

<https://doi.org/10.26565/2075-1893-2026-43-13>  
УДК: 528.9:502.4:911.52

**Юлія Сержантова**

аспірант, старший викладач кафедри фізичної географії та картографії факультету геології, географії, рекреації і туризму  
e-mail: [y.serzhantova@karazin.ua](mailto:y.serzhantova@karazin.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-9896-3768>

## Картографічна візуалізація екотонів: аналіз досвіду, сучасних підходів та методів

Метою статті є аналіз досвіду картографічної візуалізації екотонів, підходів до виділення екотонів та обґрунтування методики їх виділення з використанням геоінформаційних технологій.

Основний матеріал. У роботі здійснено аналіз наукових підходів до картографування екотонів у працях зарубіжних та вітчизняних дослідників. Розглянуто особливості дискретних моделей, у межах яких екотони інтерпретуються як чіткі межі між природними комплексами, градієнтних моделей, що відображають поступовий характер змін природного середовища, а також буферних і комбінованих підходів, які враховують просторову невизначеність меж екотонів. Проаналізовано можливості використання геоінформаційних систем, багатшарового просторового аналізу та спектральних індексів для виявлення й візуалізації екотонів. Окрему увагу приділено сучасним викликам, пов'язаним із трансформацією природних ландшафтів України під впливом кліматичних змін та бойових дій.

Запропонована методика виділення тричленних екотонів в межах природоохоронних територій Харківської області на основі застосування комбінованого підходу з широким використанням методів геоінформаційного аналізу та дистанційного зондування Землі.

Висновки. Аналіз наукових підходів показав, що еволюція методів візуалізації екотонів відбувалася від класичних дискретних моделей до сучасних комбінованих геоінформаційних підходів. Встановлено, що найбільш перспективним підходом до виділення і картографування екотонів, в тому числі і тричленних, є комбінований підхід, який інтегрує елементи дискретного, градієнтного та буферного аналізу із використанням геоінформаційних систем і даних дистанційного зондування Землі. Визначено, що в сучасних умовах трансформації природних ландшафтів України, пов'язаних зі змінами клімату, урбанізацією та наслідками бойових дій, особливого значення набуває застосування дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій для оперативного виявлення й аналізу екотонів. Використання сучасних ГІС-платформ забезпечує можливість інтеграції різномірних джерел просторової інформації та створення більш точних картографічних моделей природного середовища.

**Ключові слова:** тричленний екотон; картографічна візуалізація; ландшафтна структура; геоінформаційне моделювання; просторовий аналіз; динаміка ландшафтів; природоохоронні території.

**Як цитувати:** Сержантова Ю. Картографічна візуалізація екотонів: аналіз досвіду, сучасних підходів та методів. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2026. Вип. 43. С. 121–129. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2026-43-13>

**In cites:** Serzhantova Y. (2026). Cartographic Visualization of Ecotones: Analysis of Experience, Modern Approaches and Methods. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (43), 121–129. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2026-43-13> (in Ukrainian)

**Вступ.** Сучасні підходи до картографування природних об'єктів зазнають суттєвих змін у зв'язку з розвитком геоінформаційних технологій та зростанням вимог до точності просторового аналізу. Особливо складним об'єктом картографічного відображення є екотони – перехідні зони між різними екосистемами, що характеризуються високою просторовою неоднорідністю та динамічністю.

Традиційні картографічні методи, які базуються на чіткому виділенні меж і використанні дискретних умовних знаків, здебільшого не здатні адекватно відобразити природу екотонів. Це пояснюється тим, що екотони не мають чітко визначених границь, а формуються як зони поступового переходу між природними комплексами. У зв'язку з цим виникає проблема невідповідності між реальною структурою природного середовища та її картографічним відображенням.

У межах ландшафтної екології екотони розглядаються як ключові елементи просторової організації ландшафтів, що забезпечують взаємодію між різними екосистемами та характеризуються підвищеним рівнем біорізноманіття. Але до сьогодні фактично відсутні картографічні твори в яких би розглядалась теорія і методика картографування екотонів, принципи їх виділення і класифікації.

Більшість картографічних моделей орієнтовані на дискретне представлення простору, що призводить до спрощення складних природних переходів і, як наслідок, формується розрив між реальною просторовою структурою екосистем та її відображенням у картографічних творах. Зокрема, при відображенні ландшафтної організації території максимально складною проблемою є виділення двох, а тим більше, трьохчленних екотонів.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах змін клімату та посилення антропогенного впливу, коли екотони є найбільш чутливими до трансформацій і можуть виступати індикаторами екологічних змін.

**Вихідні передумови.** В умовах сучасних трансформацій природного середовища, особливої актуальності набуває дослідження просторової динаміки екосистем та їх перехідних зон – екотонів. Теоретичні засади вивчення екотонів були висвітлені у працях Richard T. T. Forman [16] та Michel Godron [17], які визначили екотони як ключові елементи просторової структури ландшафтів. Значний внесок у розвиток екосистемного підходу здійснили Eugene та Howard Odum, які розглядали екотони як зони інтенсивного обміну речовиною та енергією [18].

Через близько 15 років після публікацій Richard T. T. Forman і Michel Godron, Monica G. Turner [20] та Kevin McGarigal [17] досліджували просторову організацію ландшафтів, процеси фрагментації та роль екотонів у підтриманні біорізноманіття. Їхні праці заклали основу для кількісного аналізу екотонів та використання ландшафтних метрик.

В Україні питання просторової організації природних комплексів і перехідних зон свого часу вивчали Петро Шищенко [12], Михайло Гродзинський [2], Ігор Черваньов [11] та інші. Найбільш глибоко тема екотонів розглядалась в роботах Григорія Денисика [3] та його учнів [2-4], у яких обґрунтовано виділення екотонів типу «ліс-поле», «поле-поле» тощо.

Особливо гостро проблему виділення, класифікації, візуалізації екотонів постала зараз, під час стрімкого порушення екосистем в період війни і пошуку подальших шляхів і методик відновлення території. Звісно що в умовах обмеженого доступу до територій, що перебувають у зоні бойових дій або зазнали мінування, проведення польових досліджень є ускладненим а то й неможливим. У зв'язку з цим в природничих дослідженнях небезпечних територій ключова роль належить дистанційному зондуванню Землі, розвиток якого значною мірою пов'язаний із роботами Paul Coppin [14] та Michael A. Wulder [19]. Використання супутникових даних дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан рослинного покриву та виявляти зміни у структурі екосистем.

Безумовно в науці є карти екотонів, але в основному це текстові карти, представлені в дисертаційних дослідженнях з конструктивної географії [11, 12], але методики картографічної візуалізації екотонів, на відміну від ландшафтного картографування донині не сформовано і основною причиною цього є якраз складність у виявленні меж цих перехідних ландшафтних зон.

**Метою статті** є аналіз досвіду картографічної візуалізації екотонів, підходів до виділення екотонів та обґрунтування методики їх виділення з використанням геоінформаційних технологій.

**Виклад основного матеріалу.** Досвід картографічної візуалізації екотонів формувався поступово разом із розвитком ландшафтної екології, картографії та геоінформаційних технологій. На ранніх етапах дослідження екотони переважно розглядалися як умовні межі між природними комплексами, що відображалися за допомогою лінійних або площинних умовних знаків. Такий підхід був характерний для класичних ландшафтних карт, створених у другій половині ХХ століття.

Майже за пів століття сформувалося кілька підходів, моделей щодо візуалізації екотонів: дискретний, градієнтний, буферний, комбінований.

Одним із перших підходів до візуалізації екотонів була дискретна модель, сформована в межах класичної ландшафтної екології. У працях Richard T. T. Forman та Michel Godron, зокрема в монографії Landscape Ecology (1986) та Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions (1995), екотони розглядалися як структурні межі між елементами ландшафтної мозаїки. В межах цього підходу територія поділялася на окремі полігони з чіткими ме-

жами. З часом модель, запропоновано Форманом і представлено в текстовому вигляді в графічний вид трансформував Eckehard G. Brockerhoff [13] представивши її у вигляді схеми (рис. 1).

Такий підхід дозволяє більш адекватно відобразити поступовий характер змін природних компонентів та врахувати невизначеність меж між екосистемами.

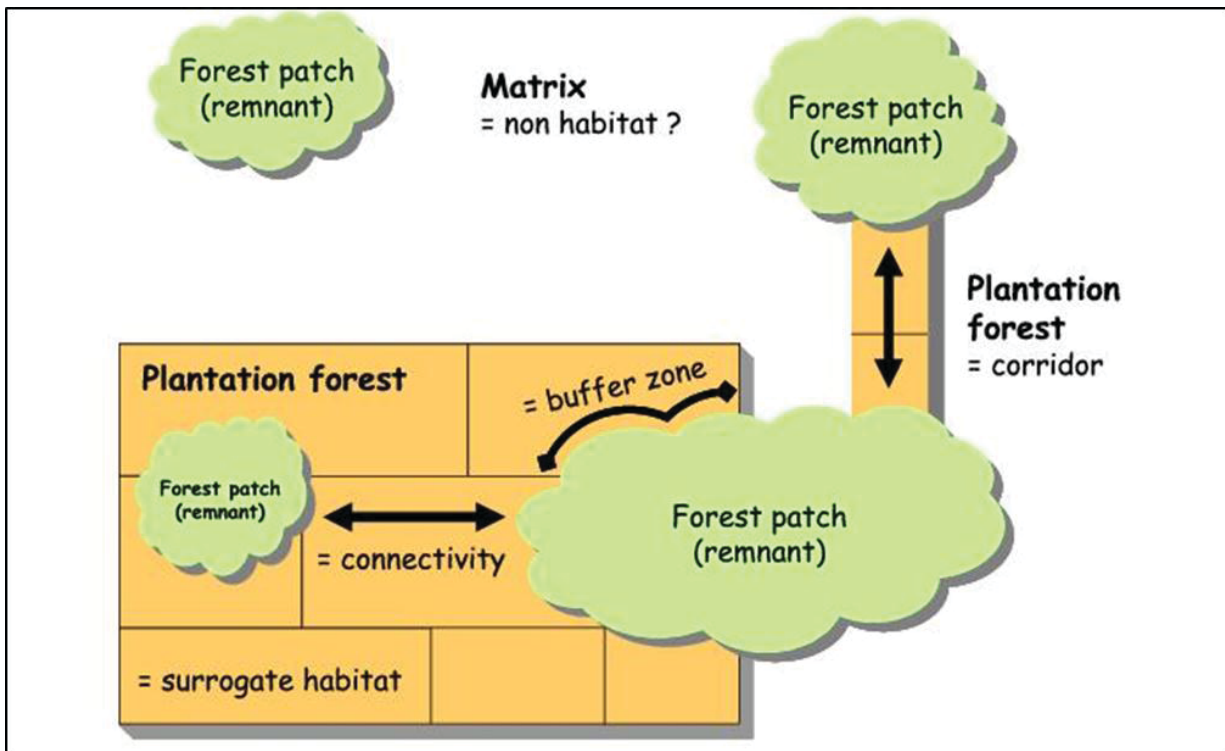


Рис.1. Дискретна модель ландшафту «коридор-пляма-матриця» (за Форманом) [13]  
Fig. 1. Discrete landscape model «corridor-spot-matrix» (after Forman) [13]

Пізніше, у 2010 році, у працях Monica G. Turner [19], Marie-Josée Fortin [22] екотони розглядалися не як чіткі межі, а як зони поступового переходу між екосистемами, тобто основна увага почала приділятися безперервним змінам екологічних параметрів у просторі. Іншими словами відбувся перехід від дискретного до континуального розуміння простору, тобто перехід до градієнтної моделі, яка базується на використанні безперервних поверхонь та просторових градієнтів, які дозволяють відобразити зміну характеристик рослинного покриву, вологості, рельєфу чи інших природних показників. Саме цей підхід став основою сучасного аналізу екотонів із використанням дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем.

Найбільш поширеним прикладом градієнтної візуалізації є використання спектральних індексів рослинності, зокрема NDVI (Normalized difference vegetation index, нормалізований вегетаційний індекс), де екотони відображаються як ділянки поступової зміни значень індексу (рис. 2).

Подальше застосування картографічного моделювання при виявленні екотонів призвело до їх інтерпретації як своєрідних буферних моделей, у яких екотон розглядається не як лінійна межа, а як просторово виражена перехідна зона певної ширини.

Буферні моделі активно почали застосовуватися з розвитком геоінформатика та інструментів просторового аналізу в геоінформаційних системах. Значний внесок у розвиток просторового моделювання природних систем здійснили Michael F. Goodchild [19], Paul Coppin [14] та Kevin McGarigal [16], у працях яких розглядалися питання просторової неоднорідності ландшафтів та аналізу перехідних зон (рис. 3).

У межах буферного підходу екотон визначається як територія між двома контрастними типами природного середовища, для якої характерні змішані властивості суміжних екосистем. Ширина буферної зони може задаватися експертно або визначатися на основі аналізу просторових градієнтів, спектральних індексів чи статистичних параметрів.

Використання буферних зон стало особливо актуальним у дослідженнях, пов'язаних із природоохоронним плануванням, оцінкою впливу антропогенних факторів та аналізом екологічної стійкості територій. У сучасних ГІС буферні моделі реалізуються за допомогою інструментів просторового аналізу, які дозволяють автоматизовано формувати зони певної ширини навколо природних об'єктів або меж екосистем.

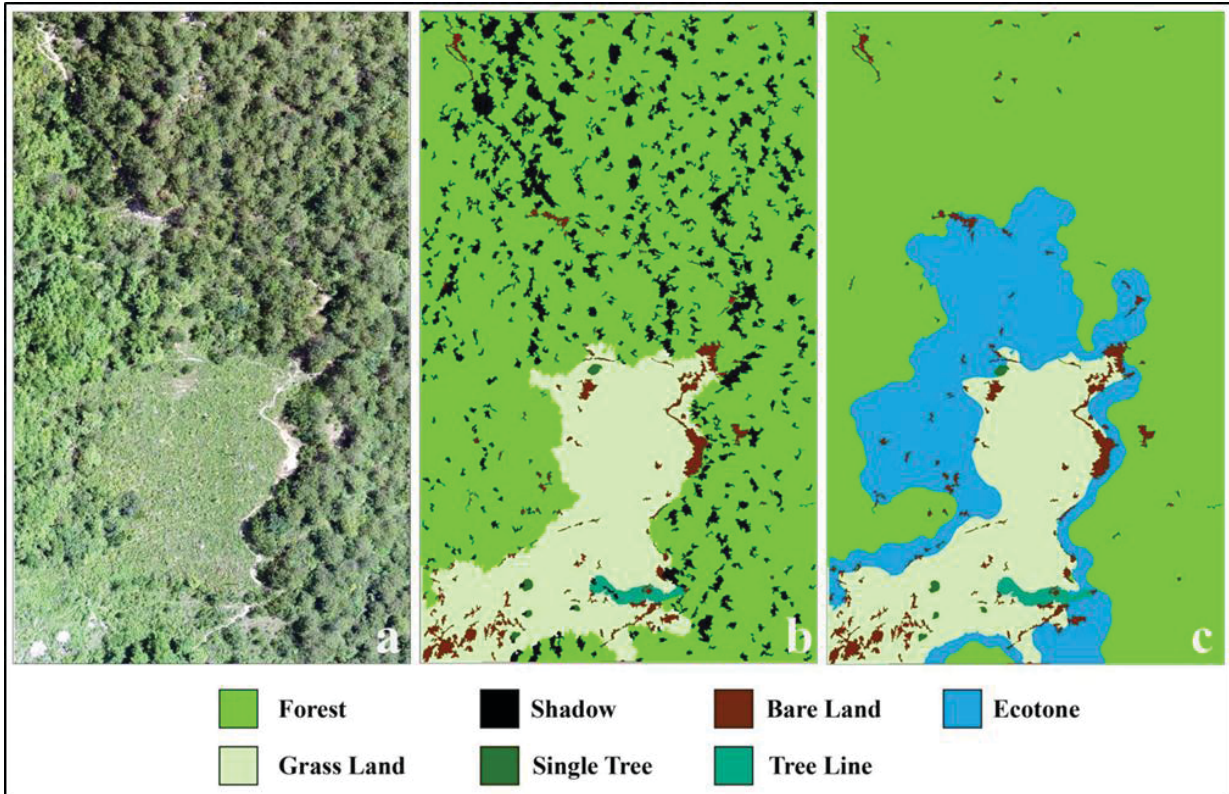


Рис. 2. Приклад градієнтної моделі візуалізації ландшафту. Ортографічне зображення території (а), карта ландшафтних моделей (б), ландшафт, включаючи вилучені екотони (с) [21]  
 Fig. 2. Example of a gradient model for landscape visualization. Orthographic image of the territory (a), map of landscape models (b), landscape including extracted ecotones (c) [21]

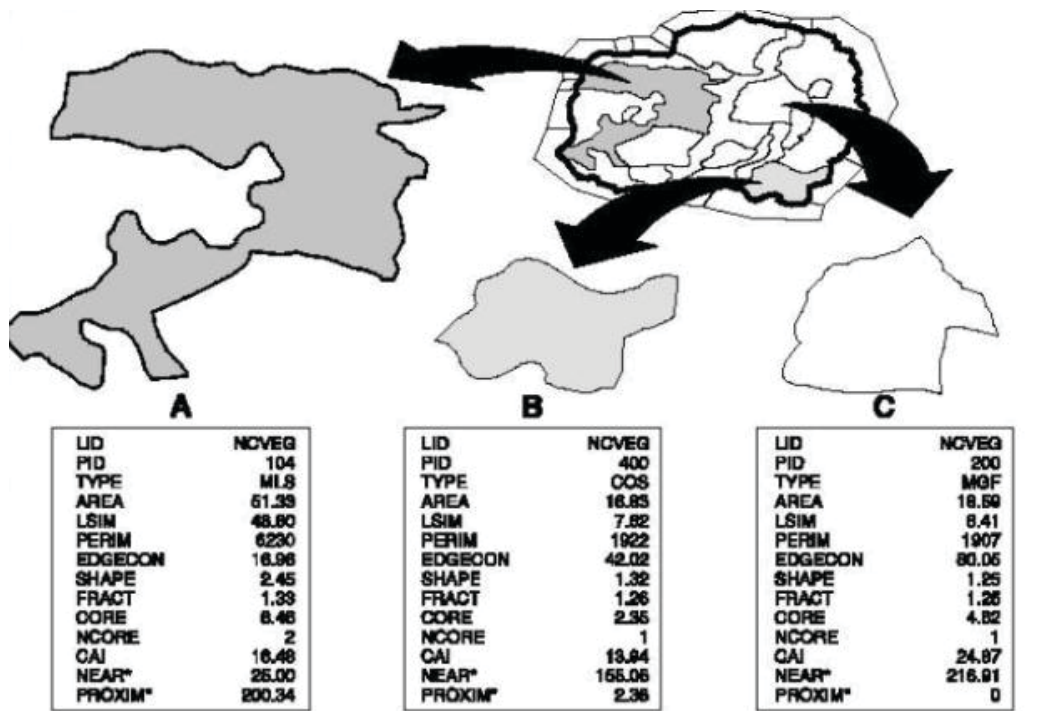


Рис. 3. Приклад буферної візуалізації ландшафту через модель «edge-core area» у системі FRAGSTATS за Kevin McGarigal [18]  
 Fig. 3. Example of buffered landscape visualization through the "edge-core area" model in the FRAGSTATS system by Kevin McGarigal [18]

Сучасний етап розвитку картографічної візуалізації екотонів характеризується переходом до комбінованих моделей, які поєднують переваги дискретного, градієнтного та буферного підходів. Необхідність формування таких моделей обумовлена складною природою екотонів, які одночасно мають ознаки як структурних меж, так і зон поступового переходу між екосистемами.

Розвиток комбінованих підходів став можливим завдяки активному розвитку геоінформатика, багат шарового аналізу геоданих та технологій дистанційне зондування Землі. Значний внесок у формування теоретичних основ інтегрованого просторового аналізу зробили Michael F. Goodchild [18] та Paul Longley [15], у працях яких розглядаються принципи поєднання різних типів просторових даних у межах геоінформаційних систем.

У комбінованих моделях екотони відображаються як перехідні зони з нечіткими межами, для аналізу яких одночасно використовуються:

- класифікація території;
- спектральні індекси;
- буферні зони;
- багат шарові ГІС-моделі;
- просторові градієнти.

Такий підхід дозволяє враховувати не лише структурну організацію ландшафту, а й безперервний характер змін природних параметрів.

Одним із характерних прикладів комбінованої візуалізації є інтеграція супутникових даних, цифрових моделей рельєфу та тематичних шарів землекористування в межах єдиної геоінформаційної моделі. У цьому випадку екотон визначається не лише за формальними межами природних комплексів, а й за інтенсивністю змін екологічних характеристик (рис. 4).

Розглядаючи вітчизняну трансформацію поглядів на методичні підходи до виділення екотонів, а відповідно і практику їх картографічної візуалізації, можна стверджувати, що описані вище чотири підходи до виділення екотонів характерні і для українських наукових географічних/картографічних шкіл.

У класичних ландшафтознавчих дослідженнях, зокрема у працях Олександра Маринича [1], Петра Шищенка [12] та Федора Мількова [10], переважав дискретний підхід до виділення і картографування природних систем. Такий підхід був характерний для традиційних ландшафтних карт України та схем

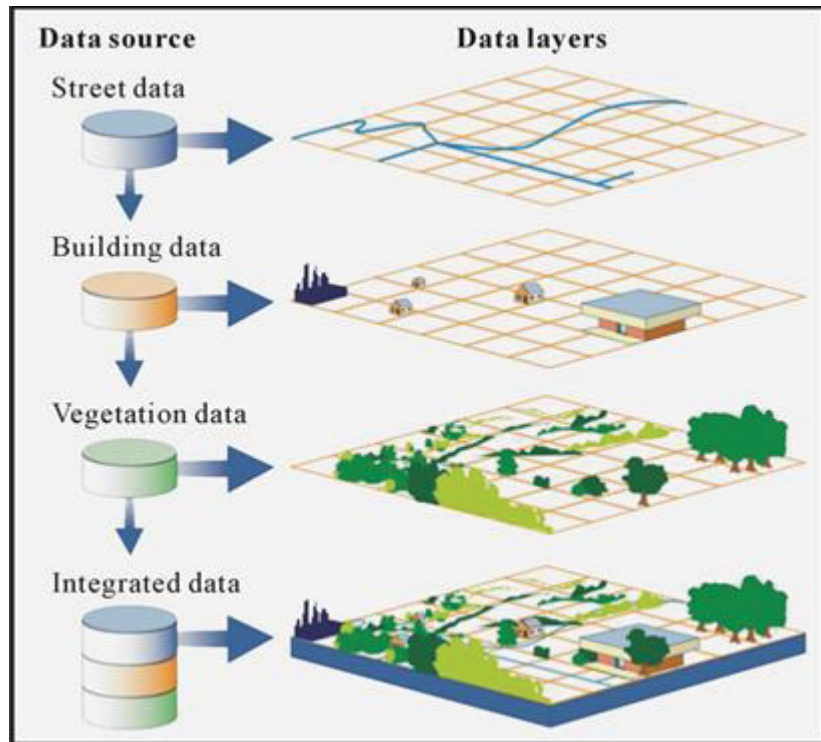


Рис. 4. Приклад комбінованої візуалізації ландшафту [15]  
Fig. 4. Example of combined landscape visualization [15]

фізико-географічного районування, де основна увага приділялася структурній диференціації території.

Праці Михайла Гродзинського, Григорія Денисика, Ігоря Черваньова, Оксани Залюбовської [2-6, 11], більше тяжіють до градієнтного розуміння природного простору. У їх роботах значна увага приділялася аналізу динаміки ландшафтів, просторової неоднорідності та взаємодії природних компонентів. Це дозволило більш адекватно описувати структуру лісостепових, заплавної та гірських екотонів України.

Буферні моделі виділення і візуалізації екотонів характерні для картографічних творів представлених у працях Леоніда Руденко, Анатолія Мельника, Віліни Пересадько та Олени Сінної [8, 9, 10], в яких значна увага приділялася використанню ГІС для аналізу просторових взаємозв'язків між природними системами.

В сучасних вітчизняних дослідженнях ландшафтів, зокрема екотонів, як і у світовій географії, переважає комбінований підхід. З впевненістю можна стверджувати, що переважна більшість із названих в цій статті вчених, дотримуються саме комбінованого підходу. Про це свідчать публікації Івана Круглова, в яких висвітлюються сучасні методи ландшафтного планування та просторового аналізу та підходи до суті ландшафтної екології в Україні, Європі та Північній Америці [6].

У контексті вітчизняних дослідників ландшафтних екотонів неможна не назвати роботи Надії

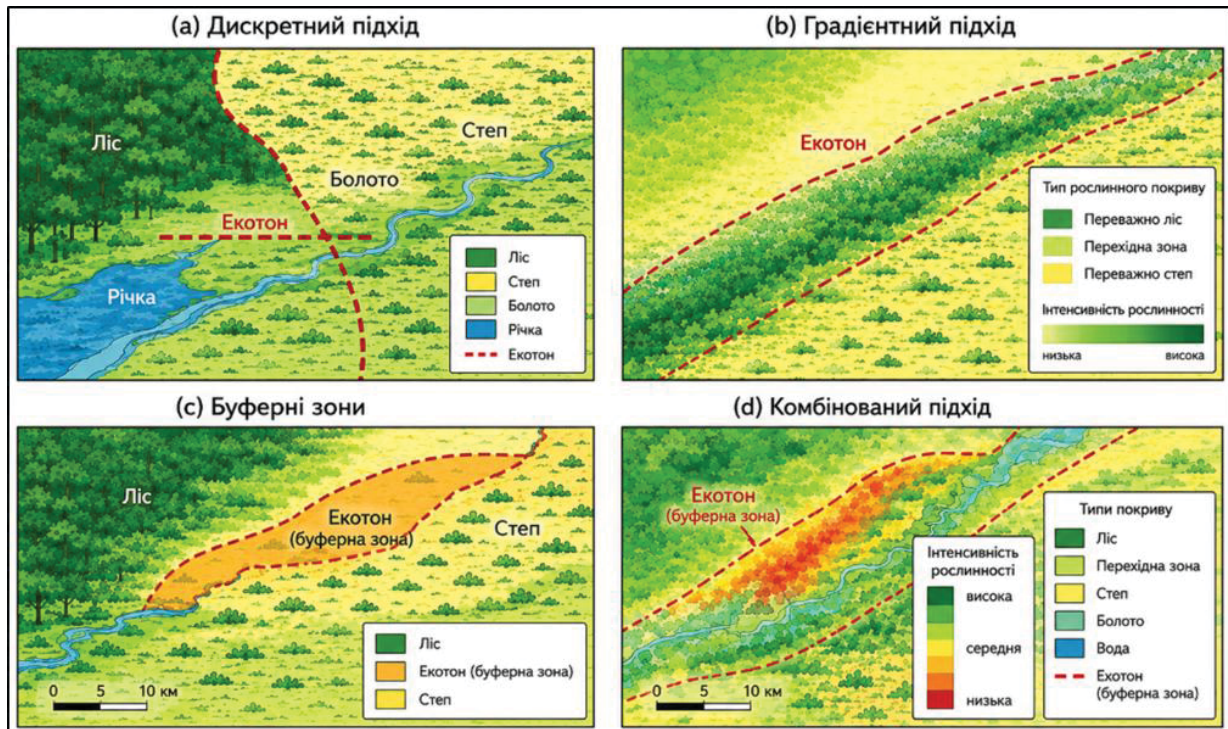


Рис. 5. Схематичне представлення основних підходів до картографування екотонів  
 Fig. 5. Schematic representation of the main approaches to ecotone mapping

Максименко, яка досліджувала ландшафтні екотони Харківської області [7], збалансоване природо-користування в лісостепових ландшафтних екотонах, загальні питання організації екотонів тощо.

Але, практично всі із названих вітчизняних географів розглядали екотони як межі, буферні зони, градієнти, між двома природними комплексами («ліс-поле», «суходіл-водойма», «степ-ліс», «степ-поле» тощо). Більш складні екотони, не лише двочленні, а трьох-, чотирьох-, п'яти- і навіть шестичленні запропоновані у 1969 році, у посібнику К. Геренчука [6] не вивчалися.

У 2021 році на кафедрі фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна розпочато дослідження щодо виявлення і картографічної візуалізації тричленних екотонів в природоохоронних зонах Харківщини та оцінки динаміки їх змін.

Для обґрунтування доцільності виділення тричленних екотонів і вибір підходу до їх виділення, було схематично змодельована еволюція підходів до картографічної візуалізації екотонів – від дискретного представлення природних меж до сучасних комбінованих моделей просторового аналізу. Найбільш перспективним є комбінований підхід, який інтегрує елементи дискретного, градієнтного та буферного аналізу і дає можливість виділити екотон як буферну зону, не тільки між двома, а й між трьома природними ландшафтами (рис. 5).

Повномасштабне вторгнення росії в Україну унеможливило перевірку даної моделі безпосередньо на території екотонів, що змусило нас перейти до

поєднання аналогових картографічних досліджень з методами геоінформатики та дистанційного зондування Землі. Для аналізу та візуалізації просторових даних використано сучасні геоінформаційні системи, зокрема ArcGIS та QGIS, застосовано інструменти просторової інтерполяції, аналізу градієнтів та багатшарового картографування. Окрему увагу приділено використанню дистанційного зондування Землі як єдиного та надійного джерела даних для виявлення екотонів при неможливості проведення безпосередніх польових досліджень. Проаналізовано підходи до інтерпретації супутникових знімків, застосування спектральних індексів та їх роль у формуванні картографічних моделей перехідних зон.

Таким чином, запропонована нами методика дозволить виділяти тричленні екотони як зони найбільшого реагування на антропогенні зміни.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження встановлено, що картографічна візуалізація екотонів є одним із найбільш складних напрямів сучасного тематичного картографування, що обумовлено просторовою неоднорідністю, динамічністю та нечіткістю меж перехідних природних зон. Аналіз наукових підходів показав, що еволюція методів візуалізації екотонів відбувалася від класичних дискретних моделей до сучасних комбінованих геоінформаційних підходів.

Узагальнення вітчизняних і зарубіжних наукових підходів до картографування екотонів дозволило прослідити їх еволюцію від дискретного до комбінованого і встановлено, що найбільш перспек-

тивним підходом до виділення і картографування екотонів, в тому числі і тричленних, є комбінований підхід, який інтегрує елементи дискретного, градієнтного та буферного аналізу із використанням геоінформаційних систем і даних дистанційного зондування Землі.

Визначено, що в сучасних умовах трансформації природних ландшафтів України, пов'язаних зі змінами клімату, урбанізацією та наслідками бойових дій, особливого значення набуває застосування дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій для оперативного виявлення й аналізу

екотонів. Використання сучасних ГІС-платформ забезпечує можливість інтеграції різнорідних джерел просторової інформації та створення більш точних картографічних моделей природного середовища.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення автоматизованих методів виявлення екотонів із використанням алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. Їх застосування дозволить підвищити точність картографічної візуалізації, забезпечити оперативне оновлення геоданих та вдосконалити системи екологічного моніторингу природних територій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Бортник, С. Ю., & Лаврик, О. Д. (2021). Геоінформаційне моделювання природних систем та екотонів. Український географічний журнал, 3, 45–53.
2. Гродзинський, М. Д. (2005). Пізнання ландшафту: місце і простір: монографія. Київ: Київський університет.
3. Денисик, Г. І. (2021). Сучасні підходи до аналізу антропогенних ландшафтів. Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету. Серія: Географія, 33(1), 5–14.
4. Денисик, Г. І., & Ситник, О. І. (2012). Міжзональний геоекотон «лісостеп–степ» Правобережної України. Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К».
5. Денисик, Г. І., Кисельов, Ю. О., Сонько, С. П., Шлапак, В. П., & Максименко, Н. В. (2023). Екотони в ландшафтній організації суходолу. *Landscape Science*, 2(2), 102–111. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-102-111>
6. Круглов, І. С. (2020). *Трансдисциплінарна геоecологія: монографія*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
7. Максименко, Н. В., Кисельов, Ю. О., & Денисик, Г. І. (2023). Екотони в ландшафтній організації суходолу. *Landscape Science*, 2(2), 102–111. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-102-111>
8. Мельник, А. В. (2020). Геоінформаційні технології у ландшафтних дослідженнях. Вісник Львівського університету. Серія географічна, 54, 112–124.
9. Пересадько, В. А. (2021). Використання ГІС-технологій у природоохоронному картографуванні. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії, 33, 38–46.
10. Руденко, Л. Г., & Маруняк, Є. О. (2020). Ландшафтне планування в Україні: сучасний стан та перспективи розвитку. Український географічний журнал, 2, 3–11.
11. Черваньов, І. Г., Залюбовська, О. В., & Овчаренко, А. Ю. (2019). Обґрунтування вибору індикативних об'єктів для ландшафтного моніторингу природоохоронної території та дослідження їх за даними дистанційного зондування й польового знімання. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії, 29, 73–82. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-08>
12. Шищенко, П. Г. (1999). Принципи і методи ландшафтного аналізу в регіональному проектуванні: монографія. Київ: Фітосоціоцентр. Bastian O., Grunewald K. Landscape structure and landscape functions in landscape ecology // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 121. Article 107115.
13. Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., ... Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>
14. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>
15. Cushman, S. A., & McGarigal, K. (2019). Landscape metrics, scales of resolution, and ecological applications. *Landscape Ecology*, 34(2), 221–234. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00727-6>
16. Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
17. Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York, NY: John Wiley & Sons.
18. McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Portland, OR: USDA Forest Service.
19. Turner, M. G. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*. New York, NY: Springer.
20. Turner, M. G. (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10), 2833–2849. <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>
21. Turner, M. G., Donato, D. C., & Romme, W. H. (2013). Consequences of spatial heterogeneity for ecosystem services in changing forest landscapes: Priorities for future research. *Landscape Ecology*, 28(6), 1081–1097. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9741-4>
22. Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2015). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process* (2nd ed.). New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>

Стаття надійшла до редакції 12.04.2026

Стаття рекомендована до друку 20.05.2026

Опубліковано 30.05.2026

**Serzhantova Yuliia** – PhD student, senior lecturer of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine; e-mail: [y.serzhantova@karazin.ua](mailto:y.serzhantova@karazin.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-9896-3768>

## CARTOGRAPHIC VISUALIZATION OF ECOTONES: ANALYSIS OF EXPERIENCE, MODERN APPROACHES AND METHODS

The purpose of the article is to analyze the experience of cartographic visualization of ecotones, approaches to ecotone delineation, and to substantiate the methodology of their identification using geoinformation technologies.

Main material. The paper analyzes scientific approaches to ecotone mapping presented in the works of foreign and Ukrainian researchers. The peculiarities of discrete models, within which ecotones are interpreted as clear boundaries between natural complexes, gradient models reflecting the gradual nature of environmental changes, as well as buffer and combined approaches that consider the spatial uncertainty of ecotone boundaries are considered. The possibilities of using geographic information systems, multilayer spatial analysis, and spectral indices for the identification and visualization of ecotones are analysed. Attention is paid to modern challenges associated with the transformation of natural landscapes in Ukraine under the influence of climate change and military actions.

A methodology for identifying three-component ecotones within protected areas of Kharkiv region based on the application of a combined approach with extensive use of geoinformation analysis methods and remote sensing data is proposed.

Conclusions. The conducted research has shown that cartographic visualization of ecotones is one of the most complex areas of modern thematic cartography due to the spatial heterogeneity, dynamism, and indistinct boundaries of transitional natural zones. The analysis of scientific approaches demonstrated that the evolution of ecotone visualization methods has progressed from classical discrete models to modern combined geoinformation approaches.

The generalization of domestic and foreign scientific approaches to ecotone mapping made it possible to trace their evolution from discrete to combined approaches and revealed that the most promising method for the identification and mapping of ecotones, including three-component ecotones, is the combined approach integrating elements of discrete, gradient, and buffer analysis using geographic information systems and remote sensing data.

It has been determined that under current conditions of transformation of natural landscapes in Ukraine caused by climate change, urbanization, and the consequences of military actions, the application of remote sensing and geoinformation technologies becomes especially important for the operative identification and analysis of ecotones. The use of modern GIS platforms provides opportunities for integrating heterogeneous spatial information sources and creating more accurate cartographic models of the natural environment.

A promising direction for further research is the development of automated methods for ecotone identification using machine learning algorithms and artificial intelligence. Their application will improve the accuracy of cartographic visualization, ensure prompt updating of geodata, and enhance environmental monitoring systems for natural territories.

**Keywords:** *three-component ecotone; cartographic visualization; landscape structure; geoinformation modeling; spatial analysis; landscape dynamics; protected areas.*

### REFERENCES:

1. Bortnyk, S. Yu., & Lavryk, O. D. (2021). Geoinformation modeling of natural systems and ecotones. *Ukrainskyi Heohrafichnyi Zhurnal*, 3, 45–53.
2. Chervaniiov, I. H., Zaliubovska, O. V., & Ovcharenko, A. Yu. (2019). Justification of the choice of indicative objects for landscape monitoring of protected areas and their study using remote sensing and field survey data. *Problemy Bezpererвної Heohrafichnoi Osvity i Kartohrafii*, 29, 73–82. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-29-08>
3. Denysyk, H. I. (2021). Modern approaches to the analysis of anthropogenic landscapes. *Naukovi Zapysky Vinnytskoho Derzhavnoho Pedahohichnoho Universytetu. Seriya: Heohrafiia*, 33(1), 5–14.
4. Denysyk, H. I., & Sytnyk, O. I. (2012). *Interzonal geoecotone "forest-steppe-steppe" of Right-Bank Ukraine*. Vinnytsia, Ukraine: Edelveis i K.
5. Denysyk, H. I., Kyselov, Yu. O., Sonko, S. P., Shlapak, V. P., & Maksymenko, N. V. (2023). Ecotones in the landscape organization of land. *Landscape Science*, 2(2), 102–111. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-102-111>
6. Kruhlov, I. S. (2020). *Transdisciplinary geoecology*. Lviv, Ukraine: Ivan Franko National University of Lviv.
7. Hrodzynskyi, M. D. (2005). *Landscape cognition: Place and space*. Kyiv, Ukraine: Kyivskyi Universytet.
8. Maksymenko, N. V., Kyselov, Yu. O., & Denysyk, H. I. (2023). Ecotones in the landscape organization of land. *Landscape Science*, 2(2), 102–111. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-102-111>
9. Melnyk, A. V. (2020). Geoinformation technologies in landscape studies. *Visnyk Lvivskoho Universytetu. Seriya Heohrafichna*, 54, 112–124.
10. Peresadko, V. A. (2021). Application of GIS technologies in nature conservation mapping. *Problemy Bezpererвної Heohrafichnoi Osvity i Kartohrafii*, 33, 38–46
11. Rudenko, L. H., & Maruniak, Ye. O. (2020). Landscape planning in Ukraine: Current state and development prospects. *Ukrainskyi Heohrafichnyi Zhurnal*, 2, 3–11.
12. Shyshchenko, P. H. (1999). *Principles and methods of landscape analysis in regional planning*. Kyiv, Ukraine: Fitosotsiotsentr.
13. Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B., González-Olabarria, J. R., ... Jactel, H. (2017). Forest

biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005–3035. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2>

14. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565–1596. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101675>

15. Cushman, S. A., & McGarigal, K. (2019). Landscape metrics, scales of resolution, and ecological applications. *Landscape Ecology*, 34(2), 221–234. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00727-6>

16. Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

17. Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. New York, NY: John Wiley & Sons.

18. McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Portland, OR: USDA Forest Service.

19. Turner, M. G. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process*. New York, NY: Springer.

20. Turner, M. G. (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91(10), 2833–2849. <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>

21. Turner, M. G., Donato, D. C., & Romme, W. H. (2013). Consequences of spatial heterogeneity for ecosystem services in changing forest landscapes: Priorities for future research. *Landscape Ecology*, 28(6), 1081–1097. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9741-4>

22. Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2015). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process* (2nd ed.). New York, NY: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>

*The article was received by the editors 12.04.2026*

*The article is recommended for printing 20.05.2026*

*Published 30.05.2026*