

7.2. Геоморфологічні предиктори в моделюванні просторового варіювання екологічних режимів

О.В. Жуков, Ю.І. Грицан, О.В. Потапенко, Д.С. Ганжа

Техногенна трансформація довкілля постійно зростає, тому особливо актуальним стає пошук доступних індикаторів оцінки її стану. Сьогодні проводиться фітоекологічна оцінка рослинності територій, що піддалися антропогенному впливу. Наприклад, залізничних насипів (Арепьева, 2017); техногенних ландшафтів гірничозбагачувальних і металургійних комбінатів; майданних та лінійних об'єктів газотранспортної інфраструктури агросистем (Сметана, 2002; Сметана, Перерва, 2007).

Однією з проблем сучасності є урбанізація території країн з великою чисельністю міського населення. Виникає питання незабезпеченості міст природно-ресурсним потенціалом, що виражається в недостатній площі зелених насаджень, розвитку небезпечних геодинамічних процесів (карстово-суффозійні, зсувні, підтоплення тощо), у забрудненні повітряного та водного середовищ. Екологічний моніторинг у містах є особливо актуальним у зв'язку з динамічністю, потужністю та багатофакторністю антропогенних впливів (Гончаренко, Голик, 2015). Біомоніторинг методами біоіндикації і біотестування – це сучасна тенденція в екологічному моніторингу (Жуков, 2015; Жуков, Губанова, 2015). У результаті формується інтегральна оцінка якості середовища проживання, в тому числі і людини (Соколов, Жуков, 2014). Рослини – найбільш зручні і доступні об'єкти для проведення досліджень (Романюк та ін., 2016).

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами відбувається скрізь у населених пунктах, навколо АЗС, уздовж доріг – усюди, де є пов'язана з нафтою діяльність людини (Герасимова та др., 2003). У ситуації збіль-

шення антропогенного впливу все більшої цінності набувають біоценози з високими показниками біологічного різноманіття, особливо в населених пунктах (Аверинова, Полюянов, 2011). Відновлення земель після впливу нафтопродуктів відбувається довше, ніж у випадку інших антропогенних впливів. Навіть невеликі дози нафти і нафтопродуктів змінюють видовий і кількісний склад рослинності та ґрунтової фауни (Смольникова, Ледовская, 2011).

Завданнями класифікації синантропних угруповань є дослідження можливості їх використання як джерела рослинних ресурсів, моніторингу впливу і пошуку методів зниження синантропізації на біологічне різноманіття природних екосистем (Миркин та др., 2007). Експерти пропонують розрізняти три моделі організації синантропних рослинних угруповань, що формуються під впливом людини: R-модель – угруповання сегетальних бур'янів по полях однорічних культур та ініціальних стадій відновлювальних сукцесій; R→CRS-модель – серіальні угруповання наступних стадій відновлювальних сукцесій. CRS→S-модель – серіальні угруповання аллогенних сукцесій під впливом випасання худоби та інших зовнішніх фактів (Миркин та др., 2007).

Вплив розливів нафтопродуктів від оливонаповненого обладнання об'єктів електричних мереж на ґрунти залишається недостатньо дослідженим. Досліджено вплив електромагнітних полів і шуму електричних підстанцій на людей (Соснина, Маслеева, 2011; Шевченко, 2009). Крім того, встановлено закономірності трансформації угруповань хортобіонтних павуків мезофітного луку під високовольтною лінією електричної передачі (Prokopenko, 2015). За кордоном проводиться

ся оцінка флористичного складу територій електричних підстанцій і охоронних зон ліній електропередачі під час нового будівництва і реконструкції об'єктів електричних мереж. Мета таких досліджень – виявлення рідкісних видів рослин і реалізація заходів щодо їх охорони (*Tennessee Valley Authority, 2013; Power Supply Upgrade Lee Street Substation, Central Review of Environmental Factors, 2014*). Деякі результати попередніх досліджень біологічного різноманіття на території електричних підстанцій України представлено в публікаціях авторів (*Потапенко та ін., 2016; Потапенко, 2016; Жуков, Потапенко, 2017*).

В Україні рудеральна рослинність залишається недостатньо дослідженою (*Конограй, Осипенко, 2015*).

7.2.1. Характеристика регіону та методи дослідження фітоценотичного різноманіття

У якості моделі об'єктів, які мають інтенсивний техногенний вплив на довкілля, нами розглянуто електричні підстанції. Електричні підстанції розташовано на території усієї Дніпропетровської області (рис. 7.8.).

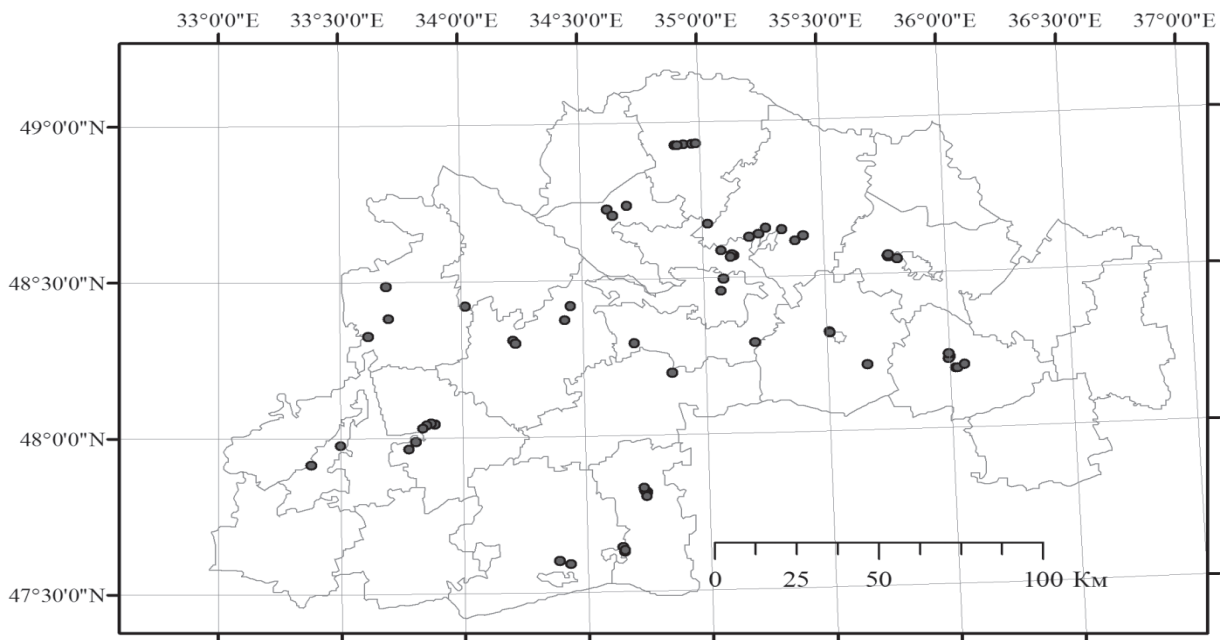


Рис. 7.8. Розміщення місць геоботанічних описів у межах електричних підстанцій на території Дніпропетровської області (Україна)

Розгалуженість структури зумовлює взаємодію з навколишнім середовищем. Важливим аспектом екологічної оцінки територій електричних підстанцій є визначення їх ролі як локальних рефугіумів біологічного різноманіття. Ці території являють собою режимні об'єкти, які значною мірою екрановані від цілого переліку зовнішніх впливів. Їх можна розглядати як елементи

територіальної мозаїчності, що формують комірочки, що піддаються меншому антропогенному впливу (*Потапенко, 2016*). Більше 60% обладнання електричних підстанцій працює більше 25 років і потребує заміни або реконструкції. Експлуатація оливонаповненого обладнання обумовлює ризик розливів нафтопродуктів.

У 2016–2018 рр. в межах Дніпропетровської області на територіях 74 електричних підстанцій було виконано 175 геоботанічних описів.

Для класифікації рослинності виконано три послідовних етапи:

1) класифікація фітоценозів за допомогою програми WinTWINS (Hill, 1979) – отримання фітоценонів;

2) класифікація видів;

3) інтерпретація фітоценонів – присвоєння їм синтаксономічної назви (Гончаренко, Голик, 2015).

Проектне покриття видів для фітоценотичних таблиць переводили в бали відповідно до модифікованої шкали Б.М. Міркіна такого змісту: + – <1%; 1 – 1–5%; 2 – 6–15%; 3 – 16–25%; 4 – 26–50%; 5 – >50% (Миркин, Розенберг, 1983). Оцінка константності видів у синтаксонів проведена за п'ятибальною шкалою: I – 1–20%; II – 21–40%; III – 41–60%; IV – 61–80%; V – 81–100%. Фітоценони з перехідним складом забраковані за рахунок перехідних описів (Голуб, Сорокин, 2012). Зі 175 описів у підсумкову синоптичну таблицю включено 156, інші вилучено як перехідні (Гончаренко, Голик, 2015). Назви класів фітоценонів представлено за Соломахою (2008), Pignatti (2004).

Під час еколого-флористичної класифікації класи добре показують сукцесійний статус та ґрунтово-кліматичні умови, в яких формуються синантропні угруповання. Визначення рослинних асоціацій є недоцільним у зв'язку з континуальним характером синантропної рослинності (Миркин и др., 2007).

При описі синантропних угруповань використано дедуктивний метод класифікації Копецькі і Гейні. Базальні угруповання сформовано «своїм» домінантом, дериватні угруповання (д. у.), в яких домінант – виходець з «чужого» синтаксону, може бути і заносним (Миркин, Наумова, 2017; Голуб, Бондарева, 2017). Дедуктивний підхід досить добре віддзеркалює статус антропо-

генного порушення та сукцесійну динаміку угруповань. Він дозволяє внести до класифікаційної схеми практично все різноманіття рослинності порушених територій (Булахов, Семенчиков, 2009). Моделі організації синантропних рослинних угруповань визначено за Б.М. Міркіним, С.М. Ямаловим, Л.Г. Наумовою, 2007 (Миркин и др., 2007). Геоботанічні описи стали основою для фітоіндикації екологічних режимів. Я.П. Дідух (2011) виділяє едафічні та кліматичні фітоіндикаційні шкали. До едафічних належать показник гідроморф (*Hd*), змінність зволоження (*fH*), аерація (*Ae*), кислотний режим (*Rc*), сольовий режим (*Sl*), уміст карбонатних солей (*Ca*), уміст у ґрунті засвоюваних форм азоту (*Nt*). До кліматичних належать шкали за чотирма факторами: терморезим (*Tm*), омброрезим (*Om*), кріорезим (*Cr*) і континентальність клімату (*Kn*). Крім зазначених, виділяється ще шкала освітлення (*Lc*), яку можна охарактеризувати як мікрокліматичну шкалу. Можна припустити, що едафічні шкали та шкала освітлення будуть чутливі до варіабельності властивостей ґрунту на рівні окремої точки, що може бути основою для застосування фітоіндикаційних шкал у великомасштабному картографуванні. Теплові властивості ґрунтів індикуються шкалою терморезиму, а гідротермічні – шкалою омброрезиму (Didukh, 2012). Фітоіндикаційні шкали наведено за Я.П. Дідухом (Didukh, 2012). Фітоіндикаційну оцінку градацій екологічних факторів проведено за Г.Н. Бузуком (Buzuk, 2017).

В основу створення цифрової моделі рельєфу покладено дані, представлені ресурсом HydroSHEDS (Lehner et al., 2006). Роздільна здатність шару даних становила 15 арксекунд. Векторний файл з контуром Дніпропетровської області був одержаний з ресурсу DIVA-GIS (<http://diva-gis.org>). Як предиктори екологічних факторів, оцінених на основі фітоіндикації, застосовано перелік похідних від цифрової моделі рельєфу шарів даних.

Топографічний індекс вологості.

Концепція топографічного індексу вологості (*Topographic wetness index* – TWI) уперше була запропонована К. Бівенном та Н. Кіркбі (*Beven, Kirkby, 1979*). Топографічний індекс вологості обчислюється за формулою:

$$TWI = \ln(a / \tan \beta),$$

де a – дренажна площа (площа водозбору, розрахована на одиницю довжини замикаючого контуру);

β – крутість схилу (*Moore et al., 1993; Kunah, Paraka, 2016; Zhukov, Andryushchenko, 2017*).

Індекс топографічного положення

(*Topographic position index* – TPI) являє собою різницю між абсолютною висотою даної точки у просторі та середньою висотою точок у певному буфері навколо вихідної точки. Позитивні значення TPI відповідають опуклостям земної поверхні, негативні – зниженням; значення, близькі до нуля, можуть указувати як на рівнинну поверхню, так і середню частину схилу (*Guisan et al., 1999*).

Індекс балансу геомаси (*Mass Balance Index*) розкриває топографічні передумови до руйнування та перевідкладання ґрунтів. Даний показник дозволяє виявити ділянки з високим ступенем імовірності розвитку осипних схилових процесів (*Moeller et al., 2008*). Від’ємні значення індексу вказують на ділянки з накопиченням геомаси, такі як депресії рельєфу або заплави річок. Позитивні значення вказують на ділянки з високим ступенем ризику ерозійних процесів. Значення індексу, близьке до нуля, вказує на ділянки з рівновагою убутку та прибутку геомаси (*Kunah, Paraka, 2016*).

Фактор ерозії LS. Ерозійний потенціал рельєфу LS є одним із компонентів універсального рівняння ґрунтової ерозії (*Universal Soil Loss Equation* – USLE). LS є добутком L -і S -факторів. L -фактор – значення довжини схилу (*slope length*), а S -фактор – крутизна

схилу (*slope steepness*). Універсальне рівняння ерозійних втрат ґрунту (USLE), або рівняння Уішмейєра–Сміта, прийнято у США як метод розрахунків середньорічних втрат ґрунту на основі узагальнення результатів спостережень на стандартних стокових майданчиках довжиною 22,13 м та з ухилом 9%, проведених більш ніж на 8000 ділянках у 21 штаті (*Kunah, Paraka, 2016*). У першій редакції USLE для опису впливу крутості схилу використовували тангенс, а для показника ступеня при довжині схилу – постійну величину, що дорівнює 0,5. Пізніше тангенс кута нахилу поверхні змінили на синус, оскільки було встановлено, що за допомогою цієї функції вдається більш точно відбити вплив ухилу на схилах крутизною понад 3° (*Wischmeier, Smith, 1978*). Ерозійні втрати ґрунту набагато чутливіші до зміни крутизни схилів, ніж до зміни довжини; тому вдосконалена модель USLE-RUSLE була спрямована на найбільш точну оцінку фактора крутизни схилів (*McCool et al., 1994*).

Пряма та розсіяна інсоляція належать до категорії топокліматичних показників (*Boehner, Antonic, 2009*). Найбільш відмітні варіації кліматичних паттернів виникають через топокліматичні процеси, що відбуваються в пограничному шарі Землі і мають характеричну розмірність від 10^1 км (мезо β -масштаб) до 10^{-3} км (мікро β -масштаб). Масштабні рівні наведено за (*Orlanski, 1975*). Топокліматологія є частиною кліматології, яка займається вивченням впливу земної поверхні на клімат. Земна поверхня переважно контролює просторову диференціацію приземних атмосферних процесів і пов’язаних із цим кліматичних варіацій (*Boehner, Antonic, 2009*). Сонячна радіація, що потрапляє на земну поверхню, включає дві складові – короткохвильову та довгохвильову. Під час обчислення короткохвильової складової необхідно враховувати оцінку прямої та дифузійної компоненти, які попадають на відкриту поверхню з оцінкою всіх ефектів, які викликані топографією поверх-

ні та специфічних для кожного компонента (Boehner, Antonic, 2009).

Висота над русловою мережею (*Altitude above channel network*), або вертикальна дистанція до руслової мережі (*Vertical Distance to Channel Network – VDTCN*), є різницею між висотою рельєфу та висотою руслової мережі (Olaya, Conrad, 2008). Є надійним маркером рівня ґрунтових вод і може бути використаний для картографії ґрунтів (Bock, Köthe, 2008).

Векторна міра пересіченості місцевості (*Vector Ruggedness Measure – VRM*) оцінює дисперсію ортогональних до поверхні рельєфу векторів. Значення VRM низьке як для плоскої місцевості, так і для крутої місцевості, але високе для крутої та пересіченої (Sappington et al., 2007). Пересіченість розуміється як негладкість поверхні (Kunah, Papka, 2016). На основі цифрової моделі рельєфу виконали процедуру класифікації форм рельєфу за Івахаші та Пайком (Iwahashi & Pike, 2007). Було виділено 16 форм рельєфу. Після класифікації форм було обчислено ентропію різноманіття форм рельєфу за Шенноном з вікном пропускання 3 пікселя. Географічну базу даних було підготовлено в ArcMap 10.4.1. Розрахунки геоморфологічних шарів здійснено у програмі Saga-GIS (Olaya, Conrad, 2008). Регресійний аналіз та екстраполяцію оцінених у рамках регресійної моделі значень на територію області виконано у середовищі статистичних розрахунків R (*R Core Team, 2017*) із застосуванням бібліотеки *kernlab* (Karatzoglou, 2004).

Назви синтаксонів визначено за методом класифікації Копецькі і Гейні (Булахов, Семенчиков, 2009). Більшу частину назв таксонів подано за (Mosyakin, Fedoronchuk, 1999). Автори першоописань видів не зазначені.

7.2.2. Результати оцінки біорізноманіття територій електричних підстанцій

У результаті виконаного дослідження встановлено, що на території майданчиків електричних підстанцій видовий склад угруповань рослин представлено 202 видами. Виявлено 7 видів, що занесені до Червоної книги Дніпропетровської області – *Astragalus danicus*, *Campanula glomerata*, *Delphinium cuneatum*, *Geranium pratense*, *Tragopogon borysthenticus*, *Tragopogon ucrainicus*, *Verbascum nigrum* (Травлев та ін., 2010).

Флора представлена двома відділами – Bryophyta (видом *Syntrichia ruralis*) та Magnoliophyta (табл. 7.5). Останній відділ представлено класом Liliopsida (28 видів) і Magnoliopsida (173 види).

Клас *Liliopsida* представлено двома порядками (Asparagales і Poales) та чотирма родинами (Asphodelaceae, Cyperaceae, Juncaceae, Poaceae), серед яких Poaceae найбільш різноманітна (25 видів). Найбільшим різноманіттям за кількістю видів наділені роди *Poa* (5 видів) и *Festuca* (3 види). Представники даних родів відіграють найважливішу роль у ценозі за проективним покриттям. До таких лідерів належать вівсяниця валлійська (*Festuca valesiaca*) і тонконіг лучний (*Poa pratensis*). Клас Magnoliopsida представлено 43 родинами. Найбагатшими видами є родини Asteraceae (42 види), Fabaceae (17 видів), Brassicaceae (14 видів), Lamiaceae (12 видів), Rosaceae (11 видів). Усього встановлено 18 угруповань (фітоценонів). Надалі представлено їх опис.

Дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [Stellarietea mediae Festuco-Brometea] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (5 із 8 описів). Видовий склад угруповань налічує від 5 до 13 видів. Проективне покриття варіює в межах 8–82% (табл. 7.6).

Таблиця 7.5

Таксономічна структура флори

Таксони	Кількість видів
Відділ Bryophyta	1
Клас Polytrichopsida	1
Polytrichaceae	1
Відділ Magnoliophyta	201
Клас Liliopsida	28
Asphodelaceae	1
Сурерaceae	1
Juncaceae	1
Роaceae	25
Клас Polytrichopsida	173
Acereae	1
Adoxaceae	1
Amaranthaceae	3
Ariaceae	8
Asteraceae	42
Boraginaceae	3
Brassicaceae	14
Campanulaceae	1
Cannabaceae	2
Caprifoliaceae	1
Caryophyllaceae	6
Celastraceae	1
Convolvulaceae	1
Cornaceae	1
Crassulaceae	1
Dipsacaceae	1
Euphorbiaceae	3

Таксони	Кількість видів
Fabaceae	17
Geraniaceae	3
Grossulariaceae	1
Juglandaceae	1
Lamiaceae	12
Malvaceae	1
Moraceae	1
Oleaceae	1
Onagraceae	1
Oxalidaceae	1
Papaveraceae	2
Plantaginaceae	5
Plumbaginaceae	1
Polygonaceae	3
Portulacaceae	1
Ranunculaceae	3
Resedaceae	1
Rhamnaceae	1
Rosaceae	11
Rubiaceae	3
Scrophulariaceae	3
Simaroubaceae	1
Solanaceae	1
Ulmaceae	1
Violaceae	3
Vitaceae	1
Zygophyllaceae	1

Діагностичний вид *Ambrosia artemisiifolia* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Stellarietea mediae*. З високим рівнем константності зустрічається інший діагностичний вид цього класу – *Crepis foetida*. Константність *Convolvulus arvensis* та *Hordeum murinum* значно менша.

Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Plantago lanceolata* та *Medicago lupulina*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів природної рослинності – *Koelerio-Corynepherea* та *Molinio-*

Arrhenatheretea. Отже, дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [*Stellarietea mediae* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішню рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Stellarietea mediae*.

Дериватне угруповання *Polygonum aviculare* [*Artemisieteae vulgaris* / *Stellarietea mediae*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (7 із 9 описів). Видовий склад угруповань налічує від 7 до 21 виду. Проективне покриття варіює в межах 14–82%.

Таблиця 7.6

Дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [*Stellarietea mediae* *Festuco-Brometea*]

№ опису	99	107	115	134	140	141	142	143	Константність
Площа опису, м	9	9	9	18	18	9	8	9	
Проективне покриття, %	8	10	8	45	82	8	62	6	
Кількість видів	9	7	5	11	13	8	15	6	
Д.в. дериватного угруповання <i>Ambrosia artemisiifolia</i> [<i>Stellarietea mediae</i> / <i>Festuco-Brometea</i>]									
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	+	2	+	2	2	+	2	+	V
Д.в. класу та синтаксонів більш низьких рівнів <i>Stellarietea mediae</i>									
<i>Convolvulus arvensis</i>	+	+		2		+			III
<i>Erigeron canadensis</i>	+						+		II
<i>Crepis foetida</i>	+	+	+	+	1	+	+	+	V
Д.в. класу та синтаксонів більш низьких рівнів <i>Festuco-Brometea</i>									
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	1	+	2	+	2	+	V
<i>Festuca valesiaca</i>					2		2		II
<i>Medicago lupulina</i>	+		+		1	+	+	+	IV
<i>Medicago falcata</i>						+			I
Д.в. класу та синтаксонів більш низьких рівнів <i>Koelerio-Corynephoretea</i>									
<i>Chondrilla juncea</i>		+			2	+	2	+	IV
<i>Pilosella officinarum</i>					2		2		II
<i>Potentilla argentea</i>		+		1	1		+		III
Д.в. класу та синтаксонів більш низьких рівнів <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>									
<i>Achillea millefolium</i>	+		1	1	2		+		IV
<i>Lotus ucrainicus</i>	+						2	+	II
<i>Trifolium hybridum</i>				1	2				II
Інші види									
<i>Silene latifolia</i>				1	1	+	2		III
<i>Ulmus minor</i>				+			+		II
<i>Hordeum murinum</i>				2					I
<i>Galium humifusum</i>				+	2		2		II
<i>Hieracium umbellatum</i>							+		I
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	+	2	+	2	2	+	2	+	V

Примітка. Трапляються також *Hieracium umbellatum* (+), *Morus nigra* (+), *Elymus repens* (+), *Polygonum aviculare* (2), *Portulaca oleracea* (+).

Діагностичний вид *Polygonum aviculare* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Polygono-Poetea annuae*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Artemisia austriaca* класу *Artemisietea vulgaris*. Константність *Medicago lupulina* та *Ambrosia artemisiifolia* є меншою. Високою константністю характеризується *Convolvulus arvensis*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів рудеральної рослинності – *Polygono-Poetea annuae* та *Agropyretea*

repentis. Таким чином, дериватне угруповання *Polygonum aviculare* [*Artemisietea vulgaris* / *Stellarietea mediae*] є фітосоціологічною сумішню рослин рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу *Artemisietea vulgaris*.

Дериватне угруповання *Galium humifusum* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] характеризується переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (13 із 14 описів). Видовий склад угруповань налічує від 4 до 32 видів. Проективне покриття ва-

ріює в межах 4–100%. Діагностичний вид *Galium humifusum* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Puccinellietea*. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Festuca valesiaca* та *Poa angustifolia*. В угрупованнях представлено також діагностичні види іншого класу природної рослинності – *Molinio-Arrhenatheretea*. Отже, дериватне угруповання *Galium humifusum* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] є фітосоціологічною сумішню рослин природних та рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класів природної рослинності *Festuco-Brometea*.

Базальне угруповання *Elymus repens* [*Festuco-Puccinellietea* / *Stellarietea mediae*] представлено рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (9 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 7 видів. Проективне покриття варіює в межах 4–9%. Діагностичний вид *Elymus repens* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Puccinellietea*. В угрупованнях представлено також діагностичні класи рудеральної рослинності – *Stellarietea mediae* та *Chenopodietae*. Отже, дериватне угруповання *Elymus repens* [*Festuco-Puccinellietea* / *Stellarietea mediae*] є фітосоціологічною сумішню рослин природних та рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Festuco-Puccinellietea*.

Базальне угруповання *Elymus repens* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] представлено здебільшого рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (9 із 14 описів). Видовий склад угруповань налічує від 4 до 27 видів. Проективне покриття варіює в межах 4–99%. Діагностичний вид *Elymus repens* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу

Festuco-Puccinellietea. З високим рівнем константності зустрічаються діагностичні види *Ambrosia artemisiifolia* та *Achillea millefolium* класів *Stellarietea mediae* та *Molinio-Arrhenatheretea*. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Festuca valesiaca* та *Plantago lanceolata*. В угрупованнях представлено також діагностичні види іншого класу природної рослинності – *Molinio-Arrhenatheretea*. Отже, базальне угруповання *Elymus repens* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] є фітосоціологічною сумішню рослин природних та рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Festuco-Brometea*.

Базальне угруповання *Festuca valesiaca* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (10 із 15 описів). Видовий склад угруповань налічує від 4 до 25 видів. Проективне покриття варіює в межах 4–100%. Діагностичний вид *Festuca valesiaca* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Brometea*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Ambrosia artemisiifolia* класу *Stellarietea mediae*. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Stellarietea mediae*. Високою константністю характеризуються *Convolvulus arvensis* та *Erigeron canadensis*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів рудеральної рослинності – *Artemisietea vulgaris* та *Chenopodietae*. Отже, базальне угруповання *Festuca valesiaca* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] є фітосоціологічною сумішню рослин природних і рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Festuco-Brometea*.

Дериватне угруповання *Atriplex tatarica* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (5 із 8 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 28 видів. Проективне покриття варіює в межах 5–100%. Діагностичний вид *Atriplex tatarica* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Chenopodietea*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Artemisia absinthium* класу *Artemisietea vulgaris*. Константність *Carduus acanthoides* та *Ballota nigra* є значно меншою. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризується *Artemisia austriaca*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів рудеральної рослинності – *Stellarietea mediae* та *Chenopodietea*. Як бачимо, дериватне угруповання *Atriplex tatarica* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних та рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Artemisietea vulgaris*.

Базальне угруповання *Festuca valesiaca* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] представлено рослинним покривом і на ділянках, що не зазнали впливу технологічної оливи, і на ділянках, які були піддані дії (5 із 10 описів). Видовий склад угруповань налічує від 4 до 20 видів. Проективне покриття варіює в межах 5–100%. Діагностичний вид *Festuca valesiaca* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Brometea*. З високим рівнем константності зустрічається інший діагностичний вид цього класу *Artemisia austriaca*. Константність *Convolvulus arvensis* класу *Chenopodietea* є значно меншою. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Medicago*

falcata. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів рудеральної та природної рослинності – *Chenopodietea* та *Trifolio-Geranietea sanguinei*. Таким чином, дериватне угруповання базальне угруповання *Festuca valesiaca* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Artemisietea vulgaris*.

Дериватне угруповання *Acer negundo* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (7 із 10 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 14 видів. Проективне покриття варіює в межах 3–100%. Діагностичний вид *Acer negundo* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Robinietea*. Високою константністю характеризується *Elymus repens*. Таким чином, дериватне угруповання *Acer negundo* [*Artemisietea vulgaris* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин рудеральних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Artemisietea vulgaris*.

Дериватне угруповання *Bromus tectorum* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (11 із 12 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 21 виду. Проективне покриття варіює в межах 3–100%. Діагностичний вид *Bromus tectorum* – доміант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Stellarietea mediae*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Ballota ruderalis* класу *Artemisietea vulgaris*. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. В угрупованнях представлено й діагностичні види інших класів рудеральної та

природної рослинності – *Chenopodieta* та *Molinio-Arrhenatheretea*. Таким чином, дериватне угруповання *Bromus tectorum* [*Festuco-Brometea* / *Artemisietea vulgaris*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Festuco-Brometea*.

Базальне угруповання *Elymus repens* [*Chenopodieta* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (7 із 12 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 20 видів. Проективне покриття варіює в межах 3–95%. Діагностичний вид *Elymus repens* – домініант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Puccinellietea*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Capsella bursa-pastoris* класу *Chenopodieta*. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших класів рудеральної та природної рослинності – *Artemisietea vulgaris* та *Molinio-Arrhenatheretea*. Таким чином, базальне угруповання *Elymus repens* [*Chenopodieta* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Chenopodieta*.

Базальне угруповання *Bromus squarrosus* [*Chenopodieta* / *Artemisietea vulgaris*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (6 із 7 описів). Видовий склад угруповань налічує від 5 до 24 видів. Проективне покриття варіює в межах 11–100%. Діагностичний вид *Bromus squarrosus* – домініант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Brometea*. З високим рівнем константності зустрічається інший діагностичний вид цього класу – *Lactuca*

serriola, а також *Taraxacum officinale* класу *Chenopodieta*. Константність *Capsella bursa-pastoris* є значно меншою. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Stellarietea mediae*. Високою константністю характеризуються *Ambrosia artemisiifolia*, а також *Ulmus minor* та *Elymus repens* інших класів. Таким чином, базальне угруповання *Bromus squarrosus* [*Chenopodieta* / *Artemisietea vulgaris*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Chenopodieta*.

Дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [*Chenopodieta* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (8 із 11 описів). Видовий склад угруповань налічує від 2 до 15 видів. Проективне покриття варіює в межах 2–100%. Діагностичний вид *Ambrosia artemisiifolia* – домініант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Stellarietea mediae*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Atriplex tatarica* класу *Chenopodieta*.

Дериватне угруповання *Atriplex tatarica* [*Chenopodieta* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які не зазнали впливу технологічної оливи (4 з 6 описів). Видовий склад угруповань налічує від 5 до 22 видів. Проективне покриття варіює у межах 13–86%. Діагностичний вид *Atriplex tatarica* – домініант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Chenopodieta*. З високим рівнем константності зустрічається інший діагностичний вид цього класу *Taraxacum officinale*. Константність *Sonchus arvensis* є значно меншою. Досить різноманітною є група діагностичних видів класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризується *Poa angustifolia*. В угрупованнях представлено також діагностичні види ін-

ших класів рудеральної та природної рослинності – *Stellarietea mediae* та *Molinio-Arrhenatheretea*. Таким чином, дериватне угруповання *Atriplex tatarica* [*Chenopodietea* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Chenopodietea*.

Дериватне угруповання *Polygonum aviculare* [*Chenopodietea* / *Digitario sanguinalis-Eragrostietea minoris*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (5 із 7 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 13 видів. Проективне покриття варіює в межах 4–64%. Діагностичний вид *Polygonum aviculare* – домінант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Polygono-Poetea annuae*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Poa angustifolia* класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Elymus repens* класу *Festuco-Puccinellietea*. Таким чином, дериватне угруповання *Polygonum aviculare* [*Chenopodietea* / *Digitario sanguinalis-Eragrostietea minoris*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Chenopodietea*.

Базальне угруповання *Poa angustifolia* [*Chenopodietea* / *Stellarietea mediae*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (4 із 7 описів). Видовий склад угруповань налічує від 3 до 15 видів. Проективне покриття варіює в межах 3–81%. Діагностичний вид *Poa angustifolia* – домінант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Festuco-Brometea*. З високим рівнем константності зустрічаються діагностичний вид *Taraxacum officinale* класу *Chenopodietea*, а також види *Erigeron canadensis* та *Ambrosia artemisiifolia*

класу *Stellarietea mediae*. В угрупованнях представлено діагностичні види іншого класу природної рослинності – *Molinio-Arrhenatheretea*. Таким чином, базальне угруповання *Poa angustifolia* [*Chenopodietea* / *Stellarietea mediae*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу рудеральної рослинності *Chenopodietea*.

Дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [*Festuco-Brometea* / *Stellarietea mediae*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (9 описів). Видовий склад угруповань налічує від 4 до 8 видів. Проективне покриття варіює в межах 4–18%. Діагностичний вид *Ambrosia artemisiifolia* – домінант, який визначає фізіономію угруповання. Цей вид є діагностичним класу *Stellarietea mediae*. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Lactuca serriola* класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Elymus repens*. Таким чином, дериватне угруповання *Ambrosia artemisiifolia* [*Festuco-Brometea* / *Stellarietea mediae*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Festuco-Brometea*.

Дериватне угруповання *Cenchrus longispinus* [*Koelerio-Corynephoretea* / *Festuco-Brometea*] представлено переважно рослинним покривом на ділянках, які зазнали впливу технологічної оливи (8 із 9 описів). Видовий склад угруповань налічує від 5 до 36 видів. Проективне покриття варіює в межах 7–100%. Діагностичний вид *Cenchrus longispinus* – домінант, який визначає фізіономію угруповання. З високим рівнем константності зустрічається діагностичний вид *Poa angustifolia* класу *Festuco-Brometea*. Високою константністю характеризуються *Elymus repens*. В угрупованнях представлено також діагностичні види інших

класів природної рослинності – *Digitario sanguinalis-Eragrostietea minoris* та *Molinio-Arrhenatheretea*. Таким чином, дериватне угруповання *Cenchrus longispinus* [*Koelerio-Corynephoretea* / *Festuco-Brometea*] є фітосоціологічною сумішшю рослин природних типів трав'янистої рослинності з домінуванням представників класу природної рослинності *Koelerio-Corynephoretea*.

Синтаксономічне різноманіття рослинності територій електричних підстанцій складається з 18 угруповань, види яких належать до 12 класів перехідної рослинності. Найбільш поширеним є клас *Festuco-Brometea* – природна степова рослинність на різних ґрунтах (Соломаха, 2008), яка є типовою для степових зональних угруповань у межах Дніпропетровської області. В угрупованнях представлено також інші класи природної рослинності. Далі в порядку зменшення їх видового багатства – *Molinio-Arrhenatheretea*, *Koelerio-Corynephoretea*, *Festuco-Puccinellietea* (Соломаха, 2008), *Trifolio-Geranietea sanguinei* (Аверінова, Полюянов, 2011).

У межах електричних підстанцій антропогенний вплив проявляється в розливах технологічної оливи, помірного покосу (Потапенко, 2016). На забруднених технологічною оливою ділянках спостерігається зниження біологічного різноманіття і проєктивного покриття рослинності. Рослинність відновлюється після впливу, що й бачимо по видовому і синтаксономічному складу угруповань. Швидкість і характер заростання ділянок, які зазнали впливу технологічної оливи, залежать від ступеня забруднення ґрунту, умов зростання рослин і конкурентоздатності різних видів рослинності, представленої степовими, лучними, лісовими видами та бур'янами (Богданов і др., 2014).

Аналіз синтаксономічного різноманіття показує, що більша частина угруповань представлена піонерною стадією сукцесії – бур'янистою рослинністю. Далі в порядку зменшення за загальною кількістю

розташовуються класи рудеральної рослинності *Stellarietea mediae*, *Chenopodietea*, *Artemisietea vulgaris*, *Digitario sanguinalis-Eragrostietea minoris*, *Polygono-Poetea annuae*, *Robinietea*, *Agropyretea repentis* (Соломаха, 2008; Усманова і др., 2013; Ареп'єва, 2017; Pignatti, 2014).

Бур'яниста стадія сукцесії віддзеркалює найбільш порушений стан екотопу. Рослинні угруповання бур'янистої стадії відрізняються одне від одного за видовим складом, ступенем зімкнутості покриву, неоднорідністю горизонтальної структури (мозаїчність, плямистість). В середньому на 100 м² зустрічається 8–15 видів трав (*Сфера. Нефть і газ*, 2013). Серед описаних 18 рослинних угруповань 8 знаходяться на бур'янистій стадії – дериватні угруповання за домінантними видами *Ambrosia artemisiifolia*, *Polygonum aviculare*, *Cenchrus longispinus*, *Atriplex tatarica*.

Основним напрямом трансформації екологічної структури біогеоценотичного покриття в умовах розливів технологічної оливи є збільшення частини однорічних рудерантів. Закономірним є перехід супутніх на попередній фазі сукцесії видів у домінантний стан на наступній фазі або в субдомінантний, що простежується в описаних угрупованнях (Хлизіна, 2004). Серед досліджених угруповань 6 перебувають на стадії довгокорених та нещільнодернових злаків. Угруповання з домінуючими видами *Elymus repens* та *Poa angustifolia* належать до пирійної стадії, що зазвичай представлена бур'янисто-пирійними, пирійними та м'ятликовими асоціаціями (*Сфера. Нефть і газ*, 2013). Крім того, на цій стадії сукцесії знаходяться угруповання з домінантними видами *Bromus squarrosus* і *Bromus tectorum*. Стадію дернинних злаків представляють 3 угруповання з домінуючими видами *Galium humifusum*, *Festuca valesiaca*.

Серед 18 рослинних угруповань, що являють собою фітосоціологічну суміш природних і рудеральних типів рослинності, 10

угруповань – дериватні, 8 угруповань – базальні.

До R-моделі організації синантропних угруповань належать угруповання, де головним фактором формування є значні порушення (Миркин и др., 2007). Саме таких угруповань 10 серед описаних 18: *Ambrosia artemisiifolia* [Stellarietea mediae / Festuco-Brometea], *Polygonum aviculare* [Artemisietea vulgaris / Stellarietea mediae], *Elymus repens* [Festuco-Puccinellietea / Stellarietea mediae], *Acer negundo* [Artemisietea vulgaris / Festuco-Brometea], *Atriplex tatarica* [Artemisietea vulgaris / Festuco-Brometea], *Elymus repens* [Chenopodietea / Festuco-Brometea], *Ambrosia artemisiifolia* [Chenopodietea / Festuco-Brometea], *Polygonum aviculare* [Chenopodietea / Digitario sanguinalis-Eragrostietea minoris], *Ambrosia artemisiifolia* [Festuco-Brometea / Stellarietea mediae], *Cenchrus longispinus* [Koeleriо-Corynephoretea / Festuco-Brometea]. Перелічені угруповання належать до ініціальної стадії відновлювальних сукцесій після порушень – розливів технологічної оливи.

До R → CRS-моделі організації належать 8 рослинних угруповань на таких стадіях відновлювальної сукцесії: *Galium humifusum* [Festuco-Brometea / Artemisietea vulgaris], *Elymus repens* [Festuco-Brometea / Artemisietea vulgaris], *Festuca valesiaca* [Festuco-Brometea / Artemisietea vulgaris], *Atriplex tatarica* [Artemisietea vulgaris / Festuco-Brometea], *Festuca valesiaca* [Artemisietea vulgaris / Festuco-Brometea], *Bromus tectorum* [Festuco-Brometea / Artemisietea vulgaris], *Bromus squarrosus* [Chenopodietea / Artemisietea vulgaris], *Atriplex tatarica* [Chenopodietea / Festuco-Brometea], *Poa angustifolia* [Chenopodietea / Stellarietea mediae].

Заростання ґрунтової ділянки є індикатором її успішного очищення і рекультивуваціі. Якщо заростання на забрудненій нафтопродуктами ділянці складає не менше 75% порівняно з контрольною ділянкою,

рекультиваційні роботи вважаються закінченими (Лобачева и др., 2012). З урахуванням цього критерію, наочно видно відновлення порушених ділянок. Аналізуючи одержані результати, ми дійшли до певних висновків:

1) ділянки в межах електричних підстанцій дають притулок рослинним угрупованням, які характеризуються значним видовим, таксономічним і екологічним різноманіттям. Ці ділянки можна розглядати як мікрорефугіуми, що є центрами для збереження і поширення біологічного різноманіття в умовах антропогенно трансформованих ландшафтів степового Придніпров'я. Аналіз геоботанічних описів територій електричних підстанцій показав високий рівень біологічного різноманіття. Флористичний склад представлено 202 видами, з яких 7 видів внесено до Червоної книги Дніпропетровської області: *Astragalus danicus*, *Campanula glomerata*, *Delphinium cuneatum*, *Geranium pratense*, *Tragopogon borysthenticus*, *Tragopogon ucrainicus*, *Verbascum nigrum*;

2) експлуатація оливнонаповненого обладнання обумовлює ризик розливів технологічної оливи, що призводить до зменшення проективного покриття рослинності. Основним трендом трансформації екологічної структури біогеоценотичного покриття в умовах розливів технологічної оливи є збільшення частини однорічних рудерантів;

3) рослинні угруповання електричних підстанцій представлені піонерною (бур'янистою), пірійною стадіями сукцесії, стадією дернинних злаків, залежно від давнини та інтенсивності антропогенного впливу. Із 17 рослинних угруповань, що являють собою фітосоціологічну суміш рослин природних і рудеральних типів рослинності, 11 угруповань – дериватні, 6 угруповань – базальні. 9 рослинних угруповань належать до R-моделі – до ініціальної стадії відновлювальних сукцесій після порушень; 8 рослинних угруповань знаходяться на наступних стадіях відновлювальних сукцесій і належать до R→CRS-моделі.

7.2.3 Результати аналізу ролі геоморфічних предикторів для моделювання просторового варіювання екологічних режимів

Рельєф являє собою сукупність різних за своєю морфологією, генезисом та віком форм і елементів земної поверхні, а також відбиття їх просторових відносин. Аналіз рельєфу є засобом пізнання ландшафту, ґрунтуючись на цифровій моделі рельєфу (ЦМР, або в англійській транскрипції DEM – *Digital Elevation Model*). Просторовий розподіл топографічних атрибутів може бути використаний для непрямого виміру просторової мінливості гідрологічних, геоморфологічних і біологічних процесів (*Moore et al., 1993*). До важливих параметрів рельєфу належать форми рельєфу (*landforms*), або одиниці рельєфу, кожна з яких несе інформацію про фізичні, хімічні та біологічні процеси і параметри (*Dehn et al., 2001*). Тому встановлення ролі рельєфу як фактора просторової організації екологічних режимів є актуальною науковою проблемою.

Топографічні індекси по-різному впливають на продуктивність екосистем, що визначається ґрунтовими та кліматичними умовами (*Kravchenko, Bullock, 2000*). Позиція в межах ландшафту (опукла або увігнута ділянка, схил або тальвег) є суттєвим фактором, який впливає на врожайність пшениці (*Ciha, 1984*). Кривизна поверхні рельєфу слугує ефективним параметром для опису взаємовідносин між врожайністю, топографією та погодними умовами (*Timlin et al., 1998*). Відносна висота рельєфу, як один з найважливіших ґрунтових та ландшафтних факторів, відчутно впливає на продуктивність агроекосистем (*Cox et al., 2006; Miao et al., 2006*). Середня врожайність і середня вологість зерна значно залежать від довжини стоку поверхні поля в умовах іригації (*Marques da Silva, Silva, 2006*). Довжину схилу до водорозділу вважають найкращим топографічним індикатором урожайності пшениці у широкому діапазоні масштабів (*Zelege, Si 2004*). Топографічний індекс во-

логості дозволив пояснити від 38 до 48% просторової варіації урожайності пшениці у східному Колорадо (США) в 1997 р. (*Green, Erskine, 2004*).

Вплив топографічних індексів на продуктивність екосистем залежить від погодних умов, особливо від опадів. У семіаридних та аридних регіонах, де потенціал випаровування значно більший, ніж кількість опадів, уміст води в ґрунті стає лімітуючим фактором для продукції зерна (*Chi et al., 2009*). Вплив опадів (снігопадів або дощів) на врожайність може бути підсилений унаслідок взаємодії з рельєфними особливостями та ґрунтовими властивостями (*Timlin et al., 1998; Kaspar et al., 2004*). Зазначимо, що наукові відомості з літератури про взаємозв'язок між погодними умовами, топографією та продуктивністю мають вкрай суперечливий характер (*Kravchenko, Bullock, 2000*). Встановлено, що топографічні особливості менше впливають на врожай у сухі роки, ніж у вологі (*Halvorson, Doll, 1991*). В іншому дослідженні, навпаки, повідомляється, що вплив топографії більш відчутний у вологі роки, ніж у сухі (*Simmons et al., 1989*). Такі протилежні думки можна пояснити відмінностями у ґрунтових та кліматичних умовах, в яких виконувалися експерименти. Адже умови вологості ґрунту є найважливішим фактором, який контролює варіабельність урожайності пшениці та впливає на значимість топографічних індексів у семіаридних регіонах. У сухі роки довжина до водорозділу була найсуттєвішим фактором, який визначав урожайність. У вологі роки значення топографічних показників реєструвалося меншим (*Chi et al., 2009*). Показано роль геоморфологічних та екогеографічних змінних, які одержані за допомогою цифрової моделі рельєфу, створеної на основі даних дистанційного зондування Землі, як маркерів екологічної ніші бур'янів на прикладі ваточника сирійського (*Asclepias syriaca L.*) (*Kunah, Papka, 2016*). За допомогою застосування ENFA-аналізу оцінено роль рельєфу як фактора, що визначає просторове розмі-

щення лебедя-шипуну (*Cygnus olor*) (Gmelin, 1803)) на зимівлі в умовах затоки Сиваш (Andrushenko, Zhukov, 2016). Встановлено регресійну залежність електричної провідності ґрунту від висоти рельєфу та її похідних, вегетаційних індексів Landsat, рельєфного різноманіття та різноманіття рослинного покриву (Zhukov et al., 2016).

Фітоіндикаційні шкали Дідуха є індикаторами конкретних екологічних факторів, які представлені у вимірюваних одиницях. Наприклад, показник гігоморф дозволяє оцінювати продуктивну вологу ґрунту за період вегетації, показник змінності зволоження оцінює коефіцієнт нерівномірності зволоження, кислотний режим оцінює рН (Didukh, 2011). Розроблено підходи для застосування катенарного методу вивчення різноманіття тваринного населення ґрунтів ареного ландшафту долини р. Дніпро (у межах природного заповідника «Дніпровсько-Орільський») за допомогою фітоіндикаційного оцінювання основних трендів мінливості екологічних умов (Zhukov et al., 2016).

Для оцінки просторової мінливості екологічних режимів необхідною є можливість

збору значних об'ємів даних. У вирішенні цього завдання саме фітоіндикаційне оцінювання є досить ефективним. Для інтерполяції просторових даних найбільш часто застосовують кригінг (McBratney, 2003), але цей підхід потребує виконання умови стаціонарності досліджуваного процесу. Як правило, виконання такої вимоги можна досягти на просторовому рівні окремого біогеоценозу або ландшафту (Baljuk et al., 2014). Для інтерполяції одержаних точкових оцінок екологічних режимів у межах невиконання умови стаціонарності необхідним є обґрунтування альтернативних підходів.

Подальша робота полягала в тому, щоб встановити зв'язок між фітоіндикаційними оцінками екологічних режимів та геоморфологічними предикторами і застосувати цей зв'язок для побудови просторових моделей варіювання екологічних режимів у межах Дніпропетровської області.

За фітоіндикаційним оцінюванням рівень вологості едафотопу варіює в межах від 8,77 до 20,48 (табл. 7.7).

Таблиця 7.7

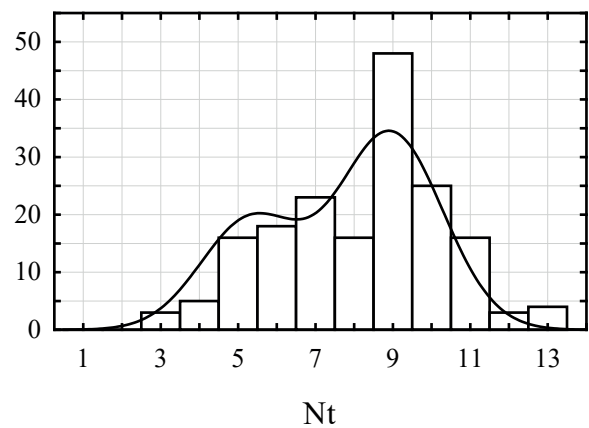
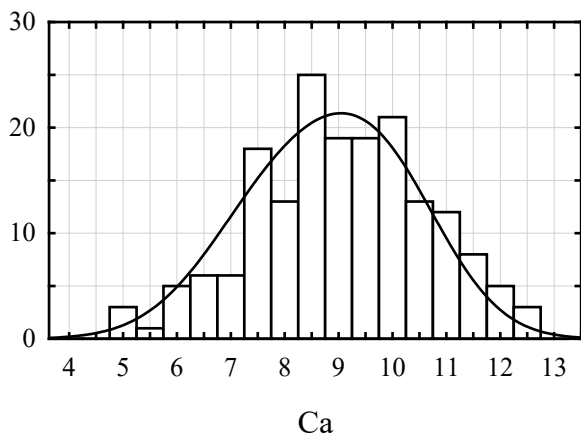
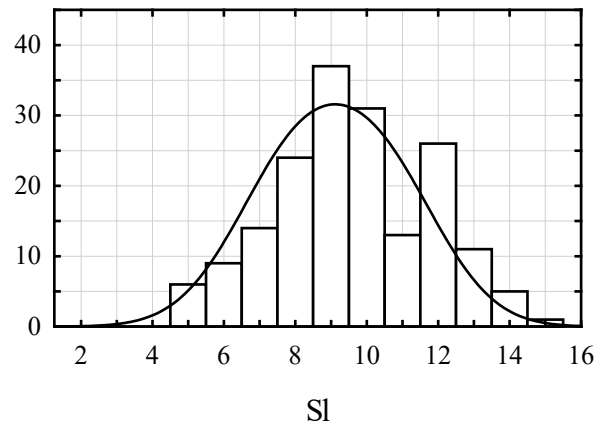
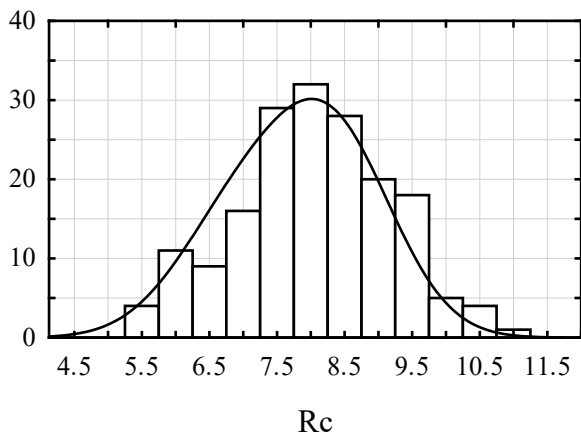
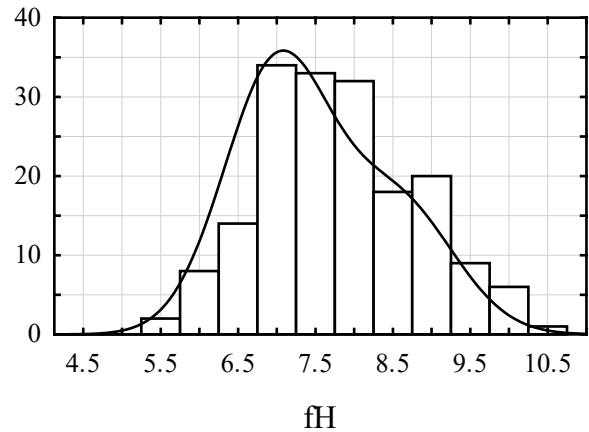
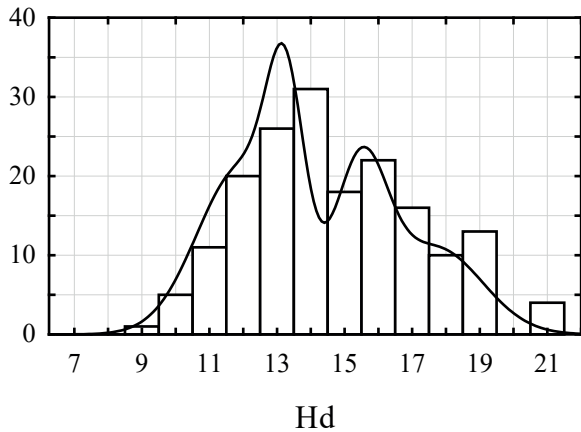
Описові статистики варіювання фітоіндикаційних оцінок екологічних факторів

Фітоіндикаційна шкала	Середнє± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Асиметрія± ст.помилка	Екссес± ст.помилка	CV, %
Hd	14,18±0,19	8,77	20,48	0,34±0,18	-0,49±0,36	17,83
fH	7,53±0,08	5,24	10,18	0,31±0,18	-0,41±0,36	13,60
Rc	7,80±0,09	5,31	10,98	-0,08±0,18	-0,28±0,36	14,58
Sl	9,13±0,16	4,02	14,73	-0,04±0,18	-0,32±0,36	23,25
Ca	8,83±0,12	4,84	12,32	-0,15±0,18	-0,30±0,36	17,95
Nt	7,68±0,16	2,60	12,65	-0,26±0,18	-0,55±0,36	28,38
Ae	7,60±0,04	6,28	9,10	0,11±0,18	-0,42±0,36	7,29
Tm	10,08±0,08	7,49	12,91	0,10±0,18	-0,20±0,36	10,06
Om	11,95±0,07	9,86	14,17	-0,02±0,18	-0,54±0,36	8,22
Kn	9,59±0,12	5,58	13,45	-0,04±0,18	-0,42±0,36	17,22
Cr	8,00±0,08	5,00	10,79	-0,31±0,18	0,04±0,36	13,79
Lc	7,03±0,15	1,9	9,00	-0,64±0,18	-0,68±0,36	28,65

Умовні позначки: Hd – режим вологості едафотоп; fH – режим змінності вологості; Rc – режим кислотності; Sl – режим трофності; Ca – вміст карбонатів у ґрунті; Nt – поживні форми азоту; Ae – режим аерації; Tm – термоклімат; Om – омброклімат; Kn – континентальність; Cr – кріоклімат; Lc – режим освітлення.

Це відповідає умовам, які є сприятливими від субсерофітів до субгідрофітів (Didukh, 2011). Найбільш типовими умовами є такі, що сприятливі для гідромезофітів. Аналіз гістограми розподілу екологічних факторів акцентує увагу на гетерогенності вибірки (рис. 7.9). Цей висновок також під-

тверджується значеннями асиметрії (позитивне з них вказує на зсув розподілу вліво) та ексцесу (від'ємне значення вказує на бімодальний розподіл). Відповідно, переважними режимами є такі, що сприятливі для гідромезофітів, гідрофітів та субгідрофітів.



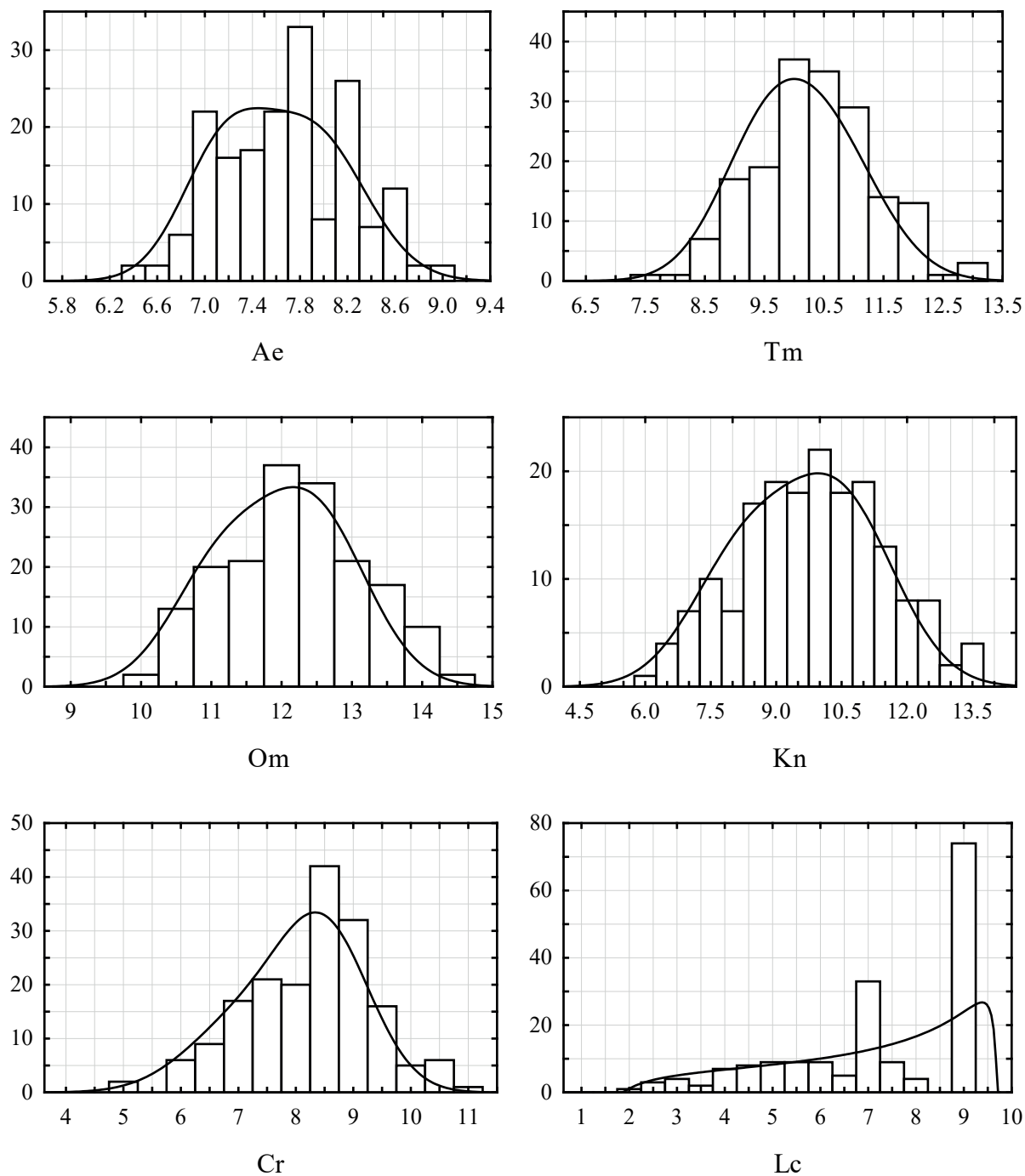


Рис. 7.9. Статистичні розподіли фітоіндикаційних оцінок екологічних факторів:

Hd – режим вологості едафотоп; fH – режим змінності вологості; Rc – режим кислотності; Sl – режим трофності; Ca – вміст карбонатів у ґрунті; Nt – засвоєвані форми азоту; Ae – режим аерації; Tm – термоклімат; Om – омброклімат; Kn – континентальність; Cr – кріоклімат; Lc – режим освітлення

Режим контрастності умов зволоження знаходиться в діапазоні від гемігідроконтрастофобів до гемігідроконтрастофілів. Найбільш типовими умовами є такі, що сприятливі для гемігідроконтрастофілів. Аналіз гістограми розподілу екологічних факторів указує на гетерогенність вибірки. Цей висновок підтверджується значеннями асиметрії (позитивне значення свідчить про зсув розподілу вліво) та ексцесу (від'ємне значення вказує на бімодальний розподіл). Відповідно, переважними є режими, сприятливі для гемігідроконтрастофобів та гемігідроконтрастофілів.

Статистичний розподіл фітоіндикаційних оцінок кислотності наближений до нормального. Найбільш типовими є умови, які сприятливі для субацидофілів, хоч умови кислотності варіюють від сприятливих для ацидофілів до суббазофілів.

Оцінки режиму трофності розподілені симетрично. До найбільш типових належать умови, які сприятливі для евтрофів. Режим трофності варіює від семіоліготрофних до глікотрофних умов. Уміст карбонатів у ґрунті створює найбільш сприятливі умови для гемікарбонатофілів. В аспекті фітоіндикаційних оцінок засвоєваних форм азоту досліджена вибірка є гетерогенною і являє собою суміш нормальних розподілів. Найбільш типовими є режими, які сприятливі для гемінітрофілів та еунітрофілів.

Режим ґрунтового повітря створює сприятливі умови для геміаерофобів. Загалом умови аерації ґрунтового середовища варіюють від субаерофільних до субаерофобних (див. рис. 7.9).

Рослинні угруповання оцінюють терморегімі, який відповідає енергетичному балансу $2110,1 \text{ мДж м}^2 \text{ рік}^{-1}$. Ця оцінка варіює в межах від $1567,9$ до $2706,6 \text{ мДж м}^2 \text{ рік}^{-1}$. Розподіл фітоіндикаційної оцінки терморегімі є симетричним та наближеним до нормального закону розподілу.

Омброклімат кількісно характеризується співвідношенням між кількістю опадів

та випаровуванням. За фітоіндикаційними оцінками можна встановити, що цей показник дорівнює $-193,2 \text{ мм}$, що відповідає суббаридофільним умовам. Оцінка омброклімату варіює в межах від $-603,1$ (мезоаридофільні умови) до $+242,3 \text{ мм}$ (субомброфільні умови).

За фітоіндикаційними даними клімат регіону можна оцінити як субконтинентальний з варіюванням від геміокеанічного до континентального. Кріоклімат кількісно характеризується температурою найхолоднішого місяця року. Фітоіндикаційні оцінки цього показника характеризуються асиметричним розподілом зі зсувом управо. Найбільш типова оцінка кріоклімату становить $-7,53 \text{ }^\circ\text{C}$, що відповідає помірним / м'яким зимам. Діапазон варіювання оцінок кріоклімату становить від $-19,02$ до $+3,16 \text{ }^\circ\text{C}$.

Висота рельєфу в межах Дніпропетровської області варіює від 51 до 211 м (рис. 7.10). Найбільш типові висоти перебувають у діапазоні $65-155 \text{ м}$. Середнє значення висоти рельєфу становить 109 м . Діапазон висот, де зроблено геоботанічний опис, $51-179 \text{ м}$ (середнє $-88,9 \text{ м}$).

Цифрова модель рельєфу є основою для розрахунку похідних інформаційних шарів, які викривають різні аспекти поверхні Землі як фактора перерозподілу кліматичних умов. Геоморфологічним маркером вологості ґрунту є топографічний індекс вологості (TWI), який у Дніпропетровській області варіює в межах $6,9-25,1$. У точках, де проведено геоботанічний опис рослинності, значення TWI варіює від $8,5-21,6$ (середнє $-12,5$).

Форми поверхні в межах області варіюють від опуклих (індекс топографічного положення ТРІ позитивний, набуває значення $4,27$) до увігнутих знижень (ТРІ від'ємний, значення до $-4,3$). Закономірно, що в середньому цей показник наближений до нуля ($0,02$). Геоботанічні описи розміщено в межах дещо меншого діапазону умов рельєфу (ТРІ від $-2,0$ до $+2,9$, середнє $0,2$). Переважна більшість пікселів характеризується значеннями індексу балансу геомаси

(МВІ) від $-0,029$ до $+0,036$. Точки геоботанічних описів характеризуються значеннями МВІ від $-0,014$ до $+0,036$.

Переважає більшість ділянок області характеризується незначними рівнями маркера активності ерозійних процесів LS , хоч цей показник може сягати значення $1,27$. Для 95% геоботанічних описів значення фактора ерозії LS не перевищують $0,49$. Векторна міра пересіченості місцевості (VRM) варіює від 0 до $9,8 \times 10^{-4}$.

Пряма інсоляція з 1 квітня до 31 жовтня в межах Дніпропетровської області становить $1201-1341$ кВт*год/м² (середнє -1254 кВт*год/м²). Розсіяна інсоляція за той самий період становить $171-178$ кВт*год/м² (середнє $-174,9$ кВт*год/м²). Рівень прямої інсоляції у місцях розміщення геоботанічних описів становить $1233-1270$ кВт*год/м² (середнє -1255 кВт*год/м²), а розсіяної $-173-177$ (середнє $-174,6$ кВт*год/м²).

Висота над русловою мережею варіює в межах від 0 до 131 м, у середньому $-29,2$ м. Геоботанічні описи розміщено в місцях перебуваннях, де висота над русловою мережею не перевищує $85,1$ м (середнє $-18,9$ м).

За процедурою Івахаші та Пайка (Iwahashi & Pike, 2007) було виділено 16 типів поверхні Землі (рис. 7.11). Кожен з цих типів займає від $1,5$ до $21,9\%$ поверхні. Найменшу частку поверхні займає тип «помірно крутий схил, груба текстура, значна опуклість», а найбільшу – типи «крутий схил, тонка текстура, значна опуклість» та «дуже крутий схил, тонка текстура, значна опуклість». Ентропія різноманіття форм рельєфу, за Шенноном, варіює в межах від 0 до $2,35$ біт/піксель (середнє $1,16$ біт/піксель). Геоботанічні описи зроблено в місцевостях,

де різноманіття варіює від $0,72$ до $2,04$ біт/піксель (середнє $1,28$ біт/піксель).

Фітоіндикаційні оцінки екологічних режимів характеризуються кореляційним зв'язком з геоморфологічними властивостями (рис. 7.12, 7.13). Режим зволоження характеризується статистично вірогідною від'ємною кореляцією з індексом топографічного положення та позитивною – з векторною мірою пересіченості місцевості. Змінність зволоження корелює з чотирма геоморфологічними предикторами. Цей екологічний режим позитивно корелює з висотою рельєфу й дифузною інсоляцією та від'ємно – з топографічним індексом вологості та прямою інсоляцією. Кислотність едафотопу в межах Дніпропетровської області статистично вірогідно корелює з векторною мірою пересіченості місцевості. Трофність едафотопу пов'язана з варіюванням топографічного індексу вологості, дифузною інсоляцією та ентропією форм рельєфу. Більш висока карбонатність ґрунтів корелює з більшим великими ризиками ерозії, які характеризуються фактором ерозії, та з висотою руслової мережі. Просторово це відповідає еродованим ділянкам у верхніх частинах схилів балок, де спостерігається скипання від обробки соляною кислотою з поверхні ґрунту.

Режим азотного живлення дуже чутливий до геоморфологічних особливостей місцевості, що виражається в кореляційному зв'язку цього показника з шістьма геоморфологічними предикторами. Очевидно, що найбільш сприятливі умови азотного живлення формуються на плакорних ділянках, що підтверджується позитивною кореляцією фітоіндикаційної оцінки поживних форм азоту та висоти рельєфу (табл. 7.8).

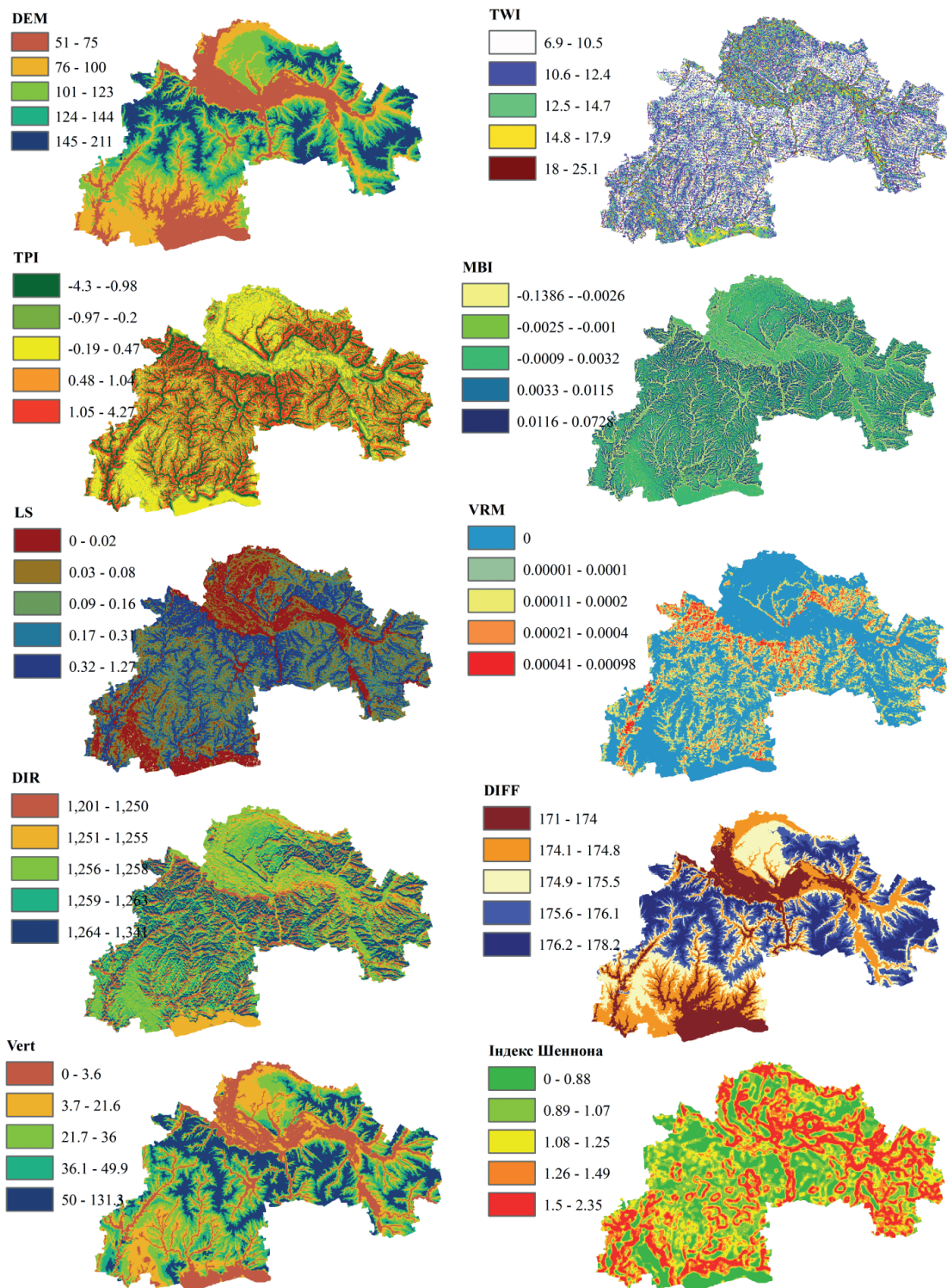


Рис. 7.10. Просторове варіювання предикторів фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів у межах Дніпропетровської області:

DEM – висота рельєфу; TWI – топографічний індекс вологості; TPI – індекс топографічного положення; MBI – індекс балансу геомаси; LS – фактор ерозії; VRM – векторна міра пересіченості місцевості; DIR – пряма інсоляція; DIFF – розсіяна інсоляція; VERT – висота над русловою мережею; Індекс Шеннона – ентропія різноманіття форм рельєфу

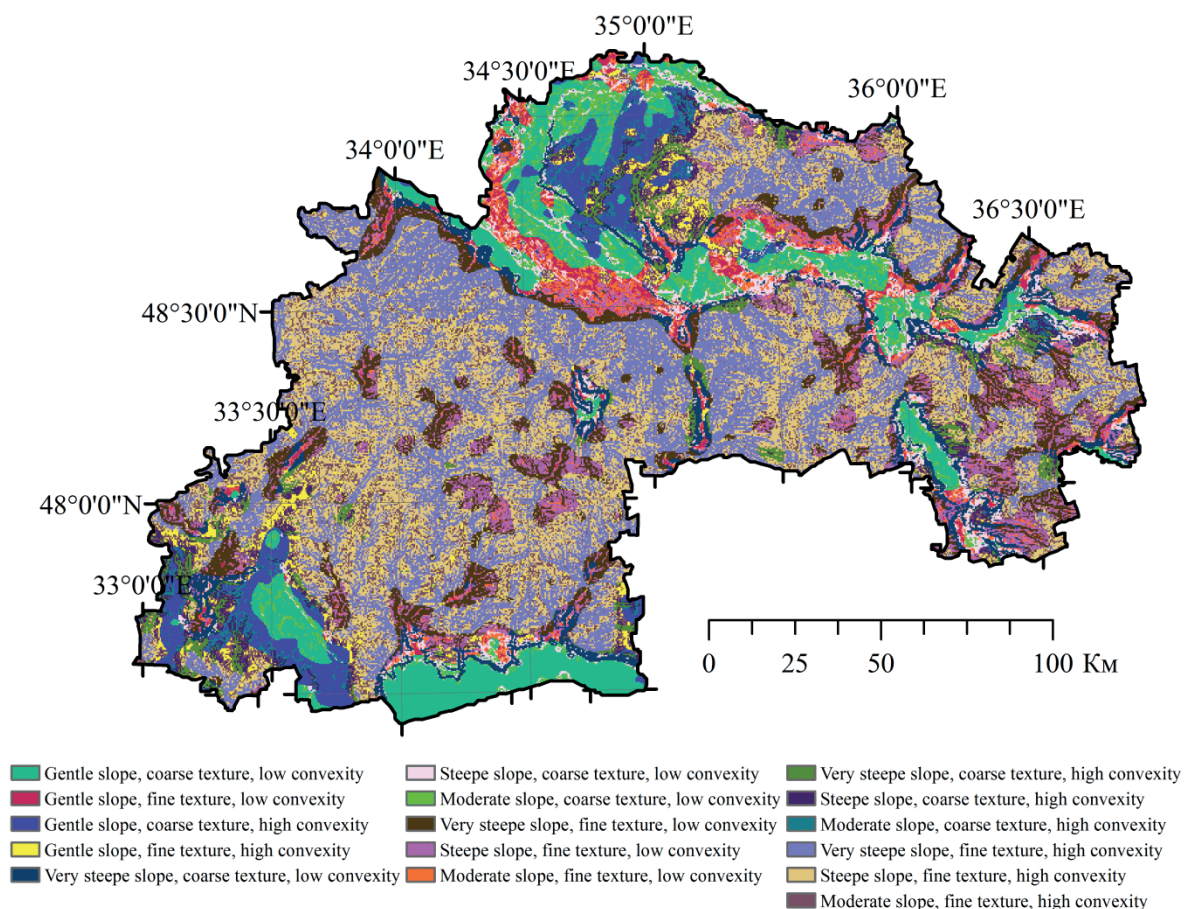


Рис. 7.11. Класифікація типів Земної поверхні в межах Дніпропетровської області
(Iwahashi, Pike, 2007):

пологий схил, груба текстура, мала опуклість (*gentle slope, coarse texture, low convexity*); пологий схил, тонка текстура, мала опуклість (*gentle slope, fine texture, low convexity*); пологий схил, груба текстура, значна опуклість (*gentle slope, coarse texture, high convexity*); пологий схил, тонка текстура, значна опуклість (*gentle slope, fine texture, high convexity*); помірно крутий схил, груба текстура, мала опуклість (*moderate slope, coarse texture, low convexity*); помірно крутий схил, тонка текстура, мала опуклість (*moderate slope, fine texture, low convexity*); помірно крутий схил, груба текстура, значна опуклість (*moderate slope, coarse texture, high convexity*); помірно крутий схил, тонка текстура, значна опуклість (*moderate slope, fine texture, high convexity*); крутий схил, груба текстура, мала опуклість (*steep slope, coarse texture, low convexity*); крутий схил, тонка текстура, мала опуклість (*steep slope, fine texture, low convexity*); крутий схил, груба текстура, значна опуклість (*steep slope, coarse texture, high convexity*); крутий схил, тонка текстура, значна опуклість (*steep slope, fine texture, high convexity*); дуже крутий схил, груба текстура, мала опуклість (*very steep slope, coarse texture, low convexity*); дуже крутий схил, тонка текстура, мала опуклість (*very steep slope, fine texture, low convexity*); дуже крутий схил, груба текстура, значна опуклість (*very steep slope, coarse texture, high convexity*); дуже крутий схил, тонка текстура, значна опуклість (*very steep slope, fine texture, high convexity*)

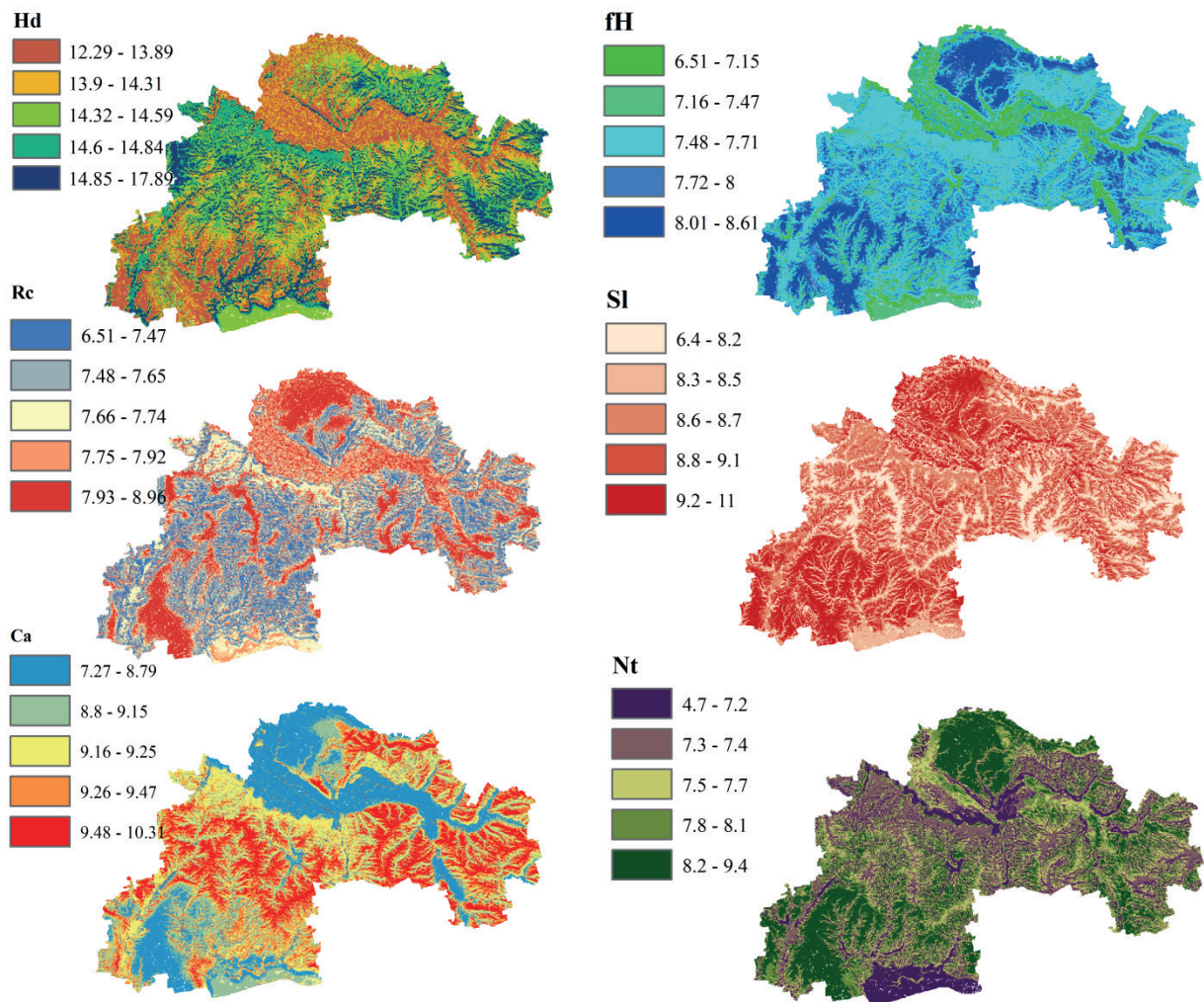


Рис. 7.12. Просторове варіювання фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів у межах Дніпропетровської області:

Hd – режим вологості едафотоп; fH – режим змінності вологості; Rc – режим кислотності; SI – режим трофності; Ca – вміст карбонатів у ґрунті; Nt – засвоєвані форми азоту

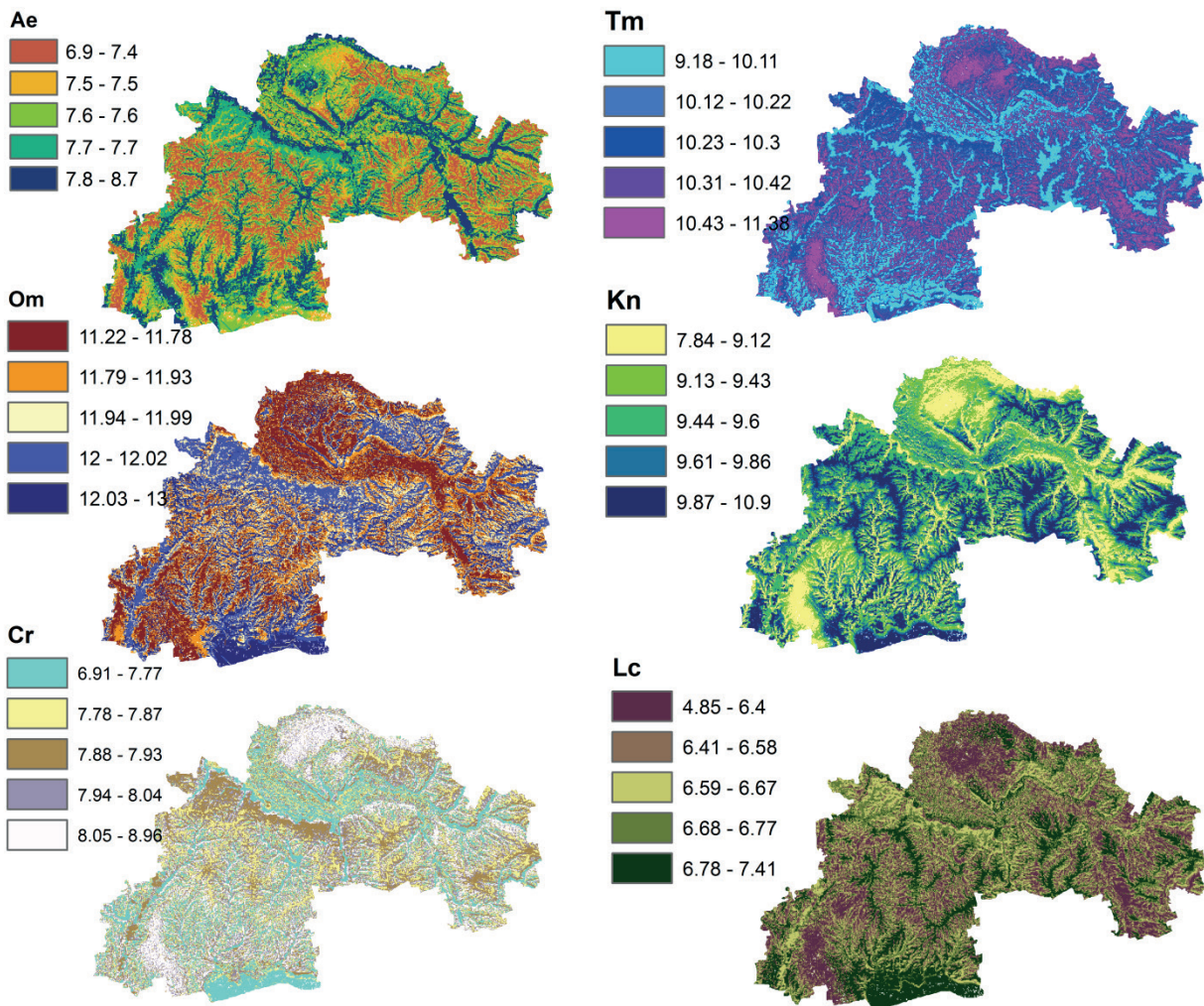


Рис. 7.13. Просторове варіювання фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів у межах Дніпропетровської області:

Ae – режим аерації; Tm – термоклімат; Om – омброклімат; Kn – континентальність; Cr – кріоклімат; Lc – режим освітлення

Одержані експериментальні результати не дозволили встановити статистично вірогідних попарних кореляційних зв'язків між режимом аерації та геоморфологічними предикторами. Серед кліматичних шкал найбільшим чином геоморфологічно детерміноване варіювання термоклімату (кореляція з чотирма геоморфологічними предиктора-

ми), а найменшим – варіювання омброклімату (кореляція з одним предиктором).

Можна припустити, що зв'язок між фітоіндикаційними оцінками екологічних режимів та геоморфологічними предикторами має більш складний характер, ніж це кількісно охарактеризовано попарними коефіцієнтами кореляції.

Таблиця 7.8.

Кореляційна матриця фітоіндикаційних шкал та геоморфологічних предикторів
(представлено коефіцієнти кореляції Спірмена для $p < 0,05$; $N = 177$)

Фітоіндикаційна шкала	Геоморфологічний предиктор									
	DEM	TWI	TPI	MBI	LS	VRM	DIR	DIFF	VERT	Shannon
Hd	–	–	–0,25	–	–	0,27	–	–	–	–
fH	0,17	–0,16	–	–	–	–	–0,23	0,18	–	–
Rc	–	–	–	–	–	–0,18	–	–	–	–
Sl	–	–0,20	–	–	–	–	–	0,15	–	0,23
Ca	–	–	–	–	0,16	–	–	–	0,29	–
Nt	0,29	–	–0,23	–0,27	–	–0,22	–0,28	0,29	–	–
Ae	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tm	–	–	–0,18	–	–	0,18	–	–	–0,16	0,21
Om	–	–	–	–	–	–	0,24	–	–	–
Kn	–	–	–	–	–	–	–	0,19	0,39	–
Cr	–	–	–	–	0,24	0,17	–	–	–	–
Lc	–0,16	–	–	–	–	–	–	–0,15	–	–

Умовні позначки: Hd – режим вологості едафотопу; fH – режим змінності вологості; Rc – режим кислотності; Sl – режим трофності; Ca – вміст карбонатів у ґрунті; Nt – поживні форми азоту; Ae – режим аерації; Tm – термоклімат; Om – омброклімат; Kn – континентальність; Cr – кріоклімат; Lc – режим освітлення; DEM – висота рельєфу; TWI – топографічний індекс вологості; TPI – індекс топографічного положення; MBI – індекс балансу геомаси; LS – фактор ерозії; VRM – векторна міра пересіченості місцевості; DIR – пряма інсоляція; DIFF – розсіяна інсоляція; VERT – висота над русловою мережею; Shannon – ентропія різноманіття форм рельєфу.

Для перевірки цієї гіпотези нами застосовано множинний регресійний аналіз, де як залежна змінна розглядаються фітоіндикаційні оцінки, а як предиктори – сукупність геоморфологічних показників (табл. 7.9, 7.10).

Регресійні моделі дозволяють пояснити 10–31% варіабельності фітоіндикаційних оцінок екологічних режимів. Найбільш геоморфологічно залежними виявилися режим вологості та азотного живлення, а найменш – режим змінності зволоження та омброклімат.

Для едафічних екологічних режимів найбільш інформаційно-цінним предиктором є висота рельєфу та пряма інсоляція (по чотири статистично вірогідних регресійних коефіцієнти). Для кліматичних режимів найбільш інформаційно-цінними є фактор ерозії, пряма інсоляція та висота над русловою

мережею (по два статистично вірогідних регресійних коефіцієнти).

Ентропія рельєфного різноманіття є статистично вірогідним предиктором для трофності едафотопу, вмісту карбонатів та термоклімату.

Лінійні регресійні моделі, які встановлюють зв'язок між фітоіндикаційними оцінками екологічних режимів та геоморфологічними предикторами, характеризуються певною пояснювальною здатністю. Лінійна модель дозволяє досить наочно інтерпретувати встановлені зв'язки. Деякі зв'язки є очевидними та певною мірою – тривіальними. Так, регресійна модель вказує: чим більше показник висоти рельєфу тим нижче рівень зволоження, що є досить очікуваним. Деякі зв'язки демонструють більш тонкі взаємодії між рельєфом, рослинним покривом та екологічними режимами. Особливий інтерес

Таблиця 7.9

Лінійна регресійна залежність фітоіндикаційних оцінок едафічних режимів від геоморфологічних предикторів (напівжирним показано статистично вірогідні коефіцієнти для $p < 0.05$)

Предиктор	Фітоіндикаційні оцінки						
	Hd	fH	Rc	Sl	Ca	Nt	Ae
DEM	-5,79±2,13	-1,72±2,43	7,64±2,32	1,19±2,38	-2,51±2,36	4,96±2,12	-5,09±2,37
TWI	-0,11±0,09	-0,15±0,10	0,35±0,09	-0,16±0,10	-0,04±0,10	-0,11±0,09	0,07±0,10
TPI	-0,54±0,11	0,07±0,13	0,22±0,12	0,01±0,12	-0,05±0,12	-0,08±0,11	-0,19±0,12
MBI	0,22±0,12	-0,03±0,13	0,14±0,13	0,00±0,13	-0,06±0,13	-0,35±0,11	0,24±0,13
LS	0,09±0,09	0,01±0,10	-0,02±0,09	-0,13±0,10	0,00±0,10	0,13±0,09	0,34±0,10
VRM	0,29±0,09	-0,07±0,10	-0,30±0,10	0,05±0,10	0,19±0,10	-0,19±0,09	-0,06±0,10
DIR	0,15±0,07	-0,21±0,08	-0,12±0,08	0,07±0,08	-0,09±0,08	-0,16±0,07	0,16±0,08
DIFF	5,82±2,12	1,82±2,43	-7,56±2,31	-0,91±2,37	2,25±2,36	-4,56±2,12	5,07±2,36
VERT	-0,11±0,11	-0,05±0,12	0,00±0,12	-0,17±0,12	0,48±0,12	-0,12±0,11	-0,03±0,12
Shannon	-0,04±0,07	-0,01±0,08	0,00±0,08	0,31±0,08	-0,19±0,08	-0,06±0,07	0,11±0,08
R^2	0,31	0,10	0,18	0,14	0,15	0,31	0,15

Умовні позначки: Hd – режим вологості едафотоп; fH – режим змінності вологості; Rc – режим кислотності; Sl – режим трофності; Ca – вміст карбонатів у ґрунті; Nt – поживні форми азоту; Ae – режим аерації; DEM – висота рельєфу; TWI – топографічний індекс вологості; TPI – індекс топографічного положення; MBI – індекс балансу геомаси; LS – фактор ерозії; VRM – векторна міра пересіченості місцевості; DIR – пряма інсоляція; DIFF – розсіяна інсоляція; VERT – висота над русловою мережею; Shannon – ентропія різноманіття форм рельєфу.

Таблиця 7.10

Лінійна регресійна залежність фітоіндикаційних оцінок кліматичних режимів від геоморфологічних предикторів (напівжирним показано статистично вірогідні коефіцієнти для $p < 0,05$)

Предиктор	Фітоіндикаційна оцінка				
	Tm	Om	Kn	Cr	Lc
DEM	0,35±2,36	-3,87±2,42	-1,28±2,25	1,27±2,37	-3,92±2,23
TWI	-0,09±0,10	-0,05±0,10	-0,02±0,09	-0,12±0,10	0,02±0,09
TPI	-0,38±0,12	0,16±0,13	-0,06±0,12	0,01±0,12	0,10±0,12
MBI	0,18±0,13	-0,10±0,13	-0,08±0,12	-0,16±0,13	-0,05±0,12
LS	-0,05±0,10	0,08±0,10	-0,20±0,09	0,27±0,10	-0,16±0,09
VRM	0,18±0,10	0,10±0,10	0,18±0,09	0,11±0,10	0,19±0,09
DIR	0,09±0,08	0,26±0,08	-0,17±0,08	0,04±0,08	-0,05±0,08
DIFF	-0,28±2,36	3,83±2,42	1,06±2,25	-1,08±2,37	3,38±2,22
VERT	-0,10±0,12	-0,08±0,12	0,65±0,11	-0,15±0,12	0,57±0,11
Shannon	0,25±0,08	0,02±0,08	0,10±0,08	-0,04±0,08	0,13±0,08
R^2	0,15	0,10	0,22	0,14	0,24

Умовні позначки: Tm – термоклімат; Om – омброклімат; Kn – континентальність; Cr – кріоклімат; Lc – режим освітлення; DEM – висота рельєфу; TWI – топографічний індекс вологості; TPI – індекс топографічного положення; MBI – індекс балансу геомаси; LS – фактор ерозії; VRM – векторна міра пересіченості місцевості; DIR – пряма інсоляція; DIFF – розсіяна інсоляція; VERT – висота над русловою мережею; Shannon – ентропія різноманіття форм рельєфу.

представляє зв'язок такої синтетичної властивості рельєфу, як різноманіття елементів рельєфу та фітоіндикаційних оцінок трофності, вмісту карбонатів та терморезиму. Це підтверджує, що не тільки локальні умови, але й просторовий контекст впливає на перебіг екологічних процесів, які визначають відповідні режими.

Встановленим регресійним залежностям тільки в деяких випадках можна надати значення маркерів причинно-наслідкових зв'язків. На локальних рівнях характер впливу рельєфу на екологічні процеси може позначатися певною множиною процесів, склад та інтенсивність впливу яких можуть суттєво змінюватися в різних точках простору. Однак можна вважати встановленим фактом, що на регіональному рівні може бути визначено монотонний зв'язок між фітоіндикаційними оцінками екологічних режимів та геоморфологічними предикторами (див. табл. 7.10).

Для практичного застосування з метою екстраполяції точкових оцінок екологічних факторів лінійна регресійна модель не придатна на регіональному рівні з причини значної нестационарності варіювання досліджуваних величин та нелінійного характеру зв'язку екологічних режимів та рельєфних умов. Лінійна складова зв'язку тільки дуже у загальному вигляді відображає реальні відносини між досліджуваними величинами. Безперечною перевагою лінійної моделі є можливість її інтерпретувати. Але одержані інтерпретації вельми поверхово показують зв'язки в системі клімат – рельєф – рослинний покрив. Лінійна регресія передбачає наявність функціонального зв'язку, відхилення від якого є випадковим в обидва напрями від гіпотетичного прогнозованого значення функції відгуку. Але переважна більшість екологічних зв'язків підпорядковується закону лімітуючого фактора, внаслідок чого відхилення від функціональної залежності є асиметричним: досліджувана змінна може бути менше (або більше) прогнозованого,

але ніколи не більше (або, навпаки, ніколи не менше). У випадку, коли з інших джерел відомо, що така залежність може бути описана гаусовою дзвоноподібною кривою, то для математичного опису залежності можна застосувати специфічні математичні процедури (*ter Braak, 1986*). У випадку асиметричної залежності можна використати β -функцію (*Austin, 1976*). Ці моделі придатні для опису залежності, але проблематичним є їх застосування для прогнозу, та, відповідно, до екстраполяції. Більш гнучкою є регресійна модель за методом опорних векторів (*Karatzoglou, 2004*). Ця регресія здатна знаходити залежності, які досить добре описують складні за своєю природою взаємозв'язки, але, на відміну від лінійної моделі, опорні методи не можна застосовувати для інтерпретації одержаного результату. Отримані просторові моделі характеризуються високою мірою інформативності.

Для вирішення завдань опису просторової варіації екологічних властивостей в якості предикторів застосовують зазвичай дві групи показників: цифрову модель рельєфу та її похідні, а також вегетаційні індекси, які одержані за допомогою даних дистанційного зондування поверхні Землі (*Ließ et al., 2016*). Такий підхід придатний для території, де залишився природний або штучний натуралізований рослинний покрив (*Zhukov et al., 2016*). У межах Дніпропетровської області значна частина території антропогенно трансформована (*Zhukov et al., 2017*). Моноценози, які формуються в межах сільськогосподарських полів, не можуть використовуватися для проведення синфітоіндикації. Певний рівень різноманіття встановлено для рослинних угруповань електричних підстанцій. Ці угруповання поряд з фрагментарними угрупованнями природних екосистем можна задіяти у фітоіндикації екологічних режимів. Але для цілей екстраполяції в межах регіону можна застосувати тільки дані цифрової моделі рельєфу та її похідні, оскільки вегетаційні індекси, хоча і відобра-

жають явища антропогенної трансформації, які складно пов'язані з динамікою екологічних процесів, але їх не можна використовувати як змінні предиктори.

Таким чином, цифрова модель рельєфу та похідні від неї інформаційні шари просторових даних (топографічний індекс вологості, індекс топографічного положення, індекс балансу геомаси, фактор ерозії, геоморфологічні оцінки прямої та розсіяної інсоляції, висота над русловою мережею, векторна міра пересіченості місцевості та

різноманіття форм рельєфу за Шенноном) є інформаційно-цінними коваріатами (предикторами) екологічних режимів, які оцінені за допомогою методу синфітоіндикації. Процедура просторової екстраполяції фітоіндикаційних оцінок на регіональному рівні може бути виконана на основі регресійних моделей за методом опорних векторів. Такий підхід є гнучким і враховує специфіку екологічних взаємодій у системі рельєф – рослинний покрив–екологічні режими.

7.3. Екопоселення

М.В. Савицький, Ю.І. Грицан, М.М. Бабенко, О.І. Бондаренко

З переходом до індустріального суспільства в Україні роль міст значно зросла. Але село залишилося осередком збереження національних традицій, шанування родини та зв'язку поколінь, які мають великий вплив на формування українського менталітету. Україна насамперед є аграрною державою, її формування проходило під впливом процесів, які відбувалися у селах. На сучасному етапі перед незалежною Українською державою стоїть нелегке завдання відродження села.

Всеукраїнське дослідження «Соціально-економічне становище сучасного українського села», проведене Інститутом Горшеніна, показало, що селяни перестали триматися за землю так, як це було ще десяток років тому. Згідно з опитуванням, 66,2% сільських мешканців не хочуть працювати на землі, 45,2% не отримують від неї доходу, тобто живуть у селі, але працюють не в сільському господарстві. Тільки 18,7% селян вирощують продукцію на продаж, тоді як 71,4% – ні. Серед першочергових проблем, які хвилюють українське село – безробіття, погана якість доріг, медичних послуг, пияцтво і наркома-

нія, тоді як питання розпаювання і приватизації землі знаходиться на передостанньому місці. Тобто можна зробити висновок, що в останні десятиліття в ментальності українських селян відбулися структурні зміни, які змінили їх ставлення до землі як основної платформи, на якій базується село.

Селяни хочуть працювати, але не на землі. Така тенденція може призвести до значних економічних наслідків, викликаних різким зменшенням сільського населення та скороченням обсягів виробництва сільськогосподарської продукції.

На сучасному етапі в малих і середніх сільських населених пунктах спостерігається процес відтоку населення, що видно на прикладі Дніпропетровської області. Нами проведено аналіз сільських населених пунктів Дніпропетровської області за чисельністю населення, територіально-просторовою організацією у структурі сільськогосподарського ландшафту, рівнем соціально-економічного розвитку. У Дніпропетровській області на території 22 адміністративних районів розташовано 1504 населених пункти, в тому числі: сільських – 1438; сільських рад –