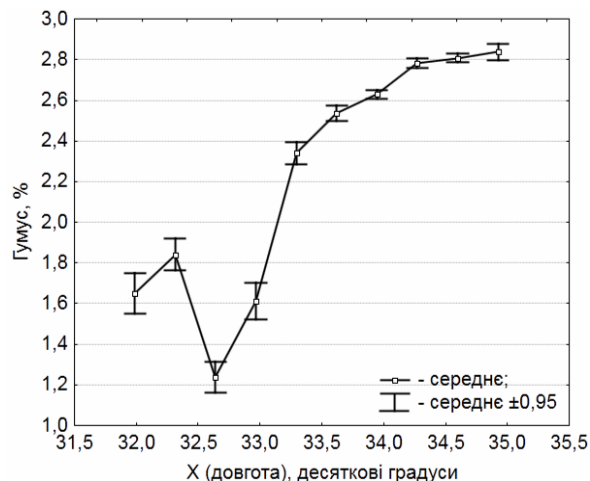


Рис. 4. Крива і функція забезпеченості гумусом ґрунтів області

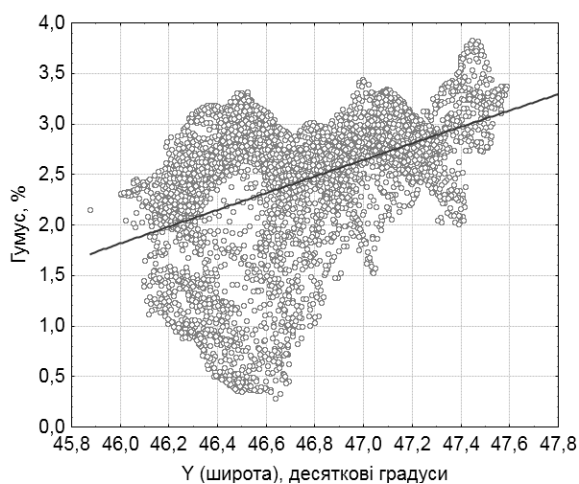
Просторова варіабельність ґрунтових властивостей переважно відрізняється нестационарним (нетиповим) характером їх розподілу в агроландшафтах на різних рівнях спостережень, що в значній мірі визначено культурою землеробства і ґрунтовою різноманітністю. Для такої ситуації використання автокореляційного підходу дає можливість визначити максимальну відстань розподілу і збереження можливої просторової енергії стаціонарності (типовості) процесу між лагами. Це також дозволяє обґрунтувати синхронність часових змін досліджуваних показників в радіусі лага стаціонарності. Автокореляційне дослідження просторової типовості гумусованості ґрунтів проведено в напрямку зростання просторового тренда з південного заходу (початок відліку - 1-й лаг) на північний схід області. Просторова відстань між лагами становило 2,5 км. За результатами дослідження визначено значна кореляція на першому лагу – 0,998, але просторова кореляція із другого лага знизилася до 0,015, що пояснюється значною нестационарністю розподілу гумусу у просторі.



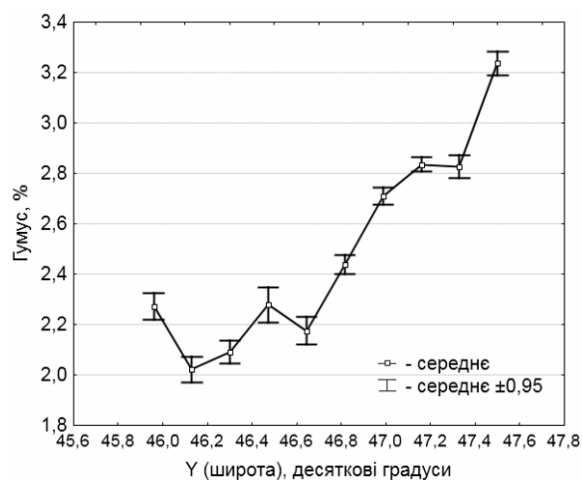
$$y = -0,1284x^2 + 9,2215x - 162,5; R = 0,63$$



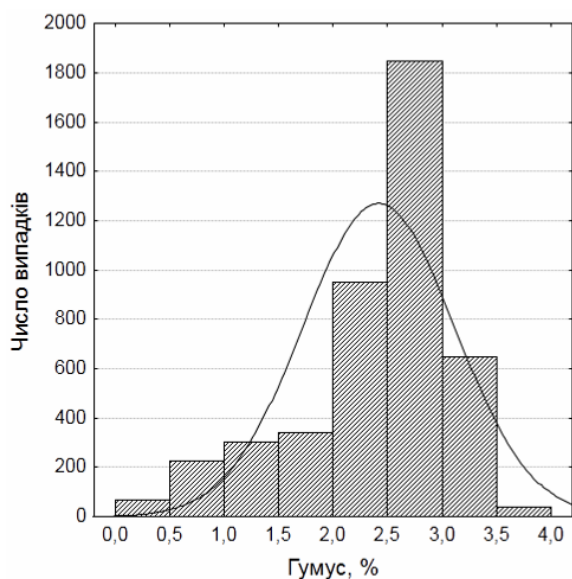
а)



$$y = 38,469\ln(x) - 145,47; R = 0,44$$



б)



Загальне число випадків	4450
Середнє значення	2,40
Довірчий інтервал середнього	0,02
Медіана	2,60
Мода	2,92
Мінімум	0,29
Максимум	3,8
П оцентиль 10,0	1,25
Процентиль 90,0	3,10
Рівень варіації, %	3,54
Дисперсія	0,48
Стандартне відхилення	0,69
Стандартна похибка середнього	0,01
Асиметрія	-1,08
Екссес	0,61

в)

Рис. 5. Просторова неоднорідність розподілу гумусу в ґрунтах Херсонської області а) захід → схід; б) південь → північ; в) статистичні характеристики

Для того, щоб зняти напругу сигналу була взята різниця першого лага, при цьому основний сигнал нестационарного процесу збережений. В результаті перетворення даних визначено мінімальний ($r = 0,391$) і максимальний ($r = 0,143$) радіус типовості формування гумусу, який дорівнює 2,5 км (лаг 1) і 12,5 км (лаг 5). Низьке значення зв'язку між лагами вказує на значну просторову варіабельність (неоднорідність) розподілу гумусу в границях контурів різних типів (підтипів) ґрунтів.

Просторова функція розподілу гумусу в ґрунтах області має вигляд:

$$f(h) = 25,14 \cdot x - 11,98 \cdot y + 0,07 \cdot x^2 - 0,63 \cdot x \cdot y + 0,36 \cdot y^2 - 168,97 ; R = 0,58 \quad (1)$$

де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси.

Встановлена просторова закономірність підвищення вмісту гумусу в орному шарі в напрямку із південного заході на північний схід.

Забезпеченість калієм. Калій відіграє важливу роль в життєдіяльності сільськогосподарських культур. Він опосередковано бере участь в азотному обміні, впливає на накопичення амінокислот і енергетичні процеси, регулює дихання. Наявність різних форм калію в ґрунтах пов'язаний з первинними і вторинними мінералами, а також з особливостями їх перетворень. Валовий уміст калію у ґрунтах залежить в основному від вмісту фракції фізичної глини в гранулометричному складі ґрунту [16, 17]. Нами створена просторова модель просторового розподілу сільськогосподарських земель за вмістом фізичної глини (ФГ, %, частинок $< 0,01$ мм) на території основних басейнів (рис. 6, табл. 2).

Основними ґрунтами за гранулометричним складом в області є суглинок важкий – 36,0 % від усієї площі сільськогосподарських земель, суглинок середній – 32,1 % і суглинок легкий – 21,4 %.

За даними моніторингу в період 1970 – 2012 рр. на території області закономірність зміни вмісту обмінного калію у ґрунтах (шарі 0...40 см) можна формалізовано представити у вигляді негативного тренд-формування:
 $T = -36,87 \cdot \ln(t) + 437,75; R^2 = 0,97$ [18].

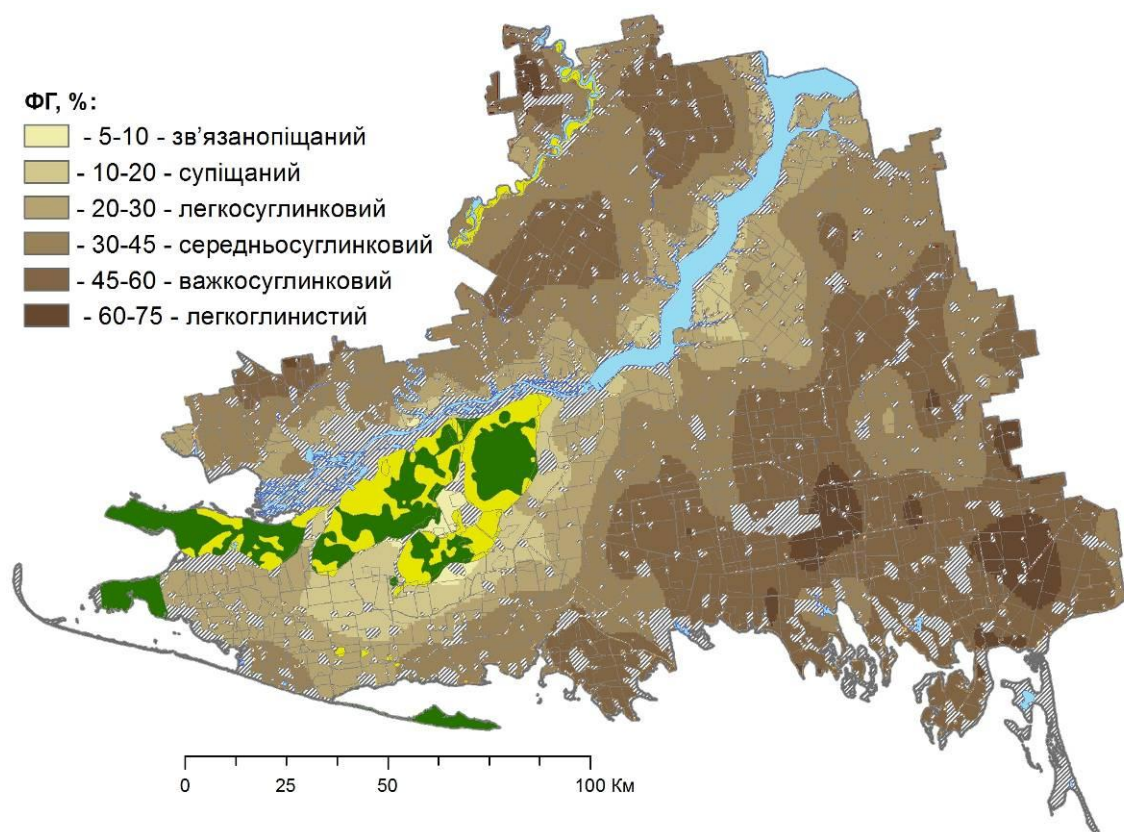


Рис. 6. Картограма просторового розподілу сільськогосподарських земель за гранулометричною фракцією фізичної глини (< 0,01 мм) в Херсонській області

2. Розподіл сільськогосподарських земель за гранулометричною фракцією фізичної глини (<0,01 мм) в області

Назва ґрунту за гранулометричним складом	Вміст ФГ, %	Розподіл с.-г. земель	
		<i>тис. га</i>	<i>%</i>
Зв'язанопіщаний	5-10	24,1	1,2
Супіщаний	10-20	160,8	8,2
Легкосуглинковий	20-30	421,9	21,4
Середньосуглинковий	30-45	631,9	32,1
Важкосуглинковий	45-60	709,7	36,0
Легкоглинистий	60-75	22,7	1,2
Всього		1971,0	100

Вміст обмінного калію в ґрунтах Херсонської області зменшився в середньому на 18 % (з 442,4 мг/кг до 363,8 мг/кг). Різний ступінь зниження калію в ґрунтах від 50 мг/кг до 210 мг/кг (від 10 % до 50 %) обумовлена відсутністю регулярного, рівномірного і необхідної кількості надходження мінеральних

добрив, проявом водної ерозії, включаючи іригаційну, і дефляції ґрунтів, а також результатом тривалого зрошення.

В результаті геомодельовання отримана просторова модель розподілу обмінного калію у ґрунтах Херсонської області (рис. 7). Вміст обмінного калію в ґрунтах (табл. 3), яке відповідає якісним градаціям від середнього до дуже високого вмісту (> 200 мг/кг), характеризує 85,8 % площі сільськогосподарських земель. Найбільший вміст обмінного калію в межах якісно градації більше 400 мг/кг ґрунту зафіксовано в північно-західній та південно-східній частинах області.

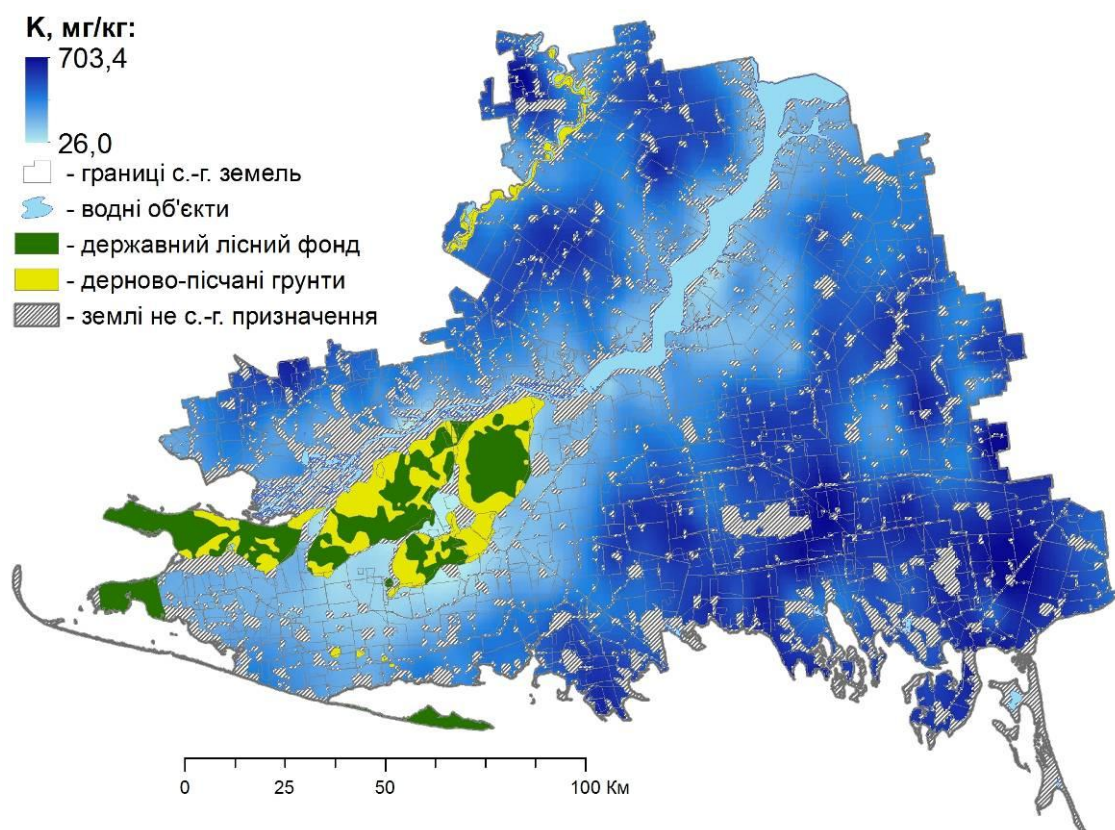
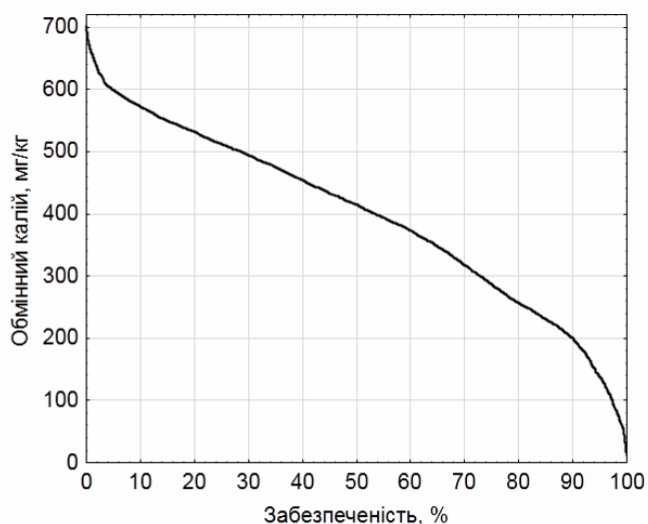


Рис. 7. Картограма просторового розподілу обмінного калію в ґрунтах Херсонської області

Графічні та статистичні характеристики особливостей просторової неоднорідності розподілу калію (рис. 8, 9) вивчені, використовуючи створену нами просторову растрову модель розподілу калію, за результатами вибірки даних в 4450 точках на території області.

3. Розподіл вмісту обмінного калію в ґрунтах сільськогосподарських земель області

Вміст обмінного калію, мг/кг		Розподіл с.-г. земель	
		тис. га	%
дуже низький	< 100	70,6	3,6
низький	101 – 200	211,2	10,7
середній	201 – 300	459,8	23,3
підвищений	301 – 400	572,6	29,1
високий	401 – 600	596,3	30,3
дуже високий	> 600	60,5	3,1
Всього		1971,0	100,0



$$f(K_2O) = \begin{cases} \int_{30}^{30} -42,95 \cdot \ln(x) + 660,28 \\ 0 \\ \int_{100}^{30} -0,0504 \cdot x^2 + 1,0186 \cdot x + 495,29 \end{cases}$$

$$r = 0,98$$

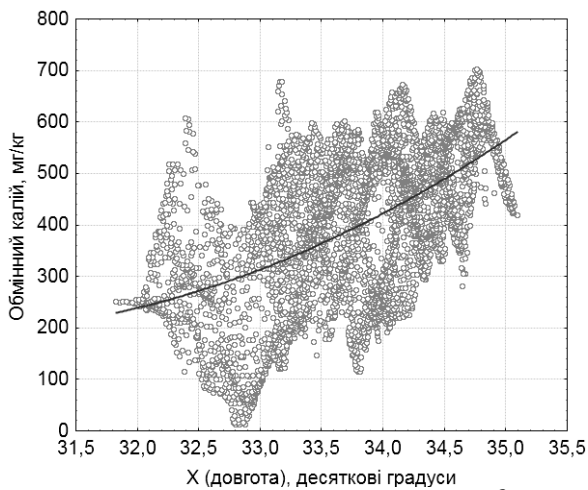
Рис. 8. Крива і функція забезпеченості ґрунтів області обмінним калієм

В результаті автокореляційних досліджень просторової типовості формування обмінного калію визначені мінімальний ($r = 0,413$) і максимальний ($r = 0,170$) радіус однорідності формування калію, який дорівнює 2,5 км і 12,5 км.

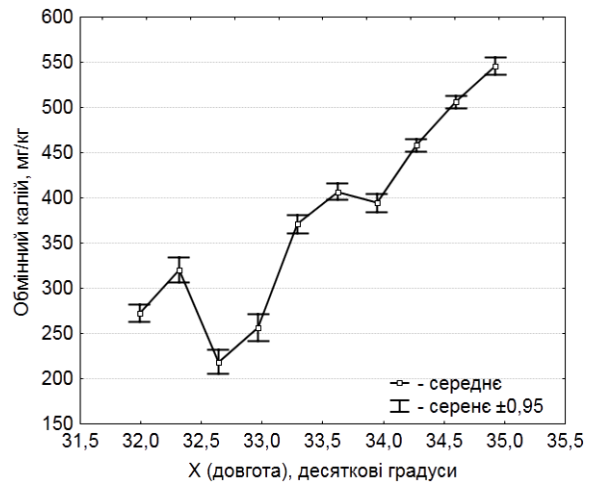
Просторова функція розподілу обмінного калію за основними басейнах має вигляд:

$$f(K_2O) = 9628,88 \cdot x - 3150,26 \cdot y + 11,05 \cdot x^2 - 220,27 \cdot x \cdot y + 112,49 \cdot y^2 - 88216,68 ; R = 0,46 \quad (2)$$

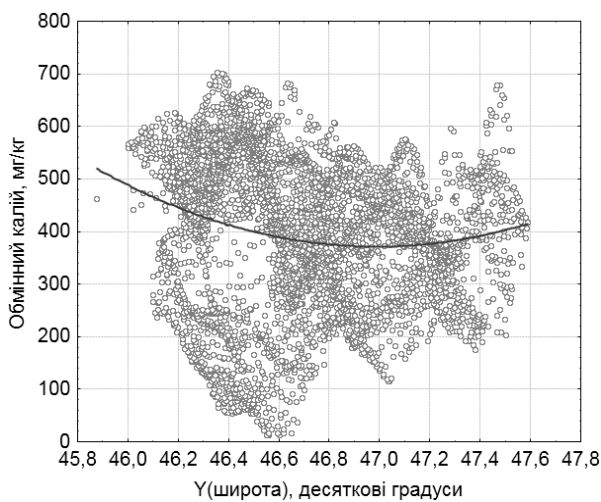
де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси.



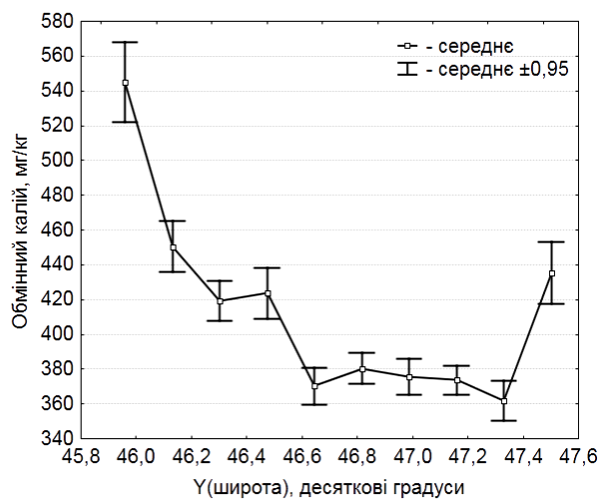
$$y = 17,079x^2 - 1035,5x + 15885; R = 0,56$$



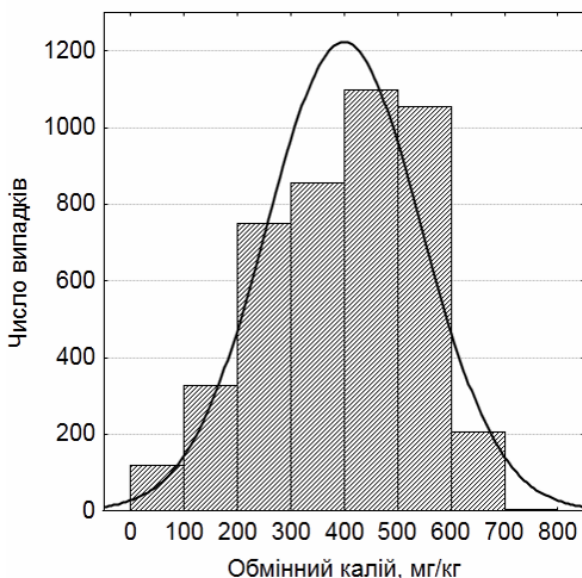
а)



$$y = 120,09x^2 - 11285x + 265508; R = 0,18$$



б)



Загальне число випадків	4450
Середнє значення	396,78
Довірчий інтервал середнього	4,24
Медіана	414,94
Мода	
М мінімум	23
Максимум	703,18
Процентиль 10,0	199,63
Процентиль 90,0	572,48
Рівень варіації, %	36,23
Дисперсія	20669,97
Стандартне відхилення	143,77
Стандартна похибка середнього	2,16
Асиметрія	-0,37
Експес	-0,64

в)

Рис. 9. Просторова неоднорідність розподілу обмінного калію в ґрунтах області: а) захід → схід; б) південь → північ; в) статистичні характеристики

Забезпеченість фосфором. Фосфор є одним з важливих елементів в живленні рослин. Після органічної речовини і азоту, фосфор часто буває найдефіцитнішим елементом при вирощуванні сільськогосподарських культур. Він входить до складу нуклеопротеїдів, сахарофосфатів, фосфатидів і інших з'єднань, бере активну участь в процесах обміну речовин і синтезу білка, визначає енергетику клітини, впливає на ріст рослин. Фосфор міститься в ґрунті в різних формах: органічної і неорганічної, рухомої і нерухомої. Вміст рухомого фосфору у ґрунті – одна з найважливіших характеристик її родючості. За даними моніторингу в період 1970 – 2012 рр. на території області часові закономірності зміни вмісту рухомого фосфору в ґрунтах (шарі 0...40 см) має негативне тренд-формування: $T = -10,59 \cdot \ln(t) + 62,31; R^2 = 0,98$. Його вміст зменшився в середньому на 34,17 % (з 62,0 мг/кг до 40,8 мг/кг).

В результаті геомодельювання отримана просторова модель розподілу рухомого фосфору в ґрунтах Херсонської області (рис. 10).

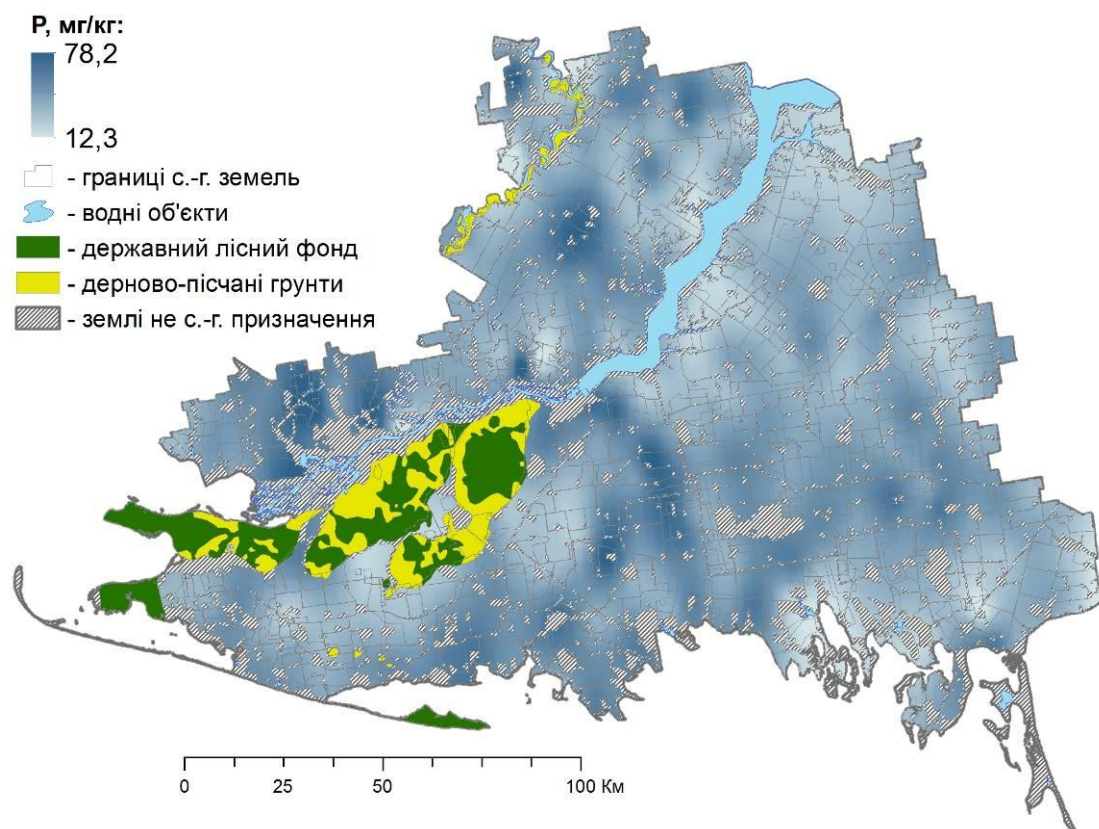


Рис. 10. Картограма просторового розподілу рухомого фосфору в ґрунтах Херсонської області

Вміст рухомого фосфору в ґрунтах (табл. 4), яке відповідає якісним градаціям від підвищеного до дуже високого вмісту ($> 31,0$ мг/кг), характеризує 87,3 % площі сільськогосподарських земель. Переважна частина території області (56,2 %) із високим і дуже високим вмістом рухомого фосфору в ґрунті визначена в буферних зонах зрошуваних земель.

4. Розподіл вмісту рухомого фосфору в ґрунтах сільськогосподарських земель області

Вміст рухомого фосфору, мг/кг		Розподіл с.-г. земель	
		тис. га	%
середній	16,0 – 30,0	250,0	12,7
підвищений	31,0 – 45,0	1064,4	54,0
високий	46,0 – 60,0	599,7	30,4
дуже високий	$>60,0$	56,9	2,9
Всього		1971,0	100,0

Графічні та статистичні характеристики особливостей просторової неоднорідності розподілу фосфору (рис. 11) вивчені, використовуючи створену нами просторову растрову модель розподілу фосфору, за результатами вибірки даних в 4450 точках на території області.

Функція забезпеченості ґрунтів області рухомим фосфором:

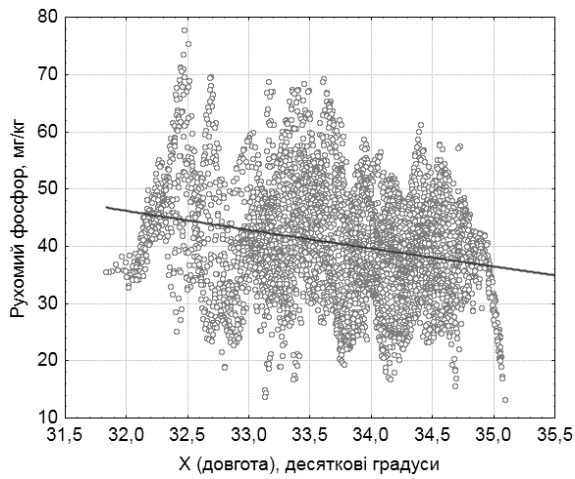
$$f(P_2O_5) = 281,4 \cdot \sin(0,006052 x + 2,682) + 60,87 \cdot \sin(0,03122 x + 4,653) + 7,576 \cdot \sin(0,06488 x + 6,113) \\ r = 0,996 \quad (3)$$

В результаті автокореляційних досліджень просторової типовості формування рухомого фосфору визначені мінімальний ($r = 0,340$) і максимальний ($r = 0,180$) радіус типовості формування фосфору, який дорівнює 2,5 км і 12,5 км.

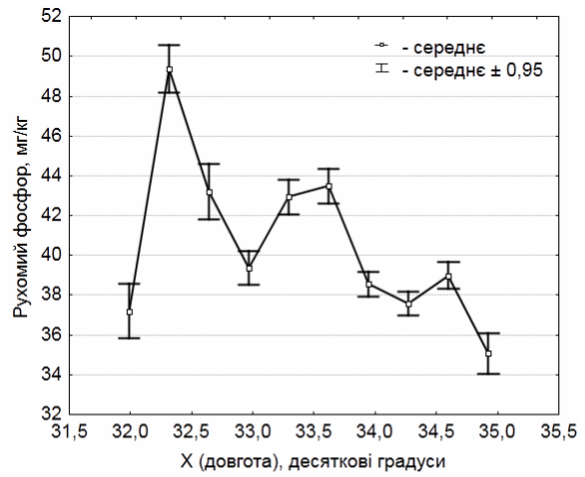
Просторова функція розподілу рухомого фосфору має вид:

$$f(P_2O_5) = 378,54 \cdot x + 1103,71 \cdot y - 1,92 \cdot x^2 - 5,43 \cdot x \cdot y - 9,90 \cdot y^2 - 31949,82 ; R = 0,38 \quad (4)$$

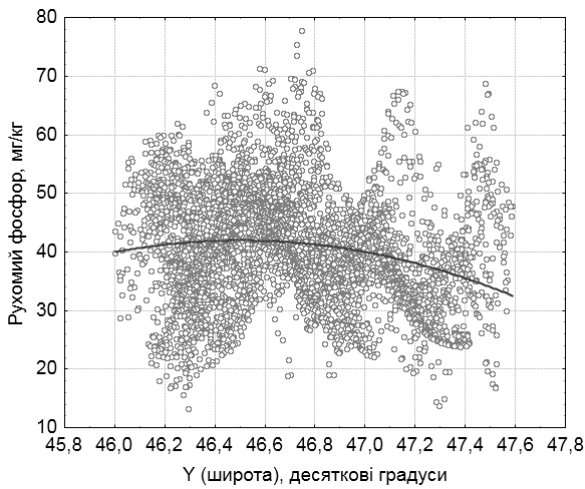
де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси.



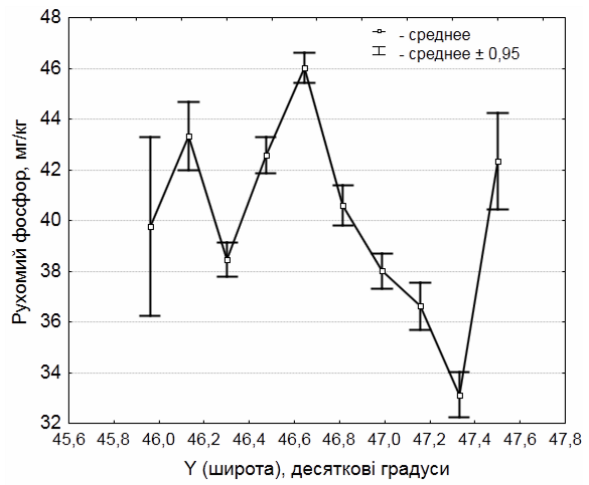
$$y = -108,04\ln(x) + 420,6; R = 0,24$$



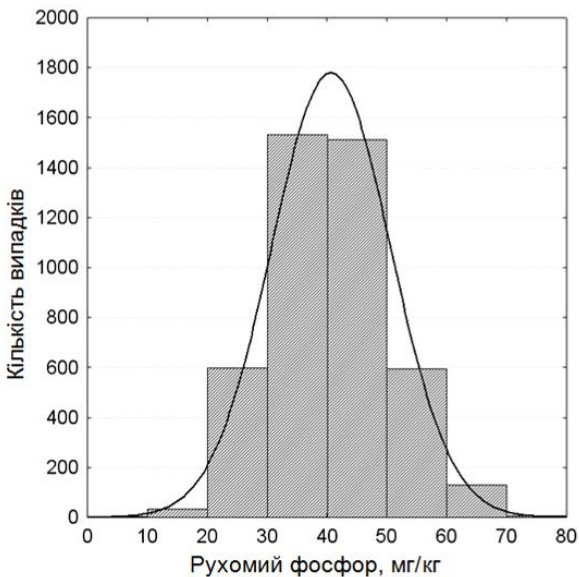
а)



$$y = -7,9263x^2 + 737,2x - 17099; R = 0,20$$



б)



Загальне число випадків	4450
Середнє значення	40,55
Довірчий інтервал середнього	0,57
Медіана	40,21
Мода	-
Мінімум	13,25
Максимум	77,82
Процентиль 10,0	27,71
Процентиль 90,0	52,93
Рівень варіації, %	24,02
Дисперсія	94,79
Стандартне відхилення	9,74
Стандартна похибка середнього	0,15
Асиметрія	0,25
Екссес	0,07

в)

Рис. 11. Просторова неоднорідність розподілу рухомого фосфору в ґрунтах тестової території: а) захід → схід; б) південь → північ; в) статистичні характеристики

Визначена просторова закономірність зменшення вмісту рухомого фосфору в орному шарі в напрямку із південного заходу на північний схід.

Забезпеченість нітрифікаційним азотом. Азоту належить провідна роль в підвищенні врожаю сільськогосподарських культур. Він є важливим біологічним елементом і грає виняткову роль в житті рослин. Особливо важливий азот в першій половині вегетації, коли йде інтенсивний ріст рослин. Тому режим азотного живлення рослин в ґрунтах є важливою характеристикою ґрунтової родючості. Найбільше значення для поповнення доступного рослинам ґрунтового азоту мають процеси амоніфікації, за якої азот органічної речовини перетворюється в аміак, і нітрифікації, за якої аміак переходить в азотисту, а потім в азотну кислоту і її солі. Розвитку цих процесів сприяють оптимальна температура (20-30 °С) і вологість ґрунту (60-70 % повної вологоємності), аерація ґрунту, сприятлива реакція середовища.

За даними моніторингу в період 1998 – 2012 рр. на території області закономірності зміни вмісту нітрифікаційного азоту в орному шарі (0 ... 40 см) ґрунтів має негативне тренд-формування: $NO_3 = -0,053t^2 + 0,966t + 16,74; R^2 = 0,24$. Вміст азоту за 8-10-й тури обстежень по всій території області зменшився в середньому на 17,0 % (з 23,0 мг/кг до 19,1 мг/кг).

В результаті геомодельювання отримана просторова модель розподілу нітрифікаційного азоту в ґрунтах Херсонської області (рис. 12). Вміст азоту в ґрунтах (табл. 5), яке відповідає якісним градаціям від середнього до підвищеного вмісту (> 21,0 мг/кг), характеризує 47,4 % площі сільськогосподарських земель. Найбільшу питому вагу сільськогосподарських земель із середнім – підвищеним вмістом азоту з нітрифікаційною здатністю відзначено в центральній і східній частинах області.

Графічні та статистичні характеристики особливостей просторової неоднорідності розподілу азоту (рис. 13) вивчені, використовуючи створену нами просторову растрову модель розподілу азоту, за результатами вибірки даних в 4450 точках на території області.

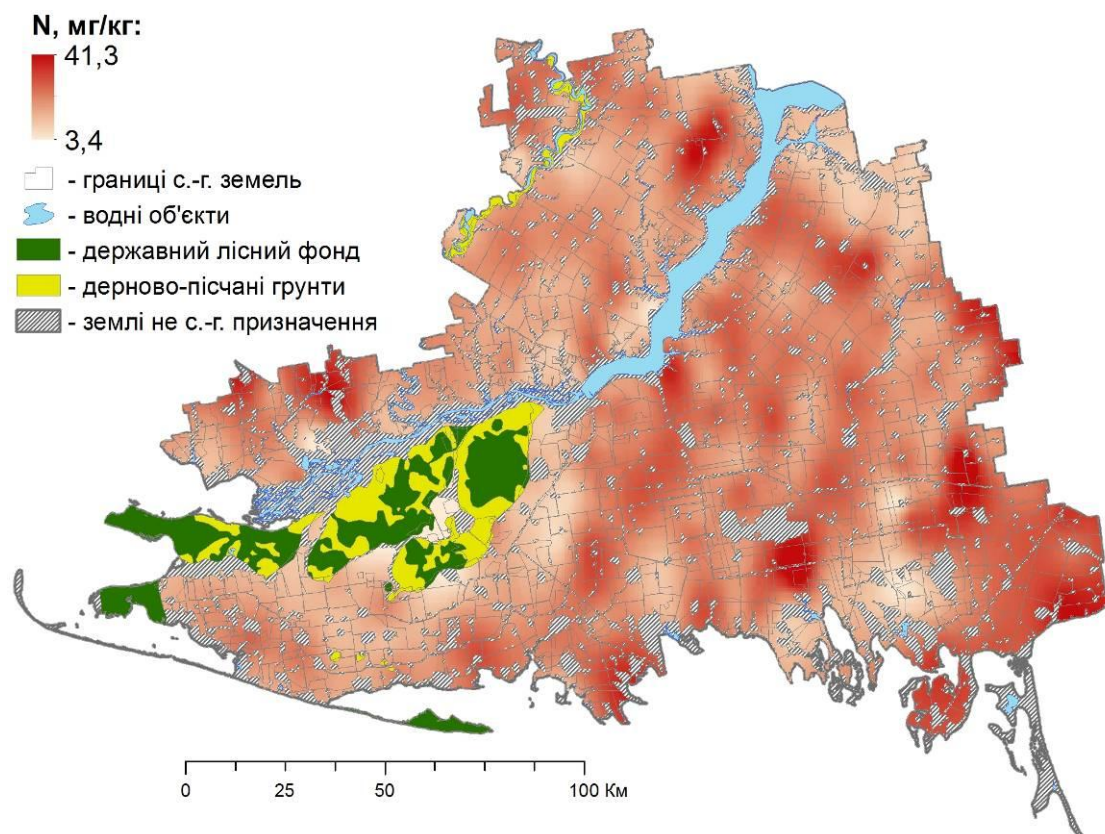


Рис. 12. Картограма просторового розподілу нітрифікаційного азоту в ґрунтах Херсонської області

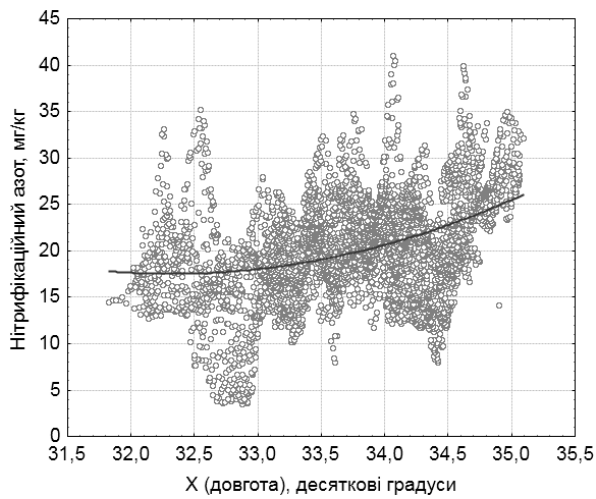
5. Розподіл умісту нітрифікаційного азоту в ґрунтах сільськогосподарських земель області

Вміст нітрифікаційного азоту, мг/кг		Розподіл с.-г. земель	
		тис. га	%
дуже низький	< 10,0	64,0	3,2
низький	11,0 – 20,0	972,1	49,3
середній	21,0 – 30,0	881,5	44,7
підвищений	31,0 – 45,0	53,4	2,7
Всього		1971,0	100

Функція забезпеченості ґрунтів області нітрифікаційним азотом:

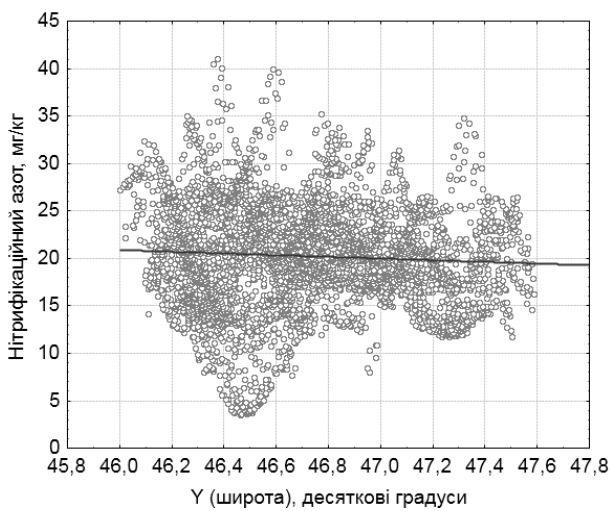
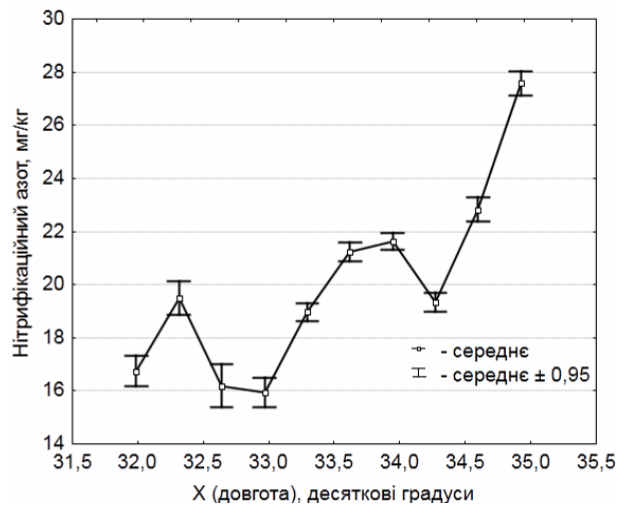
$$f(NO_3) = 298,6 \cdot \sin(0,0219x + 1,888) + 306,2 \cdot \sin(0,0319x + 4,588) + 74,66 \cdot \sin(0,04581x + 7,087)$$

$$r = 0,988 \quad (5)$$



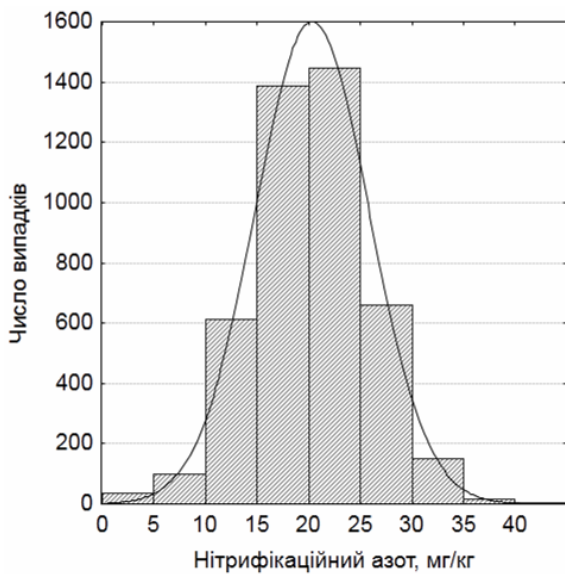
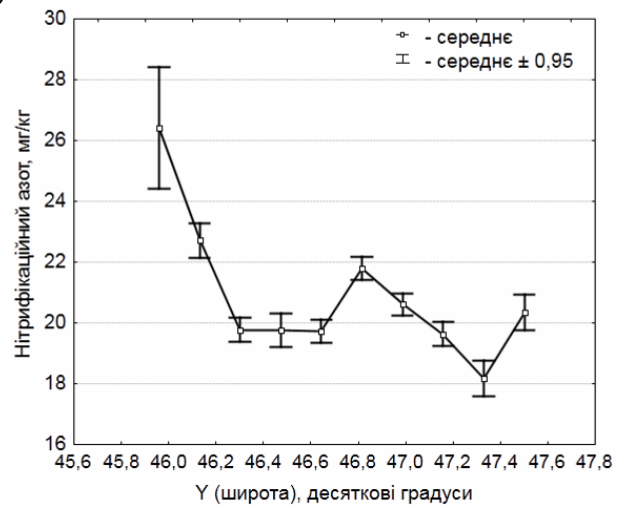
$$y = 1,111x^2 - 71,83x + 1178,5; R = 0,38$$

а)



$$y = -41,956\ln(x) + 181,52; R = 0,06$$

б)



Общее число случаев	4450
Среднее значение	20,25
Доверительный интервал среднего	0,16
Медиана	20,2
Мода	-
Минимум	3,53
Максимум	41,1
Процентиль 10,0	13,61
Процентиль 90,0	26,94
Уровень вариации	27,01
Дисперсия	29,96
Стандартное отклонение	5,47
Стандартная ошибка среднего	0,08
Асимметрия	0,03
Экссесс	0,44

в)

Рис. 13. Просторова неоднорідність розподілу азоту (за нітрифікаційною здатністю) в ґрунтах тестової території: а) захід → схід; б) південь → північ; в) статистичні характеристики

В результаті автокореляційних досліджень просторової типовості формування азоту визначено мінімальний ($r = 0,095$) і максимальний ($r = 0,044$) радіус типовості формування азоту, який дорівнює 2,5 км і 5,0 км.

Просторова функція розподілу азоту має вид:

$$f(NO_3) = 155,52 \cdot x + 149,83 \cdot y + 1,07 \cdot x^2 - 4,83 \cdot x \cdot y + 0,13 \cdot y^2 - 6129,06; R = 0,43 \quad (6)$$

де, x – довгота, десяткові градуси, y – широта, десяткові градуси.

Підвищення вмісту нітрифікаційного азоту в орному шарі відбувається в напрямку із північного заходу на південний схід.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Представлені результати системного використання статистичних і геоінформаційних методів аналізу та просторово-часового моделювання неоднорідності зміни агрохімічних властивостей в ґрунтах Херсонської області. В результаті моделювання визначена загальна закономірність погіршення агрохімічного стану ґрунтів в шарі 0...40 см за 42 роки. Відсутність регулярного, рівномірного і необхідної кількості надходження мінеральних добрив, прояв вітрової та водної ерозії, включаючи іригаційну, і дефляції ґрунтів, а також тривале зрошення призвело до зменшення вмісту гумусу в середньому на 0,36 %, обмінного калію на 18 %, рухомого фосфору на 34,17 %, нітрифікаційного азоту на 17,0 %. Представлені підходи, методи і результати просторово-часового моделювання дають можливість комплексно підійти до питання детального вивчення неоднорідності формування агрохімічного стану та ефективності використання сільськогосподарських земель з метою подальших розробок і впровадження науково – обґрунтованих меліоративних заходів та проектних рішень підвищення ефективності природокористування в степовій зоні. Отримані результати визначають територіальні пріоритети регіональної політики, дозволяючи застосовувати диференційовану ефективність ґрунтозахисного блоку систем землеробства.

Список літератури

1. Пичура В. И. Пространственно-временное прогнозирование изменений параметров агрохимических показателей мелиорируемых почв с использованием ГИС и нейротехнологий / В. И. Пичура // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – 2012. – № 78. – С. 87–95.
2. Содержание гумуса, азота и фосфора в агрегатах чернозема типичного в прецизионном земледелии / Е. В. Дубовик // *Достижения науки и техники АПК*. – 2013. – № 10. – С. 14–16.
3. Медведев В. В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины / В. В. Медведев, И. В. Плиско. – Харьков: Изд. «13 типография», 2006. – 386 с.
4. Булыгин С. Ю. Использование интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при картографировании почвенного покрова черноземной зоны / С. Ю. Булыгин, А. Б. Ачасов, Ф. Н. Лисецкий // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. – 2012. – Т. 21. – № 21 (140). – С. 143–153.
5. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 2. Результаты исследований / Под редакцией В. В. Медведева. – Харьков: КП «Городская типография». – 2009. – 260 с.
6. Ефективне використання ґрунтів із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій / С. А. Балюк, І. В. Пліско, С. Р. Трускавецький [та ін.]; За наук. ред. С. А. Балюка. – К.: Аграрна наука, 2011. – 72 с.
7. Pichura V. I. Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies / V. I. Pichura, O. V. Larchenko, E. A. Domaratsky, D. S. Breus // *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*. – 2013. – № 3. – С. 357-362.
8. Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи / В. В. Медведев. – Харьков: ПФ «Антиква», 2002. – 428с.
9. Лисецкий Ф. Н. Эталонные почвы в системе особо охраняемых природных территорий / Ф. Н. Лисецкий, М. Е. Замураева, В. В. Половинко, М. А. Данильченко // *Проблемы региональной экологии*, 2009, № 1. – С. 104-110.
10. Ушкаренко В. О. Геоінформаційні системи для управління зрошуваними землями: навч. посіб. // В. О. Ушкаренко, В. В. Морозов, В. В. Колесніков [та ін.] – Херсон: «ЛТ-Офіс», 2010. – 378 с.
11. Jackson L.E., Santos-Martin F., Hollander A.D., Horwath W.R., Howitt R.E., Kramer J.B., O'Geen A.T., Orlove B.S., Six J.W., Sokolow S.K., Sumner D.A., Tomich T.P., Wheeler S.M. Potential for adaptation to climate change in an agricultural landscape in the central valley of California // *California Climate Change Center*, 2009 – P. 165.
12. Torbert H.A., Kruege E., Kurtener D. Soil quality assessment using fuzzy modeling // *Int. Agrophysics*. – 2008. – 22. – 365-370.

13. Lisetskii F.N., Pichura V.I., Breus D.S. Use of Geoinformation and Neurotechnology to Assess and to Forecast the Humus Content Variations in the Step Soils // Russian Agricultural Sciences. – 2017. № 2 (43). P. 151-155.

14. Lisetskii F.N., Pichura V.I. Assessment and forecast of soil formation under irrigation in the steppe zone of Ukraine // Russian Agricultural Sciences. – 2016. – № 2. – P. 154-158.

15. Пічура В. І. Кліматична обумовленість ґрунтоутворення на території транскордонного басейну Дніпра / Пічура В. І. // Біоресурси і природокористування. – 2016. – Том 8, №5-6. – С. 26-38.

16. Медведев В.В. Гранулометрический состав почв Украины (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В. В. Медведев, Т. Н. Лактионова – Харьков: Апостроф, 2011. – 292с.

17. Христенюк А. А. Оценка химических методов определения содержания подвижного калия в почвах / А. А. Христенюк // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2007 – Вип. 67. – С. 90-98.

18. Pichura V.I. Basin approach to spatial-temporal modeling and neuroprediction of potassium content in dry steppe soils / V.I. Pichura // Biogeosystem Techniqu. – 2015. – № 2 (4). – С. 172-184.

References

1. Pichura V.I. (2012). Prostranstvenno-vremennoe prognozirovanie izmeneniy parametrov agrokhimicheskikh pokazateley melioriruemyykh pochv s ispol'zovaniem GIS i neyrotekhnologiy [The space-time forecasting of changes in the parameters of agrochemical indicators of reclaimed soils using GIS and neurotechnologies]. Agrochemicals and soil science, 78, 87–95. (in Russian)

2. Dubovik E.V. (2013). Soderzhanie gumusa, azota i fosfora v agregatakh chernozema tipichnogo v pretsizionnom zemledelii [The content of humus, nitrogen and phosphorus in the aggregates of typical chernozem in precision agriculture]. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex, 10, 14-16. (in Russian)

3. Medvedev V.V., Plisko I.V. (2006). Bonitirovka i kachestvennaya otsenka pakhotnykh zemel' Ukrainy (Bonitation and Qualitative Assessment of Arable Lands in Ukraine), Kharkov: Izd. «13 tipografiya», 386. (in Russian)

4. Bulygin S.Yu., Achasov A.B., Lisetskii F.N. (2012). Ispol'zovanie integral'nogo analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya i tsifrovyykh modeley rel'efa pri kartografirovaniy pochvennogo pokrova chernozemnoy zony [Use of integral analysis of remote sensing data and digital terrain models for mapping the soil cover of the chernozem region]. Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences, 21, 21 (140), 143-153. (in Russian)

5. Neodnorodnost' pochv i tochnoe zemledelie. (2006) Chast' 2. Rezul'taty issledovaniy [Heterogeneity of Soils and Accurate Farming. Part 2. Results of Research], Medvedev, V.V, Ed., Kharkov: KP «Gorodskaya tipografiya», 260. (in Russian)

6. Balyuk S.A., Plisko I.V., Truskavets'kii S.R. (2011). Efektivne vikoristannya gruntiv iz zastosuvannyam suchasnykh geoinformatsiinykh tekhnologiy

[Efficient Use of Soils Using Modern GIS Technology], Balyuk, S.A., Eds., Kiev: Agrarna nauka, 72. (in Russian)

7. Pichura V.I., Larchenko O.V., Domaratsky E.A., Breus D.S. (2013). Spatial assessment of the suitability of agricultural lands for growing and design of grain harvest using GIS technologies. Scientific notes of Orel State University. Series: Natural, technical and medical sciences, 3, 357-362.

8. Medvedev V.V. (2002). Monitoring pochv Ukrainy. Kontseptsiya, predvaritel'nye rezul'taty, zadachi [Monitoring of soils in Ukraine. Concept, preliminary results, tasks]. Kharkov: PF Antikva, 428 p. (in Russian)

9. Lisetskiy F.N., Zamuraeva M.E., Polovinko V.V., Danilchenko M.A. (2009). Etalonnnye pochvy v sisteme osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy [Reference soils in the system of specially protected natural territories]. Problems of regional ecology, 1, 104-110.

10. Ushkarenko V.O., Morozov V.V., Kolesnikov V.V., et al. (2010). Geoinformacijni systemy dlja upravlinnja zroshuvanymy zemljamy: navch. posib. [Geographic information system for managing irrigated lands: textbook]. Kherson, LT-Office publishing house, 378 p. (in Ukrainian)

11. Jackson L.E., Santos-Martin F., Hollander A.D., Horwath W.R., Howitt R.E., Kramer J.B., O'Geen A.T., Orlove B.S., Six J.W., Sokolow S.K., Sumner D.A., Tomich T.P., Wheeler S.M. (2009). Potential for adaptation to climate change in an agricultural landscape in the central valley of California. California Climate Change Center, 165.

12. Torbert H.A., Kruege E., Kurtener D. (2008). Soil quality assessment using fuzzy modeling. Int. Agrophysics, 22, 365-370.

13. Lisetskii F.N., Pichura V.I., Breus D.S. (2017). Use of Geoinformation and Neurotechnology to Assess and to Forecast the Humus Content Variations in the Step Soils. Russian Agricultural Sciences, 2, 43, 151-155.

14. Lisetskii F.N., Pichura V.I. (2016). Assessment and forecast of soil formation under irrigation in the steppe zone of Ukraine. Russian Agricultural Sciences, 2, 154-158.

15. Pichura V.I. (2016). Klimatychna obumovlenist' g'runtoutvorennya na terytorii' transkordonnogo basejnu Dnipra [Climatic conditionality of soil formation on the territory of the transboundary Dnieper river basin]. Biological Resources and Nature Management, 8, 5-6, 26-38.

16. Medvedev V.V., Laktionova T.N. (2011). Granulometricheskiy sostav pochv Ukrainy (geneticheskiy, ekologicheskiy i agronomicheskiy aspekty) [Granulometric composition of soils in Ukraine (genetic, ecological and agronomic aspects)]. Kharkov: Apostrof, 292. (in Russian)

17. Kristenok A.A. (2007). Otsenka khimicheskikh metodov opredeleniya sodержaniya podvizhnogo kaliya v pochvakh [Evaluation of chemical methods for determining the content of mobile potassium in soils]. Agrochemistry and soil science, 67, 90-98.

18. Pichura V.I. (2015). Basin approach to spatial-temporal modeling and neyroprediction of potassium content in dry steppe soils. Biogeosystem Techniqu, 2, 4, 172-184.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В ЗОНЕ СУХОЙ СТЕПИ

В. И. Пичура, Н. В. Безницкая

Аннотация. Анализ динамики агрохимических показателей в пространстве и времени можно рассматривать как одну из важнейших и объективных процедур определения эффективности систем земледелия, особенно в его почвозащитных аспекте и программировании урожая сельскохозяйственных культур. Исследование изменений агрохимических свойств почв на орошаемых и неорошаемых землях сухой степи (на примере Херсонской области Украины) проведено в слое 0...40 см за 42 года (1970-2012 гг.). Пространственно-временное моделирование неоднородности распределения исследуемых показателей осуществлено с применением ГИС-технологий и многомерной статистики. Представлены серии тематических карт, графические и статистические характеристики временных тенденций и пространственных изменений агрохимических свойств почв по результатам выборки данных в 4450 точках на территории области. Определена общая закономерность ухудшения агрохимического состояния почв. Отсутствие регулярного, равномерного и необходимого количества поступления минеральных удобрений, проявление ветровой и водной эрозии, включая ирригационную, и дефляции почв, а также длительное орошение привело к уменьшению содержания гумуса в среднем на 0,36%, обменного калия на 18%, подвижного фосфора на 34,17%, нитрификационного азота на 17,0%. Представленные подходы, методы и результаты пространственно-временного моделирования дают возможность комплексно подойти к вопросу детального изучения неоднородности формирования агрохимического состояния и эффективности использования сельскохозяйственных земель с целью дальнейших разработок и внедрения научно-обоснованных мелиоративных мероприятий и проектных решений повышения эффективности природопользования в степной зоне. Полученные результаты определяют территориальные приоритеты региональной политики, позволяя применять дифференцированную эффективность почвозащитного блока систем земледелия.

Ключевые слова: почвы, агрохимические показатели, пространственно-временная трансформация, моделирование, ГИС-технологии, многомерная статистика

SPATIAL-TEMPORAL TRANSFORMATION OF THE AGROCHEMICAL CONDITION OF SOILS IN DRY STEPPE ZONE

V. I. Pichura, N. V. Beznitskaya

Abstract. The analysis of the dynamics of agro-chemical parameters in space and time can be regarded as one of the most important and objective procedures for determining the efficiency of systems of agriculture, especially in its soil-protective aspect and yield programming. Our research on the changes in agrochemical

properties of soils on irrigated and non-irrigated lands in dry steppe (the Kherson region of Ukraine as an example) in the 0...40 cm layer covered a period of 42 years (1970-2012). Spatial-temporal modeling of heterogeneity in the distribution of the studied parameters was performed using GIS technology and multivariate statistics. The study presents a series of thematic maps, graphic and statistical characteristics of temporal trends and spatial changes in the agrochemical properties of soils by the results of sampling data on 4450 points on the territory of the region. It determines a general pattern of the deterioration of the agrochemical condition of soils. The absence of regular, uniform mineral fertilization in required amounts, effects of wind and water erosion (including irrigation-caused), soil deflation, as well as prolonged irrigation led to a decrease in the humus content by an average of 0.36%, in exchangeable potassium by 18%, in mobile phosphorus by 34.17%, in nitrification nitrogen by 17.0%. The approaches, methods and results of special and temporal modeling presented make it possible to take a comprehensive approach to the issue of a detailed study of heterogeneity in the formation of the agrochemical status and efficiency of using agricultural lands for the purpose of further development and implementation of evidence-based reclamation practices and project solutions to improve the efficiency of nature management in the steppe zone. The results obtained determine territorial priorities of the regional policy allowing us to use a differentiated effectiveness of the soil protection block of the farming systems.

Keywords: *soils, agrochemical indicators, spatial-temporal transformation, modeling, GIS technology, multivariate statistics*