

УДК 528.88:[502.5:63]-021.388](045)

<https://doi.org/10.31713/vs1202611>

**Максютов А. О.** [1; ORCID ID: 0000-0002-5486-634X],

к.п.н., доцент,

**Хіміч М. І.** [1; ORCID ID: 0000-0003-2383-5636],

доктор філософії, старший викладач

*<sup>1</sup>Уманський національний університет, м. Умань, Черкаська область*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ АГРОЛАНДШАФТІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

У статті проаналізовані науково-методичні підходи щодо визначення та оцінювання ландшафтного різноманіття агроландшафтів за матеріалами дистанційного зондування Землі з космосу. Розглянуто теоретичне підґрунтя ландшафтометричного підходу – від класичних концепцій ландшафтно-екології до сучасних геоінформаційних технологій. Проаналізовано п'ять базових категорій просторової структури агроландшафтів: розмір, форма, цілісність, фрагментація та різноманіття фрагментів. Обґрунтовано систему з десяти ключових ландшафтних метрик для моніторингу агроландшафтів Лісостепу України, які демонструють статистично значущий кореляційний зв'язок з рівнем розораності, часткою природних угідь і щільністю лісосмуг. Запропоновано п'ятирівневу класифікацію стану агроландшафтів за індексами ландшафтного різноманіття та встановлено порогові значення для кожного класу. Описано удосконалену методику автоматизованого дешифрування класів наземного покриття шляхом синтезу оптичних знімків Landsat-8 та радіолокаційних даних Sentinel-1, що забезпечує просторове розрізнення 8,25 м при використанні безкоштовних даних. Показано практичне застосування ландшафтних метрик для аналізу динаміки землекористування, моделювання сценаріїв оптимізації агроландшафтів та оцінки ефективності ґрунтозахисних контурно-меліоративних заходів.

Встановлено, що дистанційне зондування Землі постає як ключовий інструмент оперативного виявлення змін, які неможливо відстежити традиційними методами польового обстеження через обмежений доступ до території. По-друге, дослідження

Результаті проведеного дослідження підтвердили високу ефективність використання супутникових даних Sentinel-2 для виявлення змін у структурі агроландшафтів. Багатоспектральні індекси, зокрема NDVI

(нормалізований індекс рослинності), дозволяють простежити динаміку рослинного покриву, рівень деградації земель та ознаки ерозійних процесів. Інтеграція цих даних у геоінформаційне середовище дає змогу створювати просторові моделі, які відображають як сучасний стан територій, так і тенденції трансформації агроландшафтів у часі.

**Ключові слова:** землевпорядкування; трансформація угідь; збалансоване землекористування; ландшафтне різноманіття; дистанційне зондування Землі; агроландшафт.

**Постановка проблеми.** Актуальність теми нашого дослідження обумовлена тим, що збереження ландшафтного різноманіття належить до першочергових екологічних завдань, визначених Всеєвропейською стратегією зі збереження біологічного та ландшафтного різноманіття [10], Конвенцією про біологічне різноманіття та Європейською ландшафтною конвенцією [11]. В аграрних екосистемах України ця проблема набуває особливої уваги, оскільки надмірна розораність рівнинної частини країни призвела до суттєвого скорочення природних ландшафтів та деградації агробіорізноманіття.

Відповідно до концепції збалансованого розвитку агроекосистем, ключовим механізмом регулювання речовинно-енергетичного балансу у довкіллі є просторова структура агроландшафту [9, С. 65]. Надмірна фрагментація природного наземного покриву порушує природні зв'язки в екосистемах, зменшує їхню стійкість та здатність до самовідновлення. Незадовільна щільність мережі полезахисних і протиерозійних об'єктів у агроландшафтах України знижує як їхню екологічну стійкість, так і продуктивність сільськогосподарського виробництва в цілому.

Разом з тим існуюча система агроекологічного моніторингу зосереджена переважно на рівні окремих суб'єктів господарювання та посівів (агроценозів), а не ландшафтних структур. Це унеможливорює системну оцінку стану ландшафтного різноманіття та ухвалення науково обґрунтованих управлінських рішень. Отже, пошук нових критеріїв та вдосконалення методів оцінки ландшафтного різноманіття із залученням засобів дистанційного зондування Землі є актуальним науковим завданням сучасної агроекології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні засади ландшафтної екології та методології аналізу просторової структури ландшафтів закладені у працях: Барановського В. А. [1],

Гродзинського М. Д. [2], Мудрака О. В. [8], Gardner R., M. Turner M. [15] та E. Neef [14] та інших. Сучасну систему кількісних ландшафтних індексів (ландшафтних метрик) розробив К. МакГарігал [14], результатом є програмне забезпечення FRAGSTATS, яке нині налічує понад сто статистико-математичних алгоритмів.

В Україні дослідженням просторової структури ландшафтів присвячені праці: Дідуха Я. П. [3], Ільєнка Т. В. [6], Тараріка О. Г., Сиротенка О. В., Волошина В. І. [7], Стадника А. П. [9], Готиняна В. С., Кучми Т. Л. [12], Лялько В. І., Попова М. О. [13] та інших. Питання взаємозв'язку ландшафтної структури з біорізноманіттям розглядали Cushman S. [14], Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. [18] та інші. Проте проблема вибору оптимальних ландшафтних метрик та їхньої інтерпретації для умов агроландшафтів Лісостепу України залишається відкритою.

Розвиток методів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій відкрив нові можливості для кількісної оцінки ландшафтного різноманіття за супутниковими знімками. Зокрема, дані систем Landsat і Sentinel Європейського космічного агентства перебувають у вільному доступі, що робить їх привабливими для масштабного моніторингу [17, с. 87]. Проте потенціал комбінованого застосування оптичних і радарних знімків для визначення ландшафтного різноманіття агроєкосистем України залишається недостатньо дослідженим.

**Мета і завдання досліджень.** Систематизувати та презентувати науково обґрунтовану систему методів індикації ландшафтного різноманіття агроландшафтів за даними дистанційного зондування Землі, придатну для використання у системі агроєкологічного моніторингу та управління землекористуванням.

Для досягнення мети вирішувались такі завдання: обґрунтувати критерії оцінки ландшафтного різноманіття агроландшафтів Лісостепу; виявити ефективні ландшафтні метрики шляхом кореляційного аналізу; запропонувати шкалу інтерпретації індексів; удосконалити методику автоматизованого картографування наземного покриття з використанням поєднання оптичних і радарних даних; продемонструвати практичне застосування метрик для аналізу динаміки землекористування та моделювання сценаріїв оптимізації агроландшафтів.

Об'єктом дослідження є агроландшафтне різноманіття Лісостепової зони України (Уманський район Черкаської області).

Дослідження здійснювалось на 20 тестових аграрних полігонах площею 2500 га кожен в Уманському районі Черкаської області. Вибір ділянок проводився з урахуванням різного рівня розораності, виразних деградаційних процесів і наявності різноманітного рослинного покриву.

Основними методами досліджень виступали: аерокосмічний (дешифрування супутникових знімків RapidEye 5 м, Landsat-8, Sentinel-1 у програмах ErdasImagine 10, BeamVisat 5 та ArcGIS 10.2); ландшафтометричний (розрахунок 39 індексів ландшафтного різноманіття у FRAGSTATS 4.2 двома способами – у фіксованих та ковзаючих вікнах); статистичний (кореляційний аналіз Спірмена та лінійна множинна регресія у SPSS 16.0); картографічний (векторизація і зонування результатів у ГІС); польовий (наземна верифікація дешифрування, вимірювання NDVI прибором GreenSeeker handheld crop на 108 полях пшениці озимої).

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Сьогодні глобальні та регіональні дані про сільське господарство є необхідними для задоволення різноманітних суспільних потреб. Зокрема, національна й міжнародна аграрна політика, світова торгівля та продовольча безпека значною мірою залежать від достовірної та своєчасної інформації про виробництво сільськогосподарських культур. Вирішення цього завдання забезпечується шляхом організації моніторингових досліджень природного середовища. Система агромоніторингу має оперативно надавати відомості про стан агроресурсного потенціалу, зокрема посівів, на локальному, регіональному та національному рівнях.

Супутникові дані моніторингу стану природних ресурсів – земельних, водних і біологічних – набувають дедалі більшого значення в процесах управління, ухвалення рішень і прогнозування в аграрному секторі економіки. Поєднання дистанційного зондування із моделюванням дає змогу своєчасно отримувати інформацію про стан агроecosystem на значних територіях із належною просторовою деталізацією та за відносно невеликих витрат.

Сучасний ландшафтометричний підхід ґрунтується на системній парадигмі та екосистемній концепції. Ландшафт розглядається як гетерогенна територія, що складається з кластеру взаємодіючих екосистем, які закономірно повторюються у просторі. Структуру ландшафту прийнято аналізувати на трьох ієрархічних рівнях: рівень

окремого фрагменту (патчу), рівень класу (типу наземного покриття) та ландшафтний рівень.

Всеєвропейська стратегія визначає ландшафтне різноманіття як «формальний вираз численних зв'язків між індивідуумом або суспільством та топографічно окресленою територією, зовнішній прояв яких є результатом впливу природних та людських чинників протягом певного часу» [10].

Ландшафтна структура впливає на ряд екологічних процесів: збереження біорізноманіття, забезпечення екосистемних послуг, здатність природних систем до самовідновлення. Основними структурними факторами, що визначають ці процеси, є: площа ареалу виду, фрагментованість та ізолюваність біотопів, крайовий ефект та різноманіття середовищ існування.

Надмірна фрагментація природних угідь спричиняє чотири взаємопов'язані наслідки: втрату середовища існування, посилення крайових ефектів, зменшення розміру природних фрагментів та зростання ізоляції популяцій. Ці процеси призводять до скорочення генетичного різноманіття, ослаблення популяцій і підвищення вразливості екосистем до інвазій та кліматичних збурень.

Загально визнаним інструментарієм кількісної оцінки ландшафтної структури є ландшафтні метрики – статистико-математичні алгоритми, що обчислюють специфічні просторові характеристики ландшафтів (форму, площу, конфігурацію та розподіл елементів) на основі категорійних карт наземного покриття. На сьогодні описано понад сто подібних індексів. Вони зосереджені у програмному забезпеченні FRAGSTATS, розробленому Лабораторією ландшафтної екології Університету Массачусетс під керівництвом К. МакГарігала [16, С. 691].

На підставі аналізу наукових джерел та нормативно-методичних документів визначено перелік критеріїв ландшафтного різноманіття, що мають значення для збереження біорізноманіття та стабільності агроекосистем. Їх об'єднано у п'ять основних категорій просторової структури агроландшафту (табл. 1).

Для кожного критерію було відібрано відповідні ландшафтні метрики з бібліотеки FRAGSTATS 4.2. Загалом для аналізу тестових аграрних полігонів були розраховані значення 39 індексів. Кореляційний аналіз виконувався між значеннями індексів та трьома ключовими параметрами структури агроландшафтів: рівнем розораності (%), часткою природних угідь (%) та сумарною довжиною

лісосмуг (м) у межах тестових аграрних полігонів. Граничним значенням суттєвої залежності вважалось  $R > 0,6$  при  $p < 0,05$  за Спірменом [18, С. 28].

Таблиця 1  
Критерії оцінки різноманіття агроландшафтів Лісостепу України [2]

Категорія структури	Рівень фрагменту	Рівень класу	Рівень ландшафту
Розмір	Площа окремого природного біотопу	Рівень лісистості; щільність лісосмуг	Частка природних угідь; довжина межі між природними біотопами
Цілісність	–	Наявність природних ядер, ключових ділянок	–
Форма	Складність форми природної ділянки (крайовий ефект)	–	–
Фрагментація	–	Рівень фрагментації; відстань між біотопами	Наявність екологічних коридорів
Різнманіття	–	–	Кількість класів; рівномірність їх розподілу

За результатами кореляційного аналізу встановлено, що 10 індексів із 39 мають статистично значущий зв'язок ( $R > 0,7$ ;  $p < 0,001$ ) з вибраними параметрами структури агроландшафтів (табл. 2). Зокрема, 10 метрик корелюють з рівнем розораності та часткою природних угідь, а 14 – з довжиною лісосмуг.

Варто зазначити, що деякі з виявлених ефективних індексів корелюють між собою (утворюючи чотири функціональні групи), що свідчить про їхню часткову взаємозамінність. Наприклад, у групу

емпірично близьких входять ED, PARA, CONTIG, LSI, PLADJ та AI з коефіцієнтом взаємної кореляції  $R > 0,99$ .

Таблиця 2

Система оптимальних ландшафтних метрик для оцінки  
аглоландшафтів Лісостепу [2]

Індекс (скорочення)	Категорія	Рівень застосування	Зв'язок з показниками тестових аграрних полігонів
Найбільший фрагмент (LPI)	Розмір	Клас/ ландшафт	Лісосмуги: -0,65
Щільність меж (ED)	Розмір	Клас/ ландшафт	Лісосмуги: 0,97
Розподіл ядер (CAI)	Цілісність	Клас прир. угідь	Розораність: -0,73
Різноманіття Шеннона (SHDI)	Різноманіття	Ландшафт	Лісосмуги: 0,81; розораність: -0,78
Рівномірність Сімпсона (SIEI)	Різноманіття	Ландшафт	Прир. угіддя: 0,77; розораність: -0,83
Контакт (CONTAG)	Фрагментація	Ландшафт	Розораність: 0,88
Окружність (CIRCLE)	Форма	Клас	Розораність: -0,74
Щільність фрагментів (PD)	Фрагментація	Клас/ ландшафт	Лісосмуги: 0,80
Близькість (PROX)	Фрагментація, ізоляція	Клас прир. угідь	Розораність: 0,65
Зчеплення (COHESION)	Фрагментація	Клас/ ландшафт	Лісосмуги: -0,74

Це дозволяє застосовувати один з них (рекомендовано ED або PARA) замість усієї групи, скорочуючи обсяг аналізу без втрати інформативності. Отримані результати узгоджуються з висновками S. A. Cushman та ін. щодо емпірично надлишкових ландшафтних метрик [16, С. 703].

Для вивчення функціонального значення ландшафтної структури щодо продуктивності агроєкосистем виконано регресійний аналіз ландшафтних метрик та нормалізованого вегетаційного

індексу (NDVI) пшениці озимої. NDVI визначався за даними супутникової зйомки Landsat-5 та підтверджувався наземними вимірюваннями на 108 полях у Уманському районі.

Як додаткові предиктори у моделі множинної лінійної регресії враховувались максимальна крутизна схилу поля (за ЦМР ArcGIS) та тип ґрунту. За результатами аналізу встановлено, що 26 % дисперсії значень NDVI пояснюється включеними в модель ландшафтними індексами (коефіцієнт кореляції Пірсона – 0,507; коефіцієнт детермінації  $R^2$  – 0,257; значущість за критерієм Фішера  $p < 0,05$ ; тест Дарбіна – Ватсона – 1,845). Автокореляція між залишками відсутня, що підтверджує якість моделі [15, С. 401].

Найбільший вплив на значення NDVI справляли індекс щільності меж (ED), індекс розподілу ядер (CAI), індекс контакту (CONTAG) та індекс різноманіття Шеннона (SHDI) ( $p < 0,05$ ). Отримані результати свідчать, що ландшафтне різноманіття, яке кількісно описується цими індексами, сприяє підвищенню продуктивності посівів через покращення послуг запилення та біологічного контролю шкідників. Це підтверджує доцільність включення ландшафтних метрик у розрахунок вартості екосистемних послуг агроландшафтів.

Значення ландшафтних метрик є відносними показниками, тому виникає потреба у розробці шкали їхньої екологічної інтерпретації. За основу прийнята агроекологічна класифікація структури агроландшафтів, що розподіляє їх на п'ять класів залежно від рівня розораності та частки природних угідь [9, С. 74].

Застосування регресійного аналізу дозволило встановити порогові значення ландшафтних метрик для кожного класу. Методика розроблялась лише для тих шести індексів, для яких коефіцієнт детермінації регресійної моделі перевищував 50 % (тобто індекс достовірно відображає відповідний структурний показник). Для чотирьох індексів (CIRCLE, CORE, DCORE, PROX) коефіцієнт детермінації виявився нижче порогового, що свідчить про складнішу нелінійну залежність та вимагає окремого вивчення (табл. 3).

Апробація запропонованої методики на території Уманського району показала, що значна частина району оцінюється як оптимальні за індексом різноманіття Шеннона. Південно-східна частина Уманського району характеризується як критична (надмірна розораність, SHDI  $< 0,38$ ), що вказує на необхідність вжиття невідкладних заходів з оптимізації структури землекористування.

Таблиця 3

Порогові значення індексів ландшафтного різноманіття для класифікації стану агроландшафтів [2]

Стан агроландшафту	Розораність	Природні угіддя	SHDI	SIDI	SHEI	SIEI	CONTAG
Оптимальний	<20 %	>80 %	>1,34	>0,65	>0,66	>0,76	<66
Добрий	20–37 %	63–80 %	1,21–1,34	0,60–0,65	0,59–0,66	0,69–0,76	66–69
Задовільний	37–54 %	46–63 %	1,07–1,21	0,55–0,60	0,52–0,59	0,62–0,69	69–73
Незадовільний	54–70 %	30–46 %	0,94–1,07	0,50–0,55	0,46–0,52	0,56–0,62	73–76
Критичний	>70 %	<30 %	<0,94	<0,50	<0,46	<0,56	>76

Коректне визначення ландшафтних метрик потребує точної карти наземного покриття з просторовим розрізненням не менше 5–10 м. Комерційні знімки цього класу (RapidEye, SPOT, WorldView) є ефективними, але дорогими. Тому частиною дослідження стало обґрунтування можливості використання безкоштовних знімків Landsat-8 (30 м) та Sentinel-1 для отримання мультиспектральних зображень з достатнім просторовим розрізненням [14].

Супутниковий апарат Sentinel-1, оснащений радаром із синтезованою апертурою (SAR), надає знімки з розміром пікселя 5×10 м і є повністю відкритим для використання. Принципова відмінність від оптичних знімків полягає в тому, що радарний сигнал реєструє геометричні та фізичні параметри поверхні і не залежить від хмарності та атмосферних умов, що особливо важливо для оперативного моніторингу.

Для синтезу оптичних і радарних даних порівнювались два методи: метод головних компонент (PCA) та метод перетворення Брові (Brovey Transform). Відповідно до результатів оцінки точності класифікації, метод перетворення Брові виявився ефективнішим: він дозволив отримати мультиспектральне зображення з просторовим розрізненням 8,25 м і точністю розпізнавання сільськогосподарських

угідь 95,77 % (помилка – 4,23 %), що порівнянно з точністю комерційних знімків RapidEye 5 м (помилка – 4,76 %) (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняльна оцінка точності класифікації наземного покриття при різних типах обробки супутникових даних [2]

Тип даних	Ліс, км <sup>2</sup>	Трав. рослинність, км <sup>2</sup>	С.-г. угіддя, км <sup>2</sup>	Загальна помилка, %
Еталон (RapidEye 5 м)	530	144	945	–
Landsat 30 м	676	117	451	>50 для с.-г.
Landsat + злиття Брові (8,25 м)	485	140	985	4,23 для с.-г.
RapidEye 5 м (класифік.)	570	153	900	4,76 для с.-г.

Окрім вдосконалення алгоритму синтезу, у дослідженні здійснено деталізацію європейського класифікатора наземного покриття CORINE Land Cover до четвертого рівня ієрархії для категорії сільськогосподарських угідь України. Визначено 20 класів четвертого рівня із описом дистанційних та наземних ознак дешифрування. Це дозволяє здійснювати детальніший моніторинг структури посівних площ і сівозмін у системі аерокосмічного моніторингу та інтегрувати українські дані у загальноєвропейські бази дистанційне зондування Землі [6, С. 7].

Також виявлено залежність значень ландшафтних метрик від просторового розрізнення вхідних даних. Індекси групи різноманіття (SHDI, SIDI, SHEI, SIEI) є найменш чутливими до зниження розрізнення: між вибірками 250 м (MODIS) та 30 м (Landsat) встановлено кореляцію  $R > 0,62$  ( $p < 0,001$  за Пірсоном). Це дозволяє замінювати дані з розрізненням від 30 м на дані 250 м для оперативної регіональної оцінки ландшафтного різноманіття без суттєвої втрати якості результатів [14].

Для аналізу динаміки ландшафтного різноманіття використовувались дані MODIS з розрізненням 250 м за 2023–2024 рр. Розраховані значення індексів фрактальної розмірності (FRAC), різноманіття Шеннона (SHDI) та однорідності Сімпсона (SIEI)

дозволили простежити міжрічну мінливість структури агроландшафтів. В Уманському районі виявлено обернену залежність між площею сільськогосподарських угідь і значеннями індексів ландшафтного різноманіття ( $R = -0,85$ ;  $p < 0,01$  за Пірсоном). Зменшення площі орних земель у 2023–2024 рр. та у 2025 р. відповідало найвищим значенням індексів SHDI та SIEI за увесь розглянутий період.

Для оцінки ефективності різних стратегій оптимізації агроландшафтів було змодельовано три сценарії для двох полігонів із різним рівнем сільськогосподарського освоєння (12 та 64 % ріллі відповідно): 1) закладання лісосмуг завширшки 15 м уздовж доріг і посеред великих полів (>100 га); 2) формування смуг трав'яної рослинності аналогічної ширини; 3) виведення ерозійно деградованих ділянок зі складу орних земель. За більшістю індексів усі три сценарії покращують ландшафтне різноманіття порівняно з поточним станом, причому найістотніший ефект спостерігається на полігоні з переважанням орних земель (64 % ріллі): збільшення SIDI до 0,92 при поточному значенні 0,76 [7, С. 9].

Окремо оцінено ефективність ґрунтозахисної контурно-меліоративної системи землеробства, що передбачає виведення зі складу орних земель ділянок на схилах крутизною понад  $3^\circ$  та їх залуження чи залісення. У межах Уманського району 11,38 км<sup>2</sup> сільськогосподарських угідь розташовано на схилах з таким кутом нахилу, що становить 1,9 % від загальної площі ріллі. Реалізація відповідних заходів збільшить значення SHDI в середньому на 2,64 % в Уманському районі. Для окремих полігонів приріст є значно вищим: ТАП М28 – +10,84 %, ТАП К12 – +9,94 %. Навіть помірне (5 %) підвищення врожайності, зумовлене покращенням екосистемних послуг, цілком компенсує скорочення посівних площ.

**Висновки.** Систематизовано науково-методичні підходи до індикації ландшафтного різноманіття агроландшафтів і визначено, що їх просторову структуру доцільно оцінювати за п'ятьма ознаками на трьох ієрархічних рівнях. Обґрунтовано систему з 10 ландшафтних індексів, які мають тісний статистичний зв'язок із рівнем розораності, часткою природних угідь і щільністю лісосмуг.

Встановлено, що ландшафтні метрики пояснюють 26 % варіації продуктивності пшениці озимої, причому найбільший вплив мають ED, CAI, CONTAG і SHDI. Запропоновано п'ятирівневу шкалу оцінки стану агроландшафтів із пороговими значеннями ключових індексів.

Удосконалено методику класифікації наземного покриву на основі поєднання даних Landsat-8 і Sentinel-1, що забезпечило високу точність (95,77 %). Доведено ефективність впровадження контурно-меліоративної системи землекористування, яка підвищує різноманіття агроландшафтів і є економічно доцільною.

Обґрунтовано доцільність використання дистанційного зондування для оцінки ландшафтного різноманіття, що сприяє ефективному управлінню земельними ресурсами. Вдосконалення системи агроекологічного моніторингу визначено як важливу умову сталого розвитку аграрного виробництва.

1. Барановський В. А. Екологічний стан агроландшафтів та шляхи його оптимізації. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2006. Вип. 93. С. 68–78.
2. Гродзинський М. Д. Виміри та показники ландшафтного різноманіття. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. № 5. С. 283–291.
3. Дідух Я. П. Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем. *Український фітоценологічний збірник*. 2005. № 1. С. 3–14.
4. Закон України від 28.04.2021 № 1423-IX «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#n1474> (дата звернення: 26.02.2026).
5. Земельний кодекс України / Верховна Рада України. Київ: Парлам. вид-во, 2002. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (дата звернення: 21.02.2026).
6. Ільєнко Т. В. Оцінювання вологозабезпеченості агрофітоценозів за даними дистанційного зондування землі з космосу: дис. канд. с.-г. наук : 03.00.16. Київ, 2014. 205 с.
7. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Волошин В. І. Використання космічних технологій в агропромисловому комплексі України. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 7. С. 5–9.
8. Мудрак О. В. Ландшафтне різноманіття як основа планування й функціонування екологічної мережі. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 20–26.
9. Стадник А. П. Структурно-функціональна організація агроландшафтних систем. *Вісник ХНАУ. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство»*. 2013. № 1. С. 65–74.
10. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. 1995. URL: [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994\\_711](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_711) (дата звернення: 22.02.2026).
11. Конвенція про біологічне різноманіття. П'ятий національний звіт України. Міністерство екології та природних ресурсів України. 2015. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ua/ua-nr-05-uk.pdf> (дата звернення: 25.02.2026).
12. Готинян В. С., Кучма Т. Л. Дослідження стану природних територій методами дистанційного зондування землі з високим просторовим розрізненням. *Вісник геодезії та картографії*. 2005. № 1. С. 36–39.
13. Лялько В. І., Попов М. О. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: посіб. Київ: Наукова думка, 2006. 360 с.
14. McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. *University of Massachusetts, Amherst*, 2022. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (дата звернення: 20.02.2026).
15. Turner M. G., Gardner R. H., O'Neill R. V. *Landscape ecology in theory*

and practice: pattern and process. New York: Springer, 2024. 401 p. **16.** Cushman S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 8. P. 691–703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002> (дата звернення: 23.02.2026). **17.** European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. EEA Report. Copenhagen, 2021. No. 2. 87 p. **18.** Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. Washington, 1976. 28 p.

## REFERENCES:

1. Baranovskiy V. A. Ekolohichnyi stan ahrolandshaftiv ta shliakhy yoho optymizatsii. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. Kyiv, 2006. Vyp. 93. S. 68–78.
2. Hrodzynskiy M. D. Vymiry ta pokaznyky landshaftnoho riznomanittia. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015. № 5. S. 283–291.
3. Didukh Ya. P. Teoretychni pidkhyody do stvorennia klasyfikatsii ekosystem. *Ukrainskyi fitotsenolohichnyi zbirnyk*. 2005. № 1. S. 3–14.
4. Zakon Ukrainy vid 28.04.2021 № 1423-IX «Pro vnesennia zmin do deiaknykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vdoskonalennia systemy upravlinnia ta derehuliatcii u sferi zemelnykh vidnosyn». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#n1474> (data zvernennia: 26.02.2026).
5. Zemelnyi kodeks Ukrainy / Verkhovna Rada Ukrainy. Kyiv: Parlam. vyd-vo, 2002. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (data zvernennia: 21.02.2026).
6. Iliencko T. V. Otsiniuvannia volohozabezpechenosti ahrofitotsenoziv za danymy dystantsiinoho zonduvannia zemli z kosmosu: dys. kand. s.-h. nauk: 03.00.16. Kyiv, 2014. 205 s.
7. Tarariko O. H., Syrotenko O. V., Voloshyn V. I.. Vykorystannia kosmichnykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2007. № 7. S. 5–9.
8. Mudrak O. V. Landshaftne riznomanittia yak osnova planuvannia y funktsionuvannia ekolohichnoi merezhi. *Ahroekolohichnyi zhurnal*. 2012. № 3. S. 20–26.
9. Stadnyk A. P. Strukturno-funktsionalna orhanizatsiia ahrolandshaftnykh system. *Visnyk KhNAU. Seriia «Gruntoznavstvo, ahrokhimii, zemlerobstvo»*. 2013. № 1. S. 65–74.
10. Vseievropeiska stratehiia zberezhennta biolohichnoho ta landshaftnoho riznomanittia. 1995. URL: [http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994\\_711](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/994_711) (data zvernennia: 22.02.2026).
11. Konventsiia pro biolohichne riznomanittia. P'iaty natsionalnyi zvit Ukrainy. Ministerstvo ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. 2015. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ua/ua-nr-05-uk.pdf> (data zvernennia: 25.02.2026).
12. Hotynian V. S., Kuchma T. L. Doslidzhennia stanu pryrodnykh terytorii metodamy dystantsiinoho zonduvannia zemli z vysokym prostorovym rozrznenniam. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*. 2005. № 1. S. 36–39.
13. Lialko V. I., Popov M. O. Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia Zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia: posib. Kyiv: Naukova dumka, 2006. 360 s.
14. McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. *University of Massachusetts, Amherst*, 2022. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html> (data zvernennia: 20.02.2026).
15. Turner M. G., Gardner R. H., O'Neill R. V. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. New York: Springer, 2024. 401 p.
16. Cushman S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*. 2023. Vol. 8. P. 691–703.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002> (data zvernennia: 23.02.2026). **17**. European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. EEA Report. Copenhagen, 2021. No. 2. 87 p. **18**. Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey Professional Paper. Washington, 1976. 28 p.

---

**Maksiutov A. O.** [1; ORCID ID: 0000-0002-5486-634X],  
Candidate of Pedagogical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
**Khimich M. I.** [1; ORCID ID: 0000-0003-2383-5636],  
Ph.D., senior teacher

*<sup>1</sup>Uman National University, Uman, Cherkasy region*

## **DETERMINATION OF LANDSCAPE DIVERSITY OF AGROLANDS BASED ON REMOTE SENSING DATA**

The article analyzes scientific and methodological approaches to determining and assessing the landscape diversity of agricultural landscapes based on materials from remote sensing of the Earth from space. The theoretical basis of the landscapemetric approach is considered - from classical concepts of landscape ecology to modern geoinformation technologies. Five basic categories of the spatial structure of agricultural landscapes are analyzed: size, shape, integrity, fragmentation and diversity of fragments. A system of ten key landscape metrics for monitoring agrolandscapes of the Forest-Steppe of Ukraine is substantiated, which demonstrate a statistically significant correlation with the level of plowing, the share of natural lands and the density of forest belts. A five-level classification of the state of agrolandscapes according to landscape diversity indices is proposed and threshold values for each class are established.

An improved method for automated decoding of land cover classes by synthesizing Landsat-8 optical images and Sentinel-1 radar data is described, which provides a spatial resolution of 8.25 m when using free data. The practical application of landscape metrics for analyzing land use dynamics, modeling scenarios for optimizing agrolandscapes, and assessing the effectiveness of soil protection contour and reclamation measures is shown.

It has been established that remote sensing of the Earth appears as a key tool for the rapid detection of changes that cannot be tracked by traditional field survey methods due to limited access to territories.

The results of the study confirmed the high efficiency of using Sentinel-2 satellite data to detect changes in the structure of agricultural landscapes. Multispectral indices, in particular NDVI (Normalized Difference Index

**vegetation), allow us to trace the dynamics of vegetation cover, the level of land degradation and signs of erosion processes. The integration of these data into the geoinformation environment makes it possible to create spatial models that reflect both the current state of territories and the trends in the transformation of agricultural landscapes over time.**

**Keywords:** land management; land transformation; balanced land use; landscape diversity; remote sensing of the Earth; agricultural landscape.

Отримано/ Received: 28.02.2026  
Прийнято до друку / Accepted: 13.03.2026  
Опубліковано/ Published: 27.03.2026

