

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

На правах рукопису

**МАЛАЩУК КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА
ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬНОГО
ПОКРИВУ ШАЦЬКОГО НПП**

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма Геодезія та землеустрій
Робота на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник:
Мельник Олександр Валентинович
доцент, кандидат технічних наук

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол №
засідання кафедри геодезії,
землевпорядкування та кадастру
Від . . 2025 р.

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. А.В. Уль _____

ЛУЦЬК - 2025

Анотація

Малащук К.С. Дистанційний моніторинг земельного покриття Шацького Національного Парку. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. –ВНУ імені Лесі Українки, МОН України, Луцьк, –2025. -56 с.

Бакалаврська робота присвячена дослідженню Шацького національного природного парку з використанням методів дистанційного зондування землі. Досліджується унікальна природоохоронна територія площею 48 977 гектарів, заснована в 1983 році на західній межі Полісся, яка включає одну з найбільших озерних систем Європи.

У роботі використовується платформа Google Earth Engine і колекції Dynamic World V1 на основі супутникових знімків Sentinel-2 L1C. Дослідження охоплює період 2016-2024 років з обробкою 907 супутникових знімків для аналізу динаміки змін земельного покриття та землекористування парку.

Результати мають практичне значення для удосконалення системи управління та охорони Шацького НПП і можуть бути використані для інших досліджень природоохоронних територій України.

Ключові слова: дистанційне зондування, Шацький національний природний парк, Google Earth Engine, Sentinel-2, земельний покрив, землекористування, моніторинг, природоохоронні території, Dynamic World, озерна система.

Annotation

Malashchuk K.S. Remote monitoring of land cover of Shatsk National Park. Qualification work with manuscript rights. –Volyn National University named after Lesya Ukrainka, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk, –2025. -56 p.

The bachelor's thesis is devoted to the study of Shatsk National Nature Park using remote sensing methods. The research examines a unique nature conservation territory with an area of 48,977 hectares, established in 1983 on the western border of Polissia, which includes one of the largest lake systems in Europe.

The work uses the Google Earth Engine platform and Dynamic World V1 collections based on Sentinel-2 L1C satellite imagery. The research covers the period

2016-2024 with processing of 907 satellite images for analyzing the dynamics of land cover and land use changes in the park.

The results have practical significance for improving the management and protection system of Shatsk NPP and can be used for other studies of nature conservation territories of Ukraine.

Keywords: *remote sensing, Shatsk National Nature Park, Google Earth Engine, Sentinel-2, land cover, land use, monitoring, nature conservation territories, Dynamic World, lake system.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ.....	8
1.1. Дистанційне зондування землі - його види, застосування та обробка даних	8
1.2. Історичний розвиток та аналіз досліджень трансформації земельного покриву.....	10
1.3. Аналіз сучасних досліджень природних парків засобами ДЗЗ	15
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАТФОРМИ ДЗЗ.....	20
2.1. Різновид систем дзз.....	20
2.2. Аналіз змін землекористування та земельного покриву за допомогою даних ДЗЗ	24
2.3. KA Sentinel 2	26
2.4. Всесвітні дані про типи земної поверхні	34
2.5. Google Earth Engine	36
РОЗДІЛ 3. ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ТА ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ ШАЦЬКОГО НПП.....	41
3.1. Загальна характеристика Шацького НПП	41
3.2. Дистанційний моніторинг зміни земельного покриву та землекористування.....	43
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	49

ВСТУП

Актуальність теми.

Дані дистанційного зондування добре зарекомендували себе як цінні джерела інформації для менеджерів природних ресурсів. Зараз накопичення історичних записів за кілька десятиліть, впровадження нових датчиків і розвиток аналітичних методів сприяють швидкому розширенню застосування даних дистанційного зондування. Часові ряди зображень використовуються для аналізу ландшафтних масштабних змін у природних ресурсах, а дані датчиків високої роздільної здатності можна використовувати для виявлення та кількісної оцінки невеликих змін у топографії, картографування видів рослин або навіть окремих рослин або вимірювання потоків поживних речовин та енергії, які змінюють рослини. Аналіз нещодавніх наукових публікацій, що документують широкий спектр застосувань даних дистанційного зондування для підтримки збереження біорізноманіття та управління екосистемами, а також для оцінки ширших питань зміни землекористування [44, 43, 20]. Деякі з цих програм можуть безпосередньо підтримувати потреби в моніторингу та управлінні в одиницях системи національних парків, включаючи високопріоритетні сфери моніторингу динаміки ландшафту, інвазивних видів та інших порушень

Дистанційне зондування Землі надає можливість отримувати об'єктивні дані про зміни в земельному покриві на великій території та в реальному часі. Це дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління природними ресурсами та збереження навколишнього середовища.

Земельні карти Землі традиційно розділяють на дві основні категорії: класифікацію землекористування та класифікацію земельного покриву. Хоча в деяких дослідженнях ці поняття використовуються взаємозамінно або навіть плутаються, належне визначення кожного з них робить їх різними.

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), ґрунтовий покрив - це спостережуваний (біо)фізичний покрив на поверхні Землі. З іншого боку, землекористування характеризується механізмами, діяльністю та

вкладом людей у виробництво, зміну або підтримку певного типу ґрунтового покриву.

Ці поняття тісно пов'язані, і їх спільна класифікація майже неминуха. Тому в останніх дослідженнях класифікація «землекористування та земельного покриву» (Land Use/Land Cover - LULC) розглядається як більш загальна концепція, яка також охоплює цей зв'язок.

Об'єкт дослідження — структура земельного покриву в межах Шацького національного природного парку (НПП).

Предмет дослідження динаміка змін земельного покриву в межах Шацького НПП за період з 2016-2024 роки.

Мета дослідження — дослідження стану та зміни землекористування та земельного покриву на території Шацького НПП впродовж 2016-2023 рр. засобами Google Earth Engine .

Для досягнення мети потрібно вирішити такі **завдання**:

- Проаналізувати можливості Google Earth Engine та каталогу даних;
- Провести класифікацію землекористування та земельного покриву на території Шацького НПП;
- Встановити динаміку зміни землекористування та земельного покриву.

Методи дослідження. У процесі дослідження даної теми було використано системний, порівняльний, структурно-функціональний методи, а також методи індукції та дедукції.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати стануть основою для створення майбутніх стратегій екологічно збалансованого використання земельних ресурсів у Шацькому національному природному парку та сприяють визначенню заходів щодо ліквідації несприятливих процесів.

Структура та обсяг роботи. Структура роботи зумовлена логікою дослідження. Вона складається з анотації, основної частини, яка містить три розділи, шість рисунків, висновків, списку використаних джерел.

Робота виконана в рамках тематики наукових досліджень науково-дослідної лабораторії прикладної фотограмметрії кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

1.1. ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ - ЙОГО ВИДИ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ОБРОБКА ДАНИХ

В епоху, коли екологічний контроль виникає на першочерговому значенні, виникає критична важливість отримання достовірних і актуальних відомостей про екологічний стан. Серед найбільш прогресивних методологій у цій сфері виокремлено використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що базується на використанні космічних апаратів та альтернативної платформи для інформаційного збору.

Основи дистанційного зондування землі. ДЗЗ представляє собою технологію безконтактного отримання інформації про земні об'єкти, атмосферні шари, гідросферу та поверхневі геологічні утворення. Методологія функціонує на основі фіксації електромагнітних хвиль (як власних, так і відображених), що виходять від досліджуваних елементів. Спеціалізовані сенсори, встановлені на значних висотах (космічні апарати, авіаційні засоби), реєструють таке визначення, що забезпечує визначення фізико-хімічних властивостей об'єктів.

Природними прикладами дистанційного зондування служать людські сенсорні системи: зоровий, слуховий і нюховий аналізатори. Серед технологічних підходів слід відмітити фотозйомку, хоча її спектральна частина є досить вузьким у порівнянні з новими розробками.

Космічна інформація та інші продукти ДЗЗ становлять безцінне джерело поточних і непередбачених відомостей про екологічний стан. Ці дані створюють фундамент для дослідження, картографічної роботи та прогностичного моделювання трансформацій. Систематична повторна зйомка забезпечує спостереження за динамічними процесами та формування різноманітних сценаріїв розвитку.

У галузі дистанційного зондування розрізняють два ключові напрямки: науково-дослідний, орієнтований на дослідження природних феноменів, та

техніко-інженерний, що зосереджується на удосконаленні методології та приладової бази для інформаційного збору. Продуктом ДЗЗ є площинні зображення, що демонструють просторово-часові параметри об'єктів. Аерокосмічне зондування, що обґрунтовується на інтерпретації таких знімків, виявляється найефективнішим інструментом для всебічного дослідження земної поверхні.

Галузі практичного застосування. Технології ДЗЗ характеризуються широким спектром використання, забезпечуючи виробництво даними різноманітними секторами:

Геологічні дослідження. Перша область, де почалося використання аерокосмічної інформації. Дані ДЗЗ уможливають ідентифікацію типів гірських утворень, створення карт масштабних геологічних структур, актуалізацію геологічних карт та пошук перспективних родовищ мінеральних ресурсів.

Екологічний моніторинг. Центральна сфера використання ДЗЗ. Інформація для контролю за видобувною діяльністю, оцінки забруднення водних і повітряних ресурсів, аналізу впливу природних катастроф та дослідження антропогенного тиску на екосистеми.

Гідрологія. ДЗЗ забезпечує встановлення кордонів водних тіл, визначення їх параметрів (площа, об'єм), дослідження характеристик прозорості та динаміки води, картографування підтоплених територій, а також моніторинг снігового покриву.

Агрокомплекс та лісогосподарство. Завдяки спеціалістам ДЗЗ є можливість аналізувати категорії та умови рослинності, площі сільськогосподарських угідь, стан ґрунтового покриву та пошкоджені території, а також впливати на облік мисливських територій.

Картографічна діяльність та землевпорядкування. Дані ДЗЗ використовують для типізації земельних ресурсів, модернізації картографічних матеріалів, планування розвитку урбанізованих та сільських зон, а також картографування транспортної інфраструктури та зрошувальних мереж.

Методологія опрацювання даних. Аналітична робота з даними дистанційного зондування передбачає два ключові напрямки:

Первинне опрацювання. Цей напрямок орієнтований на усунення різноманітних викривлень зображення, включаючи геометричні, радіометричні, спектральні та атмосферні корекції, що забезпечує підвищення точності та надійності отримання інформації.

Тематичне опрацювання. Охоплює ідентифікацію об'єктів і процесів на знімках на підставі їх конкретних характеристик.

Процедура інтерпретації даних, що є компонентом тематичного опрацювання, зазвичай включає наступні стадії:

- Вибір найбільш інформативних спектральних розділів
- Корегування зображення та усунення будь-яких дефектів
- Дослідження локальних характеристик об'єктів та напівавтоматична інтерпретація
- Верифікація точності досягнутих результатів

Сучасні технології ДЗЗ надає актуальну інформацію в різних форматах, що істотно сприяє раціональному управлінню природними ресурсами, розробці спеціалізованих тематичних карт та приймає науково обґрунтований доступ до рішень у таких стратегічно важливих галузях, як екологія, аграрний сектор, лісівництво та урбаністика.

1.2. ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ

Земельні ресурси складають фундамент усієї людської активності. Взаємодія людини із землею створює концепцію «землекористування», яка відрізняється залежно від мети використання – будь то аграрне виробництво, житлове будівництво, відпочинок, добуток ресурсів або їх переробка, а також від природних властивостей території. Таким чином, землекористування посилено

впливом двох основних категорій чинників: людських вимог та природних характеристик і явищ. Слід підкреслити, що поняття «землекористування» та «земельний покрив» мають різне значення, і наукові дослідження приділяють велику увагу їх розмежуванню та аналізу трансформацій земельного покриву.

Земельний покрив характеризується як біофізичний стан земної поверхні, що демонструє її відмінність та дає можливість застосувати ці особливості в дослідженнях суходолу та підземних ресурсів. Цей термін описує фізичний стан поверхні планети, включаючи сільськогосподарські угіддя, гірські системи або лісові масиви. Поняття «земельний покрив» охоплює обсяг і бачить поверхневу флору, водні системи та обґрунтовані компоненти, а також рукотворні конструкції (споруди тощо) та різновиди матеріалів, застосовуваних у житловому будівництві. Початковий термін «обґрунтований покрив» застосовувався для характеристики рослинності на поверхні землі, але з часом його зміст розширився, включно з іншими елементами фізичного оточування, зокрема підстави, екологічне різноманіття, поверхневі та підземні води. У територіях, де існує загроза зсувів, прискорене знищення лісів та рослинності, що закріплює поверхневий шар ґрунту, разом із перетворенням лісових площ на аграрній та садовій території до суттєвих змін у землекористуванні та ґрунтовому покритті.

Розвиток наукового розуміння трансформації земельного покриву. Впродовж останніх десятиліть наукове розуміння змін у землекористуванні та земельному покритті трансформувалося від елементарних уявлень до більш достовірних та комплексних концепцій. Початково дослідження концентруються головним чином на фізичних проявах трансформацій. Проте пізніше проблематика кліматичних змін стала центральною темою в дослідженнях глобальних екологічних трансформацій. Науковці розуміють, що процеси на земній поверхні впливають на клімат через модифікації у землекористуванні та покритті. Ще в середині 1970-х років було встановлено, що трансформація ґрунтового покриву змінює відбивну здатність поверхні і,

відповідно, енергетичний обмін між поверхнею та атмосферою, що позначається на регіональному кліматі.

Пізніше було виявлено значно ширший компонент впливу змін у землекористуванні та покритті на екосистеми, їхні ресурси та функції. Найбільше занепокоєння спричиняє вплив на глобальне біологічне різноманіття, деградацію підстав та сприятливість біологічних систем забезпечити людські потреби. Історично люди модифікували землю для одержання ресурсів, але для виробництва, однак темпи використання не були настільки інтенсивними, як ні. Сучасні прискорені темпи експлуатації спричинили небачені зміни в екосистемах та екологічних процесах на локальному, регіональному та планетарному рівнях. Сучасні трансформації у землекористуванні та земельному покритті охоплюють широкий спектр екологічних викликів людства, включаючи кліматичні зміни, скорочення біорізноманіття та забруднення водних, обґрунтованих та повітряних ресурсів. Спостереження та зменшення негативних наслідків змін у землекористуванні та земельному покритті, одночасно забезпечуючи виробництво корисних ресурсів, стали першочерговим завданням для науковців та управлінців у всьому світі. Нераціональна людська діяльність перетворилася на ключову екологічну проблему, втративши якість води у водних системах. Зв'язок між землекористуванням та якістю веде підвищення виявлення ризиків для якості води в річкових системах та формує усвідомлення того, що доступ до санітарних умов має критичне значення для людського виживання.

Сучасні напрями досліджень трансформації земельного покриття. Наявна наукова література з досліджень землекористування та змін обґрунтованого покриття показує, що людське населення та його землекористування перетворили значну частину земної біосфери на антропогенні екосистеми. Така трансформація призвела до виникнення цілого спектру нових екологічних моделей і процесів, які мають значення вже понад 8000 років. Останнім часом питання, пов'язані з трансформаціями земельного покриття, звертають увагу на широке коло дослідників — від тих, хто займається

моделюванням просторово-часових закономірностей перетворення земель, до тих, хто прагне осягнути їх причини, вплив та наслідки.

Важливо усвідомлювати, що землекористування впливає на земельний покрив, а зміни в земельному покриві, у свою чергу, впливають на землекористування. Однак трансформація одного з цих елементів не обов'язково є безпосереднім результатом іншого. Наприклад, зміни в рослинному покриві внаслідок землекористування не обов'язково позначають деградацію земель. Проте багато змін у структурі землекористування, спричинених різноманітними соціальними чинниками, призводять до трансформації обґрунтованого покриву. Ці зміни впливають на біорізноманіття, водний та енергетичний баланси та інші процеси, які в сукупності впливають на клімат та біосферу. Людська діяльність, що переважно збільшується соціально-економічними факторами, призводить до змін на неосвоєних і звільнених землях, навіть попри обмеження, спричинені природними умовами. Трансформація землекористування, включаючи перетворення земель з одного типу в інший та модифікацію обґрунтованого покриву через управління землекористуванням, змінила значну частину земельної поверхні. Основна мета цих змін відбувається у забезпеченні нагальних потреб людства в природних ресурсах. Глобальні зміни в лісових масивах, сільськогосподарських угіддях, водних системах та повітряному середовищі зумовлені потребою забезпечують їжею, волокнами, водою та житлом понад шість мільярдів людей. За останнє десятиліття площі орних земель, пасовищ, насаджень та урбанізованих територій у світі суттєво збільшилися. Це розширення супроводжується посиленням зростання споживання енергії, води та добрив, а також значними втратами біорізноманіття.

Варто зазначити, що земельний покрив може трансформуватися не тільки під впливом людських діячів. Природні явища, такі як метеорологічні умови, повені, пожежі, кліматичні флуктуації та зміни екосистем, також можуть ініціювати зміни ґрунтового покриву. Існують також непрямі впливи на обґрунтований покрив інших видів людської діяльності, наприклад, ліси та озера, пошкоджені кислотними опадами внаслідок спалювання викопного

палива, та сільськогосподарські культури поблизу міст, пошкоджені тропосферним озоном внаслідок автомобільних викидів.

Аналіз спеціальних досліджень трансформації земельного покриття.

Аналіз наукової літератури демонструє численні приклади змін землекористування та обґрунтованого покриття в різних регіонах світу. Тобіас Куммерле спостерігав за перетворенням орних земель на пасовищі в повіті Арджеш у Румунії, пов'язуючи це зі стрімкими змінами соціально-економічних, демографічних та інституційних умов після 1989 року. Подібним чином, Браун стверджує, що останні зміни у землекористуванні домінували у внутрішній частині сільськогосподарських земель. також, у східному Китаї відбулося непереврене перетворення орних земель на забудову після швидкої індустріалізації.

Кебром Текле вказав на збільшення площі відкритих територій та поселень за рахунок чагарників і лісів за двадцять вісім років (між 1958 і 1986 роками) в окрузі Калу, Південний Велло, Ефіопія. Аналогічно, Воєн заявив про збільшення кількості садиб у дослідженнях, проведених у центральному нагір'ї, протягом 1957-1986 років, пояснюючи це зростанням демографічної щільності. Марк і Кудакваше у своєму дослідженні в районі Шуругві в провінції Мідлендс у Зімбабве спостерігали збільшення площі орних земель. Він пов'язує це збільшення з Програмою земельної реформи та переселення. Великі площі лісів були розчищені для різних видів діяльності, пов'язаних із новим сільським господарством, таких як створення фермерських ділянок, заготівля деревини для палива, стовпів для будівництва будинків та загонів для худоби. Площа забудови навколо води в місті Давангере, штат Карнатака, Індія, майже подвійна між 1970 і 2005 роками за рахунок сільськогосподарських угідь та чагарників.

Пракасам досліджував зміни землекористування та земного покриття за 40 років у талуку Кодайканал, штат Тамілнад. У цьому дослідженні спостерігалися значні зміни: площа забудованих земель і збільшилася, потім як площа лісів і водних об'єктів зменшилася. Джавед і Хан вивчали зміни рослинного покриття в землекористуванні внаслідок гірничодобувної діяльності з 2001 по 2010 рік.

Дослідження показало, що можна значно зменшити площі густих лісів, оброблених земель та водних об'єктів, проте площі населених пунктів, пустирів та необроблених збільшилися землі, головним чином, через людську діяльність.

1.3. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИРОДНИХ ПАРКІВ ЗАСОБАМИ ДЗЗ

Дистанційне зондування (ДЗ) та географічні інформаційні системи (ГІС) є незамінними інструментами для моніторингу, оцінки, планування та управління природними ресурсами у національних парках та заповідних зонах [39]. Вони забезпечують систематичні, узагальнені засоби для оцінки біофізично важливих змінних та пропонують ефективні рішення для аналізу та відстеження змін у ландшафті з плином часу.

Методи та технології дистанційного зондування та ГІС. У дослідженнях національних парків широко використовуються різноманітні платформи та датчики дистанційного зондування. Супутникові дані Landsat є основним джерелом інформації завдяки їхньому довгостроковому безперервному запису та середній просторовій роздільній здатності (30 м) [39]. Інші супутникові дані включають MODIS, Sentinel-1 та Sentinel-2, ASTER та Synthetic Aperture Radar (SAR), а також ALOS PALSAR. Використовуються також дані високої роздільної здатності з дронів, WorldView-2 та Planet Scope. Для детальних вимірювань структури рослинності застосовується космічний лідар GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) [39]. Повітряне лазерне сканування (ALS) і аеролазерна альтиметрія також використовуються для отримання детальної інформації про рельєф та висоту лісового покриву[27].

Обробка даних часто включає використання вегетаційних індексів, таких як Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), який широко застосовується для моніторингу стану рослинності, здоров'я та виявлення змін. Інші індекси, що використовуються, включають Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Atmospherically Resistance Vegetation Index (ARVI) та Moisture Stress Index (MSI). Для оцінки впливу пожеж застосовуються Normalized Burn Ratio Index (NBR), NBR2 та Enhanced Vegetation Index (EVI).

Трансформація Tasseled Cap (TC) – це метод, який генерує індекси яскравості, зелені та вологості з даних Landsat, що є корисним для виявлення змін у рослинності, стані поверхні та вологості. Метод LARCH (Landsat Arctic Rgb CHanges) поєднує індекси тренду TC у зображення RGB для візуалізації тонких або різких змін ландшафту.

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР), отримані з SAR або LiDAR, є ключовими для аналізу топографії, льодовикових форм, розподілу багаторічної мерзлоти та товщини торф'яних шарів [45]. Аналіз ГІС використовується для просторового відображення, перевірки інтерпретацій, розрахунку площ, виконання процедур накладання та створення карт.

Для моделювання використовують різні методи. Машинне навчання, зокрема Random Forest (RF), є провідним алгоритмом для таких завдань, як оцінка надземної біомаси трав'яних угідь [30], моделювання товщини торфу та розподілу багаторічної мерзлоти [35]. Інші методи машинного навчання включають підтримку векторних машин (SVM) [8], дерева рішень (DT), штучні нейронні мережі (ANN), Quantile Regression Forest (QRF) та Cubist. Класичні статистичні моделі, такі як лінійна та багатофакторна нелінійна регресія, також застосовуються, хоча машинне навчання часто перевершує їх у виявленні складних залежностей. Для аналізу часових рядів використовуються оцінка медіанного нахилу Тейла-Сена та непараметричний тест Манна-Кендалла.

Оцінка точності моделей та класифікацій проводиться за допомогою таких метрик, як коренева середньоквадратична помилка (RMSE), коефіцієнт детермінації (R^2) та середня абсолютна помилка (MAE) [39]. Для оцінки точності класифікації використовуються матриці помилок, точність користувача, точність виробника та статистика Каппа.

Застосування дистанційного зондування та ГІС у національних парках. Дослідження демонструють широкий спектр застосувань ДЗ та ГІС для вирішення екологічних та управлінських проблем у національних парках по всьому світу:

- **Здоров'я рослинності та екосистем.** ДЗ використовується для моніторингу здоров'я лісів, включаючи вміст хлорофілу та дефоліацію. У Національному парку Гашака-Гумті, Нігерія, позитивні значення NDVI вказують на кращу життєздатність [12, 13]. У Національному парку Гранд-Тетон, дослідження вивчали зв'язки між структурою хвойних лісів, послідовними стадіями розвитку та спектральними характеристиками відбиття [15, 16]. Моделі інверсії ДЗ використовуються для оцінки надземної біомаси трав'яних угідь та їх реакції на зміни клімату, як у Національному парку Триріччя в Китаї, де моделі RF показали зростання біомаси [30]. У Національному парку Ніюколо-Коба, Сенегал, ДЗ використовується для вилучення рослинності та виявлення змін, включаючи чергування фаз прогресії та регресії водно-болотних угідь [30].

- **Динаміка водно-болотних угідь та боліт.** Дослідження в Міському водно-болотному парку Сучжоу використовують динамічне ДЗ для моніторингу його компонентів та екологічних особливостей [45]. У Національному парку Доньяна, Іспанія, часові ряди NDVI характеризували сезонну та міжрічну динаміку макрофітів, демонструючи сильну залежність від повеней та опадів [15]. У Національному парку Лейк Сентарум, Індонезія, машинні алгоритми, такі як Random Forest, використовуються для відображення товщини тропічних торфовищ та оцінки запасів підземного вуглецю, що має вирішальне значення для природоохоронних рішень [35].

- **Зміни земного покриття та ландшафту.** ДЗ застосовується для виявлення змін земного покриття, спричинених природними або антропогенними процесами [21]. У Національному парку Бароядала, Бангладеш, аналіз Landsat зображень виявив зменшення площі лісів та сільськогосподарських угідь, а також збільшення площі забудови та водних об'єктів, але також ілюструє зусилля з лісовідновлення [31]. У парках Північно-Східної помірної мережі (NETN) США ДЗ використовується для документування та кількісної оцінки змін земного покриття, особливо навколо міських районів [41].

- **Деградація багаторічної мерзлоти.** У Територіальному парку Тумбстоун, Канада, аналіз Landsat виявив значні зміни ландшафту (24%

досліджуваної території), включаючи зволоження/утворення ярів, сукцесію рослинності, лісові пожежі, просідання ґрунту та гідрологічні зміни [11, 16]. Незважаючи на деякі ознаки деградації багаторічної мерзлоти, територія демонструє відносну стабільність, яка залежить від клімату, геоморфологічних умов та екологічних факторів. У Національному парку Хое Тауерн, Австрія, моделювання розподілу гірської багаторічної мерзлоти проводиться за допомогою даних ДЗ та машинного навчання для оцінки ймовірності її наявності та пов'язаних з цим небезпек [22].

- **Льодовикові форми.** ДЗ та ГІС використовуються для переоцінки льодовикових форм рельєфу та напрямків руху льоду, як у районі Державного парку Диявольського озера, Вісконсін [25, 24].

- **Управління стихійними лихами.** ДЗ та ГІС застосовуються для оцінки ризику лісових пожеж та картографування вигорілих територій [28]. У Національному парку Туджиїн Нарс, Монголія, оцінка ризику пожеж базується на геоморфології, горючості рослинності та людській діяльності [3]. У Національному парку Дайті Маунтін, Албанія, дані Landsat 8 та спектральні індекси використовувалися для картографування серйозності пожеж та моніторингу відновлення рослинності [38]. У Національному парку Бебжа, Польща, ДЗ та ГІС використовуються для планування протипожежного захисту, включаючи картографування ризику пожеж у нелісових екосистемах, планування під'їзних шляхів, визначення точок водозабору та моделювання розвитку пожеж [23]. Для оцінки динаміки ерозії ґрунту використовується ДЗ разом із моделлю Soil and Water Assessment Tool (SWAT), як у Національному парку Копаонік, Сербія [1].

- **Оцінка впливу рекреаційної діяльності.** ДЗ та ГІС також використовуються для оцінки впливу моторизованої рекреаційної діяльності, наприклад, використання аерочовнів на водно-болотних угіддях національних парків, шляхом картографування стежок та аналізу їх щільності, як показано в Національному парку Еверглейдс [32].

- **Картографування ресурсів.** Інтеграція даних GEDI та Landsat дозволяє картографувати глобальну висоту лісового покриву з роздільною здатністю 30 м, що має вирішальне значення для обліку вуглецю, оцінки деградації лісів та моніторингу відновлення [39].

Незважаючи на значні переваги, застосування ДЗ та ГІС у національних парках стикається з певними викликами. Точність моделей може бути обмежена через залежність від однієї змінної, мультиколінеарність, перешкоди від шуму (що призводять до перенавчання, особливо при невеликих обсягах вибірки) та невідповідність років відбору проб/інверсії[33]. Обмеження даних, такі як просторова роздільна здатність, можуть ускладнювати виявлення невеликих порушень, а розріджені дані про опади можуть перешкоджати кліматичному аналізу[34]. Актуальною проблемою залишається відсутність по-справжньому незалежних даних для перевірки та залежність від помилок навчання, а також необхідність оптимізації фізичних параметрів моделей.

Майбутні дослідження пропонують кілька шляхів для вдосконалення: включення автоматичного виявлення скельних льодовиків, використання аналізу часових рядів для снігового покриву та рослинності, включення радарних/даних. Також пропонується тестування інших методів машинного навчання, таких як SVM та алгоритми глибокого навчання, а також розширення картографування товщини торфу для охоплення цілих торф'яних куполів. Безперервний просторово-часовий моніторинг стану багаторічної мерзлоти також є рекомендованим напрямком. Покращені методи виявлення та прогнозування пожеж також є областями постійного розвитку.

Узагальнюючи, дистанційне зондування та ГІС є критично важливими для комплексного управління національними парками та їхнього збереження, пропонуючи потужні інструменти для моніторингу, аналізу та планування в умовах мінливого навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАТФОРМИ ДЗЗ

Сучасні дослідження Землі з використанням дистанційного зондування (ДЗЗ) виконують ключову роль у моніторингу стану довкілля, вивченні природних ресурсів та прогнозуванні кліматичних змін. Ефективність таких досліджень значною мірою відрізняється від наявності доступу до високоякісних супутникових даних та потужних аналітичних інструментів. останніх десятиліть відбувся значний прогрес у розробці та впровадженні різноманітних платформ ДЗЗ, які надають користувачам широкий спектр можливостей — від збору та обробки супутникових знімків до їхнього комплексного аналізу та візуалізації. Ці платформи стали незамінними інструментами для науковців, дослідників, державних установ та комерційних організацій, що дозволяють отримувати актуальну інформацію про зміни на поверхні Землі з безпрецедентною деталізацією та частотою.

Розвиток супутникових технологій сприяв появі нових поколінь супутників, таких як Sentinel-2, які забезпечують високу роздільну здатність з великою частотою. Водночас, паралельно з розвитком джерел даних, з'являється й інноваційна хмарна платформа для їхнього аналізу, як Google Earth Engine, яка значно спрощує обробку величезних обсягів геопросторової інформації, користуючись потребою в потужному локальному забезпеченні. Ці технології дозволяють використовувати глобальний моніторинг і розвивати складні екологічні та соціально-економічні процеси, які раніше були доступні лише обмеженому колу фахівців.

2.1. РІЗНОВИД СИСТЕМ ДЗЗ

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) або аерокосмічна зйомка представляє собою багатогранну систему, яку можна структурувати за численними характеристиками. Така систематизація враховує як технологічні особливості

обладнання, так і способи збору інформації, що забезпечує можливість оптимального вибору методу для конкретних дослідницьких завдань.

Ключові критерії систематизації

Систематизація ДЗЗ базується на наступних основних показниках:

- Деталізація та територіальний охват: характеризує рівень подробиць та розміри досліджуваної території
- Формат зберігання інформації: розмежовує аналогові (фотографічні) та електронні (цифрові) способи фіксації даних.
- Фізичні основи роботи датчиків: обґрунтовується на використанні різноманітних фізичних процесів (фотоефект, теплова реакція тощо)
- Технологія створення зображення: характеризує процеси формування візуальної інформації
- Додаткові функціональні можливості: охоплює спеціалізовані режими роботи, включаючи стереозйомку та складні геометричні конфігурації.
- Характеристики траєкторії руху: додаткові параметри висоти та шлях переміщення знімальної платформи

Типологія за видами носіїв. Системи ДЗЗ пропонують широкий спектр платформ для встановлення зйомного статкування:

Повітряні платформи охоплюють різноманітні літальні засоби: традиційні літаки та вертольоти, планери та мотодельтаплани, автономні безпілотні системи, а також аеростатичні апарати (дирижаблі та повітряні кулі). Характерною особливістю цих носіїв є невелика висота польоту, що забезпечує високу деталізацію отриманих матеріалів.

Космічні платформи включають орбітальні супутники Землі та інших небесних тіл, космічні станції та апарати для дослідження міжпланетного простору. Їхньою перевагою є можливість охоплення у всій планеті та систематичного спостереження за великими регіонами.

Наземні та водні платформи призначені для детального вивчення локальних об'єктів та збору даних лише з поверхні суходолу або водних басейнів.

Класифікація за технологіями зйомки. Залежно від застосовуваних технічних рішень розрізняють такі методи:

Класична фотозйомка базується на фіксації зображення поверхні в спектрі видимого світла та інфрачервоному діапазоні. Цей підхід залишається одним інструментом для картографічних робіт.

Телевізійне сканування передбачає формування зображення через технологію електронно-променевої трансляції інформації на приймальні станції. На вибір із традиційної фотографії зображення проектується на електронний приймач (відікон). Ця технологія працює переважно у видимому та ближньому інфрачервоному спектрах, але через обмежену роздільну здатність є головним чином для загального огляду території, зокрема при оцінці катастрофічних явищ.

Скануюча зйомка реалізується через оптичні або мультиспектральні пристрої, які реєструють відбиток випромінювання та створюють зображення з окремих точок, які відображають інтенсивність світлового потоку від відповідної ділянки поверхні.

Радіолокаційне зондування є активним методом, що обґрунтовується на випромінюванні радіосигналу та аналізі його відгуку. звичайно реалізується через систему бокового огляду. Основними перевагами є незалежність від освітлення та мінімальний вплив атмосферних умов, що робить його ефективним для топографічних та геологічних досліджень.

Акустичне зондування використовує звукові коливання для дослідження підводних структур та донного рельєфу.

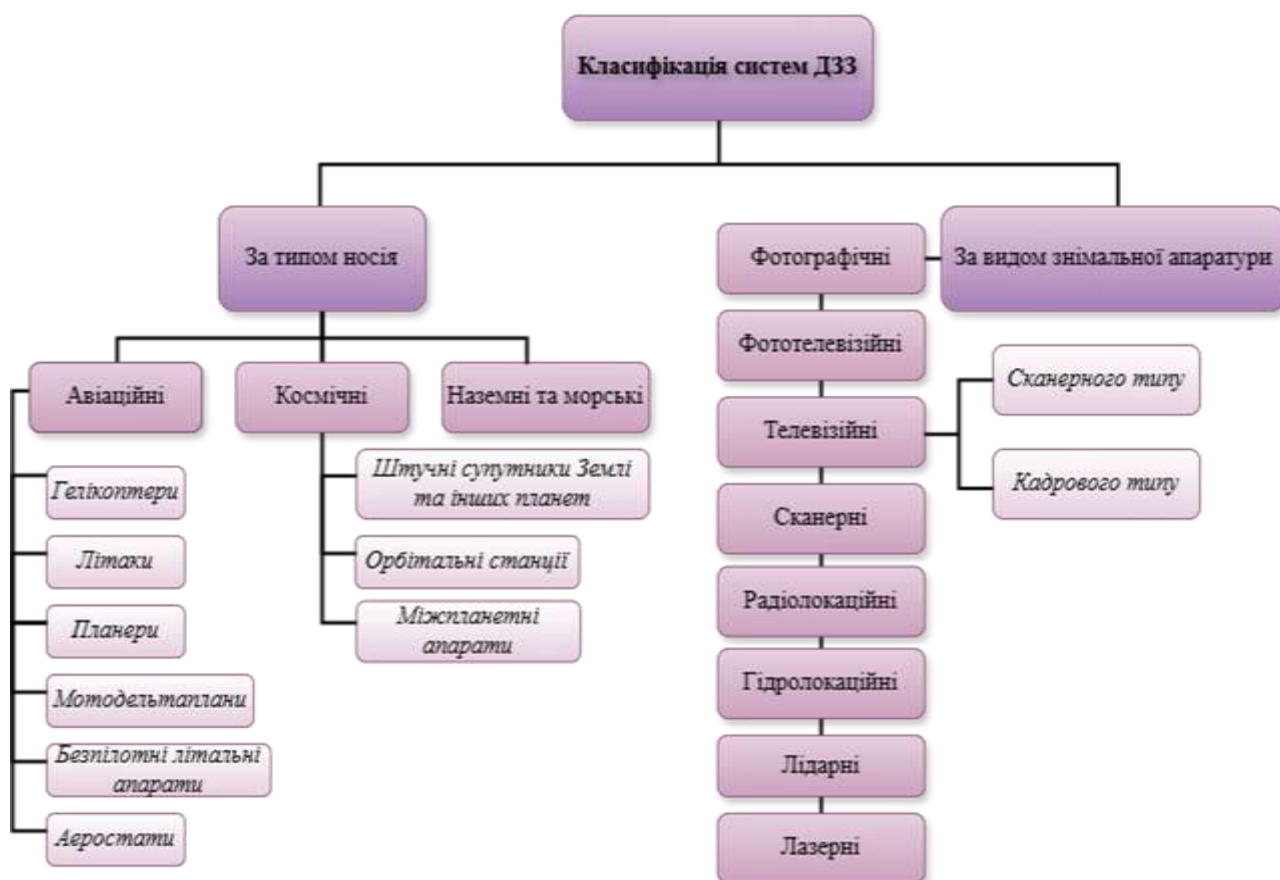
Лазерне та лідарне сканування представляє собою активну технологію, яка базується на постійній реєстрації відбитка одночастотного лазерного променя. Лідарні системи встановлюються на низьколітніх носіях та застосовуються для аналізу атмосферних процесів, визначення концентрації різних речовин у повітрі.

Теплове сканування створює в інфрачервоному спектрі та реєструє теплове випромінювання об'єктів. Застосовується для виявлення водних об'єктів, дослідження геологічних утворень, моніторингу льодового покриву, вулканічної

діяльності, температурних аномалій у водному середовищі та підводного рельєфу.

Спектриметричний аналіз включає вимірювання відбивних характеристик поверхні у мікрохвильовому, видимому та ближньому інфрачервоному областях. Виділення робочих спектральних зон забезпечується призматичними системами, дифракційними елементами та інтерференційними фільтрами. Спектрорадіометри характеризуються широким робочим простором, високою чутливістю, можливістю роботи у вузьких спектральних інтервалах та сумісністю з комп'ютерними системами.

Особливо виділяється **аероспектриметричний метод**, який забезпечує реєстрацію спектральних характеристик яскравості досліджуваних поверхонь за допомогою спектрографічного обладнання в процесі переміщення літального апарату.



2.2. АНАЛІЗ ЗМІН ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАНИХ ДЗЗ

Початок ери супутникового моніторингу. Започаткування супутникового дистанційного зондування почалося з виведення на орбіту Landsat-1 у 1972 році - першого космічного апарату, призначеного для моніторингу земної поверхні. Відтоді дослідження територіального використання та характеристики земельної поверхні здійснюються в різних масштабах для задоволення потреб широкого кола споживачів.

Одним із ранніх національних практичних розробок стало картографування деградованих земель в Індії, діючим агентством дистанційного зондування (NRSA) протягом 1980-1982 років. Використовуючи інформацію з багатоспектрального сканера Landsat та працюючи в масштабі 1:1 000 000, дослідники з'ясували, що приблизно 16,2% території країни характеризується як занедбані землі. Подальші наукові роботи підтвердили ефективність тематичного картографа Landsat для широкомасштабного, загального аналізу великих географічних регіонів. Така технологія суттєво скоротила необхідність у загальних та часозатратних польових обстеженнях для підтвердження отриманих даних.

Американський досвід використання супутникових технологій. На території Сполучених Штатів даних Landsat TM знайшлося широке практичне застосування. таким чином, Комісія з планування ресурсів охорони здоров'я штату Меріленд використала ці матеріали для формування комплексного набору даних про земну поверхню, які були включені до географічної інформаційної бази штату Меріленд (MAGI).

У 1985 році в рамках дослідницької ініціативи Геологічна служба США (USGS) створила карти земної поверхні Аляски масштабом 1:250 000, базуючись на даних Landsat MSS. Для створення цих картографічних матеріалів були задіяні всі сім спектральних каналів TM, що дозволило виділити 21 категорію земного покриття.

Департамент природних ресурсів штату Джорджія в 1992 році завершив повне картографування штату території, використовуючи дані тематичного картографа Landsat для визначення та характеристики водно-болотних екосистем та інших типів земної поверхні. Аналогічний підхід розроблена Комісія з охорони земельних ресурсів Południowej Karolini, яка створила деталізовану карту обґрунтованого покриття з 19 класами, базуючись на багатоспектральних та багаточасових даних ТМ.

Міжнародний досвід застосування технологій. В Індонезії для вивчення структури землекористування та земного покриву було здійснено інтеграцію даних MSS Landsat з наявними картографічними матеріалами землекористування. Такий підхід дозволяє обчислити індекс трансформацій методами дистанційного зондування, порівнюючи супутникові знімки землекористування та земельного покриву 1972 і 1984 років з картами землекористування 1990 року.

Подібне дослідження, присвячене аналізу змін у землекористуванні та обґрунтованому пересипі в басейні річок Сокото-Ріма на північному заході Нігерії, застосувало технології дистанційного зондування та ГІС для вивчення трансформацій навколо двох водосховищ (Сокото і Гуронь) впродовж 1962-1986 років. Результати показали зміни в категоріях землекористування та земельного покриву, проте населені пункти залишилися домінуючою категорією.

Національна програма картографування міських територій Індії. Національне агентство дистанційного зондування Індії (NRSA) в рамках Національної міської інформаційної системи (NUIS) реалізувало масштабний проект із використанням комбінованих супутникових даних Cartosat-1, Resourcesat-1 та LISS-VI+PAN. Методом було створено національну карту міського землекористування в масштабі 1:10 000, що охопила 564 міста та містечка.

До об'єктів картографування увійшли штати столиці та союзних територій, 23 міста-мільйонники, населені пункти Національного столичного регіону

(NCR), а також по одному місту кожної категорії (від I до VI класу) з кожного штату. Для цього проекту розроблені спеціальні стандарти класифікації міського землекористування.

Структура системи класифікації. Розроблений стандарт класифікації мав багаторівневу структуру, де деталізація класів збільшилася від першого до п'ятого рівня. Система також включала окремі категорії земельного покриття до другого рівня, призначені для охоплення сільських територій у межах адміністративних кордонів міст.

Перший рівень містив основні категорії: забудовані території, сільськогосподарські угіддя, лісові масиви, пасовища та пустки, водно-болотні угіддя, водні об'єкти та інші території. На другому рівні забудовані території розділялися на міські та сільські. Інші категорії – сільське господарство, ліси, пасовища/пустки, водно-болотне угіддя, водні об'єкти та інші – були поділені відповідно до 3, 4, 5, 3, 7 та 3 підкатегорій.

Третій рівень деталізував забудовані території на житлові, промислові, змішані, рекреаційні, громадські та напівгромадські, комунікаційні, комунальні та інфраструктурні, комерційні, транспортні, рекультивовані/незайняті землі, а також зони рослинності. На четвертому рівні житлової території міських забудованих зон класифікувалися за щільністю забудови: високої, середньої та низької щільності. Промислові, рекреаційні, громадські та напівгромадські території, комунікаційні та комунальні об'єкти, комерційні, транспортні та рекультивовані землі були розподілені відповідно на 6, 10, 15, 4, 6, 8, 9 та 1 класи.

В актуальному дослідженні для картографування землекористування та земного покриття міста Срінагар (Індія) було застосовано описані вище стандарти класифікації землекористування, розроблені NRSA.

2.3. KA SENTINEL 2

Космічна програма Sentinel-2 стане центральним компонентом європейської системи, яка спостерігається за Землею "Коперник", створеної та впровадженої Європейським космічним агентством (ESA) [100]. Головна мета

програма — проведення дистанційного моніторингу земної поверхні для забезпечення роботи геопросторових служб. Ці служби покривають критичні сфери діяльності: спостереження за лісовими масивами, фіксацію трансформацій земного покриву та контроль впливу стихійних лихів, що забезпечує оперативне реагування на планетарні екологічні проблеми. Програма включає два однакові супутники — Sentinel-2A і Sentinel-2B, які працюють скоординовано для досягнення високої швидкості зйомки.

Основні технічні та функціональні параметри Sentinel-2

1. Мультиспектральна інформація. Космічні апарати збирають дані в 13 спектральних каналах, які охоплюють видимий розділ, ближню інфрачервону (NIR) та коротко-хвильову інфрачервону (SWIR) області спектра. Це забезпечує загальні можливості для дослідження різних властивостей земної поверхні та атмосферних процесів.

2. Систематичне всесвітнє охоплення. Система Sentinel-2 забезпечує постійне покриття всієї континентальної частини планети, в межах від 56° південної до 84° північної широти, включаючи прибережні зони та повну акваторію Середземномор'я. Таке всеохоплююче покриття дає можливість отримати комплексний контроль кліматичних поясів та природних систем.

Таблиця 1.

Класи набору даних Dynamic World V1

Ідентифікатор класу	Тип земельного покриву	Опис	Приклади
0	Вода	На зображенні присутня вода. Майже не містить розрідженої рослинності, скельних відслонень і	Річки Ставки та озера Океан Затоплені солончаки

		забудованих об'єктів, таких як доки. Не включає землі, які можуть або раніше були покриті водою.	
1	Дерева	Будь-яке значне скупчення густої рослинності, як правило, із замкнутим або щільним пологом. Вищий і темніший, ніж навколишня рослинність (якщо оточений іншою рослинністю).	Лісиста рослинність Густі зелені чагарники Скупчення густої високої рослинності в межах саван Плантації, такі як яблука, банани, цитрусові та каучук Болото (густа/висока рослинність без явної води) Будь-який мікс з перерахованого вище Будь-які обпалені ділянки перераховані вище
2	Трава	Відкриті ділянки вкриті однорідними травами з невеликою кількістю рослинності або без неї. Інші однорідні ділянки трав'янистої рослинності (листки лопатевого типу), які виглядають	Природні луки та поля з рідкісним або відсутнім деревним покривом Відкрита савана практично без деревного покриву

		інакше, ніж дерева та чагарники. Дикорослі злаки і трави без явного людського креслення (тобто не структуроване поле).	Парки, поля для гольфу, доглянуті людські газони, включаючи великі поля в міських умовах, такі як футбол і бейсбол. Прорізи дерев для ліній електропередач, газу і т.д. Пасовища Очерет і болота без явного затоплення
3	Затоплена рослинність	Ділянки будь-якого типу рослинності з явним переміщенням води. Сезонно затоплювані ділянки, які є сумішшю трави/кущів/дерев/голої землі.	Затоплені мангрові зарості Поява рослинності
4	Сільсько-господарські угіддя	Посаджені людиною зернові, трави та зернові культури.	Кукурудза, пшениця, соя та ін. Сінокос і парові ділянки структурованих земель
5	Чагарники	Суміш невеликих скупчень рослин або окремих рослин, розсіяних по ландшафту,	Помірний або розріджений покрив чагарників, кущів і пучків трави

		який показує відкритий ґрунт і скелі. Зарослі чагарниками галявини в густих лісах, які явно не вищі за дерева. Виглядають більш сірими/коричневими через менш щільний листовий покрив.	Савани з дуже рідкісними травами, деревами або іншими рослинами
6	Забудова	Скупчення споруд, створених людиною, або окремі дуже великі споруди, створені людиною. Містить промислову, комерційну та приватну забудову та пов'язані з ними автостоянки. Суміш житлових будинків, вулиць, газонів, дерев, ізольованих житлових споруд або будівель, оточених рослинним покривом землі. Основні автомобільні та залізничні мережі за межами переважаючих житлових районів.	Скупчення будинків може включати невеликі галявини або невеликі ділянки дерев Густонаселені села, містечко та міський пейзаж (будівлі та дороги разом) Скупчення доріг з твердим покриттям і великих автомагістралей Асфальт та інші рукотворні поверхні

		Великі однорідні непроникні поверхні, включаючи паркувальні споруди, великі офісні будівлі та житлові будинки, що містять скупчення тупиків.	
7	Відкритий ґрунт	Ділянки гірських порід або ґрунтів, що містять дуже рідкісну рослинність або її відсутність. Великі площі піску та пустелі без рослинності або з невеликою кількістю рослинності. Великі індивідуальні або щільні мережі ґрунтових доріг.	Оголена скеля Оголений ґрунт Пустеля і піщані дюни Сухі солончаки та солончаки Висохле дно озер Міни Великі порожні ділянки в міських районах
8	Сніг і лід	Великі однорідні ділянки з товстим снігом або льодом, як правило, тільки в гірських районах або в найвищих широтах. Великі однорідні площі снігопадів.	Льодовики Постійний сніговий покрив

3. Висока циклічність спостережень. Супутники повертаються над ідентичними територіями через кожні п'ять діб під однаковими кутами спостереження. Це гарантує системний моніторинг. У полярних регіонах

виконується накладання траєкторій польоту, що дозволяє фіксувати окремі ділянки двічі, які частіше впродовж п'ятиденного циклу, проте під різними кутами огляду.

4. Варіативна простір деталізації. Інформація надається з деталізацією 10 м, 20 м і 60 м, що забезпечує отримання знімків різного ступеня подробиці відповідно до вимог користувачів [4].

5. Розширене поле огляду. Кожен космічний апарат має поле огляду завширшки 290 км, що гарантує ефективне охоплення великої площі за одну орбіту.

6. Вільний доступ. Інформація програми Sentinel-2 є безкоштовною та публічно доступною, що стимулює її активне застосування в академічних дослідженнях та прикладних проектах [22, 6].

Технічне виконання та орбітальні характеристики. Для забезпечення неперервної роботи та доступності програм два ідентичні супутники Sentinel-2 (Sentinel-2A і Sentinel-2B) працюють у координованому режимі. Їхня траєкторія є геліосинхронною, проходить на висоті 786 км і передбачає 14,3 оберти за добу. Вихідний вузол орбіти припадає на 10:30 ранку за місцевим часом. Цей конкретний час обрано цілеспрямовано: він зменшує вплив хмарного покриву та забезпечує належне сонячне освітлення, що істотно полегшує об'єднання даних Sentinel-2 з архівними зображеннями для формування тривалих наслідків спостережень [7, 11, 14, 47].

Кожен супутник Sentinel-2 оснащений сучасним мультиспектральним інструментом (MSI). Цей пристрій містить 13 спектральних смуг, які покривають видимий, ближній інфрачервоний (VNIR) та коротко-хвильовий інфрачервоний (SWIR) спектральні області (докладні характеристики наведені в табл. 2.2). Детальна інформація про спектральні смуги Sentinel-2 міститься в додатку 1.

Камера MSI побудована за принципом лінійного спектрального сканера і характеризується високою роздільністю та іншими характеристиками, необхідними для прецизійних вимірювань. Апертура камери має діаметр 150 мм. Конструкція приладу містить тридзеркальний анастигмат з фокусом відстанню

близько 600 мм, а кути огляду складають приблизно 21 градус на 3,5 градуси. Дзеркало виготовлено з карбіду кремнію — матеріал, який також використовується в програмі Gaia, що підтверджує його високу стабільність та ефективність.

Таблиця 2.

Характеристика смуг знімальної системи КА Sentinel - 2

Смуги Sentinel-2	Центральна довжина хвилі (μм)	Роздільна здатність (м)	Ширина смуги (нм)
Смуга 1 — Прибережні аерозолі	0.443	60	20
Смуга 2 — Синій	0.490	10	65
Смуга 3 — Зелений	0.560	10	35
Смуга 4 — Червоний	0.665	10	30
Смуга 5 — Вегетаційний червоний край	0.705	20	15
Смуга 6 — Вегетаційний червоний край	0.740	20	15
Смуга 7 — Вегетаційний червоний край	0.783	20	20
Смуга 8 — NIR	0.842	10	115
Смуга 8A — Вузький NIR	0.865	20	20
Смуга 9 — Водяна пара	0.945	60	20
Смуга 10 — SWIR — Cirrus	1.375	60	20
Смуга 11 — SWIR	1.610	20	90
Смуга 12 — SWIR	2.190	20	180

2.4. ВСЕСВІТНІ ДАНІ ПРО ТИПИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Коперник CORINE Land Cover: Європейська система уніфікації геопросторових даних

Європейська ініціатива CORINE Land Cover, яка функціонує під егідою програми Copernicus, розпочала свою діяльність у 1985 році. Основною програмою призначення стала стандартизація збору інформації про ресурси землі в Європі для підтримки екологічної політики. Керівництво проектом ведення Європейського агентства навколишнього середовища, а виконання вкладено на національні робочі групи.

Географічний охоп програми суттєво розширився з часом і нині включає 39 європейських держав (33 країни ЄЗЗ плюс 6 країн-партнерів), які охоплюють територію понад 5,8 млн квадратних кілометрів.

Набір даних CLC2018 представляє поточний стан програми, що відображає землекористування станом на 2018 рік. Перша інвентаризація була проведена за 1990 рік, з подальшими оновленнями у 2000 році та регулярними шестирічними циклами оновлення. Картографування обґрунтовується на супутникових знімках з додатковою наземною верифікацією.

Технічні стандарти програми залишаються сталими: 44 категорії класифікації, мінімальна картографічна одиниця 25 га, найменша ширина об'єктів 100 м. Така стабільність параметрів забезпечує порівняння результатів різних періодів спостереження.

Хронологічні межі кожного набору даних:

1990: 1989-1998 роки

2000: 1999-2001 роки

2006: 2005-2007 роки

2012: 2011-2012 роки

2018: 2017-2018 роки

GlobCover: Піонерський проект глобального картографування

Проект GlobCover v2.2 став важливою віхою для Європейського космічного агентства та його співробітників. Ініціатива, реалізована в межах програми підтримки даних користувачів, завершилася у жовтні 2008 року створенням найдетальнішої на той час глобальної карти земної поверхні з роздільністю 300 м.

Карта містила 22 тематичні категорії, узгоджені з міжнародною системою класифікації LCCS. Проект привернув увагу близько 4800 користувачів із різних наукових та прикладних галузей, що засвідчило високий запит на глобальну інформацію про землю.

Досвід проекту показав критичну важливість регулярного оновлення даних для розуміння динаміки земних процесів. ESA наголосила на потребі розробки автоматизованих систем обробки великих масивів даних з мінімальним людським втручанням, що стало підґрунтям для продовження проекту з планування створення карт на 2009 рік.

WorldCover: Новітні технології високоточного картографування

Зростаючі потреби в поточній та актуальній інформації про земну поверхню спонукали ESA до запуску проекту WorldCover. У цій ініціативі регіональні карти базувалися або на даних малої роздільності (понад 100 м), або використовувалися на оптичних супутникових знімках високої роздільності, тоді як тільки розвивалося використання радарних даних Sentinel-1 для великомасштабного картографування.

Натхнення конференції WorldCover 2017 року ESA реалізувало амбітний проект, кульмінацією якого став випуск у жовтні 2021 року загальнодоступного глобального продукту з роздільністю 10 м на 2020 рік. Продукт за даними Sentinel-1 та Sentinel-2 включає 11 класів покриття та демонструє загальну точність близько 75%.

Позитивна реакція користувачів спонукала ESA на створення покращеної версії за 2021 рік, яка була представлена 28 жовтня 2022 року з підвищеною точністю 76,7%.

Паралельний розвиток хмарних технологій та алгоритмів машинного навчання в програмних середовищах з відкритим кодом (як-от TensorFlow), а також розширення доступу до супутникових архівів через Google Earth Engine створили передумови для розробки наборів даних LULC з неперевершеною просторовою та часовою деталізацією.

Dynamic World. Революція в оперативному моніторингу

Dynamic World представляє інноваційний підхід до створення набору даних землекористування та покриття з можливостями майже реального часу. Система базується на методах глибокого навчання, де модель навчалася на комбінованих розмічених зображеннях та неконтрольованих алгоритмах.

Модель для швидкого створення ймовірних класів землекористування для нових та архівних знімків Sentinel-2. Обчислення забезпечується на хмарних платформах Earth Engine та Google Cloud AI Platform.

Продукти Dynamic World доступні як постійно оновлена колекція в Earth Engine, що дозволяє користувачам працювати як з імовірними класами, так і з багаточасовими результатами для відстеження динаміки LULC в режимі, близькому до реального часу, і створення спеціалізованих продуктів відповідно до конкретних потреб.

2.5. GOOGLE EARTH ENGINE

Google Earth Engine (GEE) представляє собою інноваційну хмарну платформу, призначену для масштабного аналізу геопросторових даних на планетарному рівні. Вона залучає величезні обчислювальні ресурси компанії Google для вирішення широкого спектру глобальних викликів, таких як моніторинг зникнення лісів, наслідків посух, впливу стихійних лих, розповсюдження епідемій, забезпечення продовольчої безпеки, ефективного управління водними ресурсами, вивчення змін клімату та захисту навколишнього середовища.

Платформа забезпечує доступ до величезного архіву супутникових даних, що охоплює понад чотири десятиліття спостережень за Землею. Цей архів

містить петабайти геопростору інформації з різних держав, зокрема Lands Sentinel, MODIS, AVHRR та багато інших. Завдяки інтеграції з хмарною інфраструктурою Google користувачі можуть обробляти ці масивні набори даних без необхідності завантаження на локальні комп'ютери, що кардинально змінює підхід до роботи з геопросторовою інформацією[37].

Важливо чітко розрізнати Google Earth (який часто називають Google Планета Земля) та Google Earth Engine. Перший є інтуїтивно зрозумілим інструментом для візуалізації супутникових зображень, що дозволяє користувачам без спеціальних технічних навичок досліджувати світ через інтерактивний віртуальний глобус. Це скоріше інструмент для освіти та розваг, який дає можливість «подорожувати» світом у високій роздільній здатності. Натомість Google Earth Engine є потужним інструментом для аналізу даних, що вимагає від користувачів певних знань у галузі геоінформатики, дистанційного зондування та навичок програмування для написання скриптів на мові JavaScript або Python.

Архітектура GEE базується на розподілених обчисленнях, що дозволяє одночасно обробляти величезні обсяги геопростірних даних на тисячах серверів. Це забезпечує можливість виконання складних аналітичних операцій, які раніше вимагали б тижнів або місяців обчислень на звичайних комп'ютерах, за лічені хвилини або роки. Платформа використовує оптимізовані алгоритми для роботи з растровими та векторними даними, автоматично керує розподілом завантажень та масштабуванням ресурсів залежно від складності завдань.

Унікальність GEE створюється в її здатності розширювати можливості не тільки вчених, що спеціалізуються на дистанційному зондуванні Землі, а й більшої аудиторії, яка раніше не мала доступу до технічних засобів для обробки великих обсягів даних. До появи GEE, аналіз значних масивів геоданих був прерогативою вузькоспеціалізованих експертів, які мали доступ до високопродуктивних обчислювальних ресурсів та дорогого програмного забезпечення. Студенти, науковці з країни, що розвиваються, представники неурядових організацій та навіть цікаві аматори можуть проводити складні

геопросторові аналізи, використовуючи лише веб-браузер та базові навички програмування.

Платформа також пропонує готові алгоритми для найрозширеніших завдань аналізу геопросторових даних: класифікації земельного покриття, виявлення змін, обчислення індексів рослинності, моделювання гідрологічних процесів, аналізу часових рядів та багато іншого. Це значно спрощує роботу користувачів, дозволяючи їм зосередитися на інтерпретації результатів, а не на технічних деталях реалізації алгоритмів.

Історія розвитку Google Earth Engine почалася в 2009 році, коли компанія Google представила прототип нової технології на Міжнародній конференції ООН зі зміною клімату в Копенгагені [19]. Цей прототип продемонстрував революційні можливості глобального онлайн-моніторингу змін у лісовому покриві Землі та на початковому етапі був доступний лише для тестування обмеженого кола партнерів, включаючи провідні наукові інституції та природоохоронні організації.

Початкова демонстрація в Копенгагені зробила сильніші враження від учасників конференції, потім вперше в історії стало можливим у реальному часі спостерігати глобальні зміни лісового покриття з високою деталізацією. Це було особливо актуально в контексті обговорення механізмів REDD+ (Скорочення викидів від знезліснення та деградації лісів), для яких необхідний точний та оперативний моніторинг стану лісових ресурсів.

У 2010 році на наступній конференції ООН зі змінами клімату в Канкуні проект Earth Engine був офіційно запущений [29] як частина Google Lab – інкубатора для розробки нових сервісів Google. У той час доступний набір даних обмежувався колекцією зображень із програми дистанційного зондування Landsat [48], яка забезпечувала глобальне покриття Землі з 1972 року. Однак навіть цього обмеженого набору даних було достатньо для отримання вражаючих результатів у глобальній оцінці змін лісів, що значно підвищило інтерес наукової спільноти та урядових організацій до подальшого розвитку платформи.

Широку увагу громадськості Earth Engine привернула в 2013 році, коли засоби масової інформації почали активно публікувати статті, які містили анімовані візуалізації довгострокових змін поверхні Землі [17]. Ці захоплюючі "часові ляпси" (timelapse) зображення, що демонстрували знищення лісів Амазонки, танення льодовиків Аляски, розростання мегаполісів, висихання Арального моря, розвиток нафтових родовищ у Канаді та інші драматичні та видимо вражаючі зміни, створили потужний вплив на громадськість та підвищили усвідомлення глобальних екологічних проблем.

Успіх цих візуалізацій призвів до усвідомлення компанією Google освітнього та просвітницького потенціалу платформи. У результаті було прийнято рішення про створення окремого проекту, призначеного спеціально для широкої аудиторії.

У 2016 році компанія Google запустила проект Google Earth Timelapse [36], який представляє собою інтерактивну галерею найбільш вражаючих змін, які відбулися на поверхні Землі протягом останніх десятиліть. Цей проект активно висвітлювався в засобах масової інформації по всьому світу, що також значно підвищило інтерес до можливостей дистанційного зондування та платформи Earth Engine зокрема. Проект дозволяє користувачам без технічних знань досліджувати зміни в конкретних регіонах, просто вводячи назву місця в пошуковий рядок.

Саме з 2016 року, як відзначають дослідники тенденції використання платформи, стабільне зростання пошукових запитів "Google Earth Engine" в Google Trends, що демонструє збільшення популярності та розширення платформи серед різних категорій користувачів[37]. Цей період також збігається з розширенням каталогу даних та покращенням функціональності платформи.

У цей період Google значно розширила каталог доступних даних, додавши зображення з європейської програми Copernicus (супутники Sentinel), дані з американських та японських метеорологічних супутників, цифрові моделі рельєфу, кліматичні дані, демографічну інформацію та багато інших типів

геопросторних даних. Це перетворило GEE з інструменту для моніторингу лісів на універсальну платформу для широкого спектру геопросторових досліджень.

Хоча інтерес широкої громадськості до Earth Engine в контексті екологічних проблем може бути непостійним і залежати від медійних циклів, наукове співтовариство швидко й безповоротно прийняло цю платформу як стандартний інструмент для геопросторових досліджень [46]. У результаті кількість публікацій у рецензованих наукових журналах та матеріалах конференцій, які базуються на використанні GEE, почала неухильно зростати, демонструючи експоненційну динаміку.

Платформа знайшла застосування в найрізноманітніших галузевих дослідженнях: від моніторингу біорізноманітності та оцінки впливу змін клімату до урбаністичних досліджень, управління водними ресурсами, сільського господарства, лісівництва, геології та навіть археології. Особливо активне використання GEE в країнах, що розвиваються, де доступ до дорогого програмного забезпечення та потужних обчислювальних ресурсів традиційно обмежено[18].

У 2017 році авторитетний журнал «Remote Sensing of Environment» опублікував ключову статтю розробників платформи під назвою «Google Earth Engine: геопросторовий аналіз планетарного масштабу для всіх» [42]. Ця публікація дає найбільш повний та детальний опис архітектури, можливостей та принципів роботи систем на сьогоднішній день, підтверджуючи її фундаментальне значення для розвитку глобального аналізу геопросторових даних та демократизації доступу до передових інструментів дистанційного зондування Землі.

Сьогодні Google Earth Engine активно продовжує розвиватися, регулярно додаючи нові набори даних, покращуючи алгоритми обробки та розширюючи функціональність. Платформа стала невід'ємною частиною сучасної геоінформатики та встановила новий стандарт для хмарних геопросторових обчислень, надихаючи інші компанії та організації на створення подібних рішень.

РОЗДІЛ 3. ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ТА ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ ШАЦЬКОГО НПП

3.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШАЦЬКОГО НПП

Шацький національний природний парк був заснований у 1983 році за рішенням Ради Міністрів УРСР і спочатку займав площу в 32 515 гектарів. З часом, завдяки різним розпорядженням та указам, територія парку збільшилася до 48 977 гектарів, з яких 20 856 гектарів є у постійному користуванні парку.

Парк був створений на місці колишніх державних ландшафтних заказників, таких як озера Кримне, Пісочне, Пулемецьке, Світязь (відомі як Шацькі озера), а також зоологічної пам'ятки природи озера Климівське та гідрологічних пам'яток природи боліт Луки, Мелеване та Піддовге-Підкругле, які були визначені як пам'ятки природи у 1974 та 1975 роках. [50]

На сьогоднішній день до складу парку входять також ботанічний заказник загальнодержавного значення Втенський, лісові заказники місцевого значення Ростанський та Ялинник, іхтіологічний заказник Соминець, а також чотири ботанічні пам'ятки природи місцевого значення.

Територія парку поділена за функціональним призначенням на чотири зони: заповідну зону (5145 га), зону регульованої рекреації (12971 га), зону стаціонарної рекреації (978 га) та господарську зону (29883 га).

Метою створення парку було збереження та відновлення унікальних природних комплексів Шацького поозер'я, захист водно-болотних угідь міжнародного значення та сприяння міжнародному співробітництву у сфері охорони біорізноманіття та ландшафтів [49].

У парку працює 126 співробітників, з яких 7 осіб зайняті у науковому відділі, а 65 осіб працюють у службі охорони.

Шацький національний природний парк розкинувся на західній межі Полісся, одного з наймасштабніших болотно-озерно-лісових комплексів Європи, який простягається через північ України, південь Білорусі та частково Польщу.

Відповідно до фізико-географічного районування, парк належить до Волинського Полісся, що є частиною Поліської провінції у Зоні мішаних лісів на південному заході Східно-Європейської рівнини. Ця територія включає Головний європейський вододіл, який відокремлює водозбірні басейни річок Прип'ять та Західний Буг.

Екосистеми парку характерні для Західного Полісся і включають озерні, лісові, болотні та лучні біотопи. Домінуючим типом лісів є чорницево-зеленомошні соснові ліси, а луки та водні екосистеми зазвичай знаходяться уздовж річок та озер.

Особливістю парку є велика кількість озер, які відрізняються своїми характеристиками та походженням, формуючи одну з найбільших озерних систем Європи. Між озерами розташовані евтрофні та мезотрофні осокові болота, а також рідкісні для регіону оліготрофні болота.

Рельєф Шацького національного природного парку плоский та рівнинний [40], з легким нахилом на північ і абсолютними висотами від 160 до 180 метрів над рівнем моря. Територія парку лежить у межах периферії Дніпровського льодовика, тому тут можна зустріти як флювіогляціальні, так і моренні відклади. На південно-східній частині парку притаманні водно-льодовикові форми рельєфу, зокрема флювіогляціальні піщані ози, які також зустрічаються біля села Світязь. Височини чергуються з заболоченими низинами, а найвиразнішою геоморфологічною рисою парку є розповсюдження озерних котловин.

Рекреаційний потенціал Шацького національного природного парку є високим завдяки його мальовничим природним ландшафтам, теплому та м'якому клімату. Це створює ідеальні умови для організації відпочинку, туризму та санаторного лікування.

Основною атракцією є озеро Світязь, на березі якого розташований оновлений центральний пляж з сучасною інфраструктурою, включаючи кафе,

ресторани та дитячі зони для відпочинку. Також у парку функціонують бази відпочинку, які пропонують затишні дерев'яні будиночки з усіма зручностями, розташовані неподалік від озера.

Для любителів кемпінгу є обладнані наметові містечка з необхідними зручностями, такими як туалети, душові, альтанки, смітники та облаштовані пляжі¹. Ці місця для відпочинку в наметах забезпечують відвідувачам можливість насолоджуватися природою та спокоєм парку.

Загалом, Шацький НПП пропонує різноманітні можливості для активного та пасивного відпочинку, відповідаючи потребам різних категорій відвідувачів.

3.2. ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗМІНИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРИВУ ТА ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Для ефективного моніторингу зміни земельного покриття та землекористування на території Шацького НПП в рамках даного дослідження було обрано інтегроване середовище Google Earth Engine (GEE), що надає потужні інструменти для обробки супутникових даних. Основною колекцією даних, використаною для аналізу, стала Dynamic World V1. Ця колекція дозволяє працювати з обробленими зображеннями, отриманими з супутників Sentinel-2 L1C, починаючи з 27 червня 2015 року і до теперішнього часу. Завдяки високій частоті повторного відвідування Sentinel-2 (від 2 до 5 днів залежно від географічної широти), забезпечується достатня годинна роздільна здатність для динамічних змін.

Важливим аспектом обробки даних стало відфільтрування зображення з високим рівнем хмарності. Для цього використовували лише ті зображення Sentinel-2 L1C, де значення хмарності не перевищувало 35%. Для максимального підвищення якості даних та усунення впливу атмосферних перешкод, таких як хмари та тіні від хмар, застосовуються методи просунення, інтегровані в GEE: S2 Cloud Probability, Cloud Displacement Index та Directional Distance Transform. Ці алгоритми можуть ефективно ідентифікувати та маскувати проблемні ділянки, забезпечуючи високу точність класифікації земельного покриття.

Для цілого дослідження визначено часовий проміжок з 2016 по 2024 роки. За період з 2016 року по 2023 рік дані отримувалися щорічно протягом літньо-осіннього сезону – з 1 червня по 30 вересня. Це дозволило охопити найбільш інтенсивну вегетацію та активних антропогенних впливів. Загальна кількість опрацьованих знімків за період 2016–2023 років склала 891, розподілених наступним чином за роками: 2016 – 110 знімків, 2017 – 106, 2018 – 126, 2019 – 122, 2020 – 121, 2021 – 84, 2022 – 117, 2023 – 105. За 2024 рік було оброблено 16 знімків (на момент проведення дослідження).

Межі Шацького НПП були отримані у векторному форматі з сервісу OpenStreetMap та інтегровані в Google Earth Engine як обмежуючий фактор для аналізу. Після імпорту меж парку, для кожного набору зображення було здійснено обрахунок кількості пікселів, що належать кожному з визначених класів земельного покриття. Це дозволило отримати кілька показників розподілу типів землекористування та їх динаміки.

Візуалізація отриманих даних була здійснена за побудовою медіанної карти земельного покриття на території Шацького НПП, яка була розміщена як оверлей на OpenStreetMap (Рис. 1). Це дало можливість наочно представити просторовий розподіл різних класів земельного покриття. На основі аналізу отриманих даних було встановлено відсоток розподілу під кожним класом земельного покриття за даний період дослідження, представлений у таблиці 2. Для кращого розуміння та візуального сприйняття динаміки площ цих змін, дані також були представлені у вигляді гістограми розподілів (рис. 2). Цей комплексний підхід до збору, обробки та візуалізації даних забезпечених основ для глибокого аналізу та виявлення тенденцій зміни земельного покриття та землекористування на території Шацького національного природного парку.

Таблиця 2.

Відсотковий розподіл площ класів за 2016-2023 роки

Клас угідь	Роки							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Відкритий ґрунт	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Забудова	2,75	2,89	3,15	3,03	2,87	3,04	3,18	2,93
С/Г угіддя	1,87	3,34	3,65	3,43	2,24	3,80	4,29	2,48
Заболочені території	0,23	0,40	0,19	0,57	0,29	0,19	0,26	0,17
Трав'яна рослинність	4,71	5,67	2,93	4,67	2,40	2,49	3,72	3,08
Чагарники	2,67	1,57	1,48	3,34	1,14	0,76	1,49	1,10
Ліси	76,08	74,28	76,83	73,42	79,55	78,07	75,29	78,54
Відкриті водойми	11,69	11,85	11,76	11,53	11,50	11,65	11,76	11,69

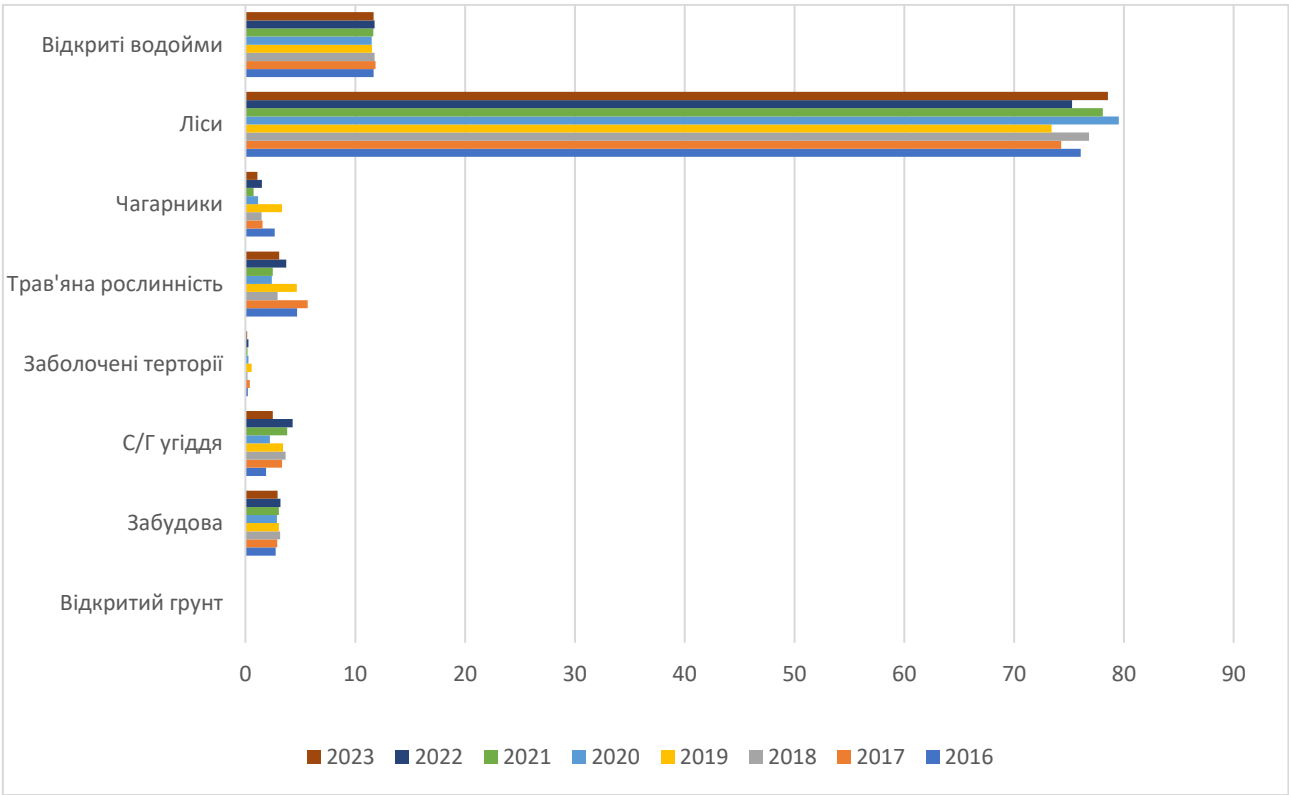


Рис. 2. Гістограма розподілу площ класів за 2016 – 2023 роки.

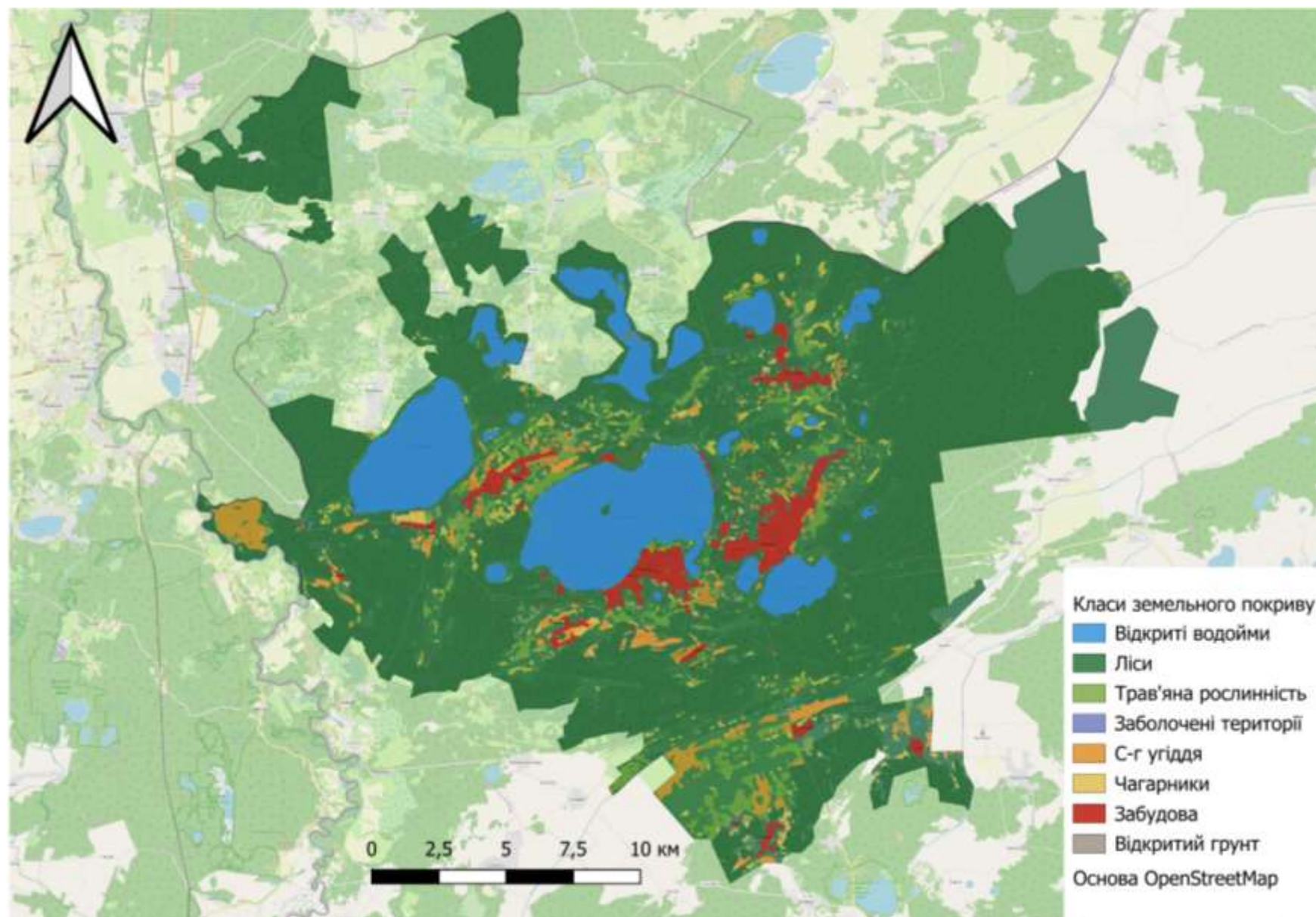


Рис .1. Медіанна мапа за 2016 – 2024 рр. земельного покриття на територію Шацького національного природного парку

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження було сфокусовано на аналізі динаміки змін земельного покриття в межах Шацького національного природного парку (НПП) із застосуванням методів дистанційного зондування Землі. Для досягнення поставленої мети було обрано часовий інтервал з 2016 по 2024 роки. Збір даних за 2016-2023 роки відбувався щорічно в період з 1 червня по 30 вересня. Загалом було опрацьовано значний обсяг супутникових зображень: 891 знімок за період 2016-2023 років, з розподілом по роках: 110 (2016), 106 (2017), 126 (2018), 122 (2019), 121 (2020), 84 (2021), 117 (2022), 105 (2023) та 16 знімків за 2024 рік. Цей комплексний підхід до збору та обробки даних дозволяє сформувати репрезентативну базу для подальшого аналізу.

Ефективність застосування даних дистанційного зондування. Результати роботи підкреслюють значний потенціал використання даних дистанційного зондування у сфері управління природними ресурсами. Ці технології виявляються незамінними інструментами для оперативного моніторингу та ефективного управління природними екосистемами. Застосування сучасних інструментів та аналітичних підходів дозволяє істотно розширити область використання цих даних, відкриваючи нові можливості для фахівців з охорони природи та екологічного менеджменту. Швидкість та об'єктивність отримання інформації є ключовими перевагами, які забезпечують тимчасове реагування на зміни в навколишньому середовищі.

Інноваційний підхід до класифікації земельного покриття. Особливе значення в цій роботі стало використання платформи Google Earth Engine у поєднанні з набором даних Dynamic World V1. Цей інструментарій дозволяє здійснити високоякісну класифікацію землекористування та земельного покриття, а також ефективно встановлювати динаміку їхніх змін на досліджуваній території. Важливою перевагою такого підходу стала можливість проведення аналізу без необхідності формування складної структури класифікації, розробки спеціальних моделей машинного навчання та визначення тестових ділянок. Це суттєво підвищило ефективність та оперативність усього

аналітичного процесу, мінімізуючи витрати часу та ресурсів, що є критичним місцем для великомасштабних досліджень.

Результати аналізу та візуалізація даних. На підставі проведеного аналізу даних було успішно побудовано медіанну карту земельного покриття території Шацького НПП, що відображає усереднений стан течію досліджуваного періоду. Крім того, був визначений відсотковий розподіл площі під кожним класом земельного покриття протягом всього досліджуваного часового інтервалу. Отримані дані були наочно візуалізовані у вигляді гістограми розподілу, що забезпечило чітке та зрозуміле представлення результатів. Ці ваші візуалізації дозволили швидко оцінити пропорції різних типів земельного покриття та створити тенденції.

Аналіз даних показав, що впродовж досліджуваного періоду (2016-2023 роки) на території Шацького НПП не відбулося значних, радикальних змін у розподілі класів земельного покриття. Загалом, можна констатувати відносну стабільність стану земельного покриття та землекористування. Невеликі відхилення та розбіжності, які спостерігаються між роками, можуть бути пояснені незначними неточностями в процесі автоматичної класифікації. Це ефективний про ефективність природоохоронних заходів на території парку та демонструє значних антропогенних чи природних чинників, які могли призвести до суттєвих трансформацій ландшафту.

Отримані дані та проведений аналіз переконливо демонструють важливість та значний потенціал використання дистанційного зондування для моніторингу та ефективного управління земельним покриттям на природно-заповідних територіях, зокрема на прикладі Шацького НПП. Для розширення горизонтів досліджень та охоплення більш широких часових розділів у майбутньому, буде доцільно відзначити створення власних навчальних вибірок. Це дозволяє оптимально застосовувати складніші методи машинного навчання, підвищити точність класифікації та ефективно обробляти великі масиви інформації, отримані з різноманітних космічних апаратів.

Список використаних джерел

1. Ali, S., Rahman, M. M. Exploring the application of remote sensing and GIS in wildlife habitat management in protected areas
2. Ali, S., Rahman, M. M. Remote Sensing for Sustainable Management of National Parks and Protected Areas: Preprint. - Preprints.org, 2023. - DOI: 10.20944/preprints202309.1381.v1. (20)
3. Altangerel, M., Damdinsuren, A., Enkhtuya, J., Erdenebaatar, N. Forest fire risk assessment model using remote sensing and GIS techniques in Tujiin nars national park, Mongolia // Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. - 2021. - Vol. 61, No. 01 (237). – P. 10–19.
4. Basevue LULC | Remote Sensing: URL: <https://www.maxar.com/products/basevue-lulc> (дата звернення: 13.04.24). (15)
5. Blodgett, C., Jakubauskas, M. Remote sensing of coniferous forest structure in Grand Teton National Park // The UW National Parks Service Research Station Annual Reports. - 1995.
6. Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., та ін. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data 2022 9:1. 2022. Vol. 9, No. 1. C. 1–17. (21)
7. Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. E., та ін. Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 1044. 2020. Vol. 12, No. 6. C. 1044. (13)
8. Chami, A., El Haji, M., Benabbou, R., Rais, Z., Taleb, M. ELECTRE MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR CHOOSING MATERIAL CONCERNED BY THE CORROSION PROBLEM IN AUTOMOTIVE INDUSTRY // Journal of Applied Science and Environmental Studies. - 2020. - Vol. 3, No. 3. (2)
9. Chen, Y., Yu, D. Remote sensing and GIS in national parks: an overview of approaches // Applied Computing and Informatics. - 2010. - Vol. 7, No. 2. – P. 65–72. – DOI: 10.1016/j.aci.2010.08.001.

10. Copernicus: Sentinel-2 - eoPortal: URL: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2#copernicus-sentinel-2--the-optical-imaging-mission-for-land-services> (дата звернення: 13.04.24). (22)
11. CORINE Land Cover 2018 (raster 100 m), Europe, 6-yearly - version 2020_20u1, May 2020: URL: <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/records/960998c1-1870-4e82-8051-6485205ebbac?language=all> (дата звернення: 13.04.24). (18)
12. Dantani, A. DETERMINATION OF FOREST HEALTH USING REMOTE SENSING TECHNIQUES IN GASHAKA-GUMTI NATIONAL PARK, NORTHEAST, NIGERIA // African Journal of Environment and Natural Science Research. - 2024. - Vol. 7, No. 4. - P. 119-138.
13. Earth Engine Data Catalog | Google for Developers: URL: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets> (дата звернення: 08.04.24). (11)
14. ESA Data User Element: URL: http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (дата звернення: 13.04.24). (19)
15. Fliessbach, K., et al. Social comparison affects reward-related brain activity in the human ventral striatum // Science. - 2007. - Vol. 318, No. 5858. – P. 1305-1308. – DOI: 10.1126/science.1145876.
16. Frappier, R., Lacelle, D., Fraser, R.H. Landscape changes in the Tombstone Territorial Park region (central Yukon, Canada) from multilevel remote sensing analysis // Arctic Science. - 2023. - Vol. 9, No. 4. - DOI: 10.1139/as-2022-0037. (11)
17. Friedl, M., & Sulla-Menashe, D. (2015). MCD12C1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 0.05Deg CMG V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. - References - Scientific Research Publishing: URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3133283> (дата звернення: 08.04.24). (12)
18. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., та ін. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017.

- Vol. 202. C. 18–27. (5)
19. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., та ін. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. C. 18–27. (10)
 20. Gross, J., Nemani, R., Turner, W., та ін. Remote sensing for the national parks. *Park Science*. 2006. Vol. 24. C. 30–36.
 21. Ketema, T., Lemi, G., Liban, J. GIS and Remote Sensing Based Spatiotemporal Analysis of Deforestation in Dati Wolel National Park, Western Ethiopia // *American Journal of Agriculture and Forestry*. – 20 – Vol. 10, No. 1. - P. 1-8. (21)
 22. König, S., Schultz, J. A., Schoch, A., Blöthe, J., Schrott, L., Thonfeld, F. Mountain Permafrost Distribution Modeling – A Geomorphometry-Remote Sensing Approach for the Hohe Tauern National Park, Austria // *Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF in Wien, Österreich*. - 2019. - P. 675-685.
 23. Korzybski, D., Mielcarek, M., Szczygiał, R., Kwiatkowski, M., Piasecka, Ż., Guderski, K., Kurpiewska, S., Kuśnierz, H. The use of remote sensing data sources and GIS in fire protection planning in Biebrza National Park, with special attention to non-forest ecosystems // *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. - 2023. - Vol. 65, No. 1. - P. 48-54. - DOI: 10.2478/ffp-2023-0005.
 24. Krawczyk, W., Wężyk, P. Using Satellite Imagery and Aerial Orthophotos for the Multi-Decade Monitoring of Subalpine Norway Spruce Stands Changes in Gorce National Park, Poland // *Remote Sensing*. - 2023. - Vol. 15, No. 4. – Art. ID 951. - DOI: 10.3390/rs15040951. (12)
 25. La Mantia, T., Maltese, A. Remote Sensing-Based Land Cover Change Analysis in Mount Etna Regional Park (Sicily, Italy) // *European Countryside*. - 2010. - Vol. 2, No. 1. – P. 31–41. – DOI: 10.2478/v10091-010-0003-8.
 26. Landsat Missions | U.S. Geological Survey: URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions> (дата звернення: 08.04.24). (8)
 27. Li, W., Li, H., Yang, H., Wang, J., Wang, Y., Liang, W. Estimating Canopy

- Density Parameters Time-Series for Winter Wheat Using UAS Mounted LiDAR // Remote Sensing. - 2021. - Vol. 13, No. 4. – Art. ID 710. - DOI: 10.3390/rs13040710.
- 28.Li, X., Fu, T., Wang, Z. Design and Implementation of Remote Sensing System for Crop Monitoring // 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics. - 2007. - P. 1109-1113. - DOI: 10.1109/ICAL.2007.4241297. (3)
 - 29.Liu, H., Gong, P., Wang, J., та ін. Production of global daily seamless data cubes and quantification of global land cover change from 1985 to 2020 - iMap World 1.0. Remote Sensing of Environment. 2021. Vol. 258. C. 112364. (17)
 - 30.Liu, X., Shang, R., Wu, R., Guo, S., Li, Y., Ma, Z., Gao, Y. Estimation of grassland aboveground biomass and its response to climate changes based on remote sensing inversion in Three-River-Source National Park, Tibet Plateau, China // Frontiers in Ecology and Evolution. - 2023. - Vol. 11. - DOI: 10.3389/fevo.2023.1326980.
 - 31.Mamun, M. M. A. A., Kulsum, B., Motaleb, M. A. Land Use and Land Cover Change Analysis of the Baroiyadhala National Park Using Remote Sensing and GIS // Forestist. - 2022. - Vol. 72. - P. 241-250.
 - 32.Manglass, L. M. Remote sensing and geospatial analysis of land cover change in the Okefenokee Swamp ecosystem, Georgia : Master's thesis. – University of Georgia, 2006.
 - 33.Mora, A. M., Saharjo, B. H., Prasetyo, L. B. INTEGRATION OF GIS AND REMOTE SENSING FOR HOTSPOT DISTRIBUTION ANALYSIS IN BERBAK SEMBILANG NATIONAL PARK // International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES). - 2019. - Vol. 16, No. 1. - P. 10-19. – DOI: 10.30536/j.ijreses.2019.v16.a3194. (5)
 - 34.Mumby, P. J. Remote sensing of coral reefs and their physical environment // Remote Sensing of Environment. - 2004. - Vol. 88, No. 1-2. - P. 147-160. – DOI: 10.1016/j.rse.2003.04.004. (4)
 - 35.Musthofa, F., Widyatmanti, W., Arjasakusuma, S., Umarhadi, D. A., Putri, D. A., Raharja, F. F., Arrasyid, M. K. MACHINE LEARNING FOR MAPPING

SPATIAL DISTRIBUTION OF THICKNESS AND CARBON STOCK OF TROPICAL PEATLAND BASED ON REMOTE SENSING DATA: A CASE STUDY IN LAKE SENTARUM NATIONAL PARK, INDONESIA // *Geographia Technica*. - 2022. - Vol. 17, No. 1. - P. 46-57.

- 36.Official Google Blog: Introducing Google Earth Engine: URL: <https://googleblog.blogspot.com/2010/12/introducing-google-earth-engine.html> (дата звернення: 08.04.24). (7)
- 37.Official Google Blog: Seeing the forest through the cloud: URL: <https://googleblog.blogspot.com/2009/12/seeing-forest-through-cloud.html> (дата звернення: 08.04.24). (6)
- 38.Pasho, E., Alla, A. Q., Ramaj, E. Application of Remote Sensing and GIS techniques for detecting burned areas and severity. A case study of the National Park "Dajti Mountain", Albania // *Turkish Journal of Geosciences*. - 2022. - Vol. 3. - P. 64-74.
- 39.Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., et al. Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data // *Remote Sensing of Environment*. - 2021. - Vol. 253. - DOI: 10.1016/j.rse.2020.112165.
- 40.Природа Волинської області: / за ред. Геренчука К.І. Львів: Видавниче об'єднання «Вища школа», 1975. 147с. (24)
- 41.Smith, J., Jones, A. Remote sensing applications in monitoring vegetation dynamics in protected areas. – 2018.
- 42.Timelapse – Google Earth Engine: URL: <https://earthengine.google.com/timelapse/> (дата звернення: 08.04.24). (9)
- 43.Wang, Y. Remote sensing of protected lands / 2012.
- 44.Waser, L. T., Schwarz, M. Comparison of large-area land cover products with national forest inventories and CORINE land cover in the European Alps. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2006. Vol. 8, No. 3. C. 196–207.
- 45.Xiao, X. D., Wang, B., Dong, L. A Research on Applying Dynamic Remote

- Sensing Techniques to Protect Suzhou Urban Wetland Park // *Applied Mechanics and Materials*. - 2013. - Vol. 448-453. – P. 409-413. - DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.448-453.409.
46. Yang, L., Jin, S., Danielson, P., та ін. A new generation of the United States National Land Cover Database: Requirements, research priorities, design, and implementation strategies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. Vol. 146. С. 108–123. (14)
47. Zanaga, D., Kerchove, R. Van De, Daems, D., та ін. ESA WorldCover 10 m 2021 v200 / Zenodo, 2022. (20)
48. Zhang, C., Li, X. Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data. *Land*. 2022. Vol. 11, No. 10. С. 1692. (16)
49. Хільчевський, В. К. Перші комплексні гідрохімічні дослідження Шацьких озер на Волині у 1975 р.--початок формування наукової школи гідрохімії та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2015. No. 4. С. 64–71.
50. Шацький національний природний парк — Вікіпедія: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шацький_національний_природний_парк (дата звернення: 13.04.24).