

УДК 631.471:631.481+528.854:528.855  
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.3>

## РЕГІОНАЛІЗАЦІЯ НЕОДНОРІДНОСТІ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ ЯК ІНФОРМАЦІЙНА ОСНОВА ЗБАЛАНСОВАНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

**Биндич Т.Ю.** – д.с.-э.н., старший науковий співробітник,  
провідний науковий співробітник лабораторії охорони ґрунтів від ерозії  
та дистанційних методів дослідження,  
Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та  
агрохімії імені О.Н. Соколовського»

Необхідність інтеграції нашої країни в загальноєвропейські системи спостережень за навколишнім середовищем та екологічного землекористування, а також необхідність забезпечення сталого розвитку вітчизняного агровиробництва актуалізують розробку сучасної системи інформаційного забезпечення досліджень ґрунтового покриття на основі даних космічної зйомки високого просторового розрізнення. Шляхом сумісного аналізу результатів дешифрування космічних знімків та даних польових обстежень в Лісостепу, де поширені ґрунти гумусово-аккумулятивного типу ґрунтоутворення, які мають найнижчу оптичну яскравість та є слабо контрастними майже в усіх діапазонах сканування, доведено ефективність розробленої технології ґрунтового дешифрування даних багатоспектрального космічного сканування для визначення елементів неоднорідності локальних структур ґрунтового покриття. За результатами геостатистичного експрес-аналізу даних точкового відбору проб, які відібрані з поверхневого шару в межах дослідного полігону «Лісова Стінка 2», за загальним індексом Морана ( $I_M$ ) та його супутніми оцінками, встановлено, що результати класифікації даних Landsat 8 коректно відображають просторову структуру варіабельності ґрунтових властивостей в межах поверхневого шару. Класифікація супутникових знімків поверхні відкритого ґрунту в зоні Лісостепу довела ефективність їх використання для диференціації розподілу систематично зближених орних чорноземів та визначення їх найнижчих таксонів, а також варіацій загального вмісту гумусу, гідролітичної кислотності, фізичної глини та компонентів мікроагрегатного складу. Практичне значення отриманих результатів дозволяє без значних грошових витрат оптимізувати польове обстеження та картографування орних земель, удосконалити архівні ґрунтові карти та зібрати новітні дані про стан ґрунтів в окремих господарствах для розробки збалансованих систем землеробства.

**Ключові слова:** ґрунтовий покрив, багатоспектральне сканування, геостатистичний аналіз, дешифрування, класифікація зображення.

### **Byndych T.Yu. The regionalization of soil cover heterogeneity by satellite imagery data as an information groundwork of a balanced agriculture**

The need to integrate our country into the European systems of environmental monitoring and ecological land use, as well as the need to implement the sustainable development of the national agricultural industry, prompt demands for development of the modern information support system for soil cover studies based on the use of high-resolution multispectral satellite images. A coherent analysis of satellite images decoding results and data obtained from field surveys in Forest-Steppe region, where humus-accumulating soils with the lowest optical brightness and weakly contrast in almost all scanning ranges are common, proved the soil decoding technology for multispectral satellite imagery data, developed herein, to be highly effective for determining the elements of local soil structure heterogeneity. Rapid geostatistical analysis of data obtained by spot sampling of the surface layer within the tested field «Lisova Stinka 2», according to the global Moran's index ( $I_M$ ) and associated estimates, has shown the results of Landsat 8 data classification to correctly reflect the spatial structure of variability of soil characteristics within the surface layer. Classification of the open soil surface satellite images in the Forest-Steppe zone has proven the efficiency of their use for differentiating the distribution of systematically close, arable chernozems and determining their lowest taxa, as well as variations in the total humus content, hydrolytic acidity, physical clay content and components of the microaggregate composition. The practical significance of obtained results allows it possible to optimize field

*surveying and mapping of arable lands, to improve archived soil maps and to collect the latest data on soil condition within individual farms without significant money expenses for the development of balanced agriculture systems.*

**Key words:** *soil cover, multispectral scanning, geostatistical analysis, decoding, image classification.*

**Постановка проблеми.** Основу збалансованого землеробства складає поєднання збереження, відновлення та раціонального використання земельних ресурсів планети, що реалізується правомочними установами в кожній розвинутій країні світу шляхом реалізації системи заходів, які спрямовано на досягнення балансу між коротко термінованими економічними цілями виробників й довгостроковими інтересами збереження продуктивності земель, ґрунтової родючості й, в цілому, сільських ландшафтів для нинішніх та майбутніх поколінь [1]. Тому стає зрозумілим, що розробка збалансованих систем землеробства завжди представляє достатньо наукоємне завдання оптимізації сільськогосподарського землекористування та агровиробництва, що потребує точної та об'єктивної інформації про стан земних покривів та довкілля, а також залучення високотехнологічних методів її обробки та математичного моделювання. У зв'язку з цим, сучасні тенденції розробки систем збалансованого землеробства у світі передбачають обов'язкове використання даних космічного сканування як новітнього джерела високоякісної, об'єктивної інформації про стан земної поверхні та, зокрема ґрунтового покриву (ГП) у цифровому форматі, для формування сучасних систем інформаційного забезпечення моніторингу довкілля та раціонального землекористування [2, с. 671; 3, с. 145]. Розвиток цифрового картографування ГП та постійне вдосконалення методології та інструментарію польових ґрунтових обстежень також актуалізують використання даних багатоспектрального космічного сканування (БСКС) високого просторового розрізнення для оцінювання неоднорідності ґрунтового та рослинного покривів в межах агроценозів за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) на рівні детальних або великомасштабних обстежень, але при цьому відрізняється меншою працездатністю та собівартістю робіт порівняно з наземними обстеженнями та аерофотозніманням [4, с. 149; 5, с. 196].

У зв'язку з вище переліченим, метою досліджень є розроблення сучасної методології діагностики та регіоналізації неоднорідності ГП в межах агроценозів на основі даних БСКС та використанні геоінформаційного підходу до обробки інформації в якості сучасної інформаційної основи вирішення широкого спектру прикладних завдань збалансованого землеробства: діагностики та кількісного опису локальних структур ГП та їх трансформації внаслідок антропогенної діяльності або військових дій, моделювання та оцінювання просторового варіювання важливих параметрів ґрунтової родючості (гумусу, гранулометричного складу, окремих показників структурного стану тощо), моніторингу та оцінювання проявів деградаційних процесів у ґрунтах, а також оперативний аналіз ефективності землеробських технологій за станом сільськогосподарських рослин.

Об'єкт дослідження – локальні структури ГП.

Предмет дослідження – латеральна неоднорідність параметрів основних властивостей ґрунтів на орних землях сільськогосподарського призначення.

В результаті раніше проведених досліджень здійснено аналіз існуючих методологічних засад визначення неоднорідності ГП у агрономічному ґрунтознавстві та обґрунтовано доцільність використання даних БСКС високого просторового розрізнення в якості джерела первинної інформації дослідження неоднорідності локальних структур ГП [6, с. 48-49]. На теперішній час залишається лише частково

вирішеним завдання розробки технологічних основ суміщення даних БСКС та результатів наземних досліджень ГП для ґрунтового дешифрування даних космічного сканування для регіоналізації неоднорідності ГП та моделювання його локальних структур [7, с. 63], що здатне забезпечити детальною інформацією процес розробки планів та оцінки ефективності ґрунтоохоронних заходів в агроландшафтах, удосконалення інфраструктури сільських територій та ін. Це дозволить не тільки оперативно приймати рішення з раціонального використання земельних та ґрунтових ресурсів з дотриманням принципів екологічної безпеки, а й розв'яже низку науково-практичних та соціально-економічних проблем на регіональному та місцевому рівнях.

**Об'єкти, матеріали та методи досліджень.** Апробацію розроблених методів ґрунтового дешифрування даних БСКС для параметризації та моделювання локальних структур ГП здійснено на полігоні «Лісова Стінка 2» (площею 283 га), що розташовано в Куп'янсько-Дворичанському фізико-географічному районі Харківської височинної області, який межує з Північним Степом, що визначило перехідні риси ГП, який представлено сполученням чорноземів типових та реградованих середньо та малогумусних, контурність яких ускладнено ерозією [8, с. 228 – 229; 9, с. 346-348]. Дослідження передбачали аналіз даних Landsat 8 для території полігону, що отримано за умови знімання відкритої, повітряно-сухої поверхні ґрунту з просторовим розрізненням до 28 м, що дозволило дешифрувати локальні структури ГП за прямими дешифрувальними ознаками – оптичними характеристиками поверхні ґрунту.

Методика досліджень передбачала попередню обробку космічного зображення полігону у декількох діапазонах спектру (від 0,525 до 0,885 мкм), класифікацію зображення за методом кластерного аналізу, побудову та аналіз цифрової моделі рельєфу (ЦМР), польове обстеження полігону відповідно до чинних в Україні стандартів [10-14] та аналітичне дослідження 101 проби ґрунту, що відібрано за допомогою приладів GPS за регулярною мережею відбору (100 м). Аналітичні методи досліджень склали визначення: гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунту за методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського згідно з ДСТУ 4730:2007 [15] та ДСТУ 4728:2007 [16], загального вмісту гумусу за методом І.В. Тюріна згідно з ДСТУ 4289:2004 [17], рН ґрунту за інструментальним методом із застосуванням скляного електроду в суспензії ґрунту в воді та в розчині KCl згідно з ДСТУ ISO 10390:2007 [18], катіонно-аніонного складу водної витяжки за комплексометричним, аргентометричним та полум'яно-фотометричними методами згідно з ДСТУ 7908 [19], ДСТУ 7909 [20], ДСТУ 7944 [21] та ДСТУ 7945 [22], складу обмінних катіонів за методом Шоленберга (титриметричний варіант) [23, с. 42-50].

Математико-статистична обробка даних БСКС та аналітичних досліджень проводилася за методами дисперсійного, кореляційного, регресійного аналізів в програмі Statistica. Для здійснення попередньої обробки зображень, обліку оптичних характеристик поверхні ґрунту у різних діапазонах спектру, побудови ЦМР, а також створення картографічних матеріалів на основі даних космічного знімання використано методи геоінформаційної обробки та геостатистичного аналізу даних, що проведено за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) TNT, ENVI та ArcGIS.

**Результати та їх обговорення.** За результатами критичного аналізу та узагальнення існуючих теоретичних та методичних засад визначення неоднорідності ГП, що існують як у ґрунтознавстві, так й у суміжних науках, розроблено дефініцію терміну «регіоналізація неоднорідності ГП» як багатовимірної ареальної

специфікації його локальних структур, що складається за описом закономірностей просторового варіювання ґрунтів на основі моделей регіоналізованих змінних основних ґрунтових властивостей, які отримано за геостатистичними методами обробки даних. В результаті проведених узагальнень та врахування особливостей даних БСКС як первинної інформації про стан поверхні ґрунтів та ГП, розробки та систематизації ключових питань дешифрування космічної інформації визначено систему методів, що дозволяють ефективно вирішувати наукоємне завдання визначення складових локальних структур ГП та оцінювання закономірностей варіювання ґрунтових властивостей в їх межах (рис. 1).



Рис. 1. Методичні основи визначення та регіоналізації неоднорідності ГП за даними космічного сканування.

В цілому ж, аналіз різноманітності методів, що складають методичну основу дослідження та параметризації неоднорідності ГП за даними БСКС дозволяє визначити відповідність даного наукового напрямку сучасній парадигмі раціонального або збалансованого використання природних ресурсів, яка актуалізує широке впровадження геоінформаційних підходів, високотехнологічних та точних методів досліджень в практику створення сучасних систем інформаційного

забезпечення природо та землекористування, а також збалансованого землеробства. Слід тільки підкреслити, що на теперішній час розробка окремих питань ґрунтового дешифрування даних БСКС та їх апробація на численних полігонах, що розташовані у різних ґрунтово-кліматичних зонах України, ще триває.

Зрозуміло, що в форматі статті неможливо вичерпно представити результати цих досліджень. У зв'язку з цим, стисло охарактеризуємо результати апробації лише окремих з розроблених підходів до ґрунтового дешифрування даних БСКС на прикладі полігона «Лісова Стінка 2», що проведено за даними космічного апарату Landsat 8. Наявність повного набору метаданих, дозволило здійснити радіометричну та атмосферну корекцію зображень відкритої поверхні ґрунту у декількох діапазонах сканування. За результатами аналізу гістограм оптичних характеристик ГП полігону у другому, третьому, четвертому, п'ятому, шостому та сьомому діапазонах сканування зроблено висновок про виражену асиметрію в їх розподілі та визначено, що оптимальною кількістю класів для класифікації зображення ГП полігону є чотири класи. Цей висновок підтверджено також за геостатистичним аналізом зображення полігону, що складався в побудові та аналізі автокореляційних функцій та полуваріограм за декількома трансектами, що прокладено на полігоні у різних напрямках. Таким чином визначено локацію незначного за площею високояскравісного ареалу в центрі полігону, а також за автокорелограмами більшості каналів знімання (другого, четвертого, шостого та сьомого діапазонів) встановлено періодичну складову у варіюванні оптичних характеристик через 150 – 200 м. На основі цього зроблено висновок про існування одного, чітко локалізованого ареалу з високими значеннями яскравості зображення в центрі полігону, одного ареалу значної площі у межах північної експозиції, а також двох ареалів, які чергуються у просторі в межах південної експозиції, в нижній частині схилу.

Класифікацію космічного зображення полігону проведено за методом ISODATA кластерного аналізу, із застосуванням способу послідовного підвищення ступеня дискретизації зображення (від двох до чотирьох класів), що дозволило визначити певну підпорядкованість виділів в межах локальної структури ГП за оптичними характеристиками. Тематичну інтерпретацію результатів просторової диференціації ГП полігону за даними БСКС здійснено за фондовими матеріалами польового обстеження території та актуальними даними відбору проб з поверхневого шару ґрунту за регулярною мережею відбору. В результаті когерентного аналізу цих даних створено картосхему локальної структури ГП дослідного полігону (рис. 2).

З метою оцінювання якості просторової диференціації ГП за даними БСКС та визначення закономірного характеру варіювання ґрунтових властивостей у просторі здійснено геостатистичний експрес-аналіз даних точкового відбору проб з поверхневого шару ґрунту за допомогою глобального індексу Морана ( $I_M$ ) та його супутніх оцінок ( $Z$  – оцінки та  $p$  – значення). Слід нагадати, що  $I_M$  дозволяє оцінити результати відбирання проб у контексті нульової гіпотези, яка стверджує, що проаналізовані атрибути дослідного просторового об'єкту розподілені випадково, що рівнозначно його однорідності [24, с. 19-20; 25, с. 357-358]. Якщо врахувати, що  $p$ -значення це ймовірність похибки судження, то її маленькі значення разом з дуже високими або дуже низькими (негативними) значеннями  $Z$  – оцінки вказують на малу ймовірність того, що просторова структура може бути представлена нульовою гіпотезою. За результатами цього геостатистичного аналізу встановлено, що загальна площа полігону характеризується закономірним характером варіювання більшості з визначених показників (за винятком вмісту обмінного  $K^+$  та вмісту  $Mg^{2+}$  у водному витягу). В результаті просторової диференціації ГП за

даними БСКС, визначені виділи ґрунту виявилися вже однорідними за більшістю показників – загальним вмістом гумусу, складом обмінних катіонів, складом водного витягу (знак мінус в останній колонці табл. 1), що дозволяє зробити висновок про ефективність використаного методу моделювання локальної структури ґґ. Однак, слід визнати, що виділення однорідних елементів ґґ в межах цього полігону було вирішено лише частково. Так, закономірна складова у мінливості окремих обмінних катіонів та окремих гранулометричних фракцій характерна для третього та четвертого класу (співвідношення  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$  у складі обмінних катіонів, вміст мулистої фракції, гранулометричний показник структурності).

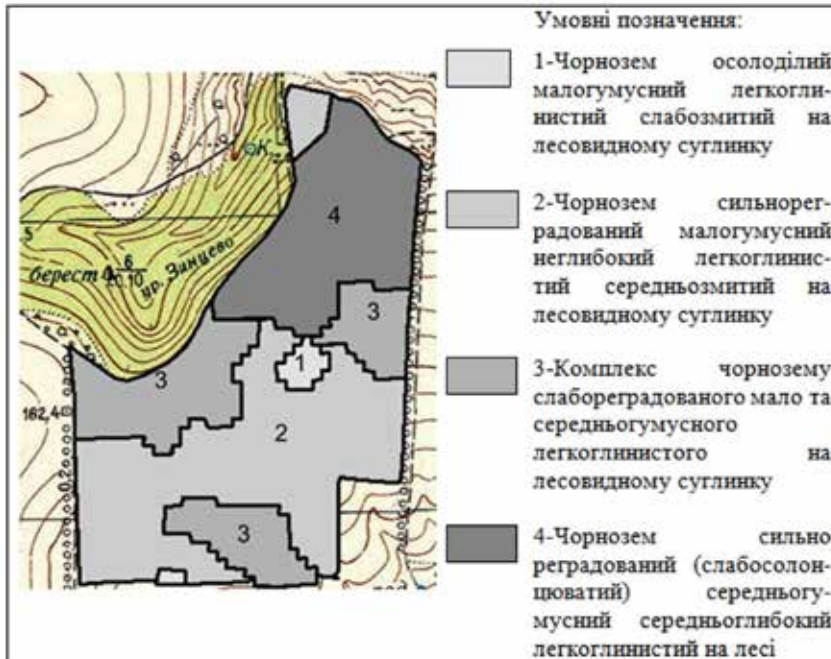


Рис. 2. Картосхема ґґ полігону «Лісова Стінка 2», що побудована за даними космічної зйомки

Для опису та параметризації неоднорідності ґрунтових властивостей у межах кожного з визначених за даними БСКС класів ґрунтів також здійснено геостатистичне моделювання за криґінг-аналізом даних точкового відбору проб за методом емпіричного байєсового криґінгу, що дозволяє моделювати окремі піднабори даних та автоматично враховувати невизначеності, які пов'язано з побудовою емпіричних варіограм. Аналіз побудованих в такий спосіб картограм підтверджує наявність в центральній частині полігону добре локалізованого виділу, який чітко відрізняється від околишньої площі за зниженим вмістом фізичної глини, звуженим співвідношенням обмінних  $\text{Ca}^{2+}$  до  $\text{Mg}^{2+}$ , значним вмістом водорозчинних  $\text{K}^+$  та  $\text{SO}_4^{2-}$ . Це надало підстави передбачити наявність в межах полігону чорнозему залишково – солонцюватого, які розвиваються на засолених глинах та для яких є притаманним зменшений вміст мулистої фракції в орному шарі за рахунок пептизації тонкодисперсних часток та їх переміщення з верхніх горизонтів в нижчі. Саме у весняний період ці ґрунти мають білястий відтінок поверхні оранки та

стають дуже відмінними від суміжних, не осолонцьованих різновидів чорноземів, що слід використовувати як надійну ознаку дешифрування цих ґрунтів за даними космічного сканування, які відзняте в оптичному діапазоні зйомки.

Таблиця 1

**Результати геостатистичного аналізу даних відбору проб на полігоні «Лісова Стінка 2» для окремих властивостей ґрунтів**

№ п/п	Клас	Геостатистичні показники			
		$I_M$	Z-оцінка	p	$\Sigma_{Get}$
1	Загальний вміст гумусу				
	Загальна вибірка	0,62	6,01	0,0000	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	-0,04	-1,64	0,09	-
	Клас 3	0,14	0,87	0,38	-
2	рН сольовий				
	Загальна вибірка	0,50	4,89	0,0000	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	-0,01	0,99	0,32	-
	Клас 3	0,49	2,50	0,01	+
3	Вміст $Mg^{2+}$ у складі обмінних катіонів				
	Загальна вибірка	0,27	2,67	0,008	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	-0,01	0,89	0,37	-
	Клас 3	-0,19	-0,76	0,45	-
4	Співвідношення $Ca^{2+}$ до $Mg^{2+}$ у складі обмінних катіонів				
	Загальна вибірка	0,38	3,81	0,0001	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	-0,004	0,99	0,32	-
	Клас 3	-0,60	-2,84	0,004	+
5	Вміст мілкового піску				
	Загальна вибірка	0,44	4,35	0,0000	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	-0,02	0,2	0,84	-
	Клас 3	0,19	1,08	0,27	-
6	Вміст фізичної глини				
	Загальна вибірка	0,23	2,32	0,02	+
	Клас 1	Не визначали			
	Клас 2	0,03	3,27	0,0001	+
	Клас 3	0,05	0,47	0,64	-
6	Клас 4	0,19	1,52	0,13	-

Примітка:  $I_M$  – індекс Морана; z- оцінка – стандартне відхилення; p – ймовірність похибки першого роду;  $\Sigma_{Get}$  – узагальнюючий висновок про наявність просторової структури в розподілі показнику ґрунту.

Дані геостатистичного моделювання також доводять певну відмінність схилу північної експозиції за загальним вмістом гумусу, рН сольовим, гідролітичною кислотністю, вмістом обмінного  $\text{Na}^+$ , водорозчинного  $\text{SO}_4$  у порівнянні зі схилом південної експозиції, що додатково обґрунтовує коректність картографічної моделі, що створено на рівні дискретизації 4 класи. В цій моделі четвертий клас практично повністю займає схил північної експозиції.

Для наочного представлення ступеня варіювання ґрунтових властивостей для кожного з визначених за даними БСКС класів ґрунтів, також використано робастні статистичні оцінки – медіанне значення, міжквартильна відстань (МКВ) та розмах варіювання (без врахування екстремумів та викидів), які підтверджують коректність просторової диференціації ГП полігону та частково представлено на рисунку 3.

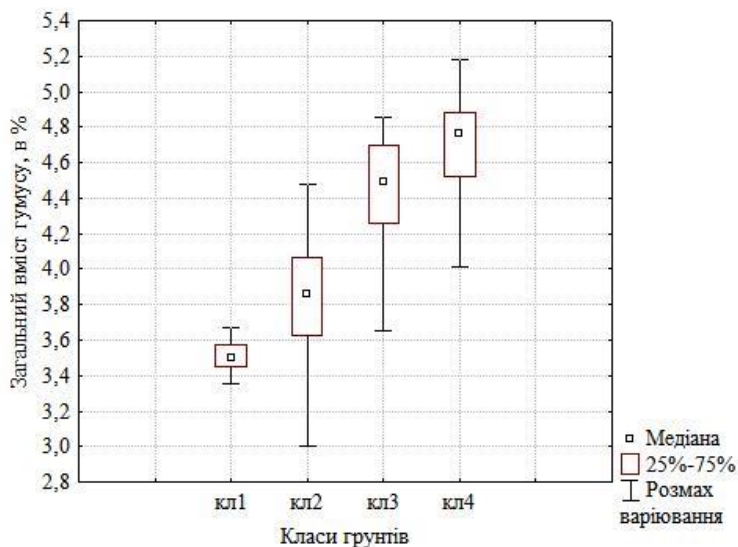
Таким чином, на основі просторового аналізу результатів класифікації зображення та геостатистичного моделювання розподілу комплексу ґрунтових ознак за методом кригінгу зроблено висновок, що добре локалізований ареал у центрі полігону «Лісова Стінка 2» представляє чорнозем осолоділий малогумусний легкоглинистий слабозмитий на лесовидному суглинку, які зазвичай «залягають на надзаплавних річкових терасах невеликими ділянками, гумусово-елювіальному горизонту яких властива «певна вилуженість від карбонатів, пластинчасте зложення та борошніста крем'янка» [26, с. 74]. У гранулометричному складі цих ґрунтів, зазвичай, відзначається значний вміст часток пилу, а також важливою ознакою таких чорноземів є кисла реакція ґрунтового розчину поверхневого горизонту та звужене співвідношення між увібраними  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$ , достатньо високий сумарний вміст  $\text{Na}^+$  та  $\text{K}^+$  (більше 3%), погіршення фізичних властивостей. Цікаво відзначити, що цей ґрунтовий виділ не було визначено раніше, за результатами великомасштабного обстеження ґрунтів. На схилі північної експозиції визначено чорнозем сильнореградований середньогумусний середньоглибокий легкоглинистий на лесоподібному суглинку, найбільш гумусований виділ в межах полігону, який є дуже відмінним за підвищеним значенням рН сольового та вмістом обмінного  $\text{Na}$ , значним варіюванням вмісту мулистої фракції. На схилі південної експозиції деталізовано розподіл чорнозему сильнореградованого малогумусного неглибокого легкоглинистого середньозмитого та чорнозему слабореградованого середньогумусного легкоглинистого на лесовидному суглинку, які виявилися найбільш неоднорідними за комплексом ґрунтових ознак – співвідношенням  $\text{Ca}^{2+}$  до  $\text{Mg}^{2+}$  у складі обмінних катіонів ( $I_M$  дорівнював від -0,6 до 0,37 з Z- оцінкою близько [2,81]), вмістом фракцій крупного пилу, мулу та за  $P$  (для яких  $I_M =$  від -0,004 до 0,76 з Z- оцінкою від 2,31 до 3,65), що свідчить про перехідні умови їх формування.

Сумісний, просторовий аналіз результатів картографічного моделювання з ЦМР полігону дозволив уточнити, що виділ чорнозему осолоділого займає верхню частину схилу південної експозиції з абсолютними відмітками поверхні від 152 м до 157 м, з нахилом поверхні близько 2,5 – 3,0°. Для інших ґрунтів є характерним значний розмах варіювання як за абсолютними висотами поверхні (від 125 м до 160 м), так й за її нахилом (від 2° до 10°), хоча четвертий клас розташовано лише в межах північної експозиції.

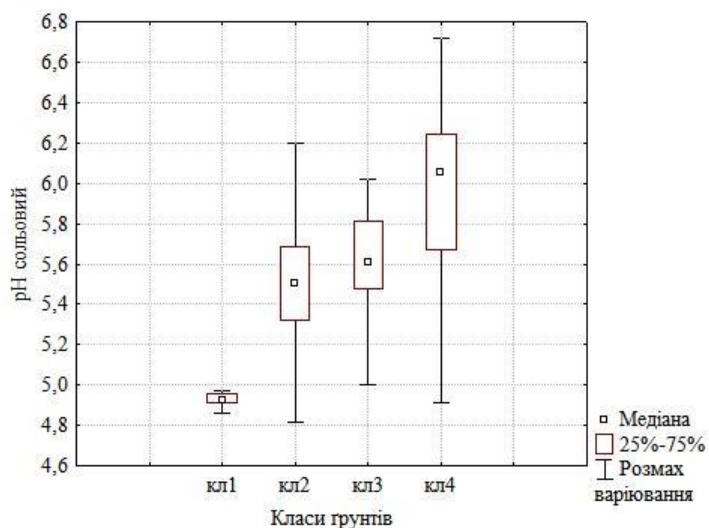
**Висновки.** Аналіз різноманітності методів, що складають методичну основу дослідження та параметризації неоднорідності ГП за даними БСКС дозволяє визначити відповідність даного наукового напрямку сучасній парадигмі раціонального або збалансованого використання природних ресурсів, яка актуалізує



широке впровадженням геоінформаційних підходів та високотехнологічних та точних методів досліджень в практику створення сучасних систем інформаційного забезпечення збалансованого землеробства.



а) загальний вміст гумусу



б) рН сольовий

Рис. 3. Квантильне представлення варіювання основних ґрунтових показників в межах класів ґрунтів, що визначено за даними космічної зйомки

Шляхом аналізу існуючих у світі методичних підходів щодо обробки та аналізу даних БСКС для формування систем інформаційного забезпечення глобальних та регіональних систем спостереження за станом навколишнього середовища визначено необхідність вдосконалення методів ґрунтового дешифрування для визначення складових локальних структур структури ГП та оцінки його неоднорідності в якості інформаційної основи.

За сумісним аналізом результатів класифікації космічного зображення дослідного полігону «Лісова Стінка 2» та геостатистичного моделювання за даними його наземного обстеження встановлено ефективність розроблених методів ґрунтового дешифрування даних БСКС високого просторового розрізнення для визначення та параметризації складових локальних структур ГП навіть у зоні поширення ґрунтів гумусово-акумулятивного типу ґрунтоутворення, які мають найнижчі значення оптичних характеристик та є слабо контрастними в усіх діапазонах зйомки.

За результатами геостатистичного експрес-аналізу даних точкового відбору проб за індексом Морана ( $I_M$ ) та його супутніми оцінками, встановлено, що результати класифікації даних БСКС коректно відображають просторову структуру мінливості ґрунтових властивостей в межах поверхневого шару.

За результатами досліджень отримано оптичні образи досліджених різновидів ґрунтів для створення електронного каталогу, що складатиме основу національної системи моніторингу ґрунтів та ГП за даними БСКС в системі інформаційного забезпечення збалансованого землеробства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Dale V. H., Brown S., Haeuber R. A. et al. Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land. Ecological Applications. 2000. Vol. 10 (3). P. 639-670.
2. Macdonald R.B., Hall F.G. Global Thematic Strategy for Soil Protection: Communication from the crop forecasting. *Science*. 1980. V. 208. P. 670-679.
3. King D. Jones R.J.A., Thomasson A.J. European Land Information Systems for Agro-environmental Monitoring. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 1995. 286 p.
4. Mosbech A., Ulf Hansen B. Comparison of satellite imagery and infrared aerial photography as vegetation mapping methods in an arctic study area; Jameson Land, East Greenland. *Polar Research*. 1994. V.13(1). P. 139-152. DOI: 10.1111/j.1751-8369.1994.tb00444.x.
5. Borgogno-Mondino E., Lessio A., Tarricone L., Novello V., de Palma L. A comparison between multispectral aerial and satellite imagery in precision viticulture. *Precision Agriculture*. 2018. V. 19 (2). P. 195-217. DOI: 10.1007/s11119-017-9510-0.
6. Биндич Т.Ю. Використання даних космічної зйомки для вивчення структури ґрунтового покриву та кількісної оцінки його неоднорідності. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2009. Вип. 72. С. 47-51.
7. Byndych T. Using Multispectral Satellite Imagery for Parameterisation of Eroded Chernozem Soil *Science Working for a Living: Applications of soil science to present-day problems*. 2017. Part II. P. 57-65.
8. Національний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
9. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: Підручник. К.: Знання, 2005. 511 с.
10. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
11. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настави щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT). [Чинний від 2006–04–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 36 с.

12. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). [Чинний від 2006–04–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 28 с. 14. ДСТУ ISO
13. 10381-3:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 3. Настанови з безпеки (ISO 10381-3:2001, IDT). [Чинний від 2006–04–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 24 с.
14. ДСТУ ISO 10381-4:2005. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 4. Настанови щодо процедури дослідження природних, майже природних та оброблених ділянок (ISO 10381-4:2003, IDT). [Чинний від 2006–10–01]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.
15. ДСТУ 4730:2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. [Чинний від 2008–01–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.
16. ДСТУ 4728:2007. Якість ґрунту. Визначання мікроагрегатного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського. [Чинний від 2008–01–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 15 с.
17. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
18. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2009–10–01]. К. : Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
19. ДСТУ 7908:2015. Якість ґрунту. Визначення хлорид-іона у водній витяжці. [Чинний від 2016-07-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 13 с.
20. ДСТУ 7909:2015. Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці. [Чинний від 2016-07-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 11 с.
21. ДСТУ 7944:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів натрію і калію у водній витяжці. [Чинний від 2016-09-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 9 с.
22. ДСТУ 7945:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці. [Чинний від 2016-09-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 11 с.
23. Методи аналізів ґрунтів і рослин: методичний посібник / за ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка, А.Д. Міхновської, Р.А. Розумної. Харків, 1999. Кн. 1. 160 с.
24. Moran P.A.P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*. 1950. V. 37 (1). P. 17-23.
25. H Li, CA Calder, N Cressie Beyond Moran's *I*: Testing for Spatial Dependence Based on the Spatial Autoregressive Model. *Geographical analysis*. V. 39 (4). P. 357-375.
26. Ґрунти Харківської області / В.Ф. Бобришова та ін. Харків: Вид-во «Прапор», 1970. 96 с.