

10. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) / В.Р. Клос, М. Бірке, Е.Я. Жовинський та ін. // Пошукова та екологічна геохімія. К.: ІГФМ. — № 1. — 2012. — С. 51–67.
11. *Медведев В.В.* Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи / В.В. Медведев. — Х.: Антикава, 2002. — 428 с.
12. *Bowen H.J.M.* Environment Chemistry of the Elements. / H.J.M. Bowen. — London — New-York — Toronto — Sydney — San-Francisco: Academic Press, 1979. — 250 p.

УДК 631.4 : 631.47: 631.459КП

ОЦІНЮВАННЯ ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Т.Л. Кучма, О.В. Сиротенко

Інститут агроекології і природокористування НААН

Розглянуто питання екологічної оптимізації структури сільськогосподарських ландшафтів та систем землекористування з використанням ландшафтних метрик (індексів різноманіття), отриманих за даними дистанційного зондування Землі, для розв'язання актуальної проблеми відтворення ландшафтного та біологічного різноманіття внаслідок інтенсифікації сільськогосподарської діяльності. Окрім екологічної та соціальної користі, екосистеми з високим ступенем різноманіття можуть виявляти більшу стійкість та продуктивність порівняно з нижчим, що позитивно впливатиме також на економічну складову. Застосування даних ДЗЗ для визначення ландшафтних індексів дає змогу об'єктивно та оперативно оцінювати ландшафтне різноманіття, а також створювати оптимальні моделі агроландшафтів та системи землекористування.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, ландшафтне різноманіття, ландшафтні метрики.

Серед основних цілей сталого сільськогосподарства є досягнення екологічно оптимальної структури землекористування з урахуванням ландшафтної та потенційної перспектив. Функції екосистем залежать від просторового контексту, в т.ч. від структури ландшафту. Відомо, що ландшафтне різноманіття, в структуру якого входять ділянки з природною рослинністю, знижує негативний вплив сільськогосподарської діяльності на навколишнє природне середовище [1]. Тому структурна неоднорідність ландшафту має вирішальне значення для стабільності агроекосистем [2], а також їх рентабельності, що було продемонстровано у дослідженнях зв'язку між продуктивніс-

тю сільськогосподарських культур та ландшафтним різноманіттям [3, 4].

Важливим аспектом ландшафтної організації є правило необхідного різноманіття, що повторює загальний системний закон, за якого існування і функція будь-якої системи можливі тільки у разі співіснування взаємодіючих, різнорідних, але взаємодоповняльних елементів. Ландшафт підпорядковується також загальному правилу причинно-наслідкових зв'язків. Зміна будь-якого компонента екосистеми спричиняє зміну усіх інших компонентів та екосистеми загалом. Стійкість ландшафту полягає у його здатності зберігати свою інваріантну структуру і функції під впливом зовнішніх чинників, у т.ч. природних та антропогенних. Таким чином, для ведення сталого

© Т.Л. Кучма, О.В. Сиротенко, 2014

сільського господарства існує необхідність оцінки того, наскільки трансформована структура агроландшафтів є ефективною для виконання екологічних, економічних і соціальних функцій. Відсутність системи моніторингу ландшафтної структури та послаблення контролю за експлуатацією земель спричиняє нераціональне використання біотичного потенціалу ландшафту загалом та агроекосистеми зокрема.

Застосування індексів ландшафтного різноманіття (ландшафтних метрик), визначених за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дає змогу об'єктивно та оперативно здійснювати оцінку ландшафтного різноманіття, обирати оптимальну модель організації території та прогнозувати зміни у структурі ландшафтів.

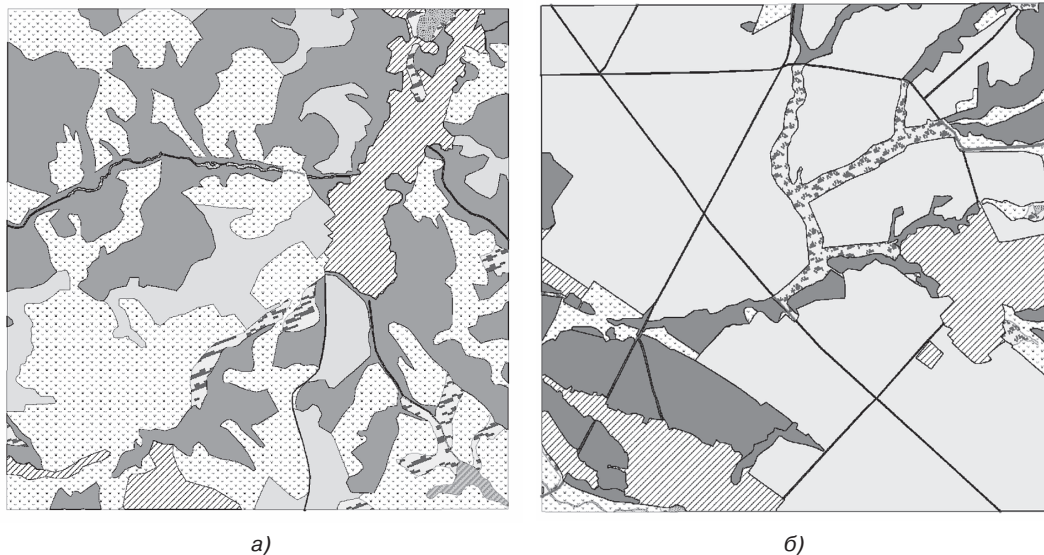
Мета дослідження – вибір та апробація оптимальних ландшафтних метрик на тестовому агроландшафті Центрального Лісостепу України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Територія дослідження розташована у центральній частині України, у лісостеповій кліматичній зоні в межах Канівського адміністративного р-ну Київської обл. Орні землі району досліджень, як і багатьох інших регіонів країни, становлять понад 70% території. Недосконала просторова структура агроландшафтів, зумовлена високою розораністю сільськогосподарських угідь і відповідно невисокою питомою вагою природних елементів, призводить до деградації ландшафтного різноманіття, міграції ареалів поширення видів та зменшення біорізноманіття. Спостерігається надмірна фрагментація природного рослинного покриву на ізольовані ділянки, незадовільна щільність ерозійно-захисної мережі, переважає монокультури, висока частка орних земель та розорювання ерозійно-небезпечних схилів та лук і водостічних улоговин до межі лісу або річки у ландшафті, що порушує екологічну цілісність та стійкість території [4]. Для оцінки можливості використання ландшафтних метрик у районі досліджень було обрано два тестові полігони площею 25 км² кожен, з різним

рівнем сільськогосподарського освоєння (12 та 64% орних земель від загальної площі тестового полігону відповідно).

У дослідженнях ландшафтного різноманіття зазвичай використовують два підходи. Перший полягає у якісному аналізі ландшафтної структури за ландшафтними картами. Ландшафтне різноманіття у такому разі розглядають як кількість та частоту трапляння природних територіальних комплексів у межах певної території [5, 6]. Інший підхід ґрунтується на аналізі матеріалів ДЗЗ. Ландшафтне різноманіття за такого підходу визначається спектральними властивостями елементів ландшафтів та значною мірою залежить від просторового, спектрального та радіометричного розрізнення аерокосмічного зображення [7]. Наш підхід базувався на об'єктно-орієнтованій класифікації аерокосмічних знімків для виділення класів ландшафтної структури та подальших розрахунків ландшафтних метрик, ефективних для кількісної оцінки ландшафтного різноманіття. Так, важливе значення має спосіб виділення елементів структури ландшафту, оскільки від її класифікації залежить суб'єктивність в оцінках ландшафтного різноманіття. У нашому дослідженні було використано європейський трирівневий класифікатор CORINE CLC2000 для автоматизованої класифікації рослинно-земельного покриву (типів біотопів) тестових полігонів. Для кожного класу були визначені відповідні ознаки дешифрування, зокрема для супутникових знімків космічного апарата «Січ-2». Перелік ознак налічував як прямі (форма, розмір, тон, колір, розподіл поля характеристик яскравості), так і непрямі ознаки (просторове розташування елементів структури та їх взаємне поєднання, приуроченість одних об'єктів до інших, сліди функціонування об'єкта, повторюваність та особливості розміщення однорідних об'єктів) [8]. За результатами дешифрування була створена карта біотопів тестових аграрних полігонів (рисунок). Кожен біотоп (клас) було оцінено за критеріями природності та подібності в екосистемі. Оскільки клас «чагарники»



Умовні позначення

	населені пункти
	дороги
	с.-г. угіддя
	ліс / лісосмуги
	трав'яна рослинність
	чагарники

Карта ґрунтово-земельного покриття: тестові полігони а) № 1; б) № 2

в межах тестових полігонів був представлений переважно залісеними ярами, класи «чагарники» та «ліс» отримали високий коефіцієнт подібності за типом середовища існування.

На наступному етапі були розраховані ландшафтні метрики з використанням програмного забезпечення Fragstat та ArcGIS Desktop. Ландшафтні метрики описують ландшафтну структуру за допомогою кількісних характеристик різноманіття, в т.ч. площі, форми, ліній межі, різноманіття для одержання відповідної інформації, що використовується як вхідні дані для порівняння різних сценаріїв моделі землекористування та вибору найбільш оптимальної структури ландшафту. Нині для дослідження, моніторингу та оцінки

ландшафтної структури розроблено значну кількість ландшафтних метрик [9]. У нашому дослідженні для аналізу були обрані такі ландшафтні метрики:

- неоднорідність середовищ існування (НН): кількість виділених окремих елементів рослинного покриття (кількість середовищ існування);
- різноманіття середовищ існування (PD): кількість типів середовищ існування на одиницю площі;
- індекс форми ландшафту (LSI): стандартизована загальна оцінка щільності меж елементів рослинного покриття; дорівнює 1, якщо ландшафт складається з одного квадратного елемента та необмежено зростає за збільшення нерегулярної форми ландшафту і/або за збільшення довжини

меж елементів у ландшафті (екотонний ефект);

- евклідова відстань до найближчих сусідів (ENND): відстань (м) від одного елементу до іншого найближчого елементу такого самого типу (класу);

- модифікований індекс різноманіття Сімпсона (MSIDI): частка ландшафту з елементами різного типу (класу); індекс дорівнює 0, якщо ландшафт містить тільки один клас (тобто різноманіття немає) та зростає зі збільшенням кількості класів, а також у разі просторово рівномірного пропорційного розподілу класів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до наведених на рисунку результатів класифікації аерокосмічних зображень, два тестові полігони значно відрізняються за просторовою структурою та формою структурних елементів. Перший полігон містить переважно природні угіддя з невеликою часткою орних земель (близько 12%). У структурі другого тестового полігона переважають орні землі (64%), тому його складові елементи здебільшого мають прямокутну форму.

Ландшафтні метрики були розраховані для порівняння різних сценаріїв оптимізації землекористування. Зокрема, були розроблені такі сценарії з урахуванням

ландшафтної структури тестових полігонів:

- сценарій 1 — створення лісосмуг (15-метрових буферних зон) уздовж доріг і створення лісосмуг (буферних зон) посеред полів, що мають площу понад 100 га;

- сценарій 2 — створення буферних зон з природною трав'яною рослинністю (15-метрових санітарних зон) уздовж доріг і посеред полів з площею понад 100 га (такий сценарій набагато легше реалізувати, ніж перший, оскільки фермеру потрібно лише залишати буферні зони без обробки);

- сценарій 3 — збільшення території з природною рослинністю в буферних зонах, або на землях, що потребують реабілітації (зокрема, для тестового полігона № 1 — створення 10-метрових буферних зон з трав'яною рослинністю навколо орних земель; для тестового полігона № 2 — два поля з еродованими землями перевести в землі під природні угіддя з подальшим їх штучним або природним залуженням).

За результатами досліджень (таблиця) було виявлено, що перший сценарій просторової організації території (створення лісосмуг) має більш оптимальні величини індексів ландшафтного різноманіття, ніж другий зі створенням трав'яних буферних зон, однак загалом величини індексів першого і другого сценаріїв доволі подібні між

Індекси ландшафтного різноманіття

Сценарій/Індекси	HN*	PD	LSI	END	MSIDI
<i>Тестовий полігон № 1</i>					
Поточна ситуація	74	2,9708	8,9060	169,87	1,1161
Сценарій 1	75	3,0110	9,1157	168,33	1,1131
Сценарій 2	73	2,9307	9,1145	173,00	1,1133
Сценарій 3	76	3,0511	10,2750	167,57	1,1009
<i>Тестовий полігон № 2</i>					
Поточна ситуація	92	3,6392	8,4677	119,94	0,7595
Сценарій 1	132	5,2210	11,6894	74,8	0,7995
Сценарій 2	131	5,1814	11,6967	79,01	0,8162
Сценарій 3	130	5,1419	11,6056	76,11	0,9235

*Примітка:** умовні скорочення наведено вище у тексті.

собою. До того ж для першого тестового полігона поточна ситуація є певною мірою більш відповідною за деякими індексами ландшафтної структури, зокрема за MS-IDI, аніж у разі змодельованих сценаріїв для цього полігона. Також загалом індекси ландшафтного різноманіття для першого полігона були більш оптимальними порівняно з другим. Це можна пояснити високою часткою природних територій у ландшафті першого полігона, за якої вжиття стандартних заходів, таких як створення буферних зон, не виявили своєї ефективності. Поряд із тим змодельовані сценарії оптимізації ландшафтної структури другого полігона відрізнялися оптимальними індексами порівняно з поточною ситуацією, що підтверджує ефективність застосування відповідних заходів.

Отже, результати досліджень засвідчили, що індекси ландшафтного різноманіття, визначені за даними ДЗЗ, можуть бути використані як інструмент кількісної оцінки прогнозованих або змодельованих змін у ландшафтах.

ВИСНОВКИ

Інструмент для оцінки ландшафтної структури та для вибору необхідної форми екологічно раціональної просторової організації агроєкосистем, збереження біорізноманіття та екологічної стабільності потрібно використовувати як на регіональному рівні адміністративного управління земельними ресурсами, так і на рівні планування окремих агрогосподарств. Засоби оцінювання повинні бути простими, ефективними та кількісно об'єктивними, доступними для використання як експертами, представниками місцевих органів влади, так і фермерами. Як інструменти для просторового планування структури агроландшафту та вибору екологічно оптимальної моделі землекористування шляхом кількісної оцінки, конфігурації, щільності

та агрегації класів ландшафтної структури можуть бути метрики ландшафтного різноманіття, а матеріали ДЗЗ об'єктивною основою їх визначення.

Порівняння ландшафтних індексів різних моделей організації території робить можливим кількісне обґрунтування оптимальної ландшафтної структури, а також вибір необхідних заходів для збереження та збільшення ландшафтного та біологічного різноманіття, раціонального використання земельних ресурсів і підвищення продуктивності агроєкосистем без збільшення площі орних земель.

ЛІТЕРАТУРА

1. *McGarigal K.* Introduction to Landscape Ecology [Електронний ресурс] / К. McGarigal. — Режим доступу: <http://www.umass.edu/landeco/about/landeco.pdf>
2. *Forman R.T.T.* Landscape Ecology / R.T.T. Forman, M. Godron. — NY: John Wiley and Sons, Inc., 1986. — P. 733–740.
3. *Abson D.J.* Landscape diversity and the resilience of agricultural returns: a portfolio analysis of land-use patterns and economic returns from lowland agriculture / D.J. Abson, E.D. Fraser, T.G. Benton // Agriculture & Food Security. — No. 2. — 2013. — P. 2–15.
4. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity / L.G. Carvalheiro, R. Veldtman, A.G. Shenkute et al. // Ecology Letters. — No. 14. — 2011. — P. 251–259.
5. *Викторов А.С.* Рисунок ландшафта / А.С. Викторов. — М.: Мысль, 1986. — С. 180.
6. *Николаев В.А.* Космическое ландшафтоведение: Учебное пособие / В.А. Николаев. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. — 81 с.
7. *Пузаченко Ю.Г.* Биологическое разнообразие в биосфере: системологический и семантический анализ / Ю.Г. Пузаченко. — СПб.: Биосфера, 2010. — Т. 1, № 1. — С. 25–37.
8. Проект INTAS по разработке автоматизированной технологии классификации земных покрытий: научные задачи, основные результаты и перспективы / Л. Бродский, Е.И. Бушуев, В.И. Волошин и др. // Космична наука і технологія. — 2009. — Т. 15, № 2. — С. 36–48.
9. *McGarigal K.* FRAGSTATS: Spatial Analysis Program for Quantifying Landscape Structure [Електронний ресурс] / К. McGarigal — Режим доступу: <http://iale.org.uk/files/pdfs/What-is-Fragstats.pdf>