

ЗАРУБІЖНИЙ ЛАНДШАФТОЗНАВЧИЙ ДОСВІД

FOREIGN EXPERIENCE IN LANDSCAPE SCIENCE

УДК 911.5/.6(045)

DOI: 10.31652/2786-5665-2025-7-34-48

Ситник О. І.

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії, геодезії та землеустрою
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Україна
sytnykuman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8120-7032>

ЕКОТОНИ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗАРУБІЖНИХ НАУКОВЦІВ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ

Анотація. Мета – показати, що дослідження екотонів є важливим напрямом сучасної географії, біології, екології та інших природничих дисциплін. Зарубіжні науковці роблять значний внесок у дослідження екотонів, спрямовуючи зусилля на активне вивчення їх впливу на біорізноманіття, чисельність та розподіл видів. Особлива увага приділяється вивченню «крайового ефекту» (edge effect), коли в екотонах спостерігається підвищене біорізноманіття екосистемних функцій, тобто впливу екотонів на потоки енергії та речовин, кругообіг поживних елементів та інші екосистемні процеси, вивчають роль екотонів у регулюванні гідрологічного режиму, запобіганні ерозії ґрунту й виконання інших важливих функцій. Активно вивчаються кліматичні зміни та їх вплив на структуру та функції екотонів, зміщення їх меж та інші наслідки глобального потепління. Значна увага приділяється вивченню антропогенного впливу на екотони, зокрема, фрагментацію ландшафтів, забруднення довкілля та інвазії чужорідних видів, досліджуються селитебні екотони.

Ключові слова: екотони, антропогенний вплив, екосистемні функції, антропогенні ландшафти, ландшафтний екотон, ландшафтознавчі дослідження, раціональне природокористування.

Sytnyk Oleksiy. ECOTONES IN RESEARCH BY FOREIGN SCIENTISTS: A REVIEW OF CURRENT TRENDS

Abstract. The study of ecotones is an important direction of modern geography, biology, ecology and other natural sciences. Foreign scientists make a significant contribution to the study of ecotones, directing their efforts to actively study the impact of ecotones on biodiversity, abundance and distribution of species. Particular attention is paid to the study of the «edge effect», when increased biodiversity of ecosystem functions is observed in ecotones, that is, the impact of ecotones on energy and substance flows, nutrient cycling and other ecosystem processes, the role of ecotones in regulating the hydrological regime, preventing soil erosion and performing other important functions is studied. Climate change and its impact on the structure and functions of ecotones, the shift of their boundaries and other consequences of global warming are actively studied. Considerable attention is paid to the study of anthropogenic impact on ecotones, in particular, landscape fragmentation, environmental pollution and invasions of alien species, residential ecotones are studied.

Numerous studies, using modern methods of remote sensing, GIS technology and modeling, are conducted at universities and research centers in the USA, Canada, China, European countries, South America and Australia, which allows combining the efforts of scientists from different countries. A special contribution to the study of ecotones is made by scientists working in the field of landscape ecology, biogeography and community ecology. Over more than a century of systematic development of landscape research, a fairly wide range of theoretical and applied problems related to the spatial differentiation of the earth's surface in accordance with natural conditions have been posed and, at least partially, solved.

Ecotonization is one of the most fundamental laws of the existence of the landscape envelope, which is confirmed in many works. The study of the ecotone organization of socio-natural systems can open new paths to noospheric nature management.

Keywords: ecotones, anthropogenic impact, ecosystem functions, anthropogenic landscapes, landscape ecotone, landscape research, rational nature management.

Актуальність дослідження. За понад сторіччя систематичного розвитку ландшафтознавчих досліджень було визначено й, принаймні, частково вирішено широке коло теоретичних і прикладних проблем, пов'язаних із просторовою диференціацією земної поверхні відповідно до природних умов.

Екотонізація є одним з найфундаментальніших законів існування ландшафтноі оболонки, що підтверджується в багатьох працях. Дослідження екотонної організації соціо-природних систем може відкрити нові шляхи до ноосферного природокористування.

Пізнання екотонів полягає в необхідності глибшого розуміння їхньої природи та вивчення різноманітних геоекотонів, що виникли внаслідок людської діяльності, а також антропогенних ландшафтів, які їх оточують (Денисик, Кисельов та ін., 2022; Кисельов, Сонько та ін., 2023).

Зарубіжне ландшафтознавство, маючи значні досягнення в області прикладних, польових та інструментальних досліджень, є проблемними за збалансованістю теоретичних концепцій. Однак дослідження зарубіжних науковців є важливими як з позицій класичного ландшафтознавства, так і з позицій комплексного управління екотонними територіями для досягнення максимальної еколого-соціально-економічної ефективності природокористування.

Мета дослідження: здійснити аналіз результатів досліджень екотонів окремих зарубіжних науковців, що є цінним джерелом інформації для ландшафтознавства, як з теоретичного, так і з практичного погляду.

Аналіз попередніх досліджень. Аме-

риканський ботанік Ф. Клементс у 1928 р. запропонував термін «екотон» для опису унікальної перехідної смуги між двома несхожими екосистемами. Ця територія, наприклад, як межа між лісом і степом, має свої особливості, що не дозволяють віднести її до жодної з сусідніх екосистем (Денисик, Безлатня, 2018; Денисик, Ситник, 2012; Денисик, Ситник та ін., 2020; Денисик, Кисельов та ін., 2022). І. Віммер поглибив запропоновану на початку XIX ст. Г. Хоммейером концепцію ландшафту як картини місцевості. Р. Хартсхорн (1935, 1959), один із найяскравіших представників хорологічної школи, вважав географію єдиною наукою, завданням якої є опис «територіальної диференціації земної поверхні» та накопичення фактичного матеріалу, та Е. Хентінгтон (1940), відомий своїми дослідженнями з екологічного детермінізму/кліматичного детермінізму, економічного зростання та економічної географії, заперечували можливість природного районування. Однак Р. Хартсхорн був одним з ініціаторів широкомасштабних польових досліджень у США, наполягаючи на тому, що основним напрямом географії є територіальна диференціація, мозаїка окремих ландшафтів на поверхні землі. Ідею природних територіальних комплексів розвинув німецький науковець З. Пассарге, розглядаючи географічний ландшафт як природну єдність, досліджував питання класифікації природних ландшафтів та співвідношення їх із культурними ландшафтами (Денисик, Кисельов та ін., 2022).

У повоєнний період, після Другої світової війни, найбільший вплив на західну та світову географію справили праці німецьких науковців К. Тролля (1963), К. Паффена, А. Шюттлера, Г. Мюллера-Мини (1963)

з результатами досліджень та ландшафтними картами окремих природних та адміністративних регіонів (Денисик, Кисельов та ін., 2022; Кисельов, Сонько та ін., 2023).

Проблемою меж географі зацікавилися у зв'язку з дискусією про дискретність-континуальність природно-територіальних комплексів, яка розгорнулася у середині 50-х рр. XX ст. Питання меж ландшафтів, як екотонів різної ширини, досліджували естонські геоекологи Ю. Якомягі, М. Кюльвік та Ю. Мандер, які за периметром і розміром контактуючих геосистем виділили три типи екотонів: а) мікроекотони (у разі контакту окремих парцел і геотопів – до 40 м діаметрі); б) мезоекотони (контакт ліс – луки, болото – ліс та ін.); в) макроекотони (які виникають на межі великих лісових чи болотних масивів, великих водойм тощо) (Дем'янчук, 2001; Дем'янчук & Свинко, 2011; Денисик, Ситник та ін., 2020; Денисик, Кисельов та ін., 2022). Дослідження екотонів в Україні пов'язані насамперед із працями Г. І. Денисика (Денисик & Ситник, 2012; Денисик, Ситник та ін., 2020; Денисик, Кисельов та ін., 2022), П. М. Дем'янчука (Дем'янчук, 2001; Дем'янчук & Свинко, 2011), О. І. Ситника (Денисик & Ситник, 2012; Ситник, 2023), О. Ю. Дмитрука (Дмитрук & Денисик, 2019), Ю. О. Кисельова (Кисельов, Сонько та ін., 2023), Л. О. Безлатньої (Денисик & Безлатня, 2018), в яких висвітлено переважно закономірності формування, динаміки та еволюції екотонів у гірських та лісостепових ландшафтах.

Однак, поглиблене та різноманітне вивчення антропогенних ландшафтів опосередковано почало загострювати найважливішу проблему – проблему природокористування людським суспільством.

В результаті розвитку антропоцентричних ідей, переважно про антропогенний вплив на ландшафт, починаючи з 1970-х рр. увага ландшафтознавців поступово зміщується в бік вивчення антропогену. Трансформація ландшафтів, яка, на Г. І. Денисика (Денисик & Ситник, 2012): «із природного перетворився на антропогенний», хоча ідею культурного ландшафту свого часу розвинув О. Шлютер. Починаючи з 1990-х рр. різноманітність студій ландшафтного дизайну також поповнилися дослідженням духовної складової ландшафту, як приклад роботи М. Д. Гродзинського (2005, 2008) та О. П. Ковальова (2009).

Нарешті, з початку XXI ст. в Україні приділяється увага вивченню міжландшафтних (міжзональних) меж (екотонів), у процесі якого виявляється їхня роль як окремих ландшафтних систем, що не поступаються за значенням фоновим зональним ландшафтам ((Дмитрук & Денисик, 2019; Денисик, Ситник та ін., 2020; Кисельов, Сонько та ін., 2023).

Результати дослідження. Зарубіжне ландшафтознавство, маючи значні досягнення в області прикладних, польових і інструментальних досліджень, дещо відстає за збалансованістю теоретичних концепцій, притаманних українській школі ландшафтознавства.

Richard Seagera та ін. (Seager et al., 2018) зазначають, що 100-й меридіан західної довготи розділяє Великі рівнини Північної Америки навпіл і, таким чином, фактично ділить континент на більш посушливу західну та менш посушливу східну частини, добре виражений з погляду рослинності, гідрології суші, посівів та господарського освоєння за-

галом. Враховуючи, що південніше Великих озер, у зв'язку з наростанням континентальності клімату, зміна природних зон відбувається зі сходу на захід, відповідно, смуга вздовж 100-го меридіану західної довготи є міжзональним геоекотонном «лісостеп-степ» між 30 і 50 паралелями північної широти. Автори розглядають, можливі зміни інтенсивності й розташування цього посушливого та вологого розриву упродовж нинішнього століття під впливом зростання парникових газів. Вперше показано, що найсучасніші кліматичні моделі загалом недооцінюють ступінь аридності території Сполучених Штатів Америки й імітують надто дифузний поділ на посушливий і вологий клімат. Ці відхилення пов'язані з надмірними опадами та випаровуванням і неадекватним блокуванням потоку вологи на схід тихоокеанськими прибережними хребтами та Скелястими горами. Розробляються прогнози майбутнього з виправленням зміщення, які змінюють вимірювання посушливості, засновані на спостереженнях, шляхом прогнозованих моделлю дробових змін посушливості. Посушливість зростає в Сполучених Штатах Америки, а градієнт посушливості слабшає. Автори вважають, що суттєвий внесок у зміни вносить зростання потенційної евапотранспірації, тоді як зміни в опадах, що діють самі по собі, збільшують посушливість на півдні та зменшують на півночі Сполучених Штатів Америки. «Ефективний 100-й меридіан» зміщується на схід із перебігом століття. У сучасній сільськогосподарській економіці розмір фермерського господарювання та відсоток пасовищ в окрузі збільшуються, а відсоток посівних угідь під кукурудзою зменшується зі збільшенням посушливості. Статистичні

зв'язки між цими величинами та прогнозами посушливості, враховуючи поправку на зміщення, свідчать про те, що за інших однакових умов (а цього не передбачається), пристосування до мінливого навколишнього середовища призведе до розширення фермерського господарювання та площ пасовищ на рівнинах, а відсоток посівних угідь під кукурудзою у подальших десятиліттях зменшиться на північних рівнинах (*Seager et al., 2018*).

Abdelrazek Elnashar та ін. (*Elnashar et al., 2022*) розглядали процеси спустелювання басейну Блакитного Нілу (Африка). Враховуючи, що басейн Блакитного Нілу (BNB) лежить у межах помірно вологих трав'янистих та посушливих саван, рідколісь та чагарників, частково – у межах внутрішньоматерикових чагарникових напівпустель, можна вважати, що ця територія є частиною міжзонального геоекотону «саван і рідколісь та напівпустель».

Оцінка екологічно чутливих територій (ESA) до спустелювання та розуміння їх основних рушійних сил є необхідними для застосування цілеспрямованих методів управління для боротьби з деградацією земель у масштабі басейну. Була розроблена структура Середземноморського опустелювання та землекористування в хмарній платформі Google Earth Engine (MEDALUS-GEE) для картографування та оцінки індексу ESA у басейні Блакитного Нілу. Індекс ESA отриманий шляхом розробки ключових індикаторів, що представляють ґрунт, клімат, рослинність і управління через середнє геометричне їх балів чутливості. Результати показали, що 43,4 % усього Блакитного Нілу, 28,8 % Верхнього Блакитного Нілу і 70,4 %

Нижнього Блакитного Нілу, виявились дуже сприйнятливі до спустелювання. Це вказує на необхідність термінового впровадження відповідних заходів щодо управління земельними та водними ресурсами. Основними чинниками деградації земель є помірна та інтенсивна культивация в межах BNB, високий градієнт схилу та водна ерозія у Верхньому BNB, а також низький вміст органічної речовини та рослинного покриву в Нижньому BNB. Дослідження надало інтегровану структуру моніторингу та оцінки для розуміння процесів спустелювання з метою досягнення цілей сталого розвитку, пов'язаних із землею (*Elnashar et al., 2022*).

Gosz J.R. (*Gosz, 1992*) розглядає аспекти концепції екотонів, які стосуються сили взаємодії між суміжними системами для ієрархії екотонів у перехідній зоні біому в штаті Нью-Мексико (США) в Sevilleta National Wildlife Refuge (Національний заповідник дикої природи Севільта), розташований на крайній північній околиці пустелі Чіуауа (*Чіуауа (пустеля)...*). Вона є однією з чотирьох великих північноамериканських пустель, разом з пустелею Великого Басейну та пустелями Мохаве і Сонора, серед яких пустеля Чіуауа є найбільшою за площею та найпівденнішою. Вона вирізняється високим біорізноманіттям та рівнем ендемізму. Всесвітній фонд дикої природи виділяє її у окремий неарктичний екорегіон пустель і склерофітних чагарників. За минулі століття ландшафт пустелі Чіуауа зазнав значного антропогенного впливу. Надмірний випас худоби є причиною деградації рослинних угруповань та заміни місцевих видів інвазивними бур'янами. Внаслідок втрати природних оселищ багато видів великих тварин, таких

як гризлі, вовки, бізони та вилороги, вимерли або стали надзвичайно рідкісними. Опустелювання призводить до заміни відкритих луків пустельними чагарниками, а зміни клімату, за висновками Програми ООН з навколишнього середовища, опублікованими ще у 2006 р., можуть призвести до заміни майже половини видів птахів, ссавців і метеликів іншими видами до 2055 р. (*Чіуауа (пустеля)...*). Зони переходу виникають на рівнях рослин, ділянки, ландшафту та біому в запропонованій ієрархії. Обмеження відрізняються в цій ієрархії, насамперед через різні масштаби, на яких ці обмеження поширюють свій вплив. Основна стратегія розуміння цих міжмасштабних впливів має полягати у проведенні досліджень у різних масштабах, і ієрархічний підхід, відповідно, визначає ці масштаби (*Gosz, 1992*).

К. Hufkens, R. Ceulemans, P. Scheunders (*Hufkens, Ceulemans & Scheunders, 2008*) зазначають, що екотони є перехідними зонами між двома суміжними екологічними системами і характеризуються високою швидкістю змін порівняно з цими суміжними районами. Вони є динамічними сутностями як з просторовими, так і часовими властивостями, відображеними в ширині та розташуванні екотону, які змінюються упродовж спадкоємності, або зміни середовища, як у локальному, так і в глобальному масштабі. Були запропоновані різні методи для характеристики екотонів, одним із яких є підгонка кривої сигмоїдної хвилі, тобто використання неперервно диференційованої монотонної нелінійної S-подібної функції, з метою «згладжування» значень деякої величини на трансектах через екотон. Зрозуміло, що використання цієї функції пояснюється пере-

хідними процесами і явищами в екотонах. Було перевірено надійність підходу моделі сигмоподібної хвилі на змодельованих даних екотонів із різним ступенем крутизни, неоднорідності та довжини трансекти. Дисперсійний аналіз (ANOVA) надав деталі щодо чутливості оціненої ширини екотону до крутизни, довжини трансекти, а також до нерівності екотону. Досліджено взаємодію між різними параметрами на результуючу ширину екотону. Алгоритм підгонки кривої сигмоїдної хвилі забезпечує надійний спосіб опису екотонів із різними ступенями крутизни та неоднозначності (Hufkens, Ceulemans & Scheunders, 2008).

Fengqi Cu та ін. (Cui et al., 2021) вважають, що екосистемні послуги, тобто, всі корисні блага, які можна отримати від близького сусідства з природою (ecosystem services, ESs), що відіграють важливу роль у балансі природної екосистеми та соціально-економічному розвитку, страждають від деградації, спричиненої діяльністю людини та зміною клімату. Проте спосіб, у який екосистемні послуги реагують на зміни землекористування/покриву (land use/cover changes, LUCCs) та кліматичні чинники, відповідно, залишаються невизначеними, особливо в лісостеповому екотоні, який дуже чутливий до зміни клімату та антропогенного впливу. На основі даних дистанційного зондування та метеорологічних показників окремих територій лісостепового екотону Китаю, на місці було всебічно змодельовано та порівняно ключові зміни екосистемних послуг, спричинені змінами землекористування, часткою змін у землекористуванні та змінами клімату за допомогою двох простих порівняльних експериментів. Результати показали,

що: проект «Зерно для зеленого» («Grain for Green» project, GGP), запущений урядом Китаю для пом'якшення впливу ерозії ґрунту та відновлення екосистемних послуг шляхом висаджування дерев або засівання пасовищ на крутих ріллях або голих землях, покращив середнє збереження ґрунту, поглинання вуглецю та водовіддачу, але зменшив фіксацію піску. Розширення посівних площ позитивно вплинуло на водовіддачу та фіксацію піску, але спричинило зниження збереження ґрунту та поглинання вуглецю. Урбанізація, ймовірно, збільшила водовіддачу та зменшила збереження ґрунту, секвестрацію вуглецю та фіксацію піску. Неоднакові частки зміни одного і того ж перетворення землекористування можуть по-різному впливати на екосистемні послуги. Їх зміни по-різному реагують на зміну клімату в різних ландшафтах через екологічні процеси. Водовіддачу можна добре пояснити температурою, опадами, радіацією та швидкістю вітру. Зміна клімату мала більш суттєвий вплив на водовіддачу та поглинання вуглецю, ніж зміни у землекористуванні/покриві, але зміни у землекористуванні/покриві ефективніше впливають на закріплення піску та збереження ґрунтового покриву. Вплив трьох типів змін у землекористуванні та зміни клімату на екосистемні послуги слід враховувати під час формування політики землекористування. Вважається, що зазначене дослідження може допомогти зацікавленим фізичним та юридичним особам, які приймають рішення у досягненні сталого управління екосистемними послугами та розробці стратегій землекористування в лісостеповому екотоні (Cui et al., 2021).

Foster J.R. (Foster, D'Amato & Anthony, 2014), розглядаючи екотон між північними

листяними лісами та гірськими бореальними лісами у Зелених горах штату Вермонт, США, прогнозують, що зміни клімату вплинуть на цілісність лісових екосистем у всьому світі. Один із типів лісу, який, як очікується, зазнає серйозного впливу, – це східні ялиново-ялищеві ліси, оскільки вони вже знаходяться на крайніх висотних і широтних межах свого ареалу на півночі Сполучених Штатів Америки. Широкомасштабні біоклімактичні моделі передбачають зниження придатності середовища існування для видів ялини та ялиці, викликаючи при цьому посуху та термічний стрес для залишків дерев. Враховуючи, що підвищення температури зменшує або знищує середовище існування на більшій частині нинішнього ялиново-ялищевого ареалу, це сприятиме росту та відновленню листяних лісів або більш південних хвойних видів. Зазначено, що екотон між північними листяними лісами та гірськими бореальними лісами у Зелених горах штату Вермонт, США, змістився приблизно на 100 м угору упродовж минулих 20-40 рр. Дослідження, що лежить в основі цього висновку, обґрунтовувалось довгостроковими даними лісових ділянок та аналізом змін вузьких трансект (ширина 6 м) на аерофотознімках і SPOT-зображеннях. У Білих горах штату Нью-Гемпшир, США, дослідження з використанням індексів рослинності з даних Landsat, найбільш тривалого проєкту з отримання супутникових фотознімків планети Земля, показали суперечливі результати – хвойна рослинність наростала, навпаки, донизу від наявного екотону. З метою реального відображення бореально-помірного лісового екотону у Зелених горах у Вермонті, США, використовувались порівняльні зображення Landsat за 1989–2011 рр.

Було виявлено, що висота екотону бореально-помірного лісу та зміни його розташування упродовж 20 р. більш мінливі, ніж зазначалось в останніх дослідженнях. У той час, як в деяких місцях екотон переміщувався на більшу висоту із заявленою швидкістю, в інших місцях він зміщувався донизу, хоча у більшості випадків змін висоти не було виявлено. Велика варіабельність як у швидкості, так і в напрямі зміни висоти бореально-помірного лісового екотону свідчить про те, що поточні зміни не можна чітко пов'язати зі змінами клімату, але вони можуть однаково відображати динаміку старіння старих лісів і їх заміну локально конкуруючими видами (Foster, D'Amato & Anthony, 2014).

Elias Rodrigues da Cunha та ін. (Cunha et al., 2021) зазначали, що останнім часом розвиток сільського господарства в Бразилії спричинив дуже серйозні проблеми, такі як вирубка лісів, збільшення кількості пестицидів й зважених відкладів, які негативно вплинули на навколишнє середовище, особливо в басейні р. Прата в регіоні Серра-да-Бодокена. У цьому сценарії басейн р. Прата є нетиповим з фізико-географічного погляду, оскільки він розташований на переході плато Бодокена та заплави Пантанал. Незважаючи на розташування у домені Серрадо, знаходиться під впливом внутрішніх Атлантичних лісів, і це один з останніх регіонів, де можна знайти залишки збережених сезонних лісів, і є своєрідним екотонном. Таким чином, мета цього дослідження полягала в тому, щоб проаналізувати майбутні зміни у землекористуванні та земельному покриві внаслідок розвитку сільського господарства в районах місцевої рослинності Серрадо/Атлантичного лісового екотону в басейні р. Прата у 2033,

2050, 2080 та 2100 рр. Щоб скласти карту майбутнього землекористування та земельного покриття (LULC) досліджуваної території, на супутникових зображеннях Landsat було використано об'єктно-орієнтований підхід до класифікації 1986, 1999, 2007 та 2016. Майбутні сценарії LULC створювались за допомогою моделі прогнозу клітинних автоматів Маркова. Результати моделювання змін LULC були визнані задовільними, про що свідчать значення, отримані від індексів Каппа Коена. Змодельовані майбутні сценарії LULC вказують на розвиток землеробства та зменшення водно-болотних угідь (банхад), саван, прибережних лісів, сезонних напівлистяних лісів і вологих лук, що можна вважати попередженням про втрату біорізноманіття фауни та флори в національному парку Серра-да-Бодокена, головним чином у басейні р. Прата. У цьому дослідженні було виявлено та кількісно оцінено вплив розвитку сільського господарства в районах місцевої рослинності в лісовому екотоні Серрадо/Атлантики в басейні р. Прата. Результати показали, що зміни LULC упродовж трьох десятиліть у басейні р. Прата спричинені розширенням агропастовищ, екстенсивним розведенням великої рогатої худоби, яке переважає з 1980 р, що безпосередньо впливає на зменшення видового складу і деградації місцевої рослинності (Cunha et al., 2021).

Із дослідженням Elias Rodrigues da Cunha (Cunha et al., 2021) тісно переплітається дослідження Kessous, I. M. (Kessous, Alves, da Silva, Saporetti Junior, 2024), також проведені в екотоні між Атлантичним лісом і Серрадо.

Гори характеризуються високим ступенем ендемізму та різноманіття, однак кіль-

кісна оцінка їхнього біорізноманіття може бути складною. Подібно до островів, ізоляція видів у гірських регіонах призводить до подібних моделей еволюції та вимирання, що робить їхнє біорізноманіття унікальним і дуже чутливим до антропогенних змін. Топографічний рельєф у горах відіграє вирішальну роль у створенні складних біотопів, які, в свою чергу, сприяють високому рослинному різноманіттю. Досліджувалось різноманіття рослин на вершинах вулканів на плато Посос-де-Кальдас, регіоні, розташованому в екотоні між Серрадо/Атлантичний ліс, який характеризується лише йому притаманними умовами та значним антропогенним втручанням. Застосовувався автоматизований підхід через фільтрацію географічно прив'язаних і не прив'язаних даних, щоб отримати список видів рослин у регіоні. Крім того, статистично визначалась схожість між різними високогірними рослинами, що належать до високогір'я з Атлантичного лісу та високогір'я з Серрадо. Плато демонструє значне рослинне різноманіття, включаючи 1659 специфічних та інфраспецифічних таксонів, особливо з родин Asteraceae та Poaceae. Аналіз показав, що географічна відстань є сильним предиктором, засобом прогнозування відмінностей, і що плато Посос-де-Кальдаш більш флористично пов'язане з рупестрами, незважаючи на те, що воно асоціюється з висотними плато. Регіон має унікальний набір біорізноманіття, що вказує на те, що він може бути окремим утворенням. Крім того, припускалось, що події плейстоцену, ймовірно, вплинули на конформацію поточного флористичного складу в регіоні через обмін видами між Серрадо та Атлантичним лісом. Дослідження також висвітлює кілька таксо-

нів, оцінених на предмет природоохоронного статусу та антропогенних змін, перед якими постає це середовище існування (*Kessous, Alves, da Silva, Saporetto Junior, 2024*).

Rub'en Pardo-Martínez та ін. (*Pardo-Martínez et al., 2024*) вважають, що гірські ліси є чутливими екосистемами, тому упродовж минулих років динаміка цих лісових екотонів досліджувалась з використанням кількох різних підходів. Один з них – палеоекологічна перспектива, яка особливо цікава в гірських районах Середземноморського регіону, де взаємодія між кліматом, рослинністю та антропогенною діяльністю була задокументована упродовж тисячоліть. Це випадок природного парку Сьєрра-де-лас-Ньєвес (південно-західна Бетична Кордильєра), гірської місцевості, яка є важливим ареалом для флори на півдні Піренейського півострова, зокрема для ендемічних дерев, як ялиця іспанська (*Abies pinsapo*) і дуб португальський (*Quercus faginea subs.*), зустрічаються альпійський (*alpestris*). Однак стратегічне географічне положення парку могло також слугувати в минулому прихистком для інших таксонів дерев. Щоб реконструювати історію рослинності в межах цієї природоохоронної території, дослідження спрямоване на використання палеоантракологічного аналізу в недослідженій області гірської системи. Отримані результати дозволили ідентифікувати нову палеопопуляцію ялиці (*Abies*), відкриття, яке дає нові ключі до палеобіогеографії виду. Це доказ найдавнішого поширення представників цього виду, виявленого на більшій висоті порівняно із виявленими на сьогодні у південно-західних Баєтичних Кордильєрах. Відкриття підтверджує, що ялиця іспанська поширювалась на значних

висотах Сьєрра-де-лас-Ньєвес під час переходу плейстоцен-голоцен. Так само було отримано перші антракологічні свідчення типу сосна чорна (*Pinus nigra*)/сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) у південно-західній частині Баєтичних Кордильєр. Лісові пожежі могли бути одним із головних чинників, які визначали формування та еволюцію ландшафту, як припускають палеоантракологічні аналізи ґрунту. Узагальнена інформація може бути корисною для збереження та адаптивного управління лісами, що знаходяться під загрозою та місцями їх існування в умовах глобальних змін (*Pardo-Martínez et al., 2024*).

Arnot C., Fisher P. F. (*Arnot & Fisher, 2024*) пропонують можливість використання метричного аналізу (метрики ландшафту) з метою визначення розмірних характеристик екотонних територій, тобто кількісних показників, що характеризують просторову структуру та конфігурацію ландшафту. Метрики ландшафту є важливим інструментом для розуміння та управління ландшафтами. Вони дозволяють кількісно оцінити зміни в ландшафті, виявити тенденції та прийняти обґрунтовані рішення щодо збереження та використання природних ресурсів. Ландшафтні метрики широко використовуються, але попередні дослідження висвітлили помилки в надійності значень метрики.

Arnot C., Fisher P. F. розглядають зміни значень метрик, коли важко точно визначити, де один тип земельного покриву переходить до іншого; коли екотон від різкого переходу набуває власної просторової протяжності. Значення метрик досліджуються у ландшафті, класифікованому з використанням супутникових знімків та нечіткого класифікатора k-середніх (кластеризація методом

k-середніх (англ. *k-means clustering*) – популярний метод кластеризації, – впорядкування множини об’єктів у порівняно однорідні групи) у нечіткі множини таким чином, щоб кожне місце розташування мало ступінь належності до всіх класів. Результатом є те, що будь-який екотон може бути охарактеризований різними значеннями метрик, залежно від ступеня в якому місцезнаходження належить до певного класу земельного покриття. Однак зареєстровані значення показують деяку схожість зі значеннями для інтерпретації того ж ландшафту з різними змінами, але характер цієї подібності непередбачено варіюється між метриками та класами. Цей аналіз забезпечує обмежений ступінь впевненості для тих, хто використовує метричний аналіз, де межі можуть мати просторову довжину, але для створення покращеного опису метрик у цих умовах необхідні подальші значні додаткові напрацювання (*Arnot & Fisher, 2024*).

Jie Li та ін (*Jie et al., 2024*) вважають, що регіональне зонування є важливим способом для розуміння географічного простору, однак наявні дослідження регіонального зонування зосереджуються на природних умовах, ігноруючи взаємозалежні характеристики людини та природи, а рушійний механізм регіональної диференціації недостатньо пояснений. У цьому дослідженні з використанням таких алгоритмів, як карта самоорганізації, індекс якості кластеризації, показник індексу структурної подібності (SSIM) і випадковий ліс (підхід ML для вирішення проблем класифікації та регресії; він використовує ансамблеве навчання – метод вирішення складних завдань шляхом інтеграції багатьох класифікаторів), було проведено поєднане зонування людської діяльності (НА) і природних ресур-

сів (NE) в агро-пасовищному екотоні в Ганьсу, Китай (AEGC), щоб дослідити рушійний механізм регіональної диференціації. Розташований у перехідній зоні між мусонними та немусонними областями, де різноманітні природні та людські елементи характеризуються переходами та флуктуаціями, агропасовищний екотон у Ганьсу, Китай (AEGC), є ключовим районом для глобальних досліджень наземних екосистем. Результати показують наступне: поєднане зонування людської діяльності і природних ресурсів має найкращий ефект кластеризації під час реалізації схеми поділу з класифікаційним номером 4. Відповідно, AEGC можна розділити на чотири області зі значними відмінностями між людською діяльністю і природними ресурсами; з погляду просторового розподілу, пов’язане зонування людської діяльності і природних ресурсів, в той час як безпосередньо зонування людської діяльності відрізняється. Результати показника індексу структурної подібності показали, що пов’язане зонування людської діяльності і природних ресурсів враховує всі типи чинників (середнє значення SSIM 0,708), і результати зонування кращі, ніж зонування одного типу. Чинник людської діяльності має суттєву незалежність (середнє значення SSIM 0,576), а географічні умови тісно пов’язані з усіма іншими чинниками (середнє значення SSIM 0,671); висота є найважливішим чинником регіональної диференціації в агропасовищному екотоні в Ганьсу, з часткою 22,36 %; інші важливі чинники включають інтенсивність землекористування, кількість опадів і нормалізований індекс різниці рослинності з розподілом частки 17,38 %, 16,34 % і 15,79 %. Крім того, домінуючі чинники регіональ-

ної диференціації в кожному субрегіоні різні. У цьому дослідженні підкреслюється, що регіональні характерні чинники та чинники нерівномірного просторового розподілу є важливими для регіональної диференціації, а інтенсивність землекористування стала важливою силою, що впливає на географічний простір (Jie et al., 2024).

Duqiu Fei та ін. (F. Duqiu et al., 2017) вважають, що враховуючи сучасні тенденції демографічного розвитку Китаю, на душу населення припадають відносно невеликі земельні ресурси. За минулі 30 р., у зв'язку зі швидким зростанням економіки, масштаби міст постійно збільшуються, що призводить до різких змін у землекористуванні. Зрозуміло, що зміни значною мірою відчутні в міських і сільських перехідних районах, які можна вважати селитебними екотонами. Не тільки структура землекористування відображає соціально-економічне просторове розташування, але і її ефективність та прибуток від землекористування необхідно детально вивчати, що є важливим напрямом дослідження. Долина річки Хуаншуй (HRV) – типова долина, розташована на північному сході Цинхай-Тибетського плато. Його довге і вузьке простягання, значні вертикальні градієнти і різноманітні типи землекористування створюють певні проблеми для зонування землекористування в цьому регіоні. Автори пропонують поєднаний метод ґрінг-самоорганізуючої карти ознак (SOFM) на основі комірки сітки, який буде більш надійним і вдосконаленим у порівнянні з методом загальноновживаних адміністративних регіонів як основних аналітичних структур. По-перше, визначена область дослідження розділена на клітинки сітки фіксованого роз-

міру (500x500 м). Шість індексів, включаючи пасовища, оброблювані землі, лісові землі, землі під забудову, щільність населення та дохід на душу населення, просторово та кількісно визначені в кожній комірці. Таким чином, модель нейронної мережі SOFM використовується для класифікації землекористування по шести зонах зонування. І міська територія, перехідна територія між містом і селом, територія переходу від сільського господарства до лісового господарства, типова сільськогосподарська територія, перехідна територія від сільського господарства до скотарства та типова територія для скотарства обов'язково належать до них. Результати дослідження можуть яскраво вказати на реальну ситуацію, коли структура землекористування постійно змінюється в долині річки Хуаншуй, і забезпечать конкретний метод суттєвого використання земельних ресурсів.

Висновки. Зарубіжні дослідження екотонів є цікавими з погляду ландшафтознавства з кількох причин:

по-перше – різноманітність підходів: зарубіжні науковці, особливо в країнах з розвиненим ландшафтознавством, мають значні досягнення в прикладних, польових та інструментальних дослідженнях, що дозволяє отримати значиму інформацію про екотони з різних поглядів: їхні дослідження часто включають використання сучасних технологій, таких як дистанційне зондування, геоінформаційні системи та моделювання, що дозволяє отримувати більш точні та детальні дані;

по-друге: теоретичні концепції – хоча існує думка, що зарубіжне ландшафтознавство відстає за збалансованістю теоретичних концепцій, їхні дослідження все одно є важливи-

ми для розвитку теорії ландшафтознавства, вивчення їхніх підходів та результатів дозволяє порівняти різні теоретичні моделі та виявити їхні сильні та слабкі сторони;

по-третє: практичне застосування – зарубіжні дослідження екотонів часто мають практичне застосування в галузі комплексного управління територіями, вони допомагають розробити ефективні стратегії природокористування, збереження біорізноманіття та пом'якшення наслідків зміни клімату;

по-четверте: міжнародний обмін досвідом – вивчення зарубіжних досліджень сприяє міжнародному обміну досвідом та співпраці між науковцями з різних країн, що дозволяє об'єднати зусилля для розв'язання глобальних екологічних проблем.

Таким чином, зарубіжні дослідження екотонів є вагомим джерелом інформації для ландшафтознавства, як з теоретичного, так і з практичного погляду і потребує подальшого детальнішого пізнання.

Список використаних джерел

- Дем'янчук, П. М. (2001). Основні властивості географічних екотонів: сучасний стан проблеми. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. 2(7). Тернопіль. 34–37.
- Дем'янчук, П. М., & Свинко, Й. М. (2011). Західно-Подільське горбогір'я як географічний екотон: монографія. Тернопіль: Підручники і посібники. 208.
- Денисик, Г. І. (2001). Лісополе України. Вінниця: ПП «Видавництво» «Тезис». 284.
- Денисик, Г. І., & Безлатня Л. О. (2018). Культурні ландшафти міжзонального геоекотопу «лісостеп-степ» Правобережної України: монографія. Вінниця, ТОВ «Твори». 232.
- Денисик, Г. І., & Ситник О.І. (2012). Міжзональний геоекотон «лісостеп – степ» Правобережної України. Вінниця : Едельвейс і К. 217.
- Денисик, Г. І., Ситник, О. І., Чиж, О. П., Безлатня, Л. О., Денисик, Б. Г., & Война, І. М. (2020). Міжзональні геоекотони України: монографія. Вінниця: ТОВ «Твори». 368.
- Денисик, Г. І., Кисельов, Ю .О., Сонько, С. П., Шлапак, В. П., & Максимено, Н. В. (2022). Екотони в ландшафтній організації суходолу Ландшафтознавство. 2(2). 102–111.
- Дмитрук, О. Ю., & Денисик, Б. Г. (2019). Рекреаційні осередки та геоекотони Середнього Побужжя: монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ». 204.
- Кисельов, Ю .О., Сонько, С. П., Шлапак, В. П., Кисельова О. С., & Корнус А. О. (2023). Значення екотонів у ландшафтній структурі поверхні суходолу Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки. 2(2). 12–20.
- Ситник, О. І. (2023). Передгірні ландшафтні екотони: обґрунтування меж та внутрішня структура. Ландшафтознавство. 3(1). 45–53.
- Чіуауа (пустеля) URL: <https://www.rbc.ua/rus/stylar/interesnye-fakty-pustyne-chiuaua-kotoraya-1617823454.html> (Last accessed: 05.03.2025).
- A. Elnashar et al. (2022). Assessment of environmentally sensitive areas to desertification in the Blue Nile Basin driven by the MEDALUS-GEE framework Science of The Total Environment. Vol. 815. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722000146?via%3Dihub> (Last accessed: 31.01.2025).
- Arnot, C., & Fisher, P. F. (2024). Landscape metrics with ecotones: Pattern under uncertainty Landscape Ecology. Vol. 19, Issue 2. P. 181–195. URL: <https://www.scopus.com/>

- record/ display.uri?eid=2-s2.0.1842535320&origin=reflist&sort=plff&src=s&sid=fb33f505ee b29fe512d4eda44863cb6e&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2c%22EART%22%2ct&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28geographical++ecotones%29 (Last accessed: 31.01.2025)
- F. Duquiu et al. (2017).* Land use zoning using a coupled gridding-self-organizing feature maps method: A case study in China *Journal of Cleaner Production*. Vol. 161. P. 1162–1170. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617309538?via%3Dihub> (Last accessed: 31.01.2025)
- E. R. Cunha et al. (2021).* Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado / Atlantic forest ecotone of Brazil. *Land Use Policy*. Vol. 101. P. 105–141. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837720303288?via%3Dihub> (Last accessed: 20.12.2024)
- Gosz, J. R. (1992).* Ecological Functions in a Biome Transition Zone: Translating Local Responses to Broad-Scale Dynamics Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. New York: Springer-Verlag,. P. 55–75. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-2804-2_3 (Last accessed: 04.03.2025)
- L. Jie et al. (2024).* Coupled zoning and spatial heterogeneity of human activities and natural endowments based on self-organizing map and random forest: A case study of the agro-pastoral ecotone in Gansu, China *Ecological Informatics*. Vol. 82. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954124002280?via%3Dihub> (Last accessed: 20.12.2024)
- Hufkens K., Ceulemans R., & Scheunders P. (2008).* Estimating the ecotone width in patchy ecotones using a sigmoid wave approach. *Ecological Informatics*. Vol. 3, Issue 1. P. 97–104. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574954108000034?via%3Dihub> (Last accessed: 11.01.2025)
- Kessous, I. M., Alves, R. J. V. da Silva, N. G., & Saporetti Junior, A. W. (2024).* Plant community on a volcano mountaintop reveals unique high-altitude vegetation in southeastern. Brazil *Journal of Mountain Scienc*. 21 (9). P. 3018–3030. URL: <https://swepub.kb.se/bib/swepub:oai:gup.ub.gu.se/345979?tab2=abs&language=en> (Last accessed: 04.03.2025)
- R. Seager et al. (2018).* Whither the 100-th Meridian? The Once and Future Physical and Human Geography of America’s Arid–Humid Divide Part II: The Meridian Moves East P. 1–24. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/eint/22/5/ei-d-17-0012.1.xml> (Last accessed: 06.03.2025)
- R. Pardo-Martínez et al. (2024).* Paleosol charcoal: 12,700 years of high-altitude mediterranean vegetation history in relation to forest fires in the southwestern baetic cordillera (Spain) *Quaternary International Volume 702*, P. 1–12. URL: https://www.researchgate.net/publication/381284964_Paleosol_charcoal_12700_years_of_highaltitude_mediterranean_vegetation_history_in_relation_to_forest_fires_in_the_southwestern_baetic_cordillera_Spain (Last accessed : 06.03.2025)
- F. Cui et al. (2021).* Climate change versus land-use change – What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone? *Science of The Total Environment*. Vol. 759. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972037056X> (Last accessed: 05.03.2025)
- Foster, J. R., & D’Amato Anthony, W. (2014).* Montane forest ecotones moved downslope in northeastern USA in spite of warming between 1984 and 2011. Conference: American

Geophysical Union AGU Fall Meeting 2014 (At: San Fransisco, CA, USA. Volume: 2014). URL:https://www.researchgate.net/publication/281243753_Downslope_Movement_of_Montane_Forest_Ecotones_in_Northeastern_US_in_Spite_of_Warming_Between_1984_and_2011 (Last accessed: 03.03.2025)

References

- Demianchuk, P. M. (2001).* Osnovni vlastyvoli heohrafichnykh ekotoniv: suchasnyi stan problemy. Naukovi zapysky TNPU im. V. Hnatiuka. Serii: Heohrafiia. 2(7). Ternopil. 34–37.
- Demianchuk, P. M., Svyenko, Y. M. (2011).* Zakhidno-Podilsk horbohiria yak heohrafichnyi ekoton: monohrafiia. Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky. 208.
- Denysyk, H. I. (2001).* Lisopole Ukrainy. Vinnytsia: PP «Vydavnytstvo» «Tezys». 284.
- Denysyk, H. I., & Bezlatnia L. O. (2018).* Kulturni landshafty mizhazonalnoho heoekotopu «lisostep-step» Pravoberezhnoi Ukrainy: monohrafiia. Vinnytsia. TOV «Tvory». 232.
- Denysyk, H. I., & Sytnyk O.I. (2012).* Mizhazonalni heoekoton «lisostep – step» Pravoberezhnoi Ukrainy. Vinnytsia: Edelweis i K. 217.
- Denysyk, H. I., Sytnyk, O. I., Chyzh, O. P., Bezlatnia, L. O., Denysyk, B. H., & Voina, I. M. (2020).* Mizhazonal-ni heoekotony Ukrainy: monohrafiia. Vinnytsia. TOV «Tvory». 368
- Denysyk, H. I., Kyselov, Yu .O., Sonko, S. P., Shlapak, V. P., & Maksymenko, N. V. (2022).* Ekotony v landshaftnii orhanizatsii sukhodolu Landshaftoznavstvo. 2(2). 102–111.
- Dmytruk, O. Yu., & Denysyk, B. H. (2019).* Rekreatsini osередky ta heoekotony Serednoho Pobuzhzhia: monohrafiia. Vinnytsia: TOV «TVORY». 204.
- Kyselov, Yu .O., Sonko, S. P., Shlapak, V. P., Kyselova O. S., & Kornus A. O. (2023).* Znachennia ekotoniv u landshaftnii strukturi poverkhni sukhodolu Slobozhanskyi naukovi visnyk. Serii: Pryrodnychi nauky. 2(2). 12–20.
- Sytnyk, O. I. (2023).* Peredhirni landshaftni ekotony: obgruntuvannia mezh ta vnutrishnia struktura. Landshaftoznavstvo. 3(1). 45–53.
- Chiuaua (pustelia) URL: https://www.rbc.ua/rus/stylar/interesnye-fakty-pustyne-chiuaua-kotoraya-1617823454.html (Last accessed: 05.03.2025)*
- A. Elnashar et al. (2022).* Assessment of environmentally sensitive areas to desertification in the Blue Nile Basin driven by the MEDALUS-GEE framework Science of The Total Environment. Vol. 815. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722000146?via%3Dihub> (Last accessed: 31.01.2025)
- Arnot C., & Fisher P. F. (2024).* Landscape metrics with ecotones: Pattern under uncertainty Landscape Ecology. Vol. 19, Issue 2. P. 181–195. URL: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.01842535320&origin=reflist&sort=plff&src=s&sid=fb33f505ee_b29fe512d4eda44863cb6e&sot=b&sdt=cl&cluster=scosubjabbr%2c%22EART%22%2ct&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28geographical++ecotones%29 (Last accessed: 31.01.2025)
- F. Duqiu et al. (2017).* Landuse zoning using a coupled gridding-self-organizing feature maps method: A case study in China Journal of Cleaner Production. Vol. 161. P. 1162–1170. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617309538?via%3Dihub> (Last accessed: 31.01.2025)
- E. R. Cunha et al. (2021).* Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado / Atlantic forest ecotone of Brazil.

- Land Use Policy. Vol. 101. P. 105–141. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837720303288?via%3Dihub> (Last accessed: 20.12.2024)
- Gosz, J. R. (1992). Ecological Functions in a Biome Transition Zone: Translating Local Responses to Broad-Scale Dynamics Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. New York: Springer-Verlag. P. 55–75. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-2804-2_3 (Last accessed: 04.03.2025)
- L. Jie et al. (2024). Coupled zoning and spatial heterogeneity of human activities and natural endowments based on self-organizing map and random forest: A case study of the agro-pastoral ecotone in Gansu, China Ecological Informatics. Vol. 82. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954124002280?via%3Dihub> (Last accessed: 20.12.2024)
- Hufkens K., Ceulemans R., & Scheunders P. (2008). Estimating the ecotone width in patchy ecotones using a sigmoid wave approach. Ecological Informatics. Vol. 3, Issue 1. P. 97–104. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574954108000034?via%3Dihub> (Last accessed: 11.01.2025)
- Kessous, I. M., Alves, R. J. V., da Silva N. G., & Saporetti Junior A. W. (2024). Plant community on a volcano mountaintop reveals unique high-altitude vegetation in southeastern. Brazil Journal of Mountain Scienc. 21 (9). P. 3018–3030. URL: <https://swepub.kb.se/bib/swepub:oai:gup.ub.gu.se/345979?tab2=abs&language=en> (Last accessed: 04.03.2025)
- R. Seager et al. (2018). Whither the 100-th Meridian? The Once and Future Physical and Human Geography of America's Arid–Humid Divide Part II: The Meridian Moves East P. 1–24. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/eint/22/5/ei-d-17-0012.1.xml> (Last accessed: 06.03.2025)
- R. Pardo-Martínez et al (2024). Paleosolcharcoal: 12,700 years of high-altitude mediterranean vegetation history in relation to forest fires in the southwestern baetic cordillera (Spain) Quaternary International Volume 702, P. 1–12. URL: https://www.researchgate.net/publication/381284964_Paleosol_charcoal_12700_years_of_highaltitude_mediterranean_vegetation_history_in_relation_to_forest_fires_in_the_southwestern_baetic_cordillera_Spain (Last accessed : 06.03.2025)
- F. Cui et al. (2021). Climate change versus land-use change – What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone? Science of The Total Environment. Vol. 759. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972037056X> (Last accessed: 05.03.2025)
- Foster J. R., & D'Amato, Anthony W. (2014). Montane forest ecotones moved downslope in northeastern USA in spite of warming between 1984 and 2011. Conference: American Geophysical Union AGU Fall Meeting 2014 (At: San Fransisco, CA, USA. Volume: 2014).URL:https://www.researchgate.net/publication/281243753_Downslope_Movement_of_Montane_Forest_Ecotones_in_Northeastern_US_in_Spite_of_Warming_Between_1984_and_2011 (Last accessed: 03.03.2025)

Статтю надіслано до редколегії 21.03.2025 р.