

УДК 631.445:631.47:631.471

© Т.Ю. Биндич¹, Н.П. Агрес², 2010

¹Національний науковий центр “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського”, м. Харків

²Український науково-дослідний інститут природних газів, м. Харків

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ ТА СУЧАСНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ ҐРУНТІВ

Розроблено та опрацьовано алгоритм застосування багатоспектральних космічних знімків високої роздільної здатності для комплексного вивчення варіабельності ґрунтового покриву. Доведено можливість використання інформаційного показнику складності в якості інтегрального параметру для характеристики неоднорідності ґрунтового покриву. Запропоновано оцінку анізотропності скалярного поля вмісту фізичної глини в ґрунті для кількісного визначення ступеня просторового варіювання ґрунтів.

Ключові слова: багатоспектральні космічні знімки, геоінформаційні технології, неоднорідність ґрунтового покриву, інформаційна модель, ступінь анізотропності.

Вступ. Кількісне оцінювання просторової варіабельності ґрунтів та їх окремих властивостей пов’язано з багатьма теоретичними та прикладними питаннями ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів: вивчення генезису ґрунтів та ґрунтоутворювальних процесів; картографування ґрунтів та визначення особливостей структури ґрунтового покриву; планування та оптимізація польових ґрунтових обстежень; встановлення часової динаміки змін ґрунтів у ході природної еволюції та під впливом діяльності людини; моніторинг стану ґрунтового покриву та земельних ресурсів країни; об’єктивне оцінювання та бонітування ґрунтів тощо.

Детальний аналіз підходів та методів щодо вивчення закономірностей просторового варіювання властивостей ґрунтів показав, що за більш ніж сорокарічну історію розгляду проблеми багатьма дослідниками сформульовано основні теоретичні положення та розроблено загальновідомі методи визначення просторової неоднорідності ґрунтів, до яких відносять натурні, натурно-картометричні, картометричні, профільні та трансектні [1, 2]. Більшість з цих методів (наприклад натурні, профільні та трансектні) включає польове детальне обстеження ґрунтів у межах комплексних ґрунтово-геоморфологічних профілів або ділянок, що доз-

воляє визначити зміни властивостей ґрунтів у одному з напрямів (найчастіше вздовж схилів – за катенами), встановлення зв’язку ґрунтового покриву з рельєфом, рослинністю та гідрологічними умовами. При цьому необхідна ступінь детальності визначення просторової варіабельності ґрунтів досягається через зменшення (або звуження) кроку опробування та/або виконується шляхом закладки траншей. Зрозуміло, що основними недоліками цих методів є трудомісткість, виключно лінійний маршрут польового обстеження ґрунтів (що не дозволяє отримувати об’єктивну та дійсно просторову інформацію для визначення закономірностей варіювання), а також достатньо високий ступінь руйнівної дії на ґрунти. Картометричний та натурно-картометричний методи, які безумовно й досі переважають у практиці ґрунтознавства, засновано на кількісному обліку контурів ґрунтів і математико-статистичній обробці їх показників [1, 3]. Основним недоліком їх подальшого застосування для визначення просторової неоднорідності ґрунтів є використання в якості первинних даних картографічної інформації, яка здебільшого є застарілою та створюється із застосуванням інтуїтивних методів, що базуються на досвіді укладача карти ґрунтів. Практичне використання таких методів не можна вважати припустимим при врахуванні новітніх змін у методології та технології картографування ґрунтів, методах проведення ґрунтових досліджень та за умов підвищення сучасних вимог до об’єктивності використаної під час досліджень інформації.

З метою забезпечення сучасних вимог до точності (географічної та геометричної) і об’єктивності досліджень просторової варіабельності ґрунтів та їх окремих властивостей видається перспективним використання даних багатоспектрального космічного сканування, а саме знімків високої роздільної здатності, як первинної кількісної інформації про сучасний стан ґрунтів. На відміну від традиційних карт ґрунтів вони мають значну оглядовість, об’єктивно відображають характер земної поверхні та виконують її “природну генералізацію”. Водночас, космічні знімки є тим сучасним цифровим матеріалом, який завдяки своїй “різномасштабності” дозволяє проводити вивчення просторового розподілу ґрунтів на різних територіальних рівнях.

Таким чином, актуальною є розробка та всебічне опрацювання алгоритму кількісного визначення просторової варіабельності ґрунтів та їх окремих властивостей під час дешифрування даних багатоспектрального космічного сканування з використанням геоінформаційних технологій.

Матеріали, об’єкти та методи досліджень. Поставленої мети досягали шляхом проведення детального аналізу взаємозв’язку параметрів ґрунту та показників оптичної яскравості його поверхні під час дешифрування космічних знімків, опрацювання різноманітних методів кількісного визначення параметрів просторового варіювання ґрунтів із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС).

Під час досліджень було використано різнопланові матеріали сектору дистанційного зондування ґрунтового покриву ННЦ “ІГА імені О.Н. Соколовського”, зокрема архівні матеріали багатоспектральної зйомки космічного апарата *SPOT*, що виконана за нульової хмарності з роздільною здатністю до 20 м. Територіальним об’єктом обране поле-полігон, поверхня якого у момент зйомки не була вкрита посівами сільськогосподарської рослинності та відрізнялась найбільш складним малюнком космічного зображення, а також для якого раніше було проведено детальне ґрунтове обстеження [4]. На цьому полігоні, розташованому в Ясинуватському районі Донецької області, було досліджено шість ґрунтових розрізів та відібрано 148 проб ґрунту з поверхневого шару (0–10 см) для визначення основних найбільш стабільних ґрунтових параметрів, зокрема, вмісту гумусу (за методом Тюріна [5]) та гранулометричний склад (за методом Качинського [6]). Всі точки відбору проб ґрунту було прив’язано до географічної системи координат за допомогою приладів глобального позиціонування (*GPS*). У камеральних умовах проведено аналітичні дослідження відібраних проб ґрунту, за результатами яких створено узагальнені файли статистичної та обліково-довідкової інформації, що об’єднують дані за окремими властивостями ґрунтів і показниками оптичної яскравості ґрунтів для всіх точок опробування у табличній формі з вичерпною інформацією про географічні прив’язки, які отримано під час польового обстеження полігону.

У ході досліджень використовували статистичні методи та методи геоінформаційної обробки даних. Так, для географічної прив’язки, основної обробки, перетворень, загального статистичного аналізу зображення, проведення кластерного аналізу та створення карти ґрунтів використовували ГІС *TNT-lite*. Кореляційний та регресійний аналіз проведено з використанням пакету програм *Statistica*.

Результати та їх обговорення. На першому етапі проведено візуальне дешифрування космічного зображення, основною задачею якого є забезпечення максимально можливого збору тематичної інформації про територію та її схематичне ув’язування з прямими дешифрувальними

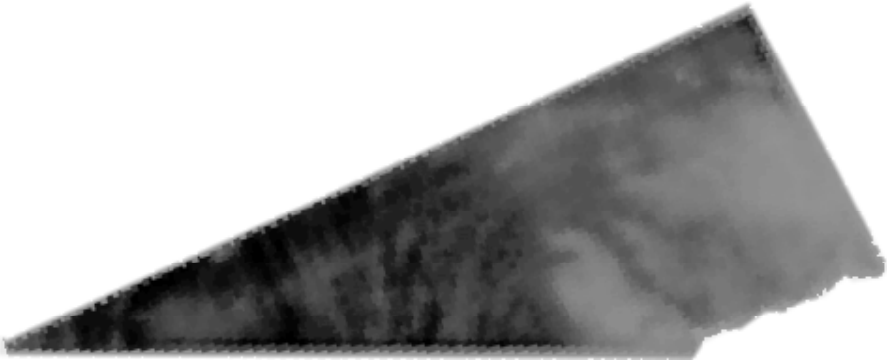


Рис. 1. Фрагмент синтезованого космічного зображення території полігону

ознаками: яскравістю та структурою зображення, сумісне використання яких дозволяє ідентифікувати виділи ґрунтів та накопичувати інформацію для оцінки стану ґрунтової поверхні. Відповідно до агроґрунтового районування, територія полігону віднесена до Донецького округу Дніпровсько-Донецької провінції, який характеризується складним ґрунтовим покривом (чорноземи звичайні різного гранулометричного складу, потужності профілю та ступеня змитості), що обумовлено надзвичайною геоморфологічною неоднорідністю території [7]. За архівними картографічними матеріалами, на території поля за результатами великомасштабного обстеження визначено шість ґрунтових виділів [4], які за контурами суттєво відрізняються від малюнку космічного зображення. На етапі основної обробки зображення були використанні комп'ютерні методи перетворення цифрових сигналів зображення з метою підвищення його контрастності, різкості та підкреслення контурів (рис. 1). Зіставлення перетвореного зображення з топографічною основою та створеної на її основі цифрової моделі рельєфу (ЦМР) дозволило визначити, що світлий фототон відповідає схилу південно-південно-східної експозиції, темний – більш пологістому схилу західної експозиції.

Статистичний аналіз цифрової інформації зображення проведено з метою обґрунтування принципів для його наступної дискретизації (або сегментації), що допускає змістовну інтерпретацію. Слід відзначити, що традиційно в ґрунтознавстві та агрохімії число класів визначається досить довільно залежно від об'єму сукупності, що класифікується, та конкретних завдань [8]. З метою пошуку більш обґрунтованих підходів щодо критеріїв дискретизації зображення були розраховані його загальні статистичні показники, багато з яких показали ступінь розходження абсо-

лютних значень оптичної яскравості: її мінімальне і максимальне значення склали відповідно 61 і 155, що визначило розмах варіювання – 95, при цьому коефіцієнт варіації склав 0,22, а середнє квадратичне відхилення – 19,4. Значно доповнила отриману статистичну інформацію побудова кривої розподілу оптичних яскравостей зображення, яка детально показала його особливості і дозволила дати найбільш загальну його характеристику. Так, переважний інтервал значень яскравості – від 66 до 89, виступає фоном для окремих контурів з більшими значеннями. Варіаційний ряд має не одну, не дві, а набагато більшу кількість мод, що можна розглядати як свідчення того, що зображення поєднує якісно різнорідні об’єкти [9]. Зроблено висновок, що досліджуване зображення може бути розділене максимум на 22 класи, а за певних обмежень за обліком яскравості з незначними частотами – на 11 класів. Задля уникнення помилок, які виникають на етапі статистичної обробки даних, проведено детальний аналіз структури зображення відповідно до методу побудови профілів оптичних яскравостей за окремими маршрутами – трансектами, що характеризуються найбільш складним малюнком зображення. Розгляд декількох профілів дозволив зробити висновок про існування в межах полігону 9–10 ареалів з інтервалом значень оптичної яскравості до 10 одиниць, що дозволяє достатньо деталізувати зображення для наступного етапу – проведення кластерного аналізу, в результаті якого створено електронну карту ґрунтових виділів (рис. 2).

Для підсумкового висновку про достатність та доцільність такої деталізації проведено узагальнення даних польового обстеження ґрунтів полігону. Вибірка поєднала дані щодо чорноземів зі вмістом гумусу 0,8–



Рис. 2. Електронна карта контурів ґрунтів, створена за даними космічного сканування

6,2 % і фізичної глини – 12,9–67,2 %. З огляду на значний, кореляційний зв’язок між цими ґрунтовими показниками та аналітичну похибку методів їх визначення зроблено висновок про пріоритетне використання вмісту фізичної глини (розмах варіювання – 55 %) як чинника обмеження деталізації при класифікуванні зображення. За оптимальної кількості класів це забезпечує крок зміни вмісту фізичної глини приблизно в 5 %, що є загалом досить інформативним показником для ґрунтознавця.

Комплексний розгляд результатів аналізу зображення, отриманої електронної карти ґрунтів та ЦМР території полігону підтвердив достатню високу детальність дискретизації зображення на рівні 9 класів для всебічного вивчення структури ґрунтового покриву, зокрема для загальної характеристики та кількісного визначення показників просторової варіабельності ґрунтів.

Отримана електронна карта ґрунтів надає багато об’єктивної, корисної інформації, а тому повинна використовуватись для опису та кількісного визначення показників однієї зі складових просторової варіабельності ґрунтів – планової неоднорідності, під якою слід розуміти просторово-структурне, абстрактне відображення розміщення ґрунтово-територіальних об’єктів, їх взаємного розташування в просторі та їх просторової структури з заданим ступенем геометричної та топологічної подібності. Певною мірою, кількість визначених у процесі створення цієї карти класів можна розглядати як перше наближення до отримання інтегрального показника просторової варіабельності ґрунтового покриву полігону. Але в багатьох наукових джерелах розроблена низка методів, які дозволяють поглибити рівень кількісного оцінювання планової неоднорідності просторово розподілених природних явищ та об’єктів [10], зокрема для ґрунтового покриву [1, 3]. Нами проведено критичний аналіз цих методів, результати якого дозволили зробити висновок щодо перспективності застосування інформаційного показника складності, який розраховується в процесі створення інформаційної моделі територіальної диференціації та може бути використаний для характеристики просторової варіабельності ґрунтів за даними космічної зйомки. Нагадаємо, що показником складності в інформаційній моделі територіальної диференціації є інформаційна (ентропійна) функція різноманітності, яка ґрунтується на імовірнісній формалізації територіального розчленування [11].

Проілюструємо розрахунок показника складності для отриманої нами електронної карти ґрунтів (рис. 1). По-перше, з використанням ГІС було визначено площу кожного з виділених ґрунтових ареалів S_i , по-друге, для

кожного ареалу встановлено значення ймовірності p_i , за яким знайдено величину функції $-p_i \log_2 p_i$ (табл. 1). По-третє, знайдені величини підсумовані для визначення інформаційного показника складності територіального поділу полігону, який становив 3,39. Цей показник має наступну змістовну інтерпретацію: одиничний ступінь складності (1 біт) має найпростіша структура, що являє собою поділ території на дві рівновеликі, а тому й рівномірні частини. Територія, яка представлена одним цілим контуром, має нульовий ступінь складності, оскільки її ймовірність дорівнює 1,0. Збільшення числа елементів територіального поділу або зміна у співвідношенні їхніх площ фіксується відповідними змінами інформаційного показника складності. Крім того, нами встановлені параметри, які

Таблиця 1. Показники інформаційної моделі територіальної диференціації ґрунтового покриття полігону (на рівні дискретизації 9 класів)

Номер з/п	Кластер	Номер елемента (ареалу, i)	Площа ареалу S_i , м ²	Ймовірність ареалу p_i	Значення величини $p_i \log_2 p_i$
1	1	1	104286,3	0,059	0,242
2	2	1	73382,16	0,042	0,191
3	3	1	83955,8	0,048	0,210
4		2	13923,8	0,008	0,055
5		3	14068,3	0,008	0,056
6		4	15272,2	0,009	0,060
7		5	24648,8	0,014	0,086
8	4	1	15595,6	0,009	0,061
9		2	29416,18	0,017	0,099
10		3	7711,8	0,004	0,034
11		4	13050,1	0,007	0,053
12	5	1	892,7	0,001	0,060
13		2	20220,5	0,012	0,074
14	6	1	2380,1	0,001	0,013
15		2	25541,1	0,146	0,405
16		3	13380,5	0,008	0,054
17	7	4	6700,5	0,004	0,031
18		1	8930,4	0,005	0,039
19	8	2	552693,8	0,315	0,525
20		1	149220,3	0,085	0,302
21		2	7223,3	0,004	0,033
22	9	3	5792,5	0,003	0,027
23		1	191789,9	0,109	0,349
24		2	67321,5	0,038	0,180
25		3	3329,7	0,002	0,017
26		4	75046,9	0,043	0,194
Загальні параметри					
Загальна площа, м ² – $S_{\text{ар}}$					1755774,0
Інформаційний показник складності (або неоднорідності) – H					3,39
Теоретична максимально можлива ступінь складності розчленування для даного поділу – H_{max}					4,70
Показник нерівноваженості – $\Delta H = H_{\text{max}} - H$					1,31
Показник відносно нерівноваженості – $I = \Delta H / H_{\text{max}}$					0,28

показують, наскільки складність територіальної диференціації залежить саме від числа елементів розчленування та наскільки – від співвідношення їхніх площ. Якщо складові частини територіального поділу були абсолютно рівновеликими, а відтак і рівно ймовірними, то інформаційний ступінь складності розчленування залежав би тільки від числа одиниць поділу і був би максимально можливим для даного розчленування:

$$H_{\max} = \log_2 n,$$

де n – число одиниць територіального поділу.

У нашому прикладі табличне значення H_{\max} складає 4,70 (табл. 1). Отже, для схеми територіального поділу полігону є дві інформаційні оцінки складності: 1 – дійсна, що дорівнює 3,39; 2 – теоретична, тобто максимально можлива для поділу на 26 ареалів, яка становить 4,70. Оскільки максимально можливий показник складності обчислено за умови абсолютно рівновеликого розчленування, то різниця між дійсною та максимальною оцінками існує за рахунок відхилення дійсних площ територіального поділу від теоретичного рівновеликого. Ця різниця буде показником незрівноваженості територіального розчленування (ΔH):

$$\Delta H = H_{\max} - H.$$

Для дослідженого полігону ΔH дорівнює 1,31, тобто за рахунок однакових площ ареалів ступінь складності територіальної диференціації полігону втрачає 1,31 біт складності. Зрозуміло, що інформаційний показник складності швидко зростає зі збільшенням числа одиниць поділу та зменшується зі збільшенням коливань їхніх розмірів. Показник незрівноваженості – абсолютна величина, яка характеризує незрівноваженість структурного розчленування в цілому. Відношення цієї величини до максимального ступеня складності є показником відносної незрівноваженості територіального розчленування (I):

$$I = \frac{\Delta H}{H_{\max}} = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}}.$$

У нашому прикладі I дорівнює 0,28 та показує, що кожна інформаційна одиниця складності даного територіального поділу внаслідок незрівноваженості (різних площ) втрачає 0,28 часток, тобто 28 %.

Розраховані показники інформаційної моделі територіальної диференціації ґрунтового покриття території є важливими інтегральними параметрами, які слід використовувати не тільки для характеристики просторо-

вої варіабельності ґрунтів, але й в якості одного з прошарків геоінформаційної бази даних для даної території.

Представлений вище алгоритм використання даних багатоспектрального космічного сканування для дослідження просторової варіабельності ґрунтів є лише одним з можливих напрямків. І дійсно, на створеній електронній карті в якості “ґрунтово-територіальних” об’єктів можуть виступати просторові структури ґрунтового покриву різного рівня та ступеня відмінності ґрунтових властивостей: елементарні ґрунтові ареали, ґрунтові сполучення та комбінації тощо. Нажаль, це не можна вважати достатнім для вирішення багатьох практично значимих інженерних завдань, які потребують кількісних даних саме щодо просторової варіабельності окремих властивостей ґрунтів для кожної ділянки території. Аналіз отриманого під час досліджень кількісного матеріалу дозволив зробити висновок, що для вирішення цього завдання можна використовувати матеріали космічної зйомки тільки за умови встановлення високого кореляційного зв’язку між показниками оптичної яскравості зображення (хоча б в окремих діапазонах сканування) та генетично обумовленими параметрами ґрунтів. При цьому проміжним результатом визначення просторової варіабельності окремих властивостей ґрунтів також будуть електронні картографічні матеріали, а саме створені за допомогою ГІС картограми вмісту цих параметрів ґрунту.

Для дослідного полігону кореляційний зв’язок показника оптичної яскравості космічного зображення з вмістом фракції фізичної глини гранулометричного складу ґрунту був достатньо високим ($r^2 = 0,76$), а тому в результаті регресійного аналізу отримано регіональну математичну модель, на основі якої в ГІС створено картограму вмісту даного параметру ґрунту. Отримана електронна карта розподілу окремої властивості ґрунту відкриває можливості до використання методичних підходів, започаткованих у теорії “поля” та моделях скалярних полів, зокрема спосіб оцінки анізотропності скалярного поля будь-якої ознаки природного об’єкта [11].

Під час проведення досліджень опрацьована повна послідовність дій щодо оцінки анізотропії поля вмісту фізичної глини для території полігону. Для цього обрано точку полігону, від якої прокладено лінійні профілі (трансекти) за азимутами: 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° (рис. 3). Для кожного з трансектів у автоматичному режимі розраховано основні статистичні дані, побудовано профіль, тренд просторового розподілу дослідженого показника та автокорелограми.

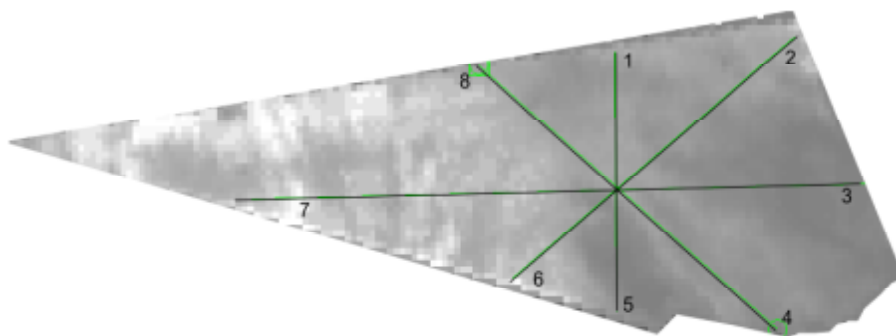


Рис. 3. Схема розміщення трансектів, використаних для оцінки анізотропності поля вмісту гранулометричних фракцій фізичної глини (числове значення кожного пікселя відповідає значенню вмісту фізичної глини)

Розгляд побудованих трендів та автокорелограм для профілів демонструє надзвичайну різноманітність характеру просторового розподілу фізичної глини залежно від просторової орієнтації. Хоча слід визнати, що доведеною просторовою закономірністю ознаки можна вважати тільки розподіл на трансекті № 4, тому що тільки його автокорелограма виявила періодичну складову у вигляді синусоїдальної хвилі з довжиною 260 метрів. Для трансектів № 2, 3, 6, 7, 8 можна зробити висновок про наявність тенденції змінювання просторового розподілу на підставі того, що змінювання від’ємної частини корелограми на позитивну здійснилося тільки в кінцевій її частині (або на великому лазі), що не можна інтерпретувати однозначно через неможливість продовжити послідовний ряд ознаки. За характером трендів, побудованих для профілів, зроблено висновок щодо можливої закономірності у розподілі ознаки для трансектів № 6 та № 8.

У якості оцінки ступеня анізотропності розглянуто відношення дисперсії за двома взаємно перпендикулярними азимутами [12]. Обчислена величина показує, в скільки разів мінливість поля за одним азимутом перевищує його варіацію в поперечному напрямку. Результат співставлення даних про загальні показники варіації вмісту гранулометричних фракцій фізичної глини та оцінки анізотропності (табл. 2) дозволяє твердити, що поле фізичної глини для території полігону анізотропне та має найвищу варіацію за лінією південно-південний схід (Пд.-ПдСх) → північно-північний захід (Пн-ПнЗх). Крім того, використана схема розміщення трансектів дозволила деталізувати області найбільшої варіації ознаки в межах полігону, а саме сектор між четвертим та п’ятим трансек-

Таблиця 2. Оцінка анізотропності поля фракцій фізичної глини гранулометричного складу ґрунтів дослідного полігону

Азимут	Дисперсія		Оцінка анізотропності ($A = \sigma_{\max}^2 / \sigma_{\min}^2$)
	σ^2	Відношення	
0°	σ_1^2	64,12	1,05
90°	σ_3^2	67,25	
45°	σ_2^2	51,12	1,35
135°	σ_4^2	38,01	
90°	σ_3^2	67,25	2,19
180°	σ_5^2	30,71	
135°	σ_4^2	38,01	3,81
225°	σ_6^2	144,89	
180°	σ_5^2	30,71	2,89
270°	σ_7^2	88,67	
225°	σ_6^2	144,89	1,38
315°	σ_8^2	105,44	
0°	σ_1^2	64,12	1,38
270°	σ_7^2	88,67	
45°	σ_2^2	51,12	2,10
315°	σ_8^2	105,44	

том, а також між другим та восьмим. Зрозуміло, що подібні висновки потребують додаткового змістовного пояснення, слід з'ясувати: дія яких факторів спричиняє таку загальну закономірність просторової неоднорідності ґрунтів. Для дослідного полігону основним чинником неоднорідності є геоморфологічні особливості території, які визначили прояв ерозійних процесів, а саме посилене перенесення речовини по поверхні та відповідне йому збільшення вмісту фракцій фізичного піску за рахунок підняття підорного шару в процесі обробки ґрунту.

Висновки. Під час проведених досліджень розроблено та опрацьовано повну послідовність процедур щодо оброблення даних багатоспектрального космічного сканування високої роздільної здатності на основі використання новітніх геоінформаційних технологій для комплексної оцінки просторової варіабельності ґрунтів та їх окремих властивостей у межах дослідної території. На підставі отриманих результатів встановлено, що інформаційний показник складності та оцінка анізотропності поля окремих ґрунтових показників можуть бути ефективно застосовані як інтегральні параметри характеристики просторового варіювання ґрунтів у практиці планування, управління та використання земельних ресурсів країни. Найближчою перспективою розвитку даного напрямку роботи з даними космічної зйомки можна вважати опрацювання інформації за представленим алгоритмом для полігонів, які розташовано в різних ґрунтово-кліматичних зонах України, що забезпечить необхідним кількісним ма-

теріалом дослідження з типізації структур ґрунтового покриву, а також дозволить визначити основні закономірності просторового варіювання ґрунтів та їх окремих властивостей у різних регіонах країни.

1. Фридланд В.М. Структура почвенного покрыва. – М.: Мысль, 1972. – 423 с.
2. Годельман Я.М. Неоднородность почвенного покрыва и использование земель. – М.: Наука, 1981. – 200 с.
3. Годельман Я.М. Пути выявления неоднородности почвенного покрыва и применения параметров его структуры для учета и оценки земельных ресурсов // Структура почвенного покрыва и ее значение для картирования почв, учета и использования почвенных ресурсов: Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. – Кишинев, 1980. – С. 78–80.
4. Шатохин А.В., Лыдин М.А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037–1044.
5. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини.
6. ДСТУ 4730:2007 Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського.
7. Кисель В.Д. Почвенный покров и районирование черноземной территории Украины // Черноземы СССР (Украина). – М.: Наука, 1970. – С. 26–38.
8. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 292 с.
9. Вольф В.Г. Статистическая обработка опытных данных. – М.: Колос, 1966. – 254 с.
10. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. – М.: Мысль, 1986. – 179 с.
11. Червяков В.А. Концепция поля в современной картографии. – Новосибирск: Наука, 1978. – 149 с.
12. Геренчук К.І., Раковська Е.М., Топчієв О.Г. Польові географічні дослідження. – К.: Вища шк. 1975. – 248 с.

Использование данных космической съемки и современных геоинформационных технологий для исследования пространственной вариабельности почв Т.Ю. Бындыч, Н.П. Агрес

РЕЗЮМЕ. Разработан и апробирован алгоритм использования многоспектральных космических снимков высокой разрешающей способности для комплексного изучения вариабельности почвенного покрыва. Доказана возможность использования информационного показателя сложности в качестве интегрального параметра для характеристики неоднородности почвенного покрыва. Предложено оценку анизотропности скалярного поля содержания физической глины в почве использовать для количественного определения степени пространственного варьирования почв.

Ключевые слова: многоспектральные космические снимки, геоинформационные технологии, неоднородность почвенного покрыва, информационная модель, степень анизотропности.

Use of space survey data and modern geoinformation technologies for investigation of soil space variability T.Yu. Byndych, N.P. Agres

SUMMARY. The algorithm of multispectral space high-resolution images application for complex studying variability of a soil cover is developed and proved. An opportunity of application of the information complication index as a integral parameter for description soil cover heterogeneity is proved. The assessment of the scalar field anisotropy of soil physical clay for quantitative determination of soil space variability degree was suggested.

Keywords: multispectral space images, geoinformation technologies, heterogeneity of a soil cover, information model, anisotropic degree.