

ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЛІСІВ В МЕЖАХ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ
ТРАНСПОРТУFOREST AREAS REMOTE MONITORING WITHIN THE LIMITS OF TRANSPORT
OBJECTS IMPACT

Ляшенко Дмитро Олексійович, доктор географічних наук, доцент, ННІ «Інститут геології», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, професор кафедри геоінформатики, e-mail: uageog@gmail.com, тел. +380673235684,

<https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>



Павлюк Дмитро Олександрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, e-mail: ntupavlukd@gmail.com, тел. +380672099378,

<https://orcid.org/0000-0003-4493-4238>



Беленок Вадим Юрійович, кандидат фізико-математичних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, e-mail: belenok.vadim@gmail.com, тел. +380637529111,

<https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>, SCOPUS id 57204324241



Бабій Віталій Васильович, ННІ «Інститут геології» Київський національний університет імені Тараса Шевченка, асистент кафедри геоінформатики, e-mail: vitbabii@gmail.com, тел. +380935467006,

<https://orcid.org/0000-0003-3462-5407>

Анотація. У статті розглянуті питання використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для завдань забезпечення збалансованого природокористування на територіях у межах впливу об'єктів транспортної інфраструктури. Визначено особливості дистанційного моніторингу для завдань проектування транспортних мереж та в процесі їхньої експлуатації. В роботі проаналізовано розвиток сучасних дистанційних методів (супутникові зйомки, застосування мобільних сенсорів, встановлених на автомобілях або на літальних апаратах). Здійснено короткий огляд методів збору просторових даних для задач управління розвитком територій в межах впливу об'єктів транспортної інфраструктури (автомобільних доріг, залізниць тощо). У статті розглянуто досвід використання технологій ДЗЗ для моніторингу змін параметрів лісового покриву в Закарпатській області на ділянках прилеглих до транспортних магістралей, за космічними знімками Landsat.

Ключові слова: просторові дані, об'єкти транспорту, автомобільні дороги, будівництво та експлуатація доріг, ДЗЗ, просторові дані, картографування, дистанційний моніторинг, вразливість, лісовий покрив.

Вступ. Загальновідомо, що розвиток транспорту є одним з основних передумов та засобів забезпечення добробуту, мобільності та якості життя населення. Поліпшення доступу до ринків праці, житла, товарів і послуг є важливим для реалізації цілей розвитку територій та громад. Забезпечення вільного переміщення людей є важливим як в соціальному, так і економічному аспектах життєдіяльності суспільства. З іншого боку, в багатьох екологічно вразливих регіонах нині практично неможливо здійснювати будівництво нових об'єктів транспортної інфраструктури внаслідок підвищення рівня шуму, обмежень в просторі або можливого негативного впливу руху важкого вантажного транспорту на біорізноманіття та ландшафти.

Є сподівання, що перспективний розвиток мережі автомобільних доріг та дорожньої інфраструктури в Україні передбачає дотримання вимог сталого (збалансованого розвитку). В основу цієї концепції було покладено усвідомлення свідомими фахівцями та громадянами різних країн існування... «взаємозв'язку екологічних, економічних і соціальних проблем розвитку людства та розуміння того, що їх вирішення можливе тільки на комплексній основі, на основі врахування балансу інтересів розвитку природи й суспільства з огляду на інтереси теперішніх і прийдешніх поколінь» [4].

Мета і методи. Виходячи з актуальності питань досліджень впливу транспорту на умови збалансованого розвитку території, слід максимально забезпечити системний підхід до проектування транспортної інфраструктури з урахуванням економічних, соціальних, екологічних вимог (ефективність господарювання, якість життя населення та збереження природних екосистем (або мінімального антропогенного впливу на них). З одного боку розвинена мережа автодоріг збільшує інвестиційну привабливість території та сприяє її економічному зростанню, з іншого боку, транспортна інфраструктура не повинна руйнувати природні екосистеми. Зростання рівня обізнаності фахівців щодо змін ландшафтів в процесі проектування, будівництва та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури може забезпечити мінімальну антропогенну трансформацію ландшафтів (порушення природного горизонтальної та вертикальної структури ґрунтів, забруднення ґрунту токсикантами; руйнування природних оселищ; забруднення атмосфери; загрози біорізноманіттю та зниження біопродуктивності або-ригенної флори та фауни, збільшення засилля інвазійних видів, вплив на ландшафти що потребують особливої охорони в межах природоохоронних об'єктів). Для забезпечення балансу інтересів місцевих громад та бізнесу за участі державних органів як регуляторів природокористування та прийняття обґрунтованих управлінських рішень, конче необхідне використання різноманітних наборів просторових даних достатньої точності та актуальності (рельєф, гідрологія, ґрунти, рослинність).

Мета публікації полягає у визначенні змісту дистанційного моніторингу територій, що прилегли до об'єктів транспортної інфраструктури та здійсненні апробації визначення змін лісовкритих площ на території Карпатського регіону шляхом оброблення космічних знімків високого розрізнення.

Об'єктом дослідження є смуги (зони) впливу об'єктів транспортної інфраструктури, – території, що прилягають до автомобільної дороги (залізниці), в межах яких проявляється її вплив на навколишнє середовище в ході будівництва та експлуатації [3]. В роботі використано наступні **методи**: аналізу та узагальнення літературних джерел, геоінформаційного моделювання (класифікації лісів, виробок та інших ландшафтів на основі аналізу космічних знімків високого розрізнення).

Результати і пояснення. З метою оцінювання впливу управлінських рішень на розвиток територій впливу автомобільних доріг варто використати концепцію вразливості (the vulnerability concept), яка складається з трьох елементів [4]: (1) впливу, який відноситься до стресових факторів та порушень, пов'язаних з експлуатацією доріг, що негативно впливає на функціонування екосистем, (2) чутливість, яка визначається структурою навколишніх ландшафтів та пояснює реакцію екосистеми на антропогенний вплив різної інтенсивності, та (3) адаптаційна здатність екосистем, яка є соціальною та екологічною здатністю системи змінюватися або змінювати свої характеристики, щоб зменшити її вразливість або поліпшити здатність функціонувати під час навантаження [8].

Потенційні негативні наслідки або втрати в якості та забезпеченості населення держави екосистемними послугами вимагають вимірювання параметрів екосистем, їхнього моніторингу та розроблення прогнозів. Вразливість можна оцінити за допомогою різних показників, агрегованих індексів та шляхом картографування. Концепція вразливості може допомогти наочно пояснити складні проблеми природокористування особам, які приймають рішення, та вдосконалити розуміння розвитку лісових екосистем.

Вплив доріг, залізниць та інших об'єктів транспортної інфраструктури на ландшафти змінюється протягом їхнього життєвого циклу і детально описаний у посібнику [2]. Всі етапи цього циклу повинні бути розглянуті з позицій оцінювання їхнього впливу на середовище. Загальновідомі чотири головні етапи життєвого циклу об'єктів транспортної інфраструктури: проектування, будівництво, експлуатація, ліквідація.

В процесі проектування доріг важливо здійснити якісне екологічне обґрунтування проекту. Екологічні параметри конструкції насипу, дорожнього одягу, дренажної системи визначає майбутній вплив дороги чи залізниці на природу. Для створення якісного проекту вже на початковому етапі життєвого циклу потрібно забезпечити наявність даних про біорізноманіття та екологічні коридори

В ході будівництва доріг здійснюється вплив на ландшафти та біоту значно інтенсивніший, ніж в процесі їхньої експлуатації. Будівництво доріг передбачає будівництво транспортних розв'язок, огорож, бар'єрів, перенесення місцевих доріг, облаштування дренажу, шумозахисних бар'єрів, резервуарів для забрудненої води, мостів тощо. Головними особливостями впливу дорожнього будівництва на ландшафти є такі: (1) створення нових штучних оселищ, де будуть переважати інвазійні види рослин; (2) рекультивация майданчиків після будівництва; (3) вплив дороги та її елементів на підземні та поверхневі води; (4) можливість загибелі тварин на будівельних майданчиках та необхідність вжити запобіжні заходи; (5) шум, викиди та забруднення природного середовища під час будівництва. В процесі будівництва наземна транспортна інфраструктура впливає на літосферу, змінює гідрологічний режим, можлива активізація зсувних процесів, підтоплення.

Будівництво доріг впливає на природне середовище (ландшафт), зокрема на міграцію видів диких тварин та розвиток природних й напівприродних типів оселищ. Одним із найпоширеніших небезпечних явищ такого впливу є зіткнення тварин із транспортними засобами. Крім цього існують й інші явища, які є менш помітними на перший погляд, проте створюють непрохідні бар'єри для міграції видів тварин, зокрема, автомобільні та залізничні шляхи. Вони розділяють ландшафт на дрібні й ізольовані ділянки, які більше не можуть забезпечувати умови для довготривалого виживання популяцій цих видів. Цей небезпечний процес називається фрагментацією навколишнього природного середовища.

В ході експлуатації доріг, яка за часом є найбільш тривалою, відбуваються такі негативні явища та процеси: (1) бар'єрний вплив дороги на ландшафт, (2) загибель тварин на дорогах, людські жертви внаслідок зіткнення з тваринами та збитки, пов'язані з аваріями, (3) викиди газоподібних, рідких і твердих забруднювальних речовин транспортними засобами, і, як наслідок, забруднення прилеглої території; (4) шумове забруднення від транспорту; (5) забруднення середовища речовинами, що використовуються для літнього та зимового обслуговування доріг; (6) як позитивні, так і негативні наслідки створення нових оселищ на ділянках, розташованих поблизу доріг.

Зважаючи на тривалий термін функціонування доріг, найчастіше передбачається часткова реконструкція, а не цілковита ліквідація об'єкта транспортної інфраструктури. На цьому етапі проект реконструкції найчастіше передбачає оброблення, утилізацію та ліквідацію будівельних відходів.

Вибір оптимальних маршрутів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури повинен супроводжуватися розробленням моделі екомережі та забезпечення її цілісності (плануванням простої мережі природоохоронних територій, розмежуванням коридорів міграції, сполученням території для деяких видів великих ссавців. Розвиток мережі ключових територій та міграційних коридорів для

великих ссавців спирається на виявлення лісових масивів та визначення їхніх кількісних і якісних характеристик. Ці питання, нині на жаль часто відсутні у законодавстві [2].

Заслужовує на увагу зміст та завдання дистанційного моніторингу територій, що прилеглі до об'єктів транспортної інфраструктури. Моніторинг розрізняється за функціональними завданнями, територіальним охопленням, призначенням, а також за вимогами до просторової і тематичної детальності одержуваної інформації [5]. Відомо, що моніторинг лісів - це система регулярних спостережень, оцінки та аналізу інформації про стан лісів та прогнозування його змін з метою забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень щодо сталого управління лісами. Дані отримані за результатами такого моніторингу є корисними також для завдань проектування транспортних мереж держави.

Як уже відзначалося в процесі проектування визначається оптимальне положення майбутньої дороги та можлива її майбутня взаємодія з компонентами ландшафту. Одним з динамічних компонентів ландшафту є ліс. Лісові території зазнають змін унаслідок будівництва та експлуатації автомобільних доріг. Шляхом порівняння можна визначити місця рубок лісу та відновлення рослинності на місці рубок. Території поблизу головних автомобільних трас зазнають підвищеного антропогенного впливу внаслідок нерегламентованої рекреаційної діяльності.

Основними засобами збирання просторових даних нині стають дистанційні спостереження. Наземні методи отримання даних нині втрачають своє значення через порівняно більші трудовитрати. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) - це спосіб отримання інформації про земну поверхню та розташовані на ній об'єкти шляхом реєстрації електромагнітного випромінювання, що відбивається від них, без безпосереднього контакту. Застосування матеріалів супутникового дистанційного зондування для дослідження лісів, в тому числі і лісових масивів, які знаходяться в межах впливу об'єктів транспорту в Україні розпочалось з середини 1990-х років, коли стався прорив в розвитку геоінформаційних систем викликаний широким застосуванням комп'ютерних технологій, які дали змогу перетворення даних ДЗЗ в цифровий формат для їхньої подальшої обробки. За типом сенсора ДЗЗ виділяють:

а) методи з пасивними сенсорами, що використовують або власне випромінювання предметів, або сонячне світло, що відбивається від їхньої поверхні та фіксується апаратом;

б) методи з активними сенсорами, що здійснюють випромінювання в напрямку земної поверхні сигналу та прийом відбитого сигналу. Зазвичай таке знімання здійснюється в радіодіапазоні. Перевагою цього методу є можливість виконання знімань в темний час доби та незначний вплив погодних умов: туману, хмарності. Радарне знімання використовується для визначення форми поверхні (рельєфу) [7] та вивчення її геологічної структури.

Перша велика група методів полягає у фіксації власного випромінювання об'єктів в оптичному (фотознімання; сканерне знімання) та інших (теплове, гіперспектральне, мультиспектральне) діапазонах електромагнітних хвиль.

Досить часто, говорячи про дистанційне зондування, мають на увазі фотознімання та сканерне знімання. Фотознімання, - це фотографування поверхні у всьому видимому діапазоні спектру чи певній його частині, а також в інфрачервоному діапазоні. Фотознімання є найбільш звичною для людини формою представлення інформації, яке за допомогою багатозонального знімання дозволяє підвищити якість і достовірність дешифрування. В задачах моніторингу лісових масивів можна використовувати для виявлення границь рослинності, захворювання рослинності тощо. Недоліком фотознімання є неможливість спостережень в нічний час та при несприятливих метеорологічних умовах, чутливість фотоматеріалів до проникаючої радіації та необхідність доставки фотоматеріалів на Землю.

Телевізійне аерокосмічне знімання - має більшу оперативність і автономність роботи в порівнянні з фотозніманням, що дозволяє використовувати телевізійне знімання для постійного спостереження за різними явищами. За способом запису та передачі відеоінформації виділяють оптичне,

оптико-механічне і фото-телевізійне знімання. За спектральним діапазоном телевізійне знімання охоплює довгохвильову частину УФ-діапазону (0,3-0,4 мкм), видиму і ближню інфрачервону область (0,4-0,9 мкм) спектру. Одним з ефективних приладів відеознімання є телевізійні камери, на виході з яких формується видиме зображення об'єкту. Серед недоліків телевізійного аерокосмічного знімання виділяють гіршу в порівнянні з фотозніманням роздільну здатність, більші геометричні та радіометричні спотворення, обмежений погодними умовами і освітленістю часовий діапазон спостережень.

Сканерне знімання - знімання поверхні за допомогою оптичних або багатоспектральних пристроїв - сканерів. Відміною таких пристроїв від фотокамер є те, що сканер знімає зображення не цілком, а по рядках. Скануючий пристрій рухаючись вздовж або вздовж і поперек маршруту знімання рядком поступово фіксує відбитий від об'єкта сигнал, в результаті чого утворюється растрове зображення, що складається з послідовних смуг. Скануючі пристрої сприймають теплові або світлові сигнали, які трансформуються в електричні за допомогою ПЗЗ-лінійки чи ПЗЗ-матриці та кодуються у цифрову форму в пристрої реєстрації. Використовуючи спеціальні фільтри можна отримати спектральні сигнали в дуже вузькому (до нанометрів) діапазоні, що дає можливість отримувати зображення багатьох характеристик рослинного покриву і лісів. Говорячи про дистанційне збирання просторових даних, перш за все йдеться про знімання Землі з космосу. Проте, до цього способу збору даних відносяться і аерофотознімання, знімання з безпілотного літального апарату (БПЛА) та інші. Знімання з БПЛА не містить суттєвих відмінностей від фото і телевізійного знімання, значно поступається супутниковому моніторингу по величині охоплення площ, але є менш залежним від погодних умов (особливо впливу хмарності) в порівнянні з пілотованою авіацією та космічним зніманням.

Нині фахівці використовують ряд носіїв знімальної апаратури та сенсорів різних типів, що виконують збір даних різними дистанційними методами. Серед них значну роль відіграють комерційні космічні апарати, знімки з яких доступні для використання широкому колу користувачів в усьому світі.

Друга група методів базується на активних сенсорах. Радіолокаційне знімання – активний метод знімання, який передбачає отримання зображень поверхні за допомогою відбитих радіопроменів. Характеризується суттєвими перевагами: незалежністю від метеорологічних умов і часу доби, незалежністю роздільної здатності на місцевості від віддалі до різних елементів на поверхні, яка знімається, можливістю передачі інформації по каналам зв'язку на великі відстані. Проте основним недоліком радіолокаційного знімання є низька роздільна здатність, його можна використовувати для визначення типу, границь та висоти рослинного покриву та значних форм рельєфу.

Лазерне сканування – це технологія отримання інформації про рельєф та об'єкти місцевості за допомогою лазерного променя. Кінцевим результатом виконання лазерного сканування є визначені просторові координати точок земної поверхні (хмара точок лазерних відображень). Сукупність точок відбиття лазерних променів утворює нерегулярну сітку зі значною кількістю таких точок. За цими даними математичним способом можна, після камерального доопрацювання, отримати цифрову модель рельєфу (ЦМР) та цифрову модель місцевості (ЦММ) у вигляді регулярної сітки. Лазерне сканування має такі переваги: маленька розбіжність пучка, яка визначає кутову роздільну здатність системи, висока енергетична потужність пучка, когерентність та вузький спектральний діапазон випромінювання, знімання можна виконувати в будь-який час. Роздільна здатність при лазерному зніманні залежить від товщини лазерного променя. Лазерне сканування поділяється на повітряне (авіаційне) лазерне сканування та наземне лазерне сканування.

Лідарне знімання - активне знімання поверхні шляхом неперервної фіксації відбиття від поверхні, яка опромінюється лазерним випромінюванням з фіксованою довжиною хвилі. Частота випромінювання налаштовується на резонансні частоти поглинання підстилаючої поверхні. Технологія існує з 1960-х років, коли лазерні сканери були встановлені на літаках. І тільки в кінці 1980-х років, з

появою комерційних систем глобальної супутникової навігації (ГНСС), ці дані стали корисним інструментом для збирання просторових даних високої точності. Зараз в якості нового технологічного прориву для аеродинамічного лазерного сканування активно впроваджується однофотонна технологія. Для однофотонних систем потрібен лише один виявлений фотон порівняно із сотнями або навіть тисячами фотонів у звичайному лідарі. В результаті може бути досягнута така щільність імпульсів яка в десять-сто разів є вищою порівняно зі звичайними датчиками. *Наземне лазерне сканування (НЛС)* - це сучасна технологія, як дозволяє з високою швидкістю та точністю визначати координати значної кількості точок на поверхні об'єктів, які характеризують його форму, розміри та розташування в просторі. Суть НЛС полягає у вимірюванні відстаней від сканера до точок об'єкта і реєстрація відповідних напрямків (вертикальних і горизонтальних кутів). Наземне лазерне сканування може бути стаціонарним та мобільним. При стаціонарній зйомці прилад встановлюється нерухомо на штатив, а вимірювання проводиться з кількох точок стояння. Не використовується для лінійних об'єктів. При виконанні мобільного лазерного сканування прилад встановлюється на наземний транспортний засіб (авто, залізничну платформу, тощо). Вимірювання проводиться безперервно під час руху носія. Мобільне лазерне сканування є найбільш безпечним та економічно вигідним методом наземної зйомки лінійних об'єктів, адже основна складність при проведенні зйомок вздовж транспортних магістралей полягає в необхідності повного або часткового обмеження руху. Може використовуватись для проектування організації дорожнього руху та часткового моніторингу лісових масивів, що знаходяться вздовж транспортних коридорів.

Класифікація методів збирання просторових даних представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Методи збирання просторових даних.

Figure 1 – The spatial data capture methods.

Дистанційні знімання дозволяють користувачам отримати просторові дані що містять опис місцеположення об'єктів земної поверхні та їхні якісні та кількісні характеристики. Ці дані повинні адекватно описати існування та розвиток компонентів ландшафту у просторі і часі. Дешифрування даних ДЗЗ нині виконуються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Різні види даних можуть бути використані з різною метою [5].

Радіолокаційні геозображення надають інформацію про вкриті лісом площі, різкі зміни лісових екосистем, лісокористування. Знімки середньої роздільної здатності завдяки мультиспектральній інформації є одними з головних джерел для картографування породного складу лісів, вони дозволяють виявляти динаміку змін в лісових масивах. Знімки високої роздільної здатності дозволяють виявити більшість об'єктів лісового господарства для інвентаризації. Знімки надвисокої роздільної здатності (отримані з космічних апаратів WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1, GeoEye-2 QuickBird та Ikonos) найбільшою мірою задовольняють потребу у визначенні таксаційних показників лісових насаджень, зокрема із застосуванням сучасних методів об'єктно-орієнтованого, яскравісно-текстурного дешифрування, алгоритмів нейромережевого аналізу, а також автоматичних стереовимірювань.

Розглянемо досвід виконання класифікації зміни площ лісів та інших видів ландшафтів на космофотозображеннях отриманих з супутників Landsat: (LT51850261997266KIS00 Landsat 5 TM за 1997-09-23, LT51850262007198MOR00 Landsat 5 TM за 2007-07-17 та LC81850262020266LGN00 Landsat 8 OLI за 2020-09-22 для районів Закарпатської та Івано-Франківської областей (рисунок 2).

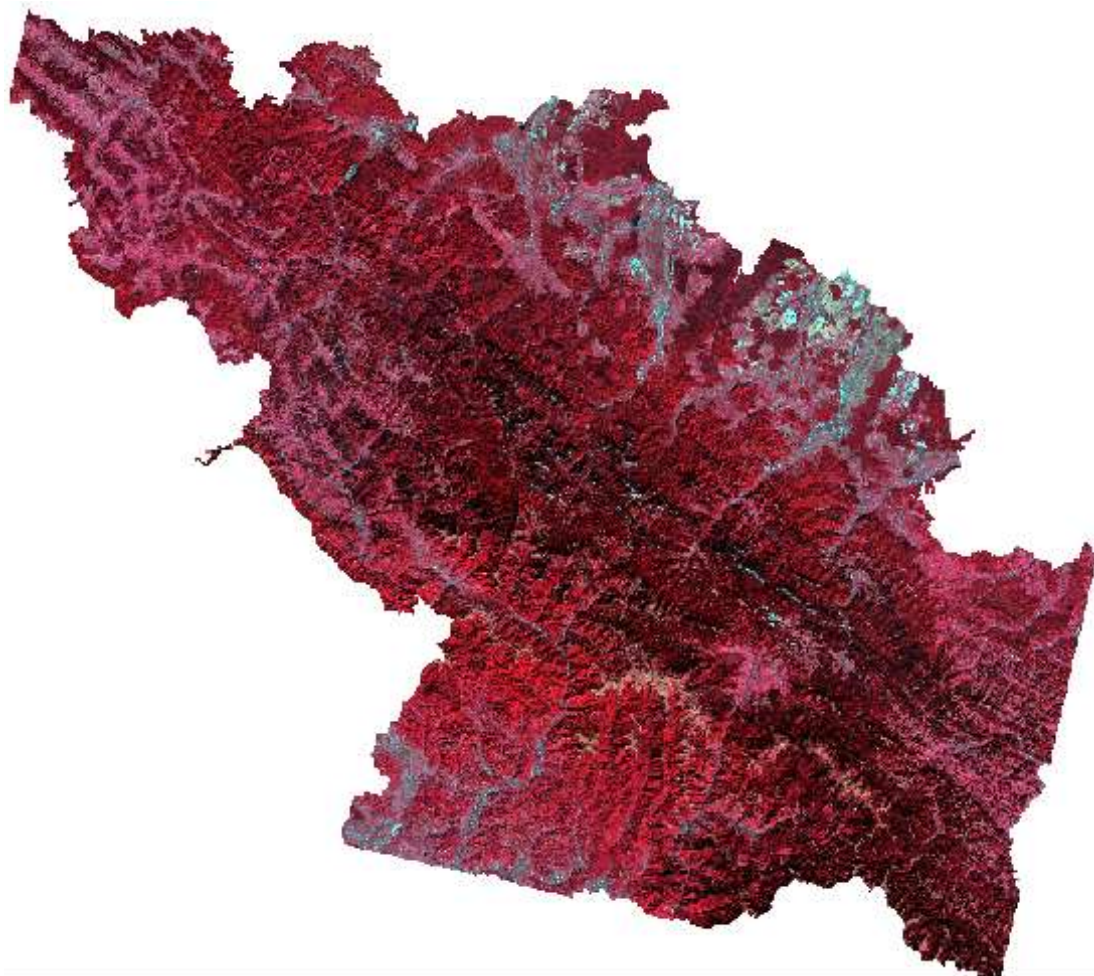


Рисунок 2 – Landsat 8 за 2020 р. комбінація каналів R:G:B = 5:4:3 («штучні кольори»)
Figure 2 – Landsat 8 for 2020 combination of channels R: G: B = 5: 4: 3 ("artificial colors")

Використовуючи комбінації червоного та ближнього інфрачервоного каналів та відповідні властивості рослинності щодо поглинання та відбиття сонячного випромінювання для цих спектральних діапазонів, розраховуємо нормалізований диференційний вегетаційний індекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) за формулою [1]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

де NIR і RED – значення спектральної густини енергетичної яскравості в ближньому інфрачервоному та червоному каналах, відповідно. NDVI набуває значень у діапазоні [-1; +1]. Для водних об'єктів NDVI набуває негативних значень; для ґрунтів, сухої рослинності наближається до нуля; максимальних значень набуває для рослинності, що вегетує, і проміжних – для різних станів рослинного покриву. Значення індексу при відсутності рослинності або дуже зрідженого травостою/стеблостою наближається до нуля або має від'ємні величини, характеризуючи голий ґрунт [6]. Для виявлення змін лісового покриву, розрахуємо різниці значень індексів: за період 2007 – 1997 рр. (Рисунок 3) та 2020 – 2007 рр.

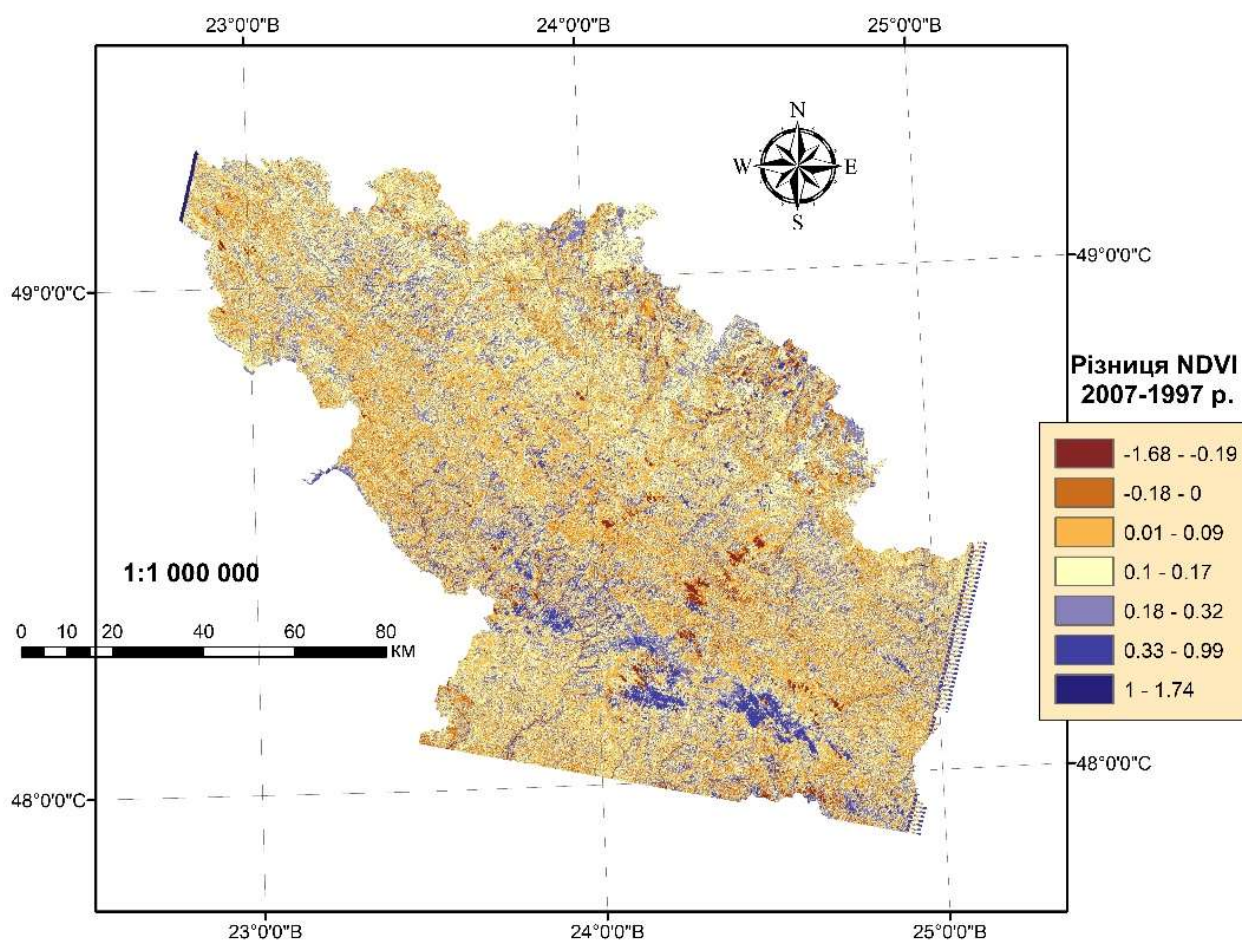


Рисунок 3 – Різниці значень індексів NDVI (2007 – 1997)
Figure 3 – Differences in the values of NDVI indices (2007 - 1997)

На результуючому зображенні добре вирізняються ділянки вирубок, позначені на тематичній карті темно-синім кольором.

Висновки та рекомендації.

Основою для організації моніторингу територій прилеглих до об'єктів транспортної інфраструктури є насамперед матеріали дистанційного зондування. Матеріали ДЗЗ, які відрізняються за методами збирання, просторовою розрізненістю використовуються для отримання різних даних про просторове положення об'єктів на території та їхні якісні і кількісні характеристики.

В роботі розглянуто особливості використання матеріалів дистанційного знімання різного розрізнення. Матеріали зйомки з БПЛА (фото та лідарні), дозволяють отримати хмари точок з координатами. Матеріали наземного лазерного сканування з рухомої платформи та матеріали наземного лазерного сканування дозволяють отримати дані найвищої точності але обмежені вузькою смугою вздовж дороги і потребують використання високовартісного обладнання. Також ці дані не містять атрибутивної інформації про типи угідь породи дерев тощо.

Космознімки різного розрізнення дають можливість визначити різноманітні характеристики ландшафтів території вздовж траси майбутнього об'єкта транспортної інфраструктури та прийняти рішення щодо його оптимальної конфігурації. Насамперед мова йде про типи сільськогосподарських угідь, переважаючи типи рослинності, лісові площі та їх диференціацію за такими типами угідь (вирубки, порослі кущами, свіжі вирубки, вирубки трав'янисті, листяні молоді насадження, хвойні молоді насадження). Згадані методи отримання даних характеризуються оперативністю, швидкістю та якістю просторових даних, отриманих за їхньою допомогою.

Перелік посилань

1. Беленок В. Ю. Використання аерокосмічних методів та методів обробки даних дистанційного зондування Землі для екологічного моніторингу Каховського водосховища. В.Ю. Беленок, Д.І. Деркач, Н.В. Руль. *Вісник Астрономічної школи*. 2017. Т.13, № 1. С.54-63.
2. Вплив транспортної інфраструктури на біорізноманіття: практичний посібник для країн Карпатського регіону. Главач В., Андель П., Матушова Ї., та ін. Дрогобич : Коло, 2019. 228 с.
3. ГБН В.2.3-218-007:2012 Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування. Київ, 2012 (Інформація та документація). <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/122.1..pdf> (дата звернення: 19.01.2021).
4. Гречко Т. К., Лісовський С. А., Романюк С. А., Руденко Л. Г. Публічне управління в забезпеченні сталого (збалансованого) розвитку. Т. К. Гречко, С. А. Лісовський, С. А. Романюк, Л. Г. Руденко. Херсон : Грінь Д.С., 2015. – 264 с.
5. Слободяник, М. П. Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів. *Вісник геодезії та картографії*. 2014. № 1. 27–31.
6. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи / [Підручник] Передм. Д. О. Мельничука. – К.: Вища школа, 2009. – 511 с.
7. Liashenko, D. [et.al.]. Landslide GIS modelling with QGIS software. XIV *International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”*, 2020. P. 1-5.
8. Steenberg, J.W.N. [et.al.]. A conceptual framework of urban forest ecosystem vulnerability. *Environmental Reviews*. Vol. 25, 2017. 115-126.

FOREST AREAS REMOTE MONITORING WITHIN THE LIMITS OF TRANSPORT OBJECTS IMPACT

Liashenko Dmytro Oleksiiovich, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of Road Design, Geodesy and Land Management Department, e-mail: uageog@gmail.com, +380673235684, <https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>

Pavliuk Dmytro Oleksandrovych, Doctor of Technical Science, Professor, National Transportation University, Professor of Road Design, Geodesy and Land Management Department e-mail: ntupavlukd@gmail.com, +380672099378, <https://orcid.org/0000-0003-4493-4238>

Belenok Vadym Yuriiiovych, candidate of physical and mathematical sciences, National Aviation University, associate professor of Aerospace Geodesy and Land Management Department, e-mail: belenok.vadim@gmail.com, +380637529111, <https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>, SCOPUS id 57204324241

Babii Vitalii Vasylovych, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Assistant of Geoinformatics Department, e-mail: vitbabii@gmail.com, +380935467006, <https://orcid.org/0000-0003-3462-5407>

Summary. The article studies the issues of using remote sensing data for the tasks of ensuring sustainable nature management in the territories within the influence of transport infrastructure objects. Peculiarities of remote monitoring for tasks of transport networks design and in the process of their operation are determined. The paper analyzes the development of modern remote sensing methods (satellite imagery, the use of mobile sensors installed on cars or aircraft). A brief overview of spatial data collecting methods for the tasks of managing the development of territories within the influence of transport infrastructure (roads, railways, etc.) has made. The article considers the experience of using remote sensing technologies to monitor changes in the parameters of forest cover in the Transcarpathian region (Ukraine) in areas near to highways, by use Landsat imagery.

Key words: spatial data, transport facilities, highways, road construction and operation, remote sensing, spatial data, mapping, remote monitoring, vulnerability, forest cover.

References

1. Belenok V. Yu. [et.al.]. (2017). Vykorystannia aerokosmichnykh metodiv ta metodiv obrobky danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli dlia ekolohichnoho monitorynhu Kakhovskoho vodoshkovyshcha. *Visnyk Astronomichnoi shkoly*. 13. 1. 54-63.
2. Vplyv transportnoi infrastruktury na bioriznomanittia: praktychnyi posibnyk dlia krain Karpatskoho rehionu. (2019) Hlavach V., Andel P., Matushova Yi., ta in. Drohobych. Kolo. 228 c.
3. HBN V.2.3-218-007:2012 (2012) Ekolohichni vymohy do avtomobilnykh dorih. Proektuvannia. Kyiv, (Informatsiia ta dokumentatsiia). <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/122.1..pdf> (data zvernennia: 19.01.2021).
4. Hrechko T. K., Lisovskyi S. A., Romaniuk S. A., Rudenko L. H. (2015) Publichne upravlinnia v zabezpechenni staloho (zbalansovanoho) rozvytku. Kherson. 264.
5. Slobodianyuk, M. P. (2014) Vykorystannia metodiv DZZ ta HIS-tekhnologii dlia monitorynhu li-sovykh resursiv. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*. 1. 27–31.
6. Kokhan S. S., Vostokov A. B. (2009) Dystantsiine zonduvannia Zemli: teoretychni osnovy / [Pidruchnyk] Peredm. D. O. Melnychuka. Vyshcha shkola. 511.
7. Liashenko, D. [et.al.]. (2020). Landslide GIS modelling with QGIS software. XIV International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, 1-5.
8. Steenberg, J.W.N. [et.al.]. (2016). A conceptual framework of urban forest ecosystem vulnerability. *Environmental Reviews*. Vol. 25, 115-126.