

УДК 624.21/8:504.055

Морозов А. В., <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

Морозова Т. В., канд. біол. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

Рутковська І. А., канд. техн. наук, доц., <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## ПРИНЦИП ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО КОНТИНУЇТЕТУ У ЗОНАХ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

### Анотація

**Вступ.** Основні екологічні ризики спричинені автомобільними дорогами полягають у виснаженні популяцій (смертність на дорогах) та бар'єрному ефекті (фрагментація ареалів). Бар'єрні ефекти – тварини уникають перетинання доріг, це призводить до зменшення розміру та якості середовища існування, оптимальної чисельності популяції, зниження здатності знаходити їжу та партнера, посилення генетичної структуризації та локального вимирання (Forman et al. 2003; Andrews et al. 2015; van der Ree et al. 2015). Ці ризики на тлі інших стресових чинників, зокрема, наявність інвазійних видів, забруднення, використання пестицидів, зміна клімату, хвороби рослин і тварин можуть загрожувати збереженню популяцій.

Особливо актуально це питання для герпетофауни, що пов'язано з їхніми біологічними особливостями. Зокрема, рептилії та земноводні повільно пересуваються, занадто малі (щоб їх побачили водії), не уникають доріг, у холодні періоди дороги приваблюють земноводних (терморегуляція), оскільки покриття поглинає й утримує тепло (Case and Fisher 2001; Jochimsen et al. 2004).

Принцип забезпечення екологічного континуїтету полягає в визначенні пріоритетних зусиль щодо пом'якшення екологічних ризиків для тварин та зменшенні негативного впливу транспортного комплексу як просторового бар'єру та джерела забруднення шляхом запровадження ряду технічних засобів (екопереходи, екрани (насипи, озеленення). Оскільки наразі змінізувати екологічні ризики на всіх дорогах та для всіх видів неможливо, необхідним є визначити найуразливіші види, оцінити ризики для популяцій та необхідність пом'якшення на підставі аналізу щільності та типів доріг, інтенсивності дорожнього руху.

**Проблематика.** З появою наземного транспорту виникла прогресуюча екологічна проблема — трансформація ландшафтів, першочергово вона постала в країнах з розвинутою дорожньою інфраструктурою Західної Європи та США, й досить швидко поширилась земною кулею (Ellenberg, et al., 1981; Фетисов, 1999; Загороднюк, 2006; Шевцов, Ильох, Хохлов, 2012). Дослідженню впливу транспортної інфраструктури присвячені численні публікації як закордонних, так і вітчизняних авторів. Особлива увага європейських авторів приділяється вивченню питань феномену фрагментації природних екосистем. У Європі функціонує мережа експертів та установ IENE, яка вивчає можливість запровадження превентивних заходів щодо фрагментації ландшафтів, сприяє розвитку транспортної інфраструктури з урахуванням природоохоронних вимог, шляхом створення безпечної, екологічно стійкої загальноєвропейської транспортної інфраструктури.

Екологічний слід дорожньої мережі значно перевищує її протяжність (Вознюк, 2014). Це обумовлено наслідками впливу, зокрема, смертність на дорогах ссавців, рептилій, плазунів (Forman et al. 2003), фрагментація ландшафту (дороги розбивають ареал на ізольовані ділянки, з низькою чисельністю популяцій (іноді нижче мінімальної), тому такі популяції втрачають генетичне різноманіття та можуть локально вимирати), втрата ареалів існування видів та зниження рівня зв'язаності. Крім того, до цих очевидних наслідків, додаються шумове та вібраційне забруднення,

які інгібують здатність плазунів, птахів і ссавців виявляти здобич або уникати хижаків (Forman et al. 2003), порушується світловий режим (Rich and Longcore 2006). Дороги сприяють розвитку ерозійних процесів ґрунтів, поширенню інвазійних та інтродукованих видів (у придорожні екотони транспортними засобами переноситься 300—800 насінин/м<sup>2</sup> за рік (Von der Lippe and Kowarik 2007), що сприяє формуванню локальних псевдопопуляцій), створюють перешкоди та є джерелами забруднення довкілля (Forman et al. 2003).

**Мета.** Обґрунтування принципу екологічного континуїтету щодо негативного впливу транспортної інфраструктури на природні екосистеми та пошук можливих шляхів мінімізації й запобігання такому впливу.

**Матеріали та методи.** Основними методами дослідження є застосування теоретичних загальнонаукових підходів для вивчення: аналіз та синтез міжнародних та вітчизняних науково-теоретичних робіт, документації ЄС (хартій, вимог до проектування), української нормативно-правової бази, літературних джерел; збір та аналіз статистичних даних для виявлення небезпек впливу дорожньої інфраструктури на біорізноманіття і визначення цінності природного ландшафту.

**Результати.** Результатом роботи є аналіз наукової літератури про негативний вплив транспортної інфраструктури на тварин, систематизація основних впливів для підготовки методичних документів для організацій, що здійснюють планування і проектування транспортної інфраструктури в Україні з метою нівелювання негативного впливу.

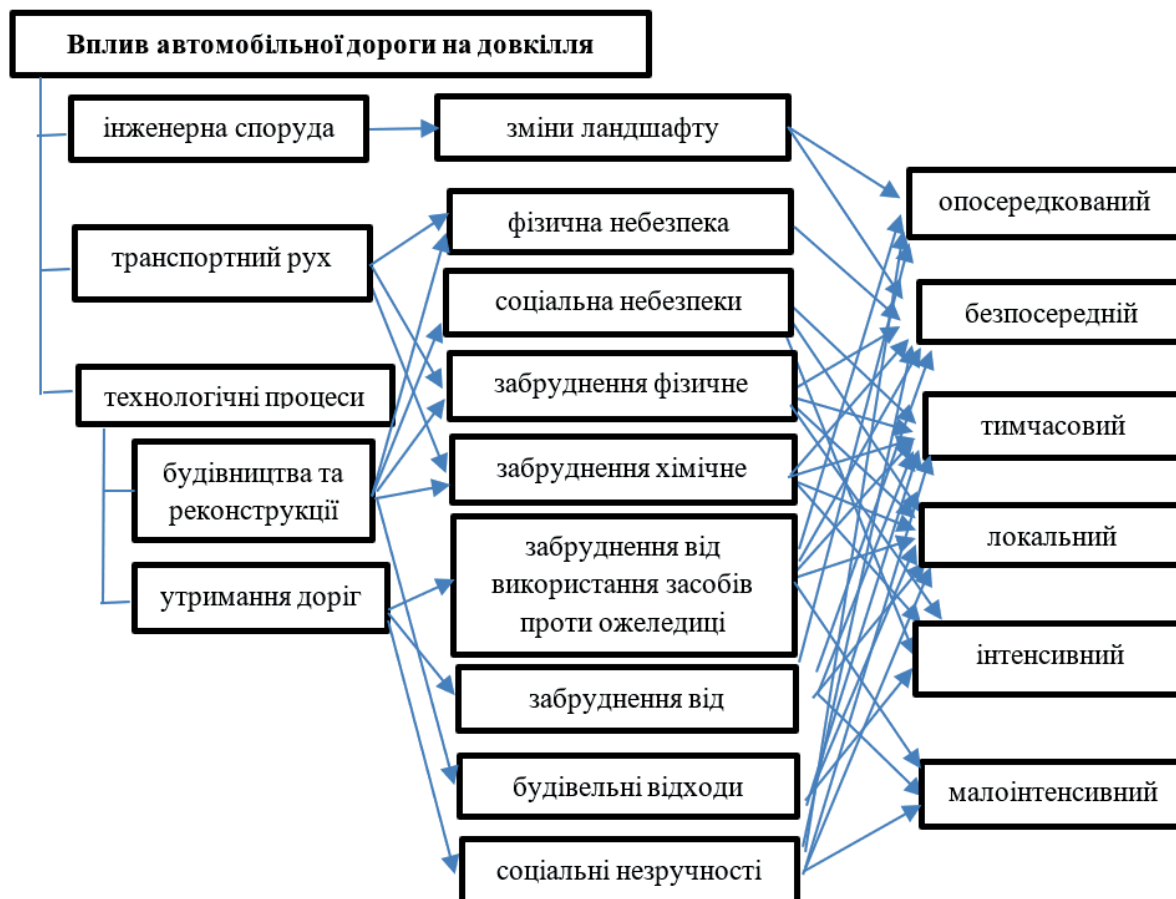
**Висновки.** Принцип забезпечення екологічного континуїтету полягає в мінімізації негативних наслідків для природного середовища. Зокрема, шляхом нівелювання просторового бар'єру автомобільної дороги загального користування. При прокладанні дороги через природні екосистеми необхідно споруджувати переходи і проходи для тварин. При цьому їх щільність і тип повинні відповідати природному рангу території. Будівництво переходів для тварин повинно бути обов'язковим для всіх типів доріг, які перетинають екологічні коридори. Особливо це актуально для доріг меншого рангу, повністю позбавлених будь-яких переходів для тварин, шумозахисних екранів (на таких дорогах частіше трапляються наїзди на тварин). Важливим моментом є необхідність планування превентивних методів на етапі планування побудови дороги. Аналіз європейського досвіду свідчить, що негативний вплив транспортної інфраструктури на біоту, може бути вирішений шляхом консолідації зусиль фахівців дорожньо-транспортної галузі та фахівців у галузі охорони природи.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, біопереход, біорізноманіття, дорожня інфраструктура, екологічний континуїтет.

### Вступ

Економічні та соціальні зміни в Україні передбачають необхідність розвитку дорожньо-транспортної інфраструктури, як наслідок, виникає нагальна потреба урахування її екологічної безпеки. Екологічні проблеми, що наявні при проектуванні та будівництві автодоріг достатньо активно вивчаються дослідниками. Основними питаннями вивчення є фрагментація ландшафтів, забруднення території, крайовий та бар'єрний ефекти. Вивченню впливу автомобільного транспорту на людину й довкілля, присвячені роботи Євгенєва І. Є., Карімова Б. Б., Осіпова Г. Л., Іванова Н. І., Павлова Е. І. й ін., питання захисту населення від шуму, вібрації та пилу розглядали у своїх роботах Бабій В. Ф., Бородіна Н. А., Брень Н. І., Худова В. М. Проте, маловивченими залишаються питання щодо можливих негативних наслідків впливу автомобільних доріг загального користування на тварин, прослідковується недосконалість методології дослідження та прогнозу цих наслідків. Відсутні систематизовані методи дослідження, недостатньо вивчені еколого-економічні аспекти, не розв'язано більшість прикладних завдань, найважливішими з яких є: збереження ландшафту та біорізноманіття, шумозахист селітебних територій.

Всезростаюче антропогенне навантаження на довкілля, в тому числі автомобілізація, як категорія суспільного прогресу, негативно впливає на екологічні системи та асиміляційні процеси в них. Прямий негативний вплив проявляється в шумовому навантаженні, різноманітних випромінюваннях, забрудненні та дорожньо-транспортних пригодах. Непрямий вплив — зміна ареалів існування видів (рис. 1).



*Рисунок 1* — Вплив автотранспорту та транспортної інфраструктури на довкілля (розроблено авторами на підставі аналізу літературних джерел)

Відомо, що зміна ландшафту призводить до зміни гідрологічного режиму, що в свою чергу може сприяти ерозійним процесам, зміні водного режиму території (формуючи більш посушливі або зволожені умови), особливо це проявляється у водно-болотних угіддях та прибережних територіях. Транспортна інфраструктура спричиняє значне забруднення довкілля, зокрема, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, ПАВ, діоксини, дрібнодисперсний пил, сполуки Pb, Zn, Cu та Cd. Шумове забруднення негативно впливає на чисельність популяцій птахів, штучне освітлення автошляхів — на ріст рослин, може викликати зміни у поведінці птахів, нічних тварин. Освітлення може приваблювати комах і, тим самим, збільшувати чисельність кажанів вздовж доріг, що призводить до збільшення їх смертності.

Отже, основними негативними наслідками впливу транспортної інфраструктури на дику природу є: бар'єрний ефект; ДТП з тваринами; зміна середовища існування та екосистем; розширення чужорідних для даного регіону функцій, пов'язаних з людиною.

## Основна частина

Враховуючи глобальні загрози, пов'язані з транспортною інфраструктурою, першочергового значення набувають питання збереження дикої природи. Це своєрідна усталена науково обґрунтована реакція, яка має на меті збереження екологічної цілісності екосистем, підтримання асиміляційних зв'язків та збереження біорізноманіття. В літературі (Гавриленко, 2017) розрізняють п'ять основних первинних екологічних ефектів транспортної інфраструктури, що негативно впливають на біорізноманіття: втрата середовища існування (безпосередня руйнація біотопів у процесі прокладання доріг); бар'єрні ефекти (ізоляція окремих частин біотопів, або фрагментація ареалів); конфліктні точки (місця виходу тварин на проїзну частину дороги); екологічна нестабільність (руйнації та забруднення); крайовий ефект (екологічна функція меж).

Автомобільна дорога, у складі якої наявні два різні за ступенем антропогенної трансформації компоненти — власне дорога і придорожня смуга, впливає на довкілля на всіх етапах її «життєвого циклу». Багато автомагістралей, будучи транзитними маршрутами, пролягають через цінні природні території — ліси, болота, перетинаючи шляхи міграції тварин і екологічні коридори. Це, в свою чергу, спричиняє негативні наслідки для довкілля, зокрема, його деградацію та зменшення біорізноманіття. Так, некоректно прокладені і запроєктовані дороги створюють екологічні бар'єри (нездоланні перешкоди) для тварин, виокремлюючи елементарні популяції. Відомо, що вплив на біоту кожного компоненту окремо виявляє негативний ефект (Медведев та ін., 2020, Матус та ін., 2020). На практиці (в природних умовах) переважно спостерігається комбінована дія чинників довкілля. Згідно закону сукупної дії факторів, одні чинники можуть підсилювати сприйняття/вплив інших (констеляція факторів), частіше всього із синергічним ефектом.

Однією з основних проблем негативного впливу транспортної інфраструктури на біорізноманіття є фрагментація ландшафту, під якою розуміють втрату екосистемами територіальної і структурної цілісності (Внукова, 2011). Наслідки втрати та погіршення середовища існування дикої природи, бар'єрні ефекти, ізоляція та порушення можуть бути узагальнені терміном фрагментація.

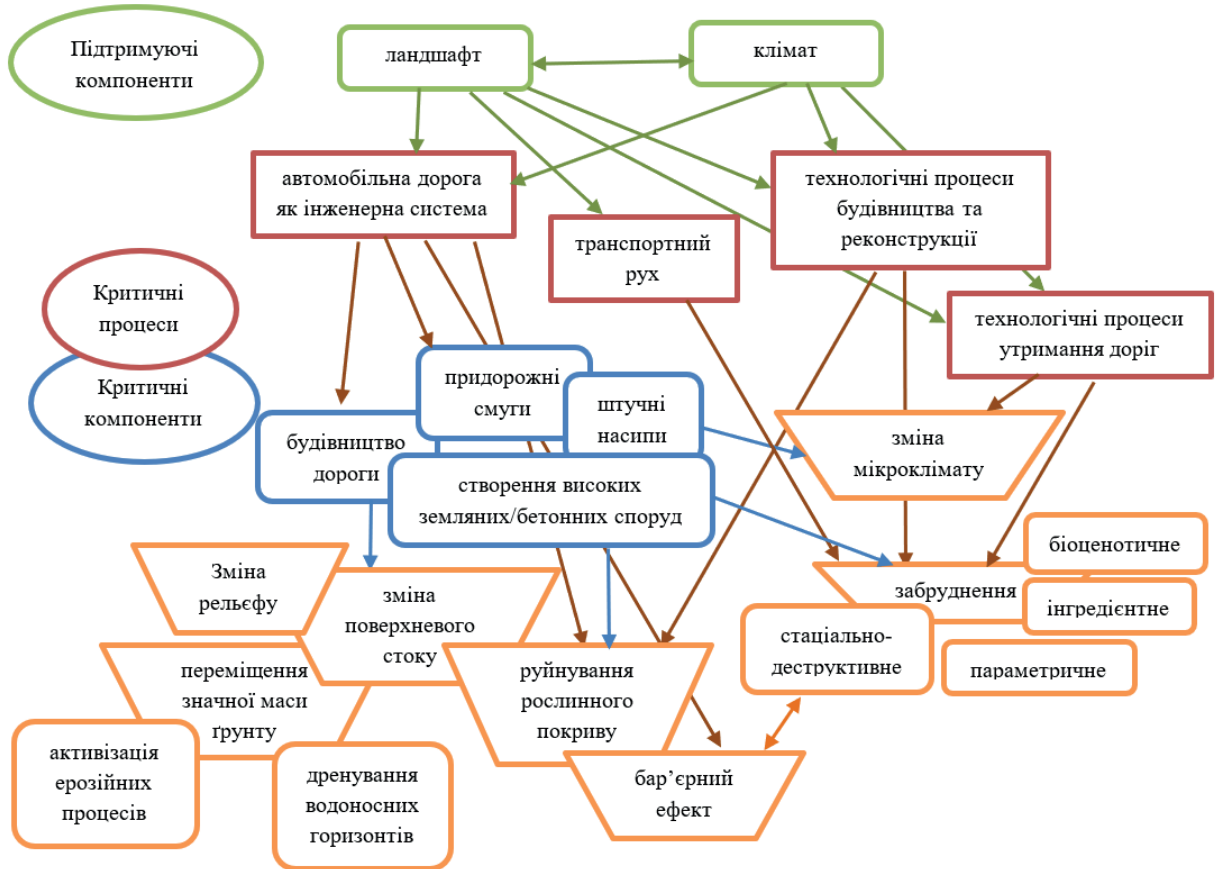
Фрагментація середовища існування стає всезростаючою проблемою, коли заплановані людиною зміни ландшафту перешкоджають міграції тварин, а отже і розповсюдженню видів та освоєнню нових територій (особливо це небезпечно для кочових видів). Як вказує Rollins, Dave (2004) руйнування оптимально зв'язаного ландшафту перешкоджає пересуванню видів, а це негативно відображається на енергетичних потоках в системі «хижак–жертва». Відповідно до моделі зменшення чисельності популяції жертви може обумовлювати зміну харчового раціону хижаків (зміна/заміна жертв), а також може погіршити генетичне різноманіття тварин.

Саме тому, інтереси охорони природи і ландшафту повинні враховуватися на всіх етапах життєвого циклу дороги, відповідно до природоохоронного законодавства. Особливо важливо це для доріг, що проходять через лісові масиви, національні парки, інші екологічно вразливі території, а також при подоланні водних перешкод (Підготовка звіту, 2019).

Нами розроблена ментальна модель транспортної геосистеми, яка дозволяє сформулювати уявлення про вплив автомобільної дороги на екосистеми (рис. 2). Основними підтримуючими компонентами у даній системі є ландшафт (едафотоп) та кліматоп. Всі критичні компоненти та процеси тісно пов'язані між собою і можуть призводити до виникнення певних екологічних проблем. Кожен різновид транспортної геосистеми може мати свої особливості. У цілому, потужний негативний вплив на природу проявляється у захопленні простору (протяжність та ширина доріг), хімічному та фізичному забрудненні довкілля, спричинені бар'єрного ефекту, зміні поверхневого стоку, зміні мікро- і мезорельєфу ландшафту (виймання ґрунту, створення насипів), спонуканні ерозійних процесів ґрунтів, зміні мікроклімату, та компонентного складу біоценозів.

Безпосереднім впливом будівництва доріг є зміна земельного покриття, що в свою чергу

призводить до зміни та *втрати природних місць існування* біоти. Така втрата природного середовища відбувається на тлі ізоляції елементарних/екологічних популяцій, що в подальшому призводить до заміни видів у екосистемах.



**Рисунок 2** — Ментальна модель транспортної геосистеми

У регіональному чи національному масштабах пряме поглинання/захоплення земель інфраструктурою може виявитися лише незначною проблемою. Водночас на локальному рівні, яскраво проявляється конфлікт інтересів з іншими землями, зокрема, природоохоронними, рекреаційними, сільськогосподарськими.

Бар'єрний ефект — це, ймовірно, найнегативніший екологічний вплив. Дисперсність організмів є одним із основних чинників виживання деяких видів. Транспортні споруди/дороги створюючи бар'єри, унеможливають здатність до вільного пересування тварин у пошуках їжі, укриття, спарювання. Це, в свою чергу, може спричинити ізоляцію елементарних популяцій, що суттєво позначається на її динамічних показниках і, як наслідок, загрожує існуванню/виживанню виду. Спроби оптимізувати інфраструктуру, зробити її комфортнішою для фауни, значно зменшують екологічні ризики. Досягти оптимізації можна за рахунок спорудження біопереходів, застосувавши певні інженерні рішення або керуючи транспортними потоками. Ретельне планування спорудження об'єктів транспортної інфраструктури, вибору маршруту дороги через ландшафт може мінімувати бар'єрний ефект.

Для більшості великих ссавців транспортна інфраструктура стає повноцінним бар'єром лише у випадку високої інтенсивності руху, або ж наявного огороження. Огорожі посилюють



бар'єрний ефект інфраструктури, однак, їх можна використовувати як спрямовуючі елементи для безпечного перетину тваринами автодоріг. Для безхребетних бар'єрну функцію окрім огорож виконує також і дорожнє покриття, основними причинами цього є страх та незадовільний стан покриття. Необхідно також відмітити, що великі види через шумовий ефект, зазвичай, намагаються уникати територій поблизу автошляхів. Відомі навіть факти недостатньо ефективного використання пасовищ поблизу автодоріг. Дрібні ссавці та птахи переважно уникають перетинати великі відкриті простори, водночас наявні непоодинокі випадки міграції самців видри безпосередньо через автошляхи.

Дієвим превентивним заходом щодо біоти може також бути вирівнювання двох або більше видів транспортної інфраструктури вздовж одного коридору (в безпосередній близькості). Особливо це актуально у зонах, де паралельні інфраструктури не розміщені в одному коридорі. Отже, у випадку мультимодальних транспортних коридорів необхідно розміщувати два або більше паралельних маршрути якомога ближче один до одного, оскільки спостерігається посилення бар'єрного ефекту, фрагментації середовища та ізоляції популяцій, зменшення локального / регіонального біорізноманіття.

Створені людиною нездоланні бар'єри знижують якість життя дикої природи та обмежують здатність пристосовуватися до стресових чинників в екосистемі. Нівелювати ефект фрагментації середовища можуть переходи для дикої природи (біопереходи). Коли екологічна ніша порушена, коридори дикої природи є важливою складовою для підтримання функціональних екологічних ніш та пересування тварин. Спосіб побудови біопереходів залежить від розмірів тварин, а також від природних та техногенних умов ландшафту. В літературі наводять дані щодо кількості дорожньо транспортних пригод за участі дикої природи. Значна частина з них спричинена великими тваринами. Ці нещасні випадки часто призводять до загибелі тварини та пошкодження майна людей. Саме тому, біопереходи потрібні не лише на довгострокову перспективу, але у більш короткій термін для підвищення безпеки людей та тварин.

Оцінити ефект впливу транспортної споруди на тваринний світ досить складно. Зазвичай обґрунтуванням проектних рішень є оцінки можливого збитку мисливським і рідкісним тваринам і птахам, промисловим і цінних видів риб, сільськогосподарському виробництву.

Загороднюк І. (2006) виділяє такі екологічні ефекти впливу доріг:

1. Формування комунікаційно-стрічкових ландшафтів — ущільнення та антропогенізація ґрунтів пришляхових екоотопів (Кучерявий, 2001). Для прокладання дороги завширшки 4 м знищують 1 га біотопів на кожні 2,5 км траси. У придорожніх біотопах домінує рудеральна рослинність;

2. Вплив на тваринний світ. Тварини гинуть при спробах здолати ізоляційні ефекти доріг; формування антропогенних зооценозів – змінена структура угруповань, наявність емігрантів і втрата синекологічних зв'язків з сусідніми ценозами та впливом заходів догляду за узбіччям доріг (постійне скошування, рубки, використання гербіцидів) (Seiler, 2001);

3. Атрактивні особливості доріг. Узбіччя є шляхами проникнення евритопних, ксеро-, геліо- та термофільних організмів. Деякі види знаходять тут оптимальні умови внаслідок великої кількості корму у вигляді мертвих хребетних. Птахи, особливо комахоїдні, знаходять на проїзній частині масу розчавлених комах. Це приваблює й інших комахоїдів (їжаки, кажани). Рослиноїдні птахи (горобці, дрозди) знаходять тут фрукти, ягоди, насіння. Придорожні стрипоценози приваблюють велику кількість комах-фітофагів, а також птахів і ссавців. У багатьох регіонах домінує сорока, яка поїдає пташенят багатьох гніздових птахів;

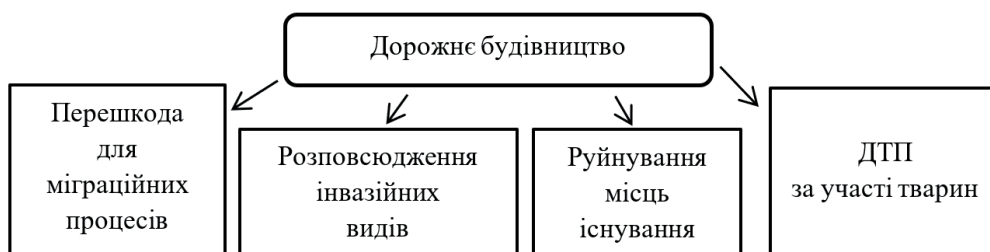
4. Фрагментація оселищ є причиною згасання популяцій багатьох видів. Дороги можуть створювати бар'єри для міграцій тварин, породжувати крайові ефекти і спричиняти смерть. Наразі наявна невелика кількість емпіричних даних щодо цієї проблеми, проте вони інтенсивно накопичуються. Зокрема, показано, що дороги є фактором обмеження потоку генів між локальними

популяціями багатьох видів, у тому числі для жаби травяної (*Rana temporaria* Linnaeus, 1758) (Reh, Seitz, 1990; цит. за: Seiler, 2001); борсука європейського (*Meles meles* Linnaeus, 1758) та рисі звичайної (*Felis lynx* Linnaeus, 1758) (Kramer-Schadt et al., 2004), багатьох видів копитних по всій Європі (Groot-Bruinderink, Hazerbroek, 1996) та їжака (*Erinaceus* Linnaeus, 1758) — через високу їх дорожню смертність чисельність популяції є низькою на віддалі до 400 м від дороги (Huijser, Bergers, 2000).

У літературі наведено дані про обернено проційну залежність чисельності популяції амфібій від інтенсивності руху автотранспорту (Teylor, Goldinday, 2004). Смертність — це найбільш значущий вплив автотранспортної інфраструктури на дику природу і вона не обмежена ні географічно, ні таксономічно. Щороку на дорогах та залізницях гинуть мільйони особин видів дикої природи, багато отримують серйозні травми. Однак, необхідно враховувати і той факт, що велика кількість жертв фауни не обов'язково може означати загрозу популяціям, а вказує на еврийкність та космополітизм видів. Для гризунів, кроликів, лисиць, горобців, дроздів смертність від дорожнього руху становить (1–4) % від загальної смертності видів. Водночас, для більш чутливих видів — вона є основною причиною смертності та визначальним чинником виживання популяції, до прикладу, у Фламандському регіоні щороку на дорогах гине більше 40 % чисельності популяцій борсуків. Такого роду втрати популяції — дуже серйозна загроза довгостроковому виживанню борсуків на регіональному рівні. Подібна ситуація притаманна і для птахів. Так, автошляхи, що прилягають до водно-болотних угідь або перетинають їх, можуть спонукати збільшення щільності птахів різних видів, які змушені перелітати дороги, а це, в свою чергу, збільшує ризик смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод. Хижих птахів приваблюють трав'янисті узбіччя доріг, де оселяються дрібні ссавці та птахи, і як наслідок — велика кількість цих хижих птахів стає жертвами дорожнього руху, коли вони перелітають над дорогою під час полювання.

Отже, транспортна інфраструктура в результаті фрагментації ландшафту може призводити до змін біонавігації видів. Особливо чутливими є земноводні, рідкісні малочисельні популяції, які населяють великі ареали (крупні хижаки), види, яким притаманні добові / сезонні міграції між фрагментованими середовищами, тварини, яким притаманні спорадичні переселення (нестача їжі, води), при масовому розмноженні.

Наслідки будівництва доріг та збільшення трафіку можуть бути різноманітні, найактуальніші та найнебезпечніші з них для біоти представлені на **рис. 3**.



**Рисунок 3** — Негативні наслідки для біоти від дорожнього будівництва (розроблено авторами на підставі аналізу літературних джерел)

Консумуюча роль доріг породжує ефект антропогенної пастки (Загороднюк, 2006), створюється «мортальний пілосос». Дороги притягують як прилеглими біотопами і теплом, так і ресурсами (легкою здобиччю).

Різні групи страждають з різних причин: амфібії використовують дороги як переходи до місць зимівлі та розмноження, плазуни — як акумулятори тепла, птахи та їжаки — місця

полювання. Великої ролі набувають вторинні екологічні чинники, зокрема, деякі хижаки (сороки, їжаки, лиси) «спеціалізуються» на тому, що розтягують жертв доріг і через це часто самі стають жертвами. На кількість жертв транспорту суттєво впливають сезонні особливості (розмноження та активності), тварини частіше стають жертвами в теплу пору року, так, амфібії та плазуни — навесні.

Вихід тварин на дорогу обумовлюється фрагментацією ландшафту і, відповідно їхнього ареалу існування, в результаті чого порушуються шляхи міграції. Це в свою чергу може призвести до зниження чисельності популяцій і, як наслідок, до втрати генофонду (Логінова, 2012; Немчинов та ін., 1997). На сьогодні в Україні немає дієвих розробок щодо захисту тварин від впливу транспортної інфраструктури.

Превентивні заходи щодо безпеки переходу тварин через дорогу зменшують ризик їхньої загибелі, можливості виникнення дорожньо-транспортних пригод за їх участі, сприяють упередженню фрагментації ландшафту, створенню екологічних бар'єрів. Саме тому в європейських країнах передовим досвідом вважається практика влаштування споруд перетину (**рис. 4**) для дикої природи (переходи/проходи для тварин — екодуки). У міжнародній практиці цьому питанню приділяють велику увагу (Seiler, 2001; Langevelde, Jaarsma, 2004). Зокрема, у Центральній Арізоні вздовж 28 км державної магістралі № 260, що представляє високу імовірність зіткнень з дикими тваринами (переважно *Cervus elaphus*), споруджено 12 підземних переходів і 5 шляхопроводів для переходу копитних (Dodd et al., 2003).



**Рисунок 4** — Будівництво екодука в штаті Юта

Наразі антропоцентризм є основним принципом для будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, однак все більшої актуальності набуває біоцентричний підхід, зорієнтований на біоту. Захисту потребують, як порівняно великі тварини (їжаки, зайці, козулі, кабани, лосі, олені, лисиці, вовки, ведмеді, рисі та ін.), так і дрібні — комахи, птахи, земноводні (Пшенін, 2010; Трофименко, 2011). Найуразливішими, з точки зору можливості загибелі на дорозі, є олень (*Cervus Linnaeus*, 1758), лось (*Alces Gray*, 1821), кабан (*Sus scrofa*), заєць біляк (*Lepus timidus Linnaeus*, 1758), лисиця (*Vulpes Frisch*, 1775), вивірка звичайна (*Sciurus vulgaris Linnaeus*, 1758), птахи родини в'юркєвих (*Fringillidae*).

За твердженнями екологів, багатосмугова траса, проведена через природне місце існування тварин і комах, негативно впливає на них. Оцінити вплив на біоту досить складно. Для оцінки шкоди (кількісної або якісної), перш за все враховують зміни чисельності тих чи інших популяцій (Трофименко, 2011). Відносно задовільно. екологічна ситуація вважається за таких умов: зменшення біорізноманіття не більше 5 %, щільність популяції виду-індикатора антропогенного навантаження менше ніж 20 %, зменшення чисельності мисливських видів не більше, ніж у двічі; надзвичайна екологічна ситуація — зменшення біорізноманіття на (25–50) %, щільність популяції виду-індикатора антропогенного навантаження (20–50) %, зменшення чисельності мисливських



видів у 3–10 разів; екологічне лихо – зменшення біорізноманіття більше 50 %, щільність популяції виду-індикатора антропогенного навантаження більше 50 %, десятикратне зменшення чисельності мисливських видів.

«Крайові зони» ландшафтів з порушеними екосистемами суттєво впливають на умови життя і чисельність популяції тварин. У функціональних зонах доріг фауна піддається впливу таких чинників (Луканіна, 2002; Кавтарадзе, 1999):

- бар'єрні — укоси, насипи, виїмки, ухили, огорожі, екрани, полотно дороги, що перешкоджають природній міграції видів до місць їх тимчасового і постійного існування, обміну генофонду, розмноженню, харчуванню;

- чинники занепокоєння (відчуття страху та порушення спокою) — шум, вібрація, світло від рухомого транспортного потоку;

- хімічне забруднення довкілля та небезпека включення поллютантів у трофічні ланцюги;

- опосередкований ризик впливу на умови проживання шляхом зміни флори, ґрунтових чинників;

- безпосередній ризик зіткнення з транспортними засобами і загибель на дорогах.

Вплив доріг на тварини залежить від їхнього розміщення, конфігурації та руху по них, вказує В. Зедреєвський (Jędrzejewski, 2006.). Автор вважає, що найвища смертність диких тварин відмічається на дорогах, що перетинають міграційні шляхи за інтенсивності руху (5,0–7,5) тис. машин на добу. За інтенсивності руху більше ніж 10 тис. транспортних засобів у тварин виникає явище неспокою, ефект екологічно бар'єру у такому випадку призводить до ізоляції популяцій і в кінцевому підсумку до її загибелі.

Дороги в місцях інтенсивного руху транспорту забирають життя до 20 % місцевих популяцій і, врешті, ведуть до повного згасання локальних популяцій багатьох видів. За добу на відрізу дороги довжиною 100 км гине до 10 хребетних тварин (Загороднюк, 2006).

Шляхи перетину доріг тваринами концентруються на невеликих ділянках, місцезнаходження найнебезпечніших встановлюють в результаті аналізу ДТП з тваринами. Шляхи міграції визначають за допомогою польових обстежень, залежно від популяції. Зарубіжна статистика показує, що масштаби проблеми досить значні і вимагають прийняття спеціальних інженерних заходів захисту.

Так, у Швеції щорічно відбувається близько мільйона зіткнень автотранспортних засобів з птахами, близько 0,5 млн зіткнень з ссавцями середніх розмірів, особливу проблему становлять лосі і олені (до 13 500 і 59 000 зіткнень в рік, відповідно). Щорічно на дорогах гине до 81 500 зайців, 33 000 борсуків, 12 500 лисиць, багато інших тварин.

За даними Федерального агентства з охорони природи Німеччини встановлено 30 000 конфлікт точок» можливого зіткнення автомобілів з тваринами, у які щорічно потрапляє 16 000 диких кабанів і 3 100 оленів.

За оцінками зарубіжних фахівців, число наїздів на тварин в загальній кількості ДТП становить (2–4) %. На 100 зіткнень з тваринами, для яких вони є смертельними число поранених пасажирів — 20–25, загинув двоє – троє. Характерною особливістю зіткнень з тваринами є зосередження їх на невеликих ділянках доріг (від 0,6 км до 0,8 км), побудованих на сформованих шляхах міграції. Місця найчастіших зіткнень збігаються в переважній більшості з ділянками, що проходять в нульових відмітках, насипах висотою до (2,0–2,5) м, і в виїмках такої ж глибини, мають пологі укоси.

Відомо, що на дорогах з інтенсивним рухом та швидкісних трасах жертвами стають переважно свійські і дичавілі тварини (зокрема, собаки, коти), рідко можна зареєструвати диких тварин – мишей, їжаків, лисиць, птахів, амфібій, які найчастіше гинуть на присілкових дорогах (Загороднюк, 2006). Такий розподіл жертв швидкісних трас свідчить не стільки про їхню меншу вразливість в даних умовах, скільки про те, що значна частина їхніх популяцій вже знищена в місцях проходження таких потужних автотрас (Langevelde, Jaarsma, 2004).

Враховуючи невивірковість «автомобільного хижацтва», яка залежить від частоти зустрічей хижака і жертви (Бигон та ін., 1989), можна говорити про те, що в місцях проходження автотрас транспорт вже «консумував»/знищив частину локальних популяцій диких тварин.

Дороги в місцях інтенсивного руху транспорту забирають життя до 20 % місцевих популяцій і, врешті, ведуть до повного згасання локальних популяцій багатьох видів. За добу на відрізку дороги довжиною 100 км гине до 10 хребетних тварин.

У методичних рекомендаціях (ОДМ 218.6.023-2017) пропонується проводити проектне рішення щодо інженерного облаштування шляхів міграції тварин на основі техніко-економічного обґрунтування і інваріантного проектування прокладання траси, а також наведено особливості трасування дороги. Їх рекомендується розмішувати на відстані не менше 1,5 км від межі об'єктів природно-заповідного фонду або інших місць існування тварин; рекомендовано прокласти трасу на узліссі, уникаючи перетину з шляхами міграції тварин, з максимальним збереженням рельєфу і рослинності. У іншому випадку, рекомендується передбачати спеціальні переходи через дорогу.

Екодуки є продуманим і таким, що добре зарекомендувало себе рішенням для збереження популяцій тварин і комах, а також для запобігання аварій та жертв. Дослідження на споруджених екодуках показали, що мостами користуються не лише великі тварини, а й безхребетні, метелики, павуки та жуки. Так, співробітники Державного агентства лісового господарства Еберсвальде впродовж року спостерігали за мостом через автобан А11 в Бранденбурзі і з'ясували, що майже 2 300 тварин скористалися еко-мостом. Подібне дослідження, проведене в Нідеркрюхтені — за рік на еко- мості знайдено 1 368 слідів тварин, з них 690 косуль, близько 180 кабанів, 130 кролів та зайців, 42 лисиці, 37 борсуків і 18 куниці. Дослідження, проведене в національному парку Банф в Канаді, показало, що в січні 2007 року 10 видів великих ссавців (з них грізлі, койоти, лось, ведмідь, вапіті, пума, вовк) пройшли в загальному 84 000 раз по 24 екодуках Банфі.

Чітких стандартів щодо будівництва екодуків не існує. Вони будуються відповідно до рекомендацій екологів і зоологів. Ширина, висота і маскування моста залежать від клімату і видів тварин конкретної місцевості. Наприклад, ширина мосту в Калузькій області 52 м і він має звукоізоляцію, щоб лосі, лисиці і кабани, перетинаючи трасу МЗ, не злякалися звуків, які продукують автомобілі. Також на мосту висаджена висока трава і є дерева. Сама ж траса вздовж кількох кілометрів від мосту в обидва боки огорожена спеціальним парканом – щоб тварини не виходили на трасу, а користувалися мостом. В Австралії побудовані спеціальні екостежи – досить примітивні мостики через численні дороги острова Різдва для міграції червоного краба (*Gecarcoidea natalis* Roscock, 1888) для метання ікри з різних його частин, незважаючи на те, що ракоподібних на острові налічується понад 120 млн.

### Висновки

Отже, принцип забезпечення екологічного континуїтету територій в зоні впливу автомобільних доріг загального користування полягає в зменшенні їхнього негативного впливу на природне середовище як просторового бар'єру шляхом запровадження ряду технічних засобів та в залученні до використання наявних об'єктів транспортної інфраструктури з трансформацією їх у біопереходи.

Аналіз європейського досвіду свідчить, що негативний вплив транспортної інфраструктури на біоту, може бути вирішений шляхом консолідації зусиль фахівців дорожньо-транспортної галузі та фахівців у галузі охорони природи. При прокладанні дороги через природні екосистеми необхідно споруджувати переходи і проходи для тварин. При цьому їх щільність і тип повинні відповідати природному рангу території. Будівництво переходів для тварин повинно бути обов'язковим для всіх типів доріг, які перетинають екологічні коридори. Особливо це актуально для доріг меншого рангу, повністю позбавлених будь-яких переходів для тварин, шумозахисних екранів (на таких дорогах частіше трапляються наїзди на тварин).

## Список літератури

1. Бобрун Н.В. Принципи розвитку територій в зонах впливу міжнародних транспортних коридорів : дис. ... канд. архітектури. Львів, 2015. 232 с. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/32701> (дата звернення: 05.02.2021).
2. Внукова Н.В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу «автомобіль-дорога-середовище». *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. 5/3 ( 53 ). С. 43–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2011.1193.
3. Гавриленко О. Транспортні геосистеми як фактор втрати біорізноманіття. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Географія*. 3(68)-4(69). Київ, 2017. С. 35–40. URL: [http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/?page\\_id=4933&lang=uk](http://visnyk-geo.univ.kiev.ua/?page_id=4933&lang=uk) (дата звернення: 02.02.2021).
4. Логинова О.А. Обеспечение безопасности диких животных при пересечении автомобильных дорог. *Известия КГЛСУ*. 2012. № 4 (22). С. 383–388. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-bezopasnosti-dikih-zhivotnyh-pri-peresechenii-imi-avtomobilnyh-dorog> (дата звернення: 07.02. 2021).
5. Матус С. А., Морозов А. В., Морозова Т. В., Рутковська І. А., Хрутьба В. О. Особливості інтеграції екодуків в дорожню мережу України для збереження біорізноманіття. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 21. С. 86–94. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/osoblivosti-integraciyi-ekodukiv-v-doroghnyu-mereghu-ukrayini-dlya-zbereghennya-bioriznomanyattu> (дата звернення: 05.02.2021).
6. Медведєв К. В., Морозов А. В., Морозова Т. В., Рутковська І. А., Хрутьба В. О. Основні технічні принципи проектування біопереходів. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 234–248. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/osnovni-tehnichni-principi-proektuvannya-bioperehodiv> (дата звернення: 05.02.2021)
7. ОДМ 218.6.023-2017 Методические рекомендации по обеспечению безопасности дорожного движения на участках пересечения автомобильными дорогами путей миграции животных. Москва, 2017. 39 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293742/4293742971.pdf> (дата звернення: 07.02.2021).
8. Andrews KM, Nanjappa P, Riley SP (eds) (2015) Roads and ecological infrastructure: concepts and applications for small animals. *JHU Press*. Baltimore, MD. URL: <https://islandpress.org/books/road-ecology> (дата звернення: 05.02.2021)
9. Case T.J, Fisher R.N. Measuring and predicting species presence: coastal sage scrub case study. *Spatial uncertainty in ecology*. Springer-Verlag, New York, 2001. P. 47–71. URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.0021-8790.2001.00542.x> (дата звернення: 03.02.2021)
10. Forman R.T, Sperling D, Bissonette J.A, Clevenger A.P, Cutshall C.D, Dale V.H, ... Jones J.A. Road ecology. Science and Solutions. Washington, 2001. 506 p. URL: <https://islandpress.org/books/road-ecology> (дата звернення: 05.02.2021).
11. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R. W., Stachura K., Zawadzka B. Zwierzęta a drogi Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt. 2006. 94 с. URL: <https://ibs.bialowieza.pl/sprzedaz-ksiazek/zwierzeta-a-drogi-metody-ograniczania-negatywnego-wplywu-drog-na-populacje-dzikich-zwierzat> (дата звернення: 03.02.2021)
12. Jochimsen D.M., Peterson C.R., Andrews K.M., Gibbons J.W., Drawer E. A literature review of the effects of roads on amphibians and reptiles and the measures used to minimize those effects. *USDA Forest Service, Idaho Fish and Game Department*. Washington, DC, 2004. URL: [https://www.researchgate.net/publication/236984484\\_A\\_Literature\\_Review\\_of\\_the\\_Effects\\_of\\_Roads\\_on\\_Amphibians\\_and\\_Reptiles\\_and\\_the\\_Measures\\_Used\\_to\\_Minimize\\_Those\\_Effects](https://www.researchgate.net/publication/236984484_A_Literature_Review_of_the_Effects_of_Roads_on_Amphibians_and_Reptiles_and_the_Measures_Used_to_Minimize_Those_Effects) (дата звернення: 03.02.2021)

13. Rodney van der Ree, Daniel J. Smith, Clara Grilo. Handbook of road ecology. Wiley, New York, 2015. 552 p. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Handbook+of+Road+Ecology-p-9781118568187> (дата звернення: 01.02.2021)

### References

1. Bobrun N.V. Pryntsyropy rozvytku terytorii v zonakh vplyvu mizhnarodnykh transportnykh korydoriv : PhD dissertation. Lviv, 2015. 232 s. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/32701> (Last accessed: 05.02.2021) [in Ukrainian].
2. Vnukova N.V. Vplyv avtomobilnykh dorih na ekobezpeku kompleksu «avtomobil-doroahaseredovyshche». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2011. 5/3 ( 53 ). P. 43–46. DOI: 10.15587/1729-4061.2011.1193 [in Ukrainian].
3. Gavrylenko O. T. Transportni heosystemy yak faktor vtraty bioriznomanittia [Transport geosystems as a factor in biodiversity loss]. *Visnik. Geografiâ (Kiïvs'kij nacional'nij unïversitet imeni Tarasa Ševčenka)*. 3(68)/4(69). Kyiv, 2017. P. 35–40 <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.6> (Last accessed: 02.02.2021) [in Ukrainian].
4. Lohynova O.A. Obespechenye bezopasnosti dikikh zhyvotnykh pri peresechenii avtomobilnykh doroh. *Izvestiâ KazGASU*. 2012. № 4 (22). P. 383–388. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-bezopasnosti-dikih-zhivotnyh-pri-peresechenii-imi-avtomobilnyh-dorog> (Last accessed: 07.02. 2021) [in Russian].
5. Matus S, Morozov A, Morozova T, Rutkovska I, Khrutba V. Integration of ecoducques in road network of Ukraine for biodiversity conservation. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. 2020. Iss. 21. P. 86-94. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/osoblivosti-integraciyi-ekodukiv-v-doroghnyu-mereghu-ukrayini-dlya-zbereghennya-bioriznomanyattya> (Last accessed: 05.02.2021) [in Ukrainian].
6. Medvediev K, Morozov A, Morozova T, Rutkovska I, Khrutba V. Basic technical principles of wildlife crossings. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Kyiv, 2020. Iss. 22. P. 234–248. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/osnovni-tehnicni-principi-proektuvannya-bioperehodiv> (Last accessed: 05.02.2021) [in Ukrainian].
7. ODM 218.6.023-2017 Metodicheskiye rekomendatsii po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na uchastkakh peresecheniya avtomobilnymi dorogami putey migratsii zhyvotnykh [Methodological recommendations to ensure road safety at road crossings of animal migration routes]. Moscow, 2017. 39 p. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293742/4293742971.pdf> (Last accessed: 07.02.2021) [in Russian].
8. Andrews K.M, Nanjappa P, Riley S.P (eds). Roads and ecological infrastructure: concepts and applications for small animals. JHU Press, Baltimore, MD, 2017. 507 p. URL: <https://islandpress.org/books/road-ecology> (дата звернення: 05.02.2021) [in English].
9. Case T.J, Fisher R.N. Measuring and predicting species presence: coastal sage scrub case study. *Spatial uncertainty in ecology*. Springer-Verlag, New York, 2001. P. 47–71. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-0209-4\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-0209-4_3) (дата звернення: 03.02.2021) [in English].
10. Forman R.T, Sperling D, Bissonette J.A, Clevenger A.P, Cutshall C.D, Dale V.H, ... Jones J.A. Road ecology. Science and Solutions. Washington, 2001. 506 p. URL: <https://islandpress.org/books/road-ecology> (Last accessed: 05.02.2021) [in English].
11. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R. W., Stachura K., Zawadzka B. Zwierzęta a drogi Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt. 2006. 94 p. URL: <https://ibs.bialowieza.pl/sprzedaz-ksiazek/zwierzeta-a-drogi-metody-ograniczania-negatywnego-wplywu-drog-na-populacje-dzikich-zwierzat> (Last accessed: 03.02.2021) [in Polish].
12. Jochimsen D.M., Peterson C.R., Andrews K.M., Gibbons J.W., Drawer E. A literature review of the effects of roads on amphibians and reptiles and the measures used to minimize those



effects. *USDA Forest Service, Idaho Fish and Game Department*. Washington, DC, 2004. URL: [https://www.researchgate.net/publication/236984484\\_A\\_Literature\\_Review\\_of\\_the\\_Effects\\_of\\_Roads\\_on\\_Amphibians\\_and\\_Reptiles\\_and\\_the\\_Measures\\_Used\\_to\\_Minimize\\_Those\\_Effects](https://www.researchgate.net/publication/236984484_A_Literature_Review_of_the_Effects_of_Roads_on_Amphibians_and_Reptiles_and_the_Measures_Used_to_Minimize_Those_Effects) (дата звернення: 03.02.2021) [in English].

13. Rodney van der Ree, Daniel J. Smith, Clara Grilo. *Handbook of road ecology*. Wiley, New York, 2015. 552 p. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Handbook+of+Road+Ecology-p-9781118568187> (Last accessed: 01.02.2021) [in English].

---

**Anatolii Morozov**, <https://orcid.org/0000-0001-5596-6193>

**Tetiana Morozova**, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0003-4836-1035>

**Inessa Rutkovska**, Ph.D, Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

*National Transport University, Kyiv, Ukraine*

### THE PRINCIPLE OF ENSURING ECOLOGICAL CONTINUITY IN THE AREAS OF INFLUENCE OF ROADS

#### *Abstract*

**Introduction.** The main environmental risks posed by roads are population depletion (deaths on roads) and barrier effects (habitat fragmentation). Barrier effects - animals avoid crossing roads, which leads to a decrease in the size and quality of habitat, optimal population size, reduced ability to find food and partner, increased genetic structuring and local extinction (Forman et al. 2003; Andrews et al. 2015; van der Ree et al. 2015). These risks against the background of other stressors, in particular the presence of invasive species, pollution, pesticide use, climate change, plant and animal diseases, may threaten the survival of populations.

This issue is especially relevant for herpetofauna due to their biological characteristics. In particular, reptiles and amphibians move slowly, are too small (for drivers to see), do not avoid roads, and in cold periods roads attract amphibians (thermoregulation) because the coating absorbs and retains heat (Case and Fisher 2001; Jochimsen et al. 2004).

The principle of ensuring ecological continuity is to identify priority efforts to mitigate environmental risks for animals and reduce the negative impact of the transport complex as a spatial barrier and source of pollution by introducing a number of technical means (eco-crossings, screens, embankments, landscaping). As it is not possible to change the environmental risks on all roads and for all species at present, it is necessary to identify the most vulnerable species, assess the risks to populations and the need for mitigation based on analysis of road density and traffic intensity.

**Problem Statement.** With the advent of land transport there was a progressive environmental problem - the transformation of landscapes, it first appeared in countries with developed road infrastructure in Western Europe and the United States, and quickly spread around the globe (Ellenberg, et al., 1981; Fetisov, 1999; Zagorodnyuk, 2006, Ilyukh, Khokhlov, 2012). Numerous publications by both foreign and domestic authors are devoted to the study of the impact of transport infrastructure. Special attention of European authors is paid to the study of the phenomenon of fragmentation of natural ecosystems. In Europe, there is a network of experts and institutions of IENE, which is studying the possibility of implementing preventive measures for landscape fragmentation, promotes the development of transport infrastructure in accordance with environmental requirements, by creating a safe, environmentally sustainable European transport infrastructure.

The ecological trail of the road network significantly exceeds its length (Vozniuk, 2014). This is due to the effects of, in particular, mortality on the roads of mammals, reptiles, reptiles (Forman

et al. 2003), landscape fragmentation (roads divide the area into isolated areas, with low populations (sometimes below the minimum), so such populations lose genetic diversity and may become extinct locally), the loss of habitats of species and a decrease in the level of connectivity. In addition to these obvious effects, noise and vibration pollution are added, which inhibit the ability of reptiles, birds and mammals to detect prey or avoid predators (Forman et al. 2003), disturbed light regime (Rich and Longcore 2006). Roads contribute to the development of soil erosion processes, the spread of invasive and introduced species (300-800 seeds/m<sup>2</sup> per year are transported to roadside ecotones by vehicles (Von der Lippe and Kowarik 2007), which contributes to the formation of local pseudo-populations), create obstacles and sources. (Forman et al. 2003).

Purpose. Substantiation of the principle of ecological continuity regarding the negative impact of transport infrastructure on natural ecosystems and search for possible ways to minimize and prevent such impact.

Materials and methods. The main research methods are the application of theoretical general scientific approaches to study: analysis and synthesis of international and domestic scientific and theoretical works, EU documentation (charters, design requirements), Ukrainian legal framework, literature sources; collection and analysis of statistical data to identify the dangers of the impact of road infrastructure on biodiversity and determine the value of the natural landscape.

Results. The result is an analysis of the scientific literature on the negative impact of transport infrastructure on animals, systematization of the main impacts for the preparation of methodological documents for organizations planning and designing transport infrastructure in Ukraine to reduce the negative impact.

Conclusions. The principle of ensuring ecological continuity is to minimize the negative consequences for the environment. In particular, by leveling the spatial barrier of the public highway. When laying a road through natural ecosystems, it is necessary to build transitions and passages for animals. In this case, their density and type must correspond to the natural rank of the territory. The construction of crossings for animals should be mandatory for all types of roads that cross ecological corridors. This is especially true for smaller roads, completely devoid of any transitions for animals, noise shields (on such roads are more likely to hit animals). An important point is the need to plan preventive methods at the planning stage of road construction. The analysis of the European experience shows that the negative impact of transport infrastructure on biota can be solved by consolidating the efforts of road transport specialists and specialists in the field of nature protection.

**Keywords:** motor road, wildlife crossing, biodiversity, road infrastructure, ecological continuity.