ISSN 2306-1677 (Print) ISSN 2518-7325 (On-line)
Отримано: 01.09.2026; Прийнято: 15.09.2026; Опубліковано: 30.12.2026;
УДК 332.14:502 http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.04.07

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО ІНДЕКСУ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ КРАЇН ЄВРОПИ

О.М. ЧУМАЧЕНКО,
доктор економічних наук, доцент,
Email: chumachenko_o@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1560-5518
Л.А. ГУНЬКО,
доктор економічних наук, доцент,
Email: gunko_l@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9454-744X
Є.В. КРИВОВ'ЯЗ,
кандидат економічних наук, доцент
Email: kryvoviaz_y@nubip.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2908-6664
Л.Л. КОЛЬОСА,
кандидат економічних наук, доцент
Email: kll_ludmila@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2970-703X
Національного університету біоресурсів і природокористування України

Анотація. *У статті досліджено екологічну стійкість землекористування європейських країн з урахуванням просторової забезпеченості природоохоронними територіями, структури земельних угідь, рівня екологічної стабільності та антропогенного навантаження. Обґрунтовано необхідність переходу від оцінювання окремих природоохоронних показників до комплексного аналізу здатності територій зберігати природний потенціал, біологічне різноманіття та екосистемні функції. Методологічною основою дослідження стали показники розвитку екомережі Natura 2000 і Смарагдової мережі, коефіцієнт заповідності, показник антропогенного насичення природних територіальних комплексів, частка ріллі, коефіцієнт екологічної стабільності та коефіцієнт антропогенного навантаження. Для їх зіставлення застосовано нормалізацію за методом мінімаксного перетворення та рівнозначне зважування показників. На цій основі запропоновано інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування, який дає змогу комплексно оцінювати співвідношення природоохоронної та господарської складових територіального розвитку. Здійснено моделювання*

Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

індексу для 27 країн Європейського Союзу та України. Встановлено суттєву диференціацію країн за рівнем екологічної стійкості. Найвищі значення інтегрального індексу характерні для Словенії, Фінляндії, Швеції, Хорватії та Естонії, тоді як найнижчі - для Данії, України, Угорщини, Мальти та Чехії. Середнє значення індексу для країн Європейського Союзу становить близько 0,50, тоді як для України - 0,22. Доведено, що значна площа природоохоронних територій сама по собі не забезпечує високої екологічної стійкості землекористування, якщо супроводжується високою часткою ріллі та значним антропогенним навантаженням. Запропонований індекс може бути використаний для порівняльної оцінки країн, просторового планування, удосконалення земельної та природоохоронної політики, а також обґрунтування напрямів формування екологічно збалансованих систем землекористування.

Ключові слова: *екологічна стійкість, землекористування, екомережа, біорізноманіття, природоохоронні території, антропогенне навантаження, екосистемні послуги.*

Постановка проблеми

Сучасні екологічні та соціально-економічні виклики зумовлюють необхідність переходу до моделей землекористування, орієнтованих не лише на отримання економічних результатів, а й на збереження природного капіталу, біологічного різноманіття та здатності екосистем забезпечувати суспільство життєво важливими послугами. Європейська практика забезпечення населення екосистемними послугами ґрунтується на комплексному розвитку програм зі збереження, охорони та відновлення природних територій. Важливим елементом цієї системи є формування взаємопов'язаної екологічної мережі, яка забезпечує збереження цінних природних комплексів, підтримання екологічних зв'язків між ними та довгострокове функціонування екосистем [8]. Ключову роль у реалізації такого підходу відіграє мережа Natura 2000, створена як основний інструмент збереження біорізноманіття Європейського Союзу [14, 15]. Її територіальна структура сформована на основі спеціальних природоохоронних територій, визначених відповідно до Директиви про птахів та Директиви про оселища, для яких передбачаються відповідні заходи управління і охорони видів та природних середовищ їх існування [10, 11]. Мережа Natura 2000 охоплює понад 18 % суходольної території Європейського Союзу та понад 8 % морських територій і включає близько 27 тис. природоохоронних об'єктів [3]. Водночас просторове поширення таких територій істотно відрізняється між державами. Найвища частка територій Natura 2000 характерна для Словенії, Хорватії, Болгарії та Словаччини, тоді як в окремих інших країнах вона є значно нижчою [21]. Така диференціація свідчить про неоднорідність природоохоронного навантаження та різні підходи держав до інтеграції екологічних пріоритетів у структуру землекористування. Важливим доповненням до Natura 2000 є Смарагдова мережа (Emerald Network), сформована в рамках Бернської конвенції [5, 16]. Вона охоплює території особливого природоохоронного інтересу та забезпечує поширення загальноєв-

ропейських стандартів охорони біорізноманіття за межами Європейського Союзу. Взаємна сумісність Natura 2000 і Смарагдової мережі формує цілісний просторовий підхід до охорони природних середовищ існування на європейському континенті. Для України імплементація європейських принципів розвитку екологічної мережі має особливе значення в контексті європейської інтеграції та необхідності відновлення природних ресурсів [19]. Смарагдова мережа України вже включає 271 територію, площа яких становить близько 12 % території держави [14]. Подальше вдосконалення її просторової структури, забезпечення ефективного управління природоохоронними територіями та узгодження земельної політики з європейськими природоохоронними стандартами є важливими передумовами підвищення екологічної стійкості територій. Особливої актуальності дослідження набуває в контексті реалізації Європейської зеленої угоди та Стратегії ЄС щодо біорізноманіття до 2030 року, якими передбачено збільшення масштабів охорони природних територій і посилення ролі екосистем у забезпеченні сталого розвитку [12]. Тому дослідження просторових характеристик Natura 2000, оцінювання відмінностей між європейськими країнами та визначення їхнього взаємозв'язку зі стійкістю землекористування є важливим науковим і практичним завданням. Такий підхід дає змогу обґрунтувати напрями вдосконалення екологічної політики, просторового планування та системи управління земельними ресурсами на засадах збереження біорізноманіття й забезпечення стабільного потоку екосистемних послуг.

Метою статті є розроблення інтегрального підходу до оцінювання екологічної стійкості землекористування європейських країн на основі показників розвитку екомережі, природоохоронної забезпеченості, структури земельних угідь, екологічної стабільності та антропогенного навантаження, а також визначення диференціації рівня екологічної стійкості країн Європи.

Матеріали і методи дослідження

Матеріалами дослідження стали статистичні та просторові дані щодо структури землекористування, природоохоронних територій та екомережі Natura 2000 і Смарагдової мережі країн ЄС та України, отримані з офіційних джерел ЄС, Світового банку та Державної служби статистики України. Для комплексної оцінки екологічної стійкості землекористування використано шість показників: індекс розвитку екомережі (In), коефіцієнт заповідності (Кз), показник антропогенного насичення природних територіальних комплексів (Іа.н), частку ріллі (Р), коефіцієнт екологічної стабільності (Кек.ст) та коефіцієнт антропогенного навантаження (Кан). Зазначені показники характеризують дві взаємопов'язані складові екологічної стійкості землекористування. Перша характеризує природоохоронний та екологічно стабілізуючий потенціал території, а друга - рівень антропогенного перетворення земель.

До першої групи віднесено: індекс розвитку екомережі Natura 2000 та Смарагдової мережі (In); коефіцієнт заповідності (Кз); коефіцієнт екологічної стабільності (Кек.ст). Збільшення кожного з цих показників ха-

рактеризує позитивну тенденцію з позицій екологічної стійкості території. Високий рівень розвитку екомережі означає більшу просторову забезпеченість збереження біорізноманіття та екосистемних функцій, збільшення коефіцієнта заповідності свідчить про розширення природоохоронного фонду, а високий коефіцієнт екологічної стабільності відображає сприятливішу структуру земельних угідь.

До другої групи належать показники, збільшення яких, навпаки, свідчить про посилення антропогенного впливу: антропогенне насичення природних територіальних комплексів (Іа.н); частка ріллі як основного дестабілізуючого компонента агроландшафтів (Р); коефіцієнт антропогенного навантаження (Кан). Таким чином, для побудови інтегрального індексу було враховано різну спрямованість впливу зазначених показників. Оскільки на цьому етапі дослідження кожен із показників розглядається як самостійна та методично рівнозначна характеристика екологічної стійкості землекористування, для шести складових інтегрального індексу застосовано рівнозначні ваги (1/6). Такий підхід, дає змогу уникнути суб'єктивного пріоритетування окремих складових та забезпечує прозорість і відтворюваність інтегральної оцінки. Нормалізацію показників здійснювали методом мінімаксного перетворення [2]. Для показників-стимуляторів використовували співвідношення xi′=(xi-xmin)/(xmax-xmin), а для показників-дестимуляторів - xi′=(xmax-xi)/(xmax-xmin). У результаті нормовані значення всіх показників набувають діапазону від 0 до 1, де більше значення відповідає вищому рівню екологічної стійкості землекористування.

Для забезпечення уніфікованого представлення даних у розрахунках інтегрального індексу показники індексу розвитку екомережі (In) та коефіцієнта заповідності (Кз) використовувалися у вигляді часток одиниці в діапазоні від 0 до 1 (табл.1). У нашому дослідженні відсоткові значення застосовуються лише для характеристики площ та їх структури. Рівні інтегрального індексу ІЕСЗ визначено за такими інтервалами: 0-0,19 – критичний; 0,20-0,39– низький; 0,40-0,59 – середній; 0,60-1,00 – високий. Інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування (ІЕСЗ) визначено як середнє нормованих значень шести показників. Отримані значення використано для порівняльного ранжування країн Європи та визначення рівнів екологічної стійкості землекористування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні дослідження підтверджують доцільність комплексної оцінки екологічної стійкості землекористування, оскільки стан європейських агроландшафтів визначається не лише площею природоохоронних територій, а й структурою землекористування, інтенсивністю сільськогосподарського виробництва, фрагментацією природних оселищ та антропогенним навантаженням. Так дослідження Nicholas, Scown (2024) доводить, що сільські системи землекористування Європи одночасно сприяють досягненню та створюють перешкоди для Цілей сталого розвитку [6]. Автори наголошують на необхідності одночасного врахування екологічних і соціально-економічних показників, що методологічно

відповідає запропонованому в статті інтегральному підходу [13]. Важливим напрямом сучасних досліджень є оцінювання антропогенного навантаження сільськогосподарських земель. Зокрема, дослідження 2024 року встановило, що врахування інтенсивності сільського господарства майже вдвічі посилює зв'язок між землекористуванням та екологічним станом річок у Європі [9]. Окремі публікації акцентують увагу на ролі ландшафтних елементів і екологічної зв'язності. За результатами дослідження JRC, ландшафтні елементи займають близько 5,6 % сільськогосподарських земель ЄС і мають важливе значення для збереження біорізноманіття та екосистемних послуг. Інші дослідження показують, що відновлення зв'язків між природними оселищами та агроекосистемами може підвищувати функціональність Natura 2000 [4]. Суттєвою проблемою залишається інтенсифікація сільського господарства. Дослідження 2024 року показало прискорене скорочення популяцій сільськогосподарських птахів у низці європейських країн, причому основним чинником визначено саме інтенсифікацію агровиробництва [13]. Вивченню проблем просторової забезпеченості збереження біологічного різноманіття та екосистемних функцій територій Європи присвячені праці вітчизняних дослідників [1, 7, 21].

Отже, останні публікації підтверджують наукову обґрунтованість запропонованого авторського підходу, оскільки екологічна стійкість землекористування має розглядатися як результат взаємодії природоохоронної забезпеченості, структури угідь, екологічної стабільності та антропогенного навантаження.

Виклад основного матеріалу дослідження

Загальноєвропейська екологічна мережа є складною територіальною структурою, для якої характерні неоднорідність та нерівномірність просторового розміщення природоохоронних об'єктів. Реалізація природоохоронної складової екомережі ускладнюється тим, що до її структури входять не лише природні території, а й землі, які активно використовуються у господарській діяльності, зокрема сільськогосподарські угіддя. Частка агроекосистем у складі національних мереж Natura 2000 характеризується значними відмінностями за країнами. Аналіз її територіальної структури свідчить, що до складу екомережі включено значні площі земель сільськогосподарського та лісогосподарського призначення, які одночасно виконують природоохоронні та господарські функції. У межах ЄС до структури екомережі залучено близько 11 % сільськогосподарських угідь та 22,9 % лісогосподарських земель (рис. 1).

Найбільша частка сільськогосподарських угідь, включених до територій Natura 2000, спостерігається в Хорватії - 25,7 %, Болгарії - 22,4 % та Словенії - 23,2 %. Натомість найнижче значення цього показника зафіксовано у Фінляндії - лише 1,2 %. Ще суттєвішими є відмінності між державами Європейського Союзу за часткою лісогосподарських територій, охоплених мережею Natura 2000: відповідний показник варіює від 7,6 % у Швеції до 53,2 % у Болгарії. Наведені дані свідчать, що значну частину площ екомережі в країнах ЄС формують лісовкриті території.

З огляду на активну політику Європейського Союзу щодо розширен-

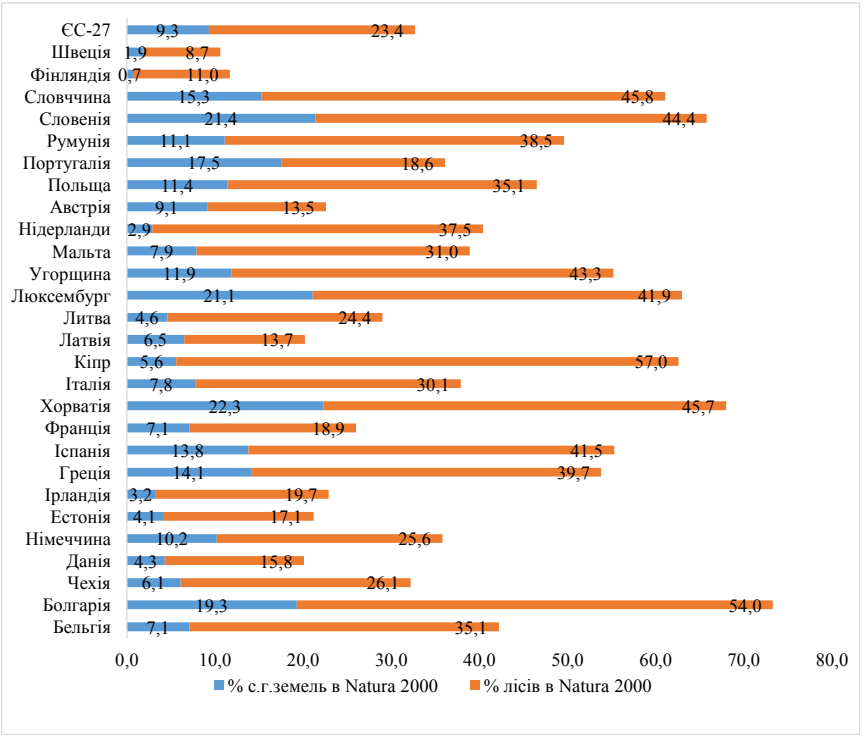


Рис. 1. Частка сільсько- та лісогосподарських земель у Натура 2000, % [5]

ня та розвитку природоохоронних мереж, важливим завданням дослідження є оцінювання рівня забезпеченості європейських держав територіями, охопленими мережами Natura 2000 та Смарагдовою мережею.

У дослідженні для країн ЄС використано показники територіального охоплення мережею Natura 2000, тоді як для України відповідний показник Смарагдової мережі. Їх методична співставність визначається спільною природоохоронною спрямованістю та орієнтацією на збереження біорізноманіття, природних оселищ і екосистемних функцій. Тому в межах інтегральної моделі вони розглядаються як різні національно-інституційні форми реалізації європейського підходу до формування екомережі. Для уникнення термінологічної неоднозначності в дослідженні ми використовуємо єдиний термін «індекс розвитку екомережі» (In), який охоплює Natura 2000 для країн ЄС та Смарагдову мережу для України. Такий підхід на нашу думку відповідає наведеному в статті положенню про взаємну сумісність Natura 2000 і Смарагдової мережі та їх спільну природоохоронну функцію.

З цією метою в межах дослідження було розроблено та розраховано індекс розвитку екомережі, який дає змогу комплексно оцінити рівень представленості природоохоронних територій у структурі землекористування європейських країн.

$$I_n = \frac{\sum S_c + \sum S_m}{\sum S_з}, \qquad (1)$$

де: ∑Sc – сума площ ділянок суші під об'єктами екомережі;

∑Sm – сума площ морських ділянок під об'єктами екомережі;

∑Sз – загальна площа адміністративної одиниці.

У процесі обчислень було отримані результати, представлені у таблиць 1.

Зазначений показник дає змогу здійснити комплексну оцінку просторової забезпеченості територій умовами, необхідними для збереження біологічного різноманіття та підтримання екосистемних функцій. У межах цього дослідження оцінювання проведено для держав - членів Європейського Союзу та України. Найвищі значення індексу зафіксовано в Німеччині - 0,61 та Бельгії - 0,50. Найнижчий рівень забезпеченості характерний для Чехії - 0,14 та Ірландії - 0,15. Середнє значення показника для країн Європейського Союзу становить 0,26, тоді як для України значення Смарагдового індексу дорівнює 0,12. Для оцінки рівня природозабезпеченості території нами було пораховано коєфіцієнт заповідності як частку природоохоронних територій (Sз.т.), тобто відношення площі природоохоронних територій певної території (Sпзф) до її загальної площі (Sзаг.):

$$S_{з.т.} = S_{пзф}/S_{заг} * 100\%. \qquad (2)$$

Показник вказує на рівень природно-ресурсного потенціалу та екосистемних послуг території держави. Серед європейських країн найвищий рівень заповідності територій зафіксовано в Люксембурзі - 51 %, Болгарії - 41 % та Словенії - 40 %. Найменші значення цього показника характерні для Ірландії - 14 % та Фінляндії - 13 %. В Україні частка природоохоронних територій становить лише 7 %, що суттєво поступається середньоєвропейському значенню - 26 %. Таке співвідношення свідчить про недостатню забезпеченість території України природоохоронними об'єктами порівняно з державами - членами Європейського Союзу. Для забезпечення уніфікованого представлення даних у розрахунках інтегрального індексу значення показника були взяті як частки одиниці в діапазоні від 0 до 1 (табл. 1).

Оцінити структуру природних територіальних комплексів (ПТК), на нашу думку варто за допомогою показника антропогенного насичення природних територіальних комплексів (ПТК) – Іа..н. (див. формулу 5.3), який дозволяє оцінити частку антропогенно навантажених територій (сільськогосподарські угіддя, урбанізація) – в загальній структурі природних територіальних комплексів (∑Sa) та саме в лісових, водно-болотних, водних угіддях і сухих територіях, що мають особливий рослинний покрив (∑Sп).

$$I_{а.н.} = \frac{\sum S_a}{\sum S_n}. \qquad (3)$$

Збільшення цього показника вказує на зростаючу функцію антропогенно навантажених територій у структурі природокористування та дозволяє стверджувати, що взаємопроникнення і, як наслідок, взаємовплив, територіальних складових прямує до свого максимуму. Так, найвищі показники виявлено в структурі землекористувань Данії (1,25), Люксембургу (1,22), Мальти (1,00), Угор-

щини (0,87), Франції (0,80), Німеччини (0,79), що свідчить про високий рівень інтеграції агросектору (адже частка сільськогосподарських угідь найбільша) в систему природокористування. Найнижчі показники виявлено в структурі землекористування Фінляндії (0,02), України та Швеції (0,05), Естонії (0,14), Ірландії (0,21), Словенії (0,24), що свідчить про дуже низьку та низьку інтеграцію агросистем у систему природних територіальних комплексів відповідних країн.

Одним із ключових напрямів дослідження є проведення комплексної екологічної оцінки територій окремих європейських держав та України. Інформаційною базою дослідження стали статистичні й офіційні дані Європейського Союзу, Світового банку та Державної служби статистики України. Методологічною основою агроекологічної оцінки територій визначено підхід, що передбачає встановлення ступеня порушення екологічної рівноваги між орними землями, які розглядаються як основний дестабілізуючий компонент агроландшафтів, та сукупністю природних елементів ландшафту - лісами, луками, водними об'єктами, сіножатями, пасовищами та іншими угіддями, що виконують екологостабілізуючу функцію [17]. Розрахунок здійснювався за формулами:

$$P = \frac{Sp}{Sp+Secy}\ 100, \qquad (4)$$

де, P – питома вага ріллі у групі угідь;

Sp – площа ріллі, га;

Secy – сумарні природні території, га.

Питома вага екологостабілізуючих угідь (ЕСУ) в групі угідь розраховується за формулою:

$$ЕСУ = \frac{Secy}{Sp+Secy}\ 100, \qquad (5)$$

де ЕСУ – питома вага екологостабілізуючих угідь у групі угідь Р+ЕСУ, %.

Для характеристики ступеня порушення екологічної рівноваги агроландшафтів застосовано п'ятибальну шкалу оцінювання [18]. Результати, наведені в таблиці 1 подані, як частки одиниці, що забезпечує уніфікацію результатів дослідження. Разом з тим, результати нашого дослідження засвідчують, що значна частина досліджуваних землекористувань європейських країн характеризується оптимальним агроекологічним станом за показником Р у межах від 0 до 20. До цієї групи належать Мальта, Швеція, Ірландія, Фінляндія, Словенія, Португалія, Кіпр, Хорватія, Естонія, Австрія та Греція. Добрий агроекологічний стан, за значеннями Р від 21 до 36, встановлено для Латвії, Італії, Іспанії, Люксембургу, Франції, Словаччини, Нідерландів, Болгарії, Литви та Бельгії. Задовільний стан територій, що відповідає діапазону Р від 37 до 55, характерний для Німеччини, Польщі, Румунії, Чехії та Угорщини. Незадовільний агроекологічний стан, за якого значення Р перебуває в межах від 56 до 70, встановлено в Україні - 56 % та Данії - 60 %. Такий рівень показника свідчить про значне антропогенне навантаження та надмірний рівень використання природного потенціалу екосистем. Водночас середні значення показників Р = 24,9 та ЕСУ = 75,1 для країн Європейського Союзу загалом характеризують їх територію як таку, що має добрий агроекологічний стан.

Оцінювання екологічної стабіль-

ності та рівня антропогенного впливу на території здійснювалося відповідно до методичних рекомендацій щодо визначення екологічної стабільності агроландшафтів і сільськогосподарського землекористування, розроблених А. М. Третяком [18].

Оцінка впливу структури угідь на екологічну стабільність території характеризується коефіцієнтом екологічної стабільності – Кек.ст., який розраховували за формулою:

$$Кек.ст. = \frac{\sum Кі \cdot Пі}{\sum Пі} \qquad (6)$$

де, Кі – коефіцієнт екологічної стабільності угіддя і-го виду [18];

Пі – площа угідь і-го виду, тис. га.

Аналіз екологічної збалансованості ландшафтів та ступеня їх антропогенного перетворення показав, що в Данії, Мальті, Нідерландах, Угорщині, Бельгії та Україні сформувався слабо стабільний екологічний стан. Значення коефіцієнта екологічної стабільності (Кек.ст.) у цих країнах знаходиться в межах 0,34-0,50. Найвищий рівень позитивного впливу структури земельних угідь на екологічну стабільність територій спостерігається у Фінляндії - 0,88, Швеції - 0,85, Словенії - 0,78 та Естонії - 0,72. Середнє значення відповідного показника для країн Європейського Союзу становить 0,60, що відповідає середньому рівню екологічної стабільності територій.

Екологічну збалансованість ландшафтів і вплив діяльності людини на стан довкілля, зокрема і на земельні ресурси, оцінюють за коефіцієнтом антропогенного навантаження [20] (Ка.н.), який розраховували за формулою:

$$Кан = \frac{\sum Буі \cdot Пі}{\sum Пі}, \qquad (7)$$

де, Буі – бал за рівнем антропогенного навантаження на угіддя і-го виду;

Пі – площа угідь і-го виду, тис. га.

Окремим напрямом дослідження стало визначення рівня антропогенного навантаження, що характеризує інтенсивність впливу господарської діяльності людини на стан та функціонування територіальних екосистем. Розрахунки показали, що підвищений рівень антропогенного навантаження, який відповідає значенням коефіцієнта від 3,1 до 4,0, характерний для Мальти, Данії, Бельгії, Нідерландів та України. Для решти досліджуваних європейських країн встановлено середній рівень антропогенного навантаження (табл. 1).

Так як екологічну стійкість землекористування варто визначати не окремим показником, а сукупністю взаємопов'язаних характеристик, які відображають здатність території зберігати природний потенціал, забезпечувати функціонування екосистем та одночасно протистояти антропогенному навантаженню. З огляду на це ми пропонуємо використання інтегрального індексу екологічної стійкості землекористування (ІЕСЗ), адже використання лише одного показника, наприклад частки природоохоронних територій або коефіцієнта екологічної стабільності, не дає змоги комплексно оцінити стан землекористування країни. У проведеному дослідженні для формування інтегральної оцінки використано шість показників, представлених у досліджуваному матеріалі: індекс розвитку екомережі (In), коефіцієнт заповідності (Кз), показник антропогенного насичення природних територіальних комплексів (Іа.н), частка ріллі у структурі угідь (Р), коефіцієнт еколо-

гічної стабільності території (Кек.ст) та коефіцієнт антропогенного навантаження (Кан).

Інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування визначено за формулою:

$$I_{ЕСЗ} = \frac{ZI_{п} + ZK_{э} + ZK_{ек.ст.} + ZI_{ан} + ZP + ZK_{ан}}{6} \quad (8)$$

де ІЕСЗ - інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування.

1. Моделювання інтегрального індексу екологічної стійкості землекористування країн Європи

Країна	Іп	Sз.т.	Іа.н.	Р	ЕСУ	К ек. ст.	К ан.	ІЕСЗ	Рівень
Австрія	0,15	0,29	0,41	0,17	0,83	0,67	2,80	0,54	середній
Бельгія	0,50	0,15	0,58	0,35	0,65	0,44	3,40	0,38	низький
Болгарія	0,43	0,41	0,68	0,33	0,67	0,58	3,00	0,54	середній
Греція	0,32	0,35	0,46	0,17	0,83	0,64	2,80	0,60	середній
Данія	0,24	0,15	1,25	0,61	0,39	0,34	3,60	0,07	критичний
Естонія	0,36	0,21	0,14	0,16	0,84	0,77	2,50	0,68	високий
Ірландія	0,15	0,14	0,21	0,07	0,93	0,60	2,90	0,50	середній
Іспанія	0,35	0,28	0,38	0,24	0,76	0,60	2,90	0,55	середній
Італія	0,20	0,21	0,44	0,24	0,76	0,60	2,90	0,46	середній
Кіпр	0,29	0,38	0,41	0,12	0,88	0,57	3,00	0,58	середній
Латвія	0,27	0,18	0,33	0,22	0,78	0,72	2,60	0,57	середній
Литва	0,37	0,17	0,35	0,34	0,66	0,57	3,00	0,47	середній
Люксембург	0,27	0,51	1,22	0,27	0,74	0,57	3,10	0,45	середній
Мальта	0,18	0,29	1,00	0,05	0,95	0,38	3,60	0,32	низький
Нідерланди	0,40	0,26	0,36	0,30	0,70	0,43	3,40	0,43	середній
Німеччина	0,61	0,38	0,79	0,37	0,63	0,51	3,20	0,52	середній
Польща	0,41	0,40	0,78	0,38	0,63	0,54	3,10	0,48	середній
Португалія	0,23	0,22	0,63	0,11	0,89	0,68	2,70	0,54	середній
Румунія	0,44	0,23	0,48	0,39	0,62	0,53	3,10	0,46	середній
Словаччина	0,30	0,37	0,32	0,29	0,71	0,63	2,90	0,57	середній
Словенія	0,43	0,40	0,24	0,09	0,91	0,78	2,50	0,79	високий
Угорщина	0,21	0,22	0,87	0,50	0,50	0,43	3,30	0,23	низький
Україна	0,12	0,07	0,05	0,56	0,44	0,40	3,40	0,22	низький
Фінляндія	0,21	0,13	0,02	0,07	0,93	0,88	2,20	0,71	високий
Франція	0,44	0,27	0,80	0,29	0,71	0,55	3,10	0,47	середній
Хорватія	0,46	0,38	0,41	0,15	0,85	0,70	2,70	0,70	високий
Чехія	0,14	0,22	0,51	0,43	0,57	0,52	3,20	0,32	низький
Швеція	0,25	0,14	0,05	0,06	0,94	0,85	2,30	0,71	високий

Розраховано авторами із використанням даних [22]

Запропонований підхід дозволяє одночасно врахувати рівень розвитку природоохоронної інфраструктури, екологічну стабільність структури земельних угідь та інтенсивність антропогенного навантаження. На основі наведених у дослідженні даних було розраховано інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування для 27 країн ЄС та України.

Результати моделювання свідчать про суттєву диференціацію країн Європи за рівнем екологічної стійкості землекористування. Найвище значення інтегрального індексу отримано для Словенії - 0,786, що зумовлено одночасним поєднанням високої екологічної стабільності земельних угідь (0,78), значної частки природоохоронних територій (0,40), відносно низької частки ріллі (9,4 %) та невисокого антропогенного навантаження (2,5). Високий рівень екологічної стійкості також характерний для Фінляндії (0,71), Швеції (0,71), Хорватії (0,70) та Естонії (0,68). Спільною характеристикою цих країн є сприятлива структура землекористування, значні площі природних територій, висока екологічна стабільність та порівняно низьке антропогенне навантаження. Особливо показовою є ситуація Фінляндії та Швеції: незважаючи на відносно невисокі значення індексу розвитку екомережі та коефіцієнта заповідності, вони компенсуються дуже високими значеннями коефіцієнта екологічної стабільності та низькими показниками ріллі й антропогенного навантаження.

Середній рівень екологічної стійкості встановлено для більшості досліджуваних країн. Значення ІЕСЗ від 0,40 до 0,59 отримано для Греції, Кіпру, Латвії, Словаччини, Іспанії, Болгарії, Португалії, Австрії, Німеччини, Ірландії, Польщі, Литви, Франції, Італії, Румунії, Люксембургу та Нідерландів. Серед цієї групи особливу увагу привертає Німеччина, яка має найвище серед досліджуваних країн значення індексу розвитку екомережі - 0,61, однак її інтегральний показник становить лише 0,52. Це пояснюється високим антропогенним насиченням природних територіальних комплексів (0,79), значною часткою ріллі (36,7 %) та відносно високим антропогенним навантаженням (3,2). Отже, розвинена система природоохоронних територій сама по собі не гарантує високої екологічної стійкості землекористування, якщо одночасно зберігається значний рівень антропогенного перетворення території.

Низький рівень екологічної стійкості характерний для Бельгії (0,38), Чехії (0,32), Мальти (0,32), Угорщини (0,23) та України (0,22). Для цих країн характерне поєднання високого антропогенного навантаження, значної частки сільськогосподарського використання та недостатньої екологічної стабільності структури землекористування. Особливо важливим є результат для України. Значення ІЕСЗ становить 0,22, що суттєво нижче за середнє значення для країн ЄС, яке за запропонованою моделлю становить приблизно 0,50. Таким чином, за модельною оцінкою інтегральний рівень екологічної стійкості землекористування України становить близько 43 % від середнього рівня країн ЄС. Низьке значення ІЕСЗ України формується під впливом декількох взаємопов'язаних факторів. Передусім це низький рівень розвитку екомережі (0,12), найнижчий серед досліджуваних коефіцієнт заповідності (0,07), низький коефіцієнт екологіч-

ної стабільності (0,40), висока частка ріллі (56,3 %) та підвищений коефіцієнт антропогенного навантаження (3,4). Водночас низьке значення показника антропогенного насичення природних територіальних комплексів (0,05) не може компенсувати загального дисбалансу, оскільки воно у запропонованій моделі розглядається як позитивне лише за умови достатнього розвитку природних компонентів території. Найнижчий результат отримано для Данії - 0,07. Це пов'язано насамперед із найбільшою серед досліджуваних країн часткою ріллі (60,6 %), найвищим показником антропогенного насичення ПТК (1,25), одним із найвищих рівнів антропогенного навантаження (3,6) та найнижчим коефіцієнтом екологічної стабільності (0,34). Отриманий результат підтверджує, що висока інтенсивність використання земель сільськогосподарського призначення може істотно знижувати загальну екологічну стійкість території навіть за наявності розвиненої природоохоронної політики.

Запропонований інтегральний індекс дає змогу перейти від аналізу окремих екологічних характеристик до комплексної оцінки стійкості системи землекористування (рис. 2). Його перевагою є поєднання просторової природоохоронної складової, представленої екомережею та природоохоронними територіями, зі структурною характеристикою земельних угідь та показниками антропогенного навантаження. Важливим є те, що модель не ототожнює поняття природоохоронної забезпеченості та еко-

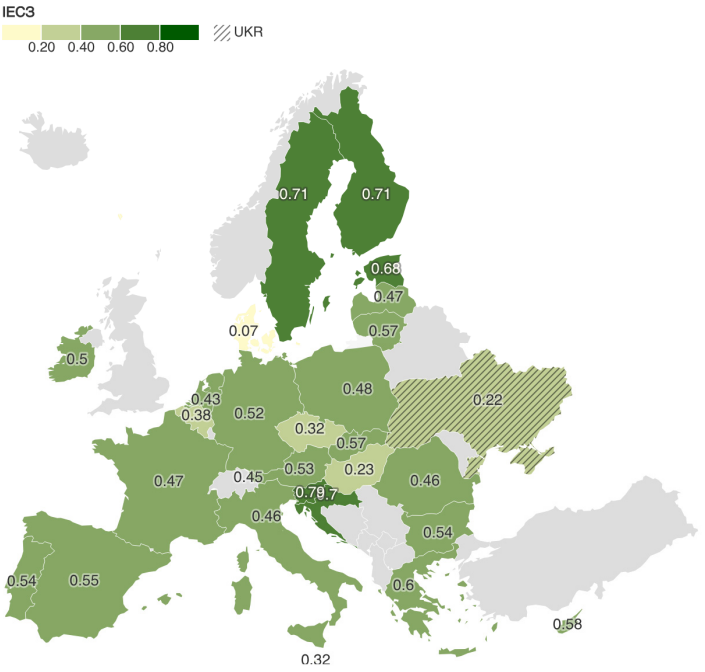


Рис.2. Інтегральний індекс екологічної стійкості землекористування країн Європи

логічної стійкості. Наприклад, країна може мати значні площі Natura 2000 або природоохоронних територій, але водночас характеризуватися високою часткою ріллі, значним антропогенним навантаженням і низькою екологічною стабільністю агроландшафтів. Тому інтегральна оцінка дозволяє врахувати компенсаційний ефект окремих складових та виявити реальний дисбаланс між природоохоронною та господарською функціями земель.

Висновки

Таким чином, проведене дослідження показало, що екологічна стійкість землекористування країн Європи формується під впливом трьох ключових компонентів: природоохоронної забезпеченості території, екологічної стабільності структури земельних угідь та рівня антропогенного навантаження. Найбільш збалансованими за сукупністю цих характеристик є Словенія, Фінляндія, Швеція, Хорватія та Естонія. Натомість землекористування Данії, України, Угорщини, Мальти та Чехії характеризуються найнижчими значеннями інтегрального показника. Для України пріоритетними напрямами підвищення екологічної стійкості землекористування мають бути розширення екомережі та природоохоронних територій, збільшення частки екологічно стабілізуючих угідь, оптимізація структури сільськогосподарського землекористування та зниження антропогенного навантаження на земельні ресурси. Практично індекс може бути використаний для порівняння екологічної стійкості землекористування, визначення проблемних територій, оцінювання результативності земельної та природоохоронної політики, обґрунтування напрямів розширення екомережі, оптимізації структури земельних угідь та визначення пріоритетів екологізації сільськогосподарського землекористування. Водночас отримані результати слід розглядати як авторську модельну оцінку, оскільки вихідні показники характеризують різні аспекти екологічного стану територій і мають різну природу формування.

Список використаної літератури

1. Valeri S., Schmitz V., Acosta-Gallo B., Lamonico D., Villodre V. Condition of linear landscape elements improves with contiguity to protected habitats: Empirical evidence useful for agroecosystem accounting and restoration. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2024. Vol. 375. Art. 109199. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109199.
2. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. URL: http://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=104 (дата звернення: 01.08.2026).
3. Landscape features in agricultural land: what is the extent? General publications. Joint Research Centre. 2024. URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/landscape-features-agricultural-land-what-extent-2024-09-30_en (дата звернення: 01.08.2026).
4. Openko I., Tykhenko R., Tsvyakh O., Shevchenko O., Tykhenko O., Stepchuk Ya., Rokochinskiy A., Volk P., Shatkovskyi A., Kryvoviaz Ye., Chumachenko O. Mathematical models for estimating the economic impact of using forestry land in the European Union. *International Journal of Green Economics.* 2026. Vol. 20, No. 1. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1504/IJGE.2026.151892.

5. Мінімакс. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мінімакс (дата звернення: 01.08.2026).
6. Natura 2000 Barometer. European Environment Agency. URL: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/natura-2000-barometer (дата звернення: 01.08.2026).
7. Nicholas K. A., Scown M. Rural land systems both support and hinder the Sustainable Development Goals across Europe. Communications Earth & Environment. 2024. Vol. 5. Art. 692. DOI: https://doi.org/10.1038/s43247-024-01736-6.
8. Openko I., Tykhenko R., Kuzmych L., Tykhenko O., Tsvyakh O., Rokochynskyi A., Volk P., Halecki W. Economic modeling of shelterbelt land use on agricultural production in Ukraine. *Land.* 2025. Vol. 14, No. 11. Art. 2236. DOI: https://doi.org/10.3390/land14112236.
9. Protected areas in Europe — an overview. European Environment Agency. 2012. No. 5/2012. URL: http://besafe.pensoft.net/news.php?n=38 (дата звернення: 01.08.2026).
10. Schürings C., Globevnik L., Lemm J., Psomas F., Snoj L., Hering D., Birk S. River ecological status is shaped by agricultural land use intensity across Europe. *Water Research.* 2024. Vol. 251. Art. 121136. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121136.
11. The Birds Directive. European Union. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0147 (дата звернення: 01.08.2026).
12. The Habitats Directive. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/index_en.htm (дата звернення: 01.08.2026).
13. Updated list of officially adopted Emerald sites. 2019. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. URL: http://rm.coe.int/updated-list-of-officially-adopted-emerald-sites-december-2019-/168098ef51 (дата звернення: 01.08.2026).
14. Базове дослідження стану та напрямів розвитку екологічної політики України та перспектив посилення участі організацій громадянського суспільства у розробці та впровадженні політик, дружніх до довкілля : аналітичний звіт. 2018–2019. URL: https://www.irf.ua/wp-content/uploads/2019/12/baseline-research_report_publishing-dec-2019.pdf (дата звернення: 01.08.2026).
15. Василюк О., Борисенко К., Куземко А., Марущак О., Тєстов П., Гриник Є. Проектування і збереження територій мережі Емеральд (Смарагдової мережі) : методичні матеріали / за ред. А. А. Куземко, К. А. Борисенко. Київ : LAT & K, 2019. 78 с.
16. Дані Natura 2000. European Environment Agency. URL: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/trend-of-sites-designated-under-3/#tab-chart_1 (дата звернення: 01.08.2026).
17. Ракоїд О. О. Методичні рекомендації з комплексної агроекологічної оцінки земель сільськогосподарського призначення. Київ : Логос, 2008. 51 с.
18. Третяк А. М., Третяк Р. А., Шквир М. І. Методичні рекомендації оцінки екологічної стабільності агроландшафтів та сільськогосподарського землекористування. Київ : Інститут землеустрою УААН, 2001. 15 с.
19. Угода про асоціацію з Європейським Союзом. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Угода_про_асоціацію_з_Європейським_Союзом (дата звернення: 01.08.2026).
20. Фурдичко О. І., Стадник А. П. Методологія управління агроландшафтами лісомеліоративними методами. Київ : Аграрна наука, 2010. 60 с.
21. Чумаченко О. М. Оцінка просторової забезпеченості збереження біологічного різноманіття та екосистемних функцій

територій Європи. Формування ринкових відносин в Україні. 2022. № 4 (251). С. 60–68. URL: https://search.nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21COLTERMS=0&S21STR=%D0%9669574%2F2022%2F4 (дата звернення: 01.08.2026).

22. Чумаченко О. М. Теоретичні засади оцінки земельно-ресурсного потенціалу європейських країн в економічному та екологічному вимірах : монографія. Київ, 2022. 608 с.

References

1. Valeri, S., Schmitz, V., Acosta-Gallo, B., Iamonico, D., Villodre, M., Arnáiz-Schmitz, C., & Capotorti, G. (2024). Condition of linear landscape elements improves with contiguity to protected habitats: Empirical evidence useful for agroecosystem accounting and restoration. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 375, 109199. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109199
2. Council of Europe. (1979). Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: http://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=104
3. Joint Research Centre. (2024). Landscape features in agricultural land: What is the extent? General publications. Available at: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/landscape-features-agricultural-land-what-extent-2024-09-30_en
4. Openko, I., Tykhenko, R., Tsvyakh, O., Shevchenko, O., Tykhenko, O., Stepchuk, Y., Rokochynskyi, A., Volk, P., Shatkovskyi, A., Kryvoviaz, Ye., & Chumachenko, O. (2026). Mathematical models for estimating the economic impact of using forestry land in the European Union. *International Journal of Green Economics*, 20(1), 1–13. DOI: https://doi.org/10.1504/IJGE.2026.151892
5. Minimax. (n.d.). Wikipedia. Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Minimax
6. European Environment Agency. (n.d.). Natura 2000 Barometer. Available at: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/natura-2000-barometer
7. Nicholas, K. A., & Scown, M. (2024). Rural land systems both support and hinder the Sustainable Development Goals across Europe. Communications Earth & Environment, 5, 692. Available at: https://www.nature.com/articles/s43247-024-01736-6
8. Openko, I., Tykhenko, R., Kuzmych, L., Tykhenko, O., Tsvyakh, O., Rokochynskyi, A., Volk, P., & Halecki, W. (2025). Economic modeling of shelterbelt land use on agricultural production in Ukraine. *Land,* 14(11), 2236. DOI: https://doi.org/10.3390/land14112236
9. European Environment Agency. (2012). Protected areas in Europe—An overview (EEA Report No. 5/2012). Available at: http://besafe.pensoft.net/news.php?n=38
10. Schürings, C., Globevnik, L., Lemm, J. U., Psomas, A., Snoj, L., Hering, D., & Birk, S. (2024). River ecological status is shaped by agricultural land use intensity across Europe. *Water Research*, 251, 121136. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121136
11. European Parliament & Council of the European Union. (2009). Directive 2009/147/EC on the conservation of wild birds (The Birds Directive). Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0147
12. European Council. (1992). Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (The Habitats Directive). Available at: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/habitats-directive_en

13. Council of Europe. (2019). Updated list of officially adopted Emerald sites. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Available at: https://rm.coe.int/updated-list-of-officially-adopted-emerald-sites-december-2019-/168098ef51
14. Bazove doslidzhennia stanu ta napriamiv rozvytku ekolohichnoi polityky Ukrainy ta perspektyv posylennia uchasti orhanizatsii hromadianskoho suspilstva u rozrobtsi ta vprovadzhenni polityk, druzhnikh do dovkillia: Analitychnyi zvit [Baseline research of the state and directions of development of environmental policy of Ukraine and prospects for strengthening the participation of civil society organizations in the development and implementation of environmentally friendly policies: Analytical report]. (2019). Available at: https://www.irf.ua/wp-content/uploads/2019/12/baseline-research_report_publishing-dec-2019.pdf
15. Vasyliuk, O., Borysenko, K., Kuzemko, A., Marushchak, O., Tiestov, P., & Hrynyk, Ye. (2019). Proektuvannia i zberezhennia terytorii merezhi Emerald (Smarahdovoi merezhi): Metodychni materialy [Design and conservation of Emerald Network sites: Methodological materials] (A. A. Kuzemko & K. A. Borysenko, Eds.). Kyiv. LAT & K. 78.
16. European Environment Agency. (n.d.). Dani Natura 2000 [Natura 2000 data]. Available at: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/trend-of-sites-designated-under-3/#tab-chart_1
17. Rakoid, O. O. (2008). Metodychni rekomendatsii z kompleksnoi ahroekolohichnoi otsinky zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Methodological recommendations for comprehensive agroecological assessment of agricultural land]. Kyiv: Lohos. 51.
18. Tretiak, A. M., Tretiak, R. A., & Shkvyr, M. I. (2001). Metodychni rekomendatsii otsinky ekolohichnoi stabilnosti ahrolandshaftiv ta silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Methodological recommendations for assessing the ecological stability of agrolandscapes and agricultural land use]. Kyiv: Institute of Land Management of UAAS. 15.
19. Uhoda pro asotsiatsiiu z Yevropeiskym Soiuzom [Association Agreement with the European Union]. (n.d.). Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Uhoda_pro_asotsiatsiiu_z_Ievropeiskym_Soiuzom
20. Furdychko, O. I., & Stadnyk, A. P. (2010). Metodolohiia upravlinnia ahrolandshaftamy lisomelioratyvnymy metodamy [Methodology of agrolandscape management using forest reclamation methods]. Kyiv. Ahrarna nauka. 60.
21. Chumachenko, O. M. (2022). Otsinka prostorovoi zabezpechenosti zberezhennia biolohichnoho riznomanittia ta ekosystemnykh funktsii terytorii Yevropy [Assessment of spatial provision for the conservation of biodiversity and ecosystem functions of European territories]. Formuvannia Rynkovykh Vidnosyn v Ukraini, 4(251), 60–68. Available at: https://search.nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=njuu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21COLORTERMS=0&S21P03=I=&S21STR=%D0%9669574%2F2022%2F4
22. Chumachenko, O. M. (2022). Teoretychni zasady otsinky zemelno-resursnoho potentsialu yevropeiskykh krain v ekonomichnomu ta ekolohichnomu vymirakh [Theoretical foundations for assessing the land-resource potential of European countries in economic and environmental dimensions]. Kyiv. 608.

Chumachenko O., Hunko L., Kryvoviaz Y., Kolosa L.

MODELING AN INTEGRAL INDEX OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF LAND USE IN EUROPEAN COUNTRIES

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING 4'26: 98-114.
http://dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2026.04.07

Abstract. *The article examines the environmental sustainability of land use in European countries, taking into account the spatial provision of protected areas, land-use structure, the level of environmental stability, and anthropogenic pressure. The necessity of shifting from the assessment of individual environmental indicators to a comprehensive analysis of the capacity of territories to preserve their natural potential, biological diversity, and ecosystem functions is substantiated. The methodological basis of the study comprises indicators of the development of the Natura 2000 and Emerald ecological networks, the protection coefficient, the indicator of anthropogenic saturation of natural territorial complexes, the share of arable land, the environmental stability coefficient, and the anthropogenic pressure coefficient. To ensure their comparability, normalization using the min-max transformation method and equal weighting of the indicators were applied. On this basis, an integral index of environmental sustainability of land use was proposed, which enables a comprehensive assessment of the relationship between the environmental protection and economic components of territorial development. The index was modeled for the 27 countries of the European Union and Ukraine. Significant differentiation of countries by the level of environmental sustainability was established. The highest values of the integral index are characteristic of Slovenia, Finland, Sweden, Croatia, and Estonia, while the lowest values are observed in Denmark, Ukraine, Hungary, Malta, and the Czech Republic. The average value of the index for the European Union countries is approximately 0.50, whereas for Ukraine it is 0.22. It was established that a significant area of protected territories alone does not ensure high environmental sustainability of land use if it is accompanied by a high share of arable land and substantial anthropogenic pressure. The proposed index can be used for comparative assessment of countries, spatial planning, improvement of land and environmental policies, and substantiation of directions for developing environmentally balanced land-use systems.*

Keywords: *environmental sustainability, land use, ecological network, biodiversity, protected areas, anthropogenic pressure, ecosystem services.*