

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Географічний факультет

Кафедра фізичної географії та геоекології

На правах рукопису

УДК: 528.8:502.3/.7

**ДИСТАНЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ БІОРІЗНОМАНІТТЯ НА ПРИКЛАДІ
КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

**REMOTE SENSING MONITORING OF BIODIVERSITY ON THE
EXAMPLE OF KYIV REGION**

Галузь знань: 10 «Природничі науки»

Спеціальність: 106 «Географія»

Освітня програма: «Транскордонне природоохоронне співробітництво»

Кваліфікаційна робота магістра

Студента другого курсу

Ємельянової Катерини Сергіївни

Науковий керівник

професор кафедри фізичної

географії та геоекології,

доктор технічних наук

Кохан Світлана Станіславівна

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ	5
1.1. Сутність і значення біорізноманіття.....	5
1.2. Нормативно-правові документи, які регулюють моніторинг довкілля	8
1.3. Методи і технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).....	11
1.4. Особливості застосування дистанційного моніторингу для аналізу екосистем.....	14
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	17
2.1. Географічне розташування, клімат і рельєф регіону.....	17
2.2. Основні типи екосистем Київської області.....	20
2.3. Стан біорізноманіття та вплив антропогенних факторів.....	22
2.4. Ґрунти Київської області.....	24
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ	28
3.1. Обґрунтування вибору джерел супутникових даних.....	28
3.2. Методика класифікації рослинного покриву.....	35
3.3. Вегетаційні індекси: теоретичні положення.....	40
3.4. Біофізичні параметри рослинності.....	45
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ	47
4.1. Динаміка змін угідь та рослинного покриву.....	47
4.2. Використання вегетаційних індексів для оцінки стану екосистем.....	49
4.3. Аналіз площі листової поверхні та продуктивності екосистем.....	57
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ	62
5.1. Екологічні заходи для зменшення впливу на біорізноманіття.....	62
5.2. Використання даних дистанційного моніторингу для управління природними ресурсами.....	64
5.3. Стратегії збереження екосистем Київської області.....	66
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

ВСТУП

Біорізноманіття - це різноманітність усіх форм живих організмів, включаючи рослини, водну фауну, водоростей, грибів тощо, які взаємодіють один з одним, утворюючи при цьому різні екосистеми. Особливо гостро людська діяльність позначається на природних ресурсах - підвищення температури повітря, забруднення Світового океану та суші, будівництво доріг, знищення лісів, використання водних джерел, забруднення повітря, інтенсивне вирощування сільськогосподарських культур тощо.

Проблема збереження та захисту біорізноманіття постала ще в минулому столітті. Підґрунтям для його збереження стала Конвенція про біологічне різноманіття, яка передбачає стійке, невичерпне використання компонентів біологічного різноманіття у спосіб і з такими темпами, які не призводять до виснаження біологічного різноманіття у віддаленій перспективі, забезпечуючи при цьому збереження його спроможності задовольняти потреби теперішнього та прийдешніх поколінь й відповідати їхнім очікуванням.

Актуальність теми. Наразі дистанційний аерокосмічний моніторинг - це ключовий інструмент і технологія, що допомагає в управлінні природними ресурсами, екологічному контролі. Не менш важливою є така діяльність на регіональному рівні — у Київській області, яка поєднує сільськогосподарські та природоохоронні території, та має унікальне положення у центральній частині України, що робить регіон ключовим осередком біорізноманіття.

Дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дозволяють підвищити якість та ефективність досліджень у різних галузях, спостерігати за змінами в навколишньому середовищі. Дистанційний моніторинг Землі створює єдину систему моніторингу, що охоплює всю планету, а це дуже важливо для різних глобальних ініціатив щодо збереження природи та аналізу стану екосистем.

Мета дослідження: оцінити стан біорізноманіття на території Київської області за допомогою методів дистанційного зондування Землі, проаналізувати динаміку змін рослинного покриву та розробити рекомендації щодо його збереження.

Об'єкт дослідження: Природні та природно-антропогенні екосистеми Київської області.

Предмет дослідження: спектральні, біофізичні параметри природних та природно-антропогенних екосистем.

Завдання дослідження: обґрунтувати теоретичні основи дистанційного моніторингу біорізноманіття; дослідити природно-кліматичні умови Київської області; проаналізувати супутникові джерела даних; розробити методологію дистанційного моніторингу біорізноманіття; визначити та проаналізувати біофізичні параметри рослинності; розробити практичні рекомендації щодо збереження біорізноманіття.

Методологічну основу магістерської роботи складають фундаментальні положення конструктивної географії, геоекології, ландшафтознавства. В процесі роботи використані методи досліджень - діалектичний, абстрактно-логічний, дедуктивний, наземні завіркові обстеження, дистанційного зондування Землі, попереднього й тематичного оброблення даних ДЗЗ.

Наукова новизна одержаних результатів. Для території Київської області створені різночасові мозаїки вегетаційних індексів та геозображення з метою забезпечення моніторингу біорізноманіття на прикладі природних та природно-антропогенних екосистем.

Практичне значення одержаних результатів. Дані ДЗЗ та похідні геозображення повинні стати невід'ємною складовою моніторингу біорізноманіття на різних рівнях – базовому, регіональному, національному, глобальному. Отримані результати можуть бути впроваджені у виробництво для якісного та оперативного дистанційного моніторингу екосистем.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається із Вступу, 5 розділів і висновків, викладених на 74 сторінках друкованого тексту, робота містить 15 рисунків і 49 використаних джерел літератури.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

1.1. Сутність і значення біорізноманіття

Біорізноманіття – це різноманітність тварин, рослин, грибів і мікроорганізмів, які співіснують між собою у межах однієї екосистеми. Воно охоплює всі форми життя. Це можуть бути як одноклітинні організми, бактерії і гриби, так і вищі рослини та тварини [1].

Деякі дослідники вважають, що біорізноманіття можна ототожнити з поняттям "видове багатство" [2]. Термін "біорізноманіття" вперше набув широкого поширення під час Стокгольмської конференції 1972 року. У 1992 році, під час саміту ООН, було офіційно прийнято визначення біорізноманіття та підписано Конвенцію про біологічне різноманіття, яку підтримали 180 країн.

Протягом останніх десятиліть поняття «біорізноманіття» активно використовується в наукових роботах, підручниках і звітах. У 1980 році Томас Лавджой уперше ввів цей термін, а вже у 1986 році Едвард Осборн Вілсон застосував його у своїй доповіді на Американському форумі.

Альфа-різноманіття описує різноманітність видів у локальному масштабі, зокрема в межах функціональної спільноти. Воно демонструє зони максимальної видової різноманітності, що залежить від площі досліджуваної території. Наприклад, луки помірного поясу характеризуються найвищим рівнем різноманіття на невеликих ділянках.

Бета-різноманіття визначає різноманітність між різними місцями існування. Його оцінка та інтерпретація можуть суттєво відрізнятися залежно від методології досліджень.

Гамма-різноманіття відображає загальну видову різноманітність у межах великих географічних регіонів, таких як біоми, континенти чи острови [3]. Воно часто використовується для аналізу «гарячих точок» біорізноманіття, причому тропічні регіони, наприклад неотропіки, мають найвищі глобальні показники [4].

У 1979 році Тейлор і Крюгер доповнили дещо в цю класифікацію, ввівши дельта-різноманіття, яке пов'язане зі змінами кліматичних факторів, і проявляється в переходах між рослинними зонами або провінціями [3].

Виділяють 2 рівні біорізноманіття: генетичне та видове.

Рівні біорізноманіття:

1. Видове різноманіття. До нього входить кількість видів у місці існування чи певному регіоні. Наприклад, тропічні ліси та коралові рифи мають високий рівень видового різноманіття. Найвища видова різноманітність в екосистемах, де не домінує жоден вид. Це є фактором стійкості екосистем до певних загроз.

2. Генетичне різноманіття – це ключ для адаптації та еволюції, адже воно визначає близькість, схожість між представниками одного виду. Визначає ступінь спорідненості між представниками одного виду в межах екосистеми. Генетичне різноманіття забезпечує можливість реагувати на деякі зміни навколишнього середовища.

Різноманіття екосистем включає роль ключових видів і взаємодії між ними та моделі спільнот, враховує оцінку стану екосистем, відповідно до Директиви ЄС про оселища, Червоної книги України.

Значення біорізноманіття. Біорізноманіття дозволяє отримувати екосистемні послуги, які важливі для нашого життя, тому біорізноманіття має екологічну, економічну, рекреаційну цінність.

Також багате біорізноманіття забезпечує продуктивність і стабільність екосистем. Різні види, якщо вони займають певні екологічні ніші, забезпечують краще використання ресурсів. Краще використання ресурсів протидіє екологічному вторгненню, а також конкуренція за ресурси між деякими видами дозволяє сприяти ефективнішому природному добору.

Для вивчення та збереження різноманітності застосовуються наступні етапи:

1. Визначення вже існуючих та нових видів та класифікація.
2. Картографування поширення видів.

3. Моніторинг стану екосистем та поширення рідкісних видів.
4. Формування бази даних щодо стану збереження біорізноманіття.

Біорізноманіття на даний момент перебуває під загрозою, хоча воно є основою для життя та до нього входять всі живі організми. Передусім, це відбувається через людську діяльність, яка руйнує екосистеми.

1.2. Нормативно-правові документи, які регулюють моніторинг довкілля

Моніторинг довкілля - це невід'ємна складова охорони навколишнього середовища, яка керується національними та міжнародними нормативно-правовими документами. Ці документи встановлюють певні методи та механізми спостереження за станом навколишнього середовища, відповідальність за дотримання екологічних норм.

Міжнародні нормативно-правові акти:

1. Конвенція про біологічне різноманіття (1992 р.)

Конвенція про біорізноманіття – це міжнародна угода щодо збереження біорізноманіття, сталого використання компонентів та рівномірного розподілу вигоди від використання ресурсів. Конвенція розроблена для відповіді на всі загрози біорізноманіттю та екосистемним послугам, що включає загрози від зміни клімату, розробленням інструментів процесів та стимулів шляхом наукових досліджень, активного залучення зацікавлених сторін [5].

2. Орхуська конвенція (1998 р.)

Конвенція зобов'язує держави, які беруть участь, адекватно, своєчасно ефективно інформувати громадськість на перших стадіях прийняття рішень та забезпечити, щоб у відповідному рішенні були відображені результати участі зацікавленої громадськості. Орхуська конвенція визнала право людини на доступ до екоінформації, право громадськості на участь у прийнятті важливих рішень та доступ до питань, які стосуються навколишнього середовища [6].

3. Рамкова конвенція ООН про зміни клімату (1992 р.)

Рамкова конвенція ООН із зміни клімату — це міжнародний екологічний договір, основна мета якого полягає в стабілізації вмісту парникових газів в атмосфері на певному рівні, який не допускає небезпечного впливу на клімат Землі. Обговорення відбувалося Ріо-де-Жанейро на Саміті Землі [7].

4. Кіотський протокол (1997 р.) та Паризька угода (2015 р.)

Регламентують міжнародні зобов'язання щодо зниження викидів парникових газів, які супроводжуються регулярним моніторингом їх рівнів.

Національні нормативно-правові акти України:

1. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р.)

Це основний закон, який регулює питання моніторингу довкілля, включає обов'язок держави, відповідно до якого створювали системи екологічного моніторингу.

Завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища є регулювання відносин у галузі охорони, відтворення та природних ресурсів, ліквідації та запобігання негативного впливу господарської діяльності на навколишнє середовище, збереження генетичного фонду навколишнього середовища, природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки природних комплексів, ландшафтів, природних об'єктів, унікальних територій пов'язаних з історико-культурною спадщиною [8].

2. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (1992 р.)

Передбачає здійснення моніторингу забруднення повітря та встановлення відповідних нормативів.

Цей Закон спрямований на відновлення та збереження природного стану атмосферного повітря, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на навколишнє середовище та здоров'я людей, створення сприятливих умов для життєдіяльності [9].

3. Державна програма моніторингу довкілля (Постанова КМУ № 391 від 30.03.1998 р.)

Передбачає комплексне спостереження за станом довкілля та використання цих даних у природоохоронних заходах.

На сьогоднішній день, в рамках державної системи моніторингу навколишнього середовища функції інформаційного забезпечення та спостереження виконують 8 суб'єктів системи моніторингу - Міністерство надзвичайних ситуацій України, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державне агентство водних ресурсів України, Міністерство охорони здоров'я України, Міністерство аграрної політики та продовольства

України, Державне агентство лісових ресурсів України, Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру [10].

4. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» (2018 р.)

Цей закон регулює оцінку впливу програм та планів на довкілля, що забезпечує відповідний моніторинг.

Нормативно-правова система моніторингу довкілля в Україні дозволяє не тільки контролювати стан екосистем, а запобігати негативним наслідкам, забезпечувати охорону, розробляти ефективні заходи щодо збереження природних ресурсів. Важливу роль відіграє інтеграція національних програм із міжнародними стандартами, що дозволяє Україні відповідати сучасним екологічним викликам.

1.3. Методи і технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)

Дистанційне зондування Землі – це процес вивчення поверхні планети за допомогою авіаційних та космічних платформ. ДЗЗ — один із найважливіших елементів точного землеробства. Ця технологія передбачає сканування поверхні планети з просторовим розрізненням від кількох метрів до кількох сантиметрів. Її широко застосовують у сільському господарстві для автоматизації виробничих процесів, підвищення врожайності та зменшення негативного впливу довкілля на посіви [11].

Прилади ДЗЗ поділяються на активні та пасивні. Активне дистанційне зондування Землі використовує власні джерела випромінювання - це радіохвилі, інфрачервоні або лазерні промені та, звичайно, світло. Якщо говорити про пасивне зондування, то воно навпаки, використовує відбиті сигнали. А також залежить від різних обставин: розташування об'єктів та часу. Завдяки цьому методу знижуються витрати на отримання певних даних.

Активні датчики ДЗЗ направляють сигнал, а потім аналізують його інтенсивність. Більшість пристроїв цього типу дистанційного зондування використовують мікрохвилі, оскільки на них не впливають погодні умови. Загалом активні методи дистанційного зондування Землі залежать від типу сигналу (хвилі чи світло) та об'єкта вимірювання (відстань, атмосферні явища, висота тощо). До активних пристроїв дистанційного зондування належать:

1. Радар - це прилад, в якому для вимірювання дальності застосовуються сигнали радіолокації. Характерною рисою радара є антена, що випромінює імпульси. Коли сигнал «зустрічає» так звану перешкоду, він повертається назад до датчика. За інтенсивністю повернутого сигналу та витраченим часом на його шлях можна визначити, наскільки далеко від радара знаходиться досліджуваний об'єкт.

2. Лідар

Лідар вимірює відстань за допомогою світла. Цей метод дистанційного зондування передбачає надсилання імпульсів світла та вимірювання

інтенсивності сигналу, що повертається. Розташування об'єкта та відстань до нього обчислюються шляхом множення необхідного часу на швидкість світла.

3. Лазерний альтиметр

За допомогою лідара вимірює висоту.

4. Дальноміри

Визначають відстань між об'єктами за допомогою пристроїв, розташованих на різних платформах, що обмінюються сигналами.

5. Ехолот - це прилад, який вивчає погодні умови по вертикалі та випромінюючи імпульси.

6. Скаттерометр (рефлектометр)

Аналізує інтенсивність відбитого випромінювання для оцінки властивостей об'єкта [12].

Активні мікрохвильові датчики дистанційного зондування Землі випромінюють власний сигнал, який направляють на досліджуваний об'єкт, а потім аналізують інтенсивність відбитого сигналу. Оскільки відбивальна здатність об'єктів різна, супутникове зондування дозволяє точно визначити їх контури. Визначаючи час, за який сигнал досягає об'єкта та повертається, вчені обчислюють відстань до нього. Інтенсивність відбитого сигналу залежить від кута випромінювання, а також від властивостей поверхні, таких як гладкість або прозорість [12].

Система дистанційного зондування Землі, яка вимірює природну радіацію, працює за принципом пасивного зондування. Таким чином, його робота можлива тільки за наявності природного випромінювання: у видимому діапазоні - тільки вдень, в тепловому інфрачервоному і мікрохвильовому діапазонах - і вдень, і вночі [13].

До пасивних методів дистанційного зондування Землі належать:

1. Фотографічні,
2. Телевізійні,
3. Спектрометричні,
4. Сканерні [14].

Сучасна знімальна апаратура та новітні методи обробки й подання даних дозволяють досягати вищої контрастності зображень і кращого розділення об'єктів. Наприклад, завдяки цим технологіям стає можливим більш точно дешифрування гірських порід, ґрунтів або рослинного покриву порівняно з традиційними методами (спектрозональні, вузькозональні чорно-білі, панхроматичні чи кольорові знімки).

1.4. Особливості застосування дистанційного моніторингу для аналізу екосистем

Оскільки глобальні екологічні проблеми продовжують загострюватися, технологія дистанційного зондування стала незамінним інструментом для дослідження, моніторингу та управління цими проблемами. Використання даних дистанційного зондування Землі із супутників, авіаційних платформ та безпілотних пристроїв набуває дедалі більшої популярності в різних аспектах екологічного моніторингу [15].

Поглиблене вивчення останніх досягнень і випадків застосування дистанційного зондування включає:

1. **Рослинність:** застосування в моніторингу рослинності охоплює використання таких технологій, як безпілотний літальний апарат (БПЛА) дистанційного зондування та лазерний радар (LiDAR) для моніторингу стану лісу, рослинного покриву і змін. Ці програми підтримують управління лісами та екологічні дослідження.

2. **Водні об'єкти:** теплове інфрачервоне дистанційне зондування та супутникове дистанційне зондування використовуються для моніторингу якості води, коливань рівня води та допомоги в управлінні водними ресурсами, вирішення проблем водних ресурсів.

3. **Ґрунт:** технологія дистанційного зондування використовується для ґрунтів, використовуючи методи багатоспектрального радара та радіолокатора із синтетичною апертурою (SAR) для оцінки властивостей ґрунту, аналізу вологості ґрунту та прогнозування ерозії ґрунту.

Поширеним є використання багатосезонних знімків замість даних, отриманих в одну дату. Це дозволяє ефективніше ідентифікувати типи рослинності та поверхні боліт завдяки сезонним спектральним контрастам.

Технології дистанційного зондування, які зазвичай використовуються для моніторингу рослинності, включають лазерний радар (LiDAR), використання нормалізованих індексів рослинності (NDVI) для аналізу умов росту

рослинності та технологію дистанційного зондування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [16].

Лазерна радарна технологія – це метод дистанційного зондування, який використовує принцип відбиття електромагнітних хвиль для виявлення, визначення місцезнаходження та вимірювання цілей. Він не обмежений погодними умовами і може працювати вдень, вночі або навіть під хмарним покривом [5].

Ця характеристика робить його дуже придатним для виявлення рослинності, особливо в дощових або хмарних регіонах. Більше того, радіолокаційні сигнали мають сильну проникаючу здатність, легко проникаючи в рослинний покрив для зондування структур під поверхнею, таких як коріння дерев і ґрунт.

Індекс нормалізованої різниці рослинності (NDVI) є ефективним індикатором, заснованим на характеристиках поглинання та відбиття хлорофілу рослин. Хлорофіл у рослинах поглинає більше червоного світла, тоді як ближнє інфрачервоне світло (NIR) переважно відбивається [17].

Технологія гіперспектрального дистанційного зондування – це метод дистанційного зондування, який фіксує інформацію шляхом вимірювання відбиття або випромінювання об'єктів у численних вузьких спектральних діапазонах. У контексті моніторингу та дослідження води гіперспектральне дистанційне зондування може з високою точністю виявляти різні параметри якості води, включаючи хлорофіл, каламутність, розчинену органічну речовину та концентрацію забруднюючих речовин.

У контексті рослинності однією з головних переваг радіолокаційної технології є її незалежність від погодних умов. Однак застосовність цієї технології залежить від розміру досліджуваної території. Враховуючи відносно високу вартість лазерної радіолокаційної технології, її розподіл витрат може бути відносно високим для менших територій. Інтерпретація нормалізованих індексів відмінностей рослинності дає цінну інформацію про типи рослинності

та загальні умови, дозволяючи керівникам сільського та лісового господарства отримати чітке розуміння стану рослинності.

Технологія теплового інфрачервоного дистанційного зондування чудово підходить для точного вимірювання температури водойми, що є цінним для виявлення потоку води, коливань температури озера та умов якості води, забезпечуючи надійну підтримку для розуміння динаміки водойми.

Супутникова технологія дистанційного зондування пропонує переваги у забезпеченні широкого охоплення, частих спостережень, моніторингу в реальному часі та глобальної інформації про водні ресурси [17].

Дистанційний моніторинг є ефективним інструментом дослідження екосистем, який забезпечує швидкий і масштабний збір екологічних даних, прийняття додаткових раціональних рішень у сфері збереження навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

2.1. Географічне розташування, клімат і рельєф регіону

Київська область розташована на півночі України та займає площу близько 28 тис. км² (не включаючи міста Києва), це приблизно 5% від усієї площі країни. Київ – це центр Київської області (Рис. 2.1).



Рисунок 2.1. Карта Київської області [18]

Рельєф області рівнинно-горбистий, із загальним похилом поверхні, але досить розчленований. Основна частина області розташована в південно-західній частині Східноєвропейської рівнини (Київський шельф).

Північна частина області розташована у Поліській низовині. На сході— частині Придніпровської низовини. Найбільш підвищена та розчленована південна частина, а також зайняті Придніпровською височиною.

У геоморфологічному відношенні північна частина розташована у межах Поліської терасової рівнини, південно-східні райони — у межах Дніпровсько-

Деснянської терасової рівнини, а південна — Правобережному придніпровському плато [19].

За характером поверхні Поліська терасова рівнина - це плоска рівнина із загальним похилом на північ і схід. В районах, які прилягають до Дніпра та Прип'яті, поверхня утворює собою другу терасу рік і вкрита алювіальними, флювіогляціальними водно-льодовиковими пісками. Від Житомира на Корнин, Фастів, Пост-Волинський і до річки Ірпінь, а також по ній до Дніпра проходить південна межа Поліської рівнини.

Придніпровська височина характеризується як найбільш розчленована та підвищена рівнинна місцевість у межах цієї області. Місцевість дуже розчленована широкою мережею ярів вздовж Дніпра, особливо Кагарлицький район. Для того щоб запобігти утворенню ярів виконуються певні протиерозійні заходи, зокрема лісонасадження. Утворення ярів та руйнівна сила води спричиняє весняне танення та літні зливи.

Ґрунтовий покрив Київської області різноманітний, найпоширенішими ґрунтами є чорноземи, площа яких становить 50% площі всіх орних земель регіону, але ступінь розораності цієї території більш ніж 60% [19].

Площа лісів Київської області близько 649 тис. га. Північна частина області характеризується масивами мішаних та хвойних лісів, південна частина розорана, але на тих ділянках, які не зазнали антропогенного впливу, зазвичай широколистяні ліси [20].

Фауна Київщини досить різноманітна. Київська область розташована на кордоні двох природних зон, що зумовлює високе біорізноманіття регіону. Південна частина області розміщується у лісостеповій зоні, а північна частина в зоні Полісся.

Клімат Київської області помірно-континентальний, м'який, з достатньою кількістю вологості. Зима тривала, порівняно тепла; літо – достатньо тепле й вологе. Пересічна температура січня на Півночі – 6,5°, в центральній частині – 5,8°, на Півдні – 6,1°, липня – відповідно +19,2, +19,5, +20,1°. Тривалість безморозного періоду близько 160–165 днів. Період з температурою понад +10°

становить від 155 днів на Поліссі до 160–165 днів на Півдні і Сході області, сума активних температур від 2480° на Півночі і до 2700° на Півдні. Опадів 500 – 600 мм на рік, на крайньому Півдні – 400–500 мм. Максимальна кількість їх (близько 40 %) випадає влітку [21].

Київщина – це територія, яка має сприятливі кліматичні умови, рівнинно-горбистий, але розчленований рельєф.

Постійний взаємозв'язок і взаємодія окремих компонентів природи призводить до формування характерних регіонів території, які відрізняються характером, інтенсивністю і спрямованістю фізико-географічних процесів та мають унікальні природні особливості.

2.2. Основні типи екосистем Київської області

У Київській області поширені такі типи екосистем: поліські ліси, лісостепові ліси, заплавні луки, сухі луки, степові екосистеми, річкові екосистеми, болотні екосистеми, заплави річок, штучні водойми, природні озера.

Поліські ліси – це тип ландшафту, якому характерні заболоченні низовинні рівнини, яким властива низька дренажність поверхні та підвищена вологість, площі масивів хвойно-широколистяних лісів, а також густа річкова мережа та вона належить переважно до зони мішаних лісів Східноєвропейської рівнини.

Майже 70 % території Полісся – це підзолисті ґрунти, але 15 % — торфово-болотні та болотні ґрунти [22].

Рослинність, яка переважає на цій території, поєднує у собі ділянки дубово-грабових, сосново-дубових та соснових лісів. Дубово-грабові ліси представлені крушиново-яглицево-ліщинними ценозами, які характерні для Українського Полісся.

Лісостепові ліси- це переважно Дубово-грабові ліси, з домішками клена гостролистого та липи серцелистої. Якщо говорити про домінуючі рослини, то це дуб черешчатий, клен та липа. Ці ліси досить багаті на ягідні, грибні та лікарські ресурси [20].

У ґрунтовому покриві лісостепу переважають різні види чорноземів (типові та опідзолені) та сірі лісові ґрунти, що сформувалися на лесах або лесоподібних суглинках.

У річкових, заплавних екосистемах основну роль відіграє річка Дніпро та її притоки. Територія області розташована у двох гідрогеологічних басейнів -це Дніпровський артезіанського басейн та Український басейн тріщинуватих вод. Майже вся річкова мережа Київської області належить до басейну Дніпра, але незначна частина річок на півдні відноситься до басейну Південного Бугу [20].

Болотні екосистеми зосереджені в північній частині Київської області. Вони поділяються на низинні та верхові болота. Низинні формуються переважно у долинах річок, а верхові утворюються за рахунок дощових опадів, тому мають кислий ґрунт. На території області розташовані водно-болотні угіддя, які занесені до Рамсарської конвенції (наприклад, заплавні угіддя Дніпра).

Природні озера, які розташовані на території Київської області, - це Конча-Заспа, Святе, Десенка, Тягле, Голубе. Майже всі мають глибину 2-5 м, з'єднані з річками через протоки, а також багаті на біорізноманіття.

Степові екосистеми – це сучасний ландшафт, у якому утворились широкі долини та балки. Рельєф частково був згладжений лесовими породами. Чорноземи займають найбільшу площу Київської області. Формування цього типу ґрунту обумовлено багатством кількістю рослинних решток. Типова рослинність географічної зони - це лучні степи та широколистяні ліси, що займають незначну територію через значну трансформацію флори. Найбільші площі займають грабово-дубові ліси [23].

Заплавні луки внаслідок затоплення річками, а також мають високе біорізноманіття. На території області вони розташовані у долинах річок Дніпра, Тетерева, Десни, Прип'яті. Переважають такі представники рослинного світу: очерет звичайний, осока, рогіз, м'ята водяна, глечики жовті [22].

Сухі луки Київщини зазвичай розташовані на височинах, рівнинах, пагорбах, що не затоплюються водою. тонконіг лучний, ковила, пирій, чебрець, волошка. Ґрунти насичені вологою, що зумовлює поширенню гідрофільної рослинності. У Київській області розташовані у південних схилах Київського плато, в околицях Білої Церкви та Фастова. Деснянські заплави як приклад важливої екосистеми, що знаходиться під охороною.

Київська область розташована на межі двох природних зон, що зумовлює високе різноманіття екосистем та біорізноманіття. Кожна екосистема території виконує певні функції, що забезпечує їх стійкість.

2.3. Стан біорізноманіття та вплив антропогенних факторів

Київська область має різноманітну флору. Налічується близько 400 видів рослин, які охороняються. Через те що область розміщується на межі Полісся і Лісостепу, поєднується типова для природних зон рослинність. Окрема складова - це флора річкових долин: Дніпра, Росі, Десни, Ірпеня, Тетерева та інших. Рослинність Полісся характеризується рослинністю хвойних, мішаних та широколистяних. Як сільськогосподарські угіддя використовуються великі території, які залишилися після вирубки лісу. На півночі Полісся велику площу займає береза. Збільшена лісистість характеризується у західному та північному напрямках. Найбільші лісові масиви в межах Київської області розташовані на півночі області вздовж річок Здвиж та Тетерів та Іванівському районі.

Відсутністю ендемічних чи ареальних видів характеризується рослинність Київської області, але цілий ряд видів, які характерні для ранніх геологічних епох, зокрема реліктів.

Наразі флора Київщини досить сильно змінена багатомілітарною діяльністю людини. Через цей фактор, переважаючою рослинністю є посіви сільськогосподарських культур.

На території Київської області 88 видів безхребетних тварин, які внесені до Червоної книги України [21].

Перелік променеперих риб та міног Київщини складає приблизно 60 видів. У Київській області з'явився ряд нових інтродукованих видів, після спорудження водосховищ, це такі як: чебачок амурський, білий амур, строкатий товстолобик, ротань-головешка, сонячний окунь, окремі розповсюджені локально (гупі, чорний амур).

Зміна біотопів через забруднення побутовими, промисловими та сільськогосподарськими стоками, гідробудівництво, розорювання берегів, в результаті призводить до повільних трансформацій населення річок області. Зазвичай, відбувається це за рахунок збільшення чисельності видів невеликих розмірів, які не мають великої промислової цінності. Особливо важливі для збереження набувають є великі притоки, зазвичай на півночі області, які ще

зберігають річковий режим (Десна, Прип'ять, Тетерів). Саме тут мінога українська 13 видів риб, які занесені до Червоної книги України. Також у області налічується 8 видів рептилій та 6 видів амфібій. Найвразливішими слід вважати види, які знаходяться у червоних списках організацій та під охороною конвенцій та, звичайно, червоних книг.

Найбільш чутливі до антропогенного пресу амфібії та плазуни Київської області: *T. cristatus*, *Pelobates fuscus*, *B. bufo*, *B. bombina*, *H. arborea*, представник *Pelophylax esculentus complex* - *P. lessonae*, *Anguis fragilis*, *Zootoca vivipara* та червонокнижні види: *Lacerta viridis*, *Coronella austriaca*, *Vipera nikolskii* [20].

На території Київщини 281 видів птахів, але з них 161 на гніздуванні, інші прилітають тільки під час зимівлі або міграцій. В основному, кількість видів, що відносяться до різних охоронних категорій відповідно: до Червоної книги України - 49, МСОП – 13, Європейського списку - 20, Бернської конвенції– 269, Боннської конвенції– 133 [21].

Багате біорізноманіття передусім зумовлене розміщенням Київської області на межі лісової та лісостепової зон.

Багаторазова господарська діяльність змінила природне середовище Київської області і як наслідок, зазнали змін досить багато компонентів рослинного і тваринного світу, ґрунти, підземні води.

Серед антропогенних факторів, що негативно впливають на елементи екомережі, ландшафтного та біологічного різноманіття у загальному, на цьому етапі слід виокремити створення монокультур в лісових, степових системах, розорювання прибережних захисних смуг, нерегульований випас домашніх тварин. Тоді можна зробити висновок, що первинна рослинність збереглася в окремих місцях, що є важкодоступними, у заболочених місцях заплавл, на деяких ділянках лісів. Антропогенні чинники зумовлюють суттєву зміну середовища існування рослинного і тваринного світу, які впливають на видове та кількісне біорізноманіття на території Київської області.

2.4. Ґрунти Київської області

Основні типи ґрунтів, які поширені в Україні - це чорноземи, сірі-лісові, дерново-підзолисті. Основною властивістю ґрунту є родючість (властивість забезпечувати рослини певними речовинами, що необхідні для розвитку та росту. Родючість зазвичай залежить від кількості в ґрунті гумусу. Перегній - це рештки загиблих тварин і рослин, а також результат перегнивання опалого листя.

Таблиця 2.1. Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу [10]

Площа ґрунтів, %						Середньо зважений показник, %
Дуже низький 1,1	Низький 1,1-2,0	Середній 2,1-3,0	Підвищений 3,1-4,0	Високий 4,1-5,0	Дуже високий 5,0	
1	2	3	4	5	6	7
1,6	12,4	28,4	42,5	13,9	1,2	3,10

У північній частині області переважають дерново-підзолисті ґрунти, в долинах річок - дерново-глеєві, болотні та лучні ґрунти. Центр Київської області - це переважно лесові породи. Тут існують опідзолені чорноземи, темно-сірі та світло-сірі лісові ґрунти. Південь території бідніший, всю її частину займають малогумусні чорноземи. По всій території зустрічаються солончакові та болотні солончакові ґрунти, лучно-чорноземні, лучні солонцюваті (Рис. 2.2).

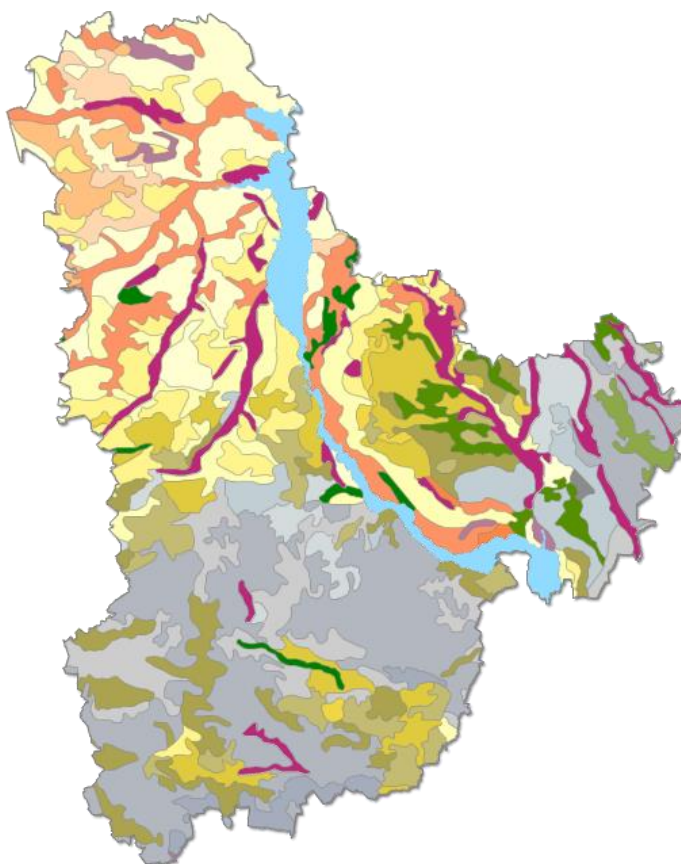


Рисунок 2.2. Ґрунти Київської області

Дерново-підзолисті ґрунти

Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

■ Дерново-прихованопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти (борові піски)

■ Дерново-слабо-і середньопідзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти

■ Дерново-середньо-і слабопідзолисті супіщані і суглинкові ґрунти





Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесовидних породах

■ Дерново-слабопідзолисті глейові піщані та глинисто-піщані ґрунти




■ Дерново-середньо- і сильнопідзолисті глейові супіщані та суглинкові ґрунти

Опідзолені ґрунти

Опідзолені ґрунти переважно на лесових породах

-  Ясно-сірі опідзолені ґрунти
-  Сірі опідзолені ґрунти
-  Темно-сірі опідзолені ґрунти
-  Чорноземи опідзолені

Опідзолені оглеєні ґрунти переважно на лесових породах





-  Ясно-сірі і сірі опідзолені оглеєні ґрунти
-  Темно-сірі опідзолені оглеєні ґрунти
-  Чорноземи опідзолені оглеєні

Чорноземи


Чорноземи неглибокі лісостепові на лесових породах

-  Чорноземи неглибокі слабогумусовані та малогумусні

Чорноземи глибокі на лесових породах



-  Чорноземи глибокі слабогумусовані
-  Чорноземи глибокі малогумусні
-  Чорноземи глибокі малогумусні карбонатні
-  Чорноземи глибокі малогумусні вилуговані

Чорноземи глибокі на лесових породах

-  Чорноземні глинисто-піщані та супіщані ґрунти

Лучно-чорноземні ґрунти

Лучно-чорноземні ґрунти

-  Лучно-чорноземні поверхнево-солонцюваті ґрунти
-  Лучно-чорноземні глибоко-солонцюваті ґрунти

Лучні ґрунти

Лучні ґрунти

  Лучні та чорноземно-лучні ґрунти

Лучні та чорноземно-лучні поверхнево-солонцоваті ґрунти

Болотні ґрунти, торфовища

Болотні та торфувато-болотні ґрунти на різних породах

 Болотні та торфувато-болотні ґрунти

Торфовища

 Торфовища низинні та торфово-болотні ґрунти

Київська область характеризується багатим лісовим фондом, який налічує 675,6 тис. га. Північна частина області характеризується масивами мішаних та хвойних лісів, а також площами заболочених ділянок та різнотравно-злакових луків.

Структура земель у Київській області поступово змінюється, це відбувається внаслідок земельної реформи. Тенденції зміни структури сільськогосподарських угідь позитивні, але недостатньо поєднуються з екологічним станом.

Площа зрошуваних земель становить близько 122,3 тис. га, а осушених близько 177 тис. га. Найбільша зрошувальна система - це Бортницька.

Проблема збереження родючості ґрунтів, як ніколи раніше, набуває пріоритетного значення. Основний шлях вирішення - це розширення виробництва та раціональне застосування гною.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

3.1. Обґрунтування вибору джерел супутникових даних

Дані дистанційного зондування Землі, інші геопросторові дані, широко застосовують у задачах моніторингу біорізноманіття. Дистанційне зондування кардинально змінило спостереження за станом довкілля, розкриваючи просторові та часові аспекти біологічного різноманіття за допомогою структурних, компонентних та функціональних досліджень екосистем. Багато компонентів біорізноманіття Землі не можна безпосередньо визначити за допомогою відбитого чи випромінюваного потоку фотонів. Для всебічного вивчення й збереження біорізноманіття необхідна інтеграція дистанційного зондування з польовими дослідженнями. Є декілька напрямків інтегрування ДЗЗ з відбором наземних зразків, лабораторними дослідженнями, що сприятиме підвищенню якості досліджень.

Для моніторингу біорізноманіття є набір основних змінних, які можна використовувати поряд з даними ДЗЗ. Проте в ряді випадків існує й погана узгодженість змінних біорізноманіття з продуктами дистанційного зондування. Основні змінні для дослідження біорізноманіття часто пов'язані зі структурою екосистем, екосистемними функціями, які відображають біологічні наслідки порушень, за результатами експертної оцінки вони є найбільш релевантними, точними для безпосереднього моніторингу за допомогою супутникових систем. При цьому використовують сенсори середнього просторового розрізнення. Продукти біорізноманіття, які потребують дані ДЗЗ високого просторового розрізнення, наразі вимагають додаткових досліджень, а самі методики оцінювання перебувають на стадії розроблення.

Наразі для вивчення біорізноманіття регіону найбільш придатними й дослідженими є дані Sentinel-2 (ESA), Landsat 8–9 (NASA/USGS), MODIS (супутники Terra та Aqua, NASA), які є безкоштовними. Низка інших супутникових систем забезпечує комерційні дані, які, як правило,

використовують в якості тестових полігонів. Серед них дані IKONOS-2, Pleiades, GeoEye-1, інші.

IKONOS-2 - супутник для зйомки Землі (DigitalGlobe Inc.), який був запусканий у 1999 році та припинив роботу в 2015 році. Це частина Програми місії ESA, у рамках якої ESA має угоду з DigitalGlobe про розповсюдження продуктів даних місії. Дані використовують для створення цифрових моделей рельєфу та для досліджень тестових полігонів (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Характеристика оптичного датчика (OSA) [38]

Параметр	Значення
Спектральний діапазон PAN	0,45 - 0,90 мкм
Спектральний діапазон MS (мкм)	0,45-0,53, (синій) 0,52-0,61, (зелений) 0,64-0,72, (червоний) 0,76-0,86, (NIR)
Просторове розрізнення	1 м PAN (0,82 м у надирі), 4 м MS (3,2 м)
Квантування пікселів	11 біт
Ненадирний кут наведення	$\pm 30^\circ$ в будь-якому напрямку
Розмір сцени	11,3 км x 11,3 км
Номинальні смуги	11 км x 100 км (довжина)

OSA мав апертуру головного дзеркала 70 см і оптичну фокусну відстань у складеному вигляді 10 м за допомогою п'яти дзеркал. Детектори у фокальній площині включали панхроматичний датчик із 13 500 пікселями вздовж доріжки та чотири багатоспектральні датчики [38].

З 1972 року супутники Landsat безперервно отримують зображення земної поверхні, надаючи дані, щоб допомогти фахівцям різних галузей приймати обґрунтовані рішення щодо природних ресурсів і навколишнього середовища. Дані, отримані супутниками Landsat, поширюються з Центру спостереження та науки Землі (EROS) USGS у Су-Фолс, Південна Дакота [24].

Запущені супутники Landsat мають датчики, які повинні збільшити обсяг даних спостереження Землі: Landsat 7 у квітні 1999 року, Landsat 8 у лютому 2013 року та Landsat 9 у вересні 2021 року. Усі супутники Landsat були запущені з бази ВПС Ванденберг (станом на травень 2021 року, відомої як База космічних сил Ванденберг) [25].

Landsat характеризується наявністю великого архіву даних, адже спостереження тривають із 1972 року. Landsat має найдовшу серію супутникових знімків, через це маємо змогу проводити аналізи змін рослинного покриву та деградації або відновлення рослинності впродовж десятків років спостережень.

Для більшості спектральних каналів просторове розрізнення Landsat становить 30 м. Це одні з найкращих джерел даних для створення карт базового рівня, також можна аналізувати як природні екосистеми, так і сільськогосподарські угіддя.

Operational Land Imager (OLI), створений корпорацією Ball Aerospace & Technologies Corporation, вимірює у видимій, ближній інфрачервоній та короткохвильовій інфрачервоній частинах спектру. Його зображення мають 15-м (49 футів) панхроматичне та 30-м багатоспектральне просторове розрізнення вздовж смуги завширшки 185 км (115 миль), охоплюючи широкі ділянки ландшафту Землі, забезпечуючи достатнє розрізнення та ідентифікацію таких об'єктів, як ліси, болота, поля, інші види землекористування (Табл. 3.2) [37].

Розробка OLI є прогресом у технології датчиків Landsat і використовує підхід, продемонстрований датчиком Advanced Land Imager, встановленим на експериментальному супутнику NASA EO-1. Інструменти попередніх супутників Landsat використовували скануючі дзеркала для перегляду полів огляду інструментів по ширині смуги поверхні та передачі світла на кілька детекторів.

Таблиця 3.2 Набір каналів сенсору OLI [35]

Номер каналу	Назва англійською	Назва українською	Діапазон (µm)	Просторове розрізнення (м)
Band 1	Coastal/Aerosol	Узбережжя та аерозолі	0.43 - 0.45	30
Band 2	Blue	Синій	0.45 - 0.51	30
Band 3	Green	Зелений	0.53 - 0.59	30
Band 4	Red	Червоний	0.64 - 0.67	30
Band 5	Near-Infrared (NIR)	Близький інфрачервоний	0.85 - 0.88	30
Band 6	Shortwave Infrared 1 (SWIR 1)	Короткохвильовий інфрачервоний 1	1.57 - 1.65	30
Band 7	Shortwave Infrared 2 (SWIR 2)	Короткохвильовий інфрачервоний 2	2.11 - 2.29	30
Band 8	Panchromatic (PAN)	Панхроматичний	0.50 - 0.68	15
Band 9	Cirrus	Цирус	1.36 - 1.38	30

Дані Landsat забезпечують багатогранність їх застосування. На знімках мінімізується вплив аерозолів, хмарності та інших чинників, за рахунок радіометричної та атмосферної корекції. Також дані легко включаються в геоінформаційні системи, стандартизовані, легко інтегруються.

Не менш важливим фактором є те, що доступ до даних безкоштовний через платформу USGS, адже не завжди для наукових досліджень достатньо фінансових витрат. Поряд з цим цілий ряд інших платформ забезпечує доступ та одержання даних.

Landsat характеризується широким спектральним діапазоном, адже має канали в ближньому інфрачервоному, короткохвильовому інфрачервоному червоному та інших діапазонах. Це дозволяє оцінювати стан лісів, визначати

вологість ґрунтів, ідентифікувати місця пожеж, досліджувати водні ресурси, розраховувати вегетаційні індекси, в т.ч. NDVI [27].

Sentinel-2 - це місія спостереження Землі в рамках програми Copernicus, яка отримує оптичні зображення з високим просторовим розрізненням (від 10 м до 60 м) над територією суші та прибережними водами. До супутників Sentinel-2A і Sentinel-2B у 2024 році на орбіті місії приєднався третій, Sentinel-2C, а в майбутньому - Sentinel-2D, який з часом замінить супутники А і В відповідно. Місія підтримує такі сервіси та додатки, як сільськогосподарський моніторинг, управління надзвичайними ситуаціями, класифікація ґрунтового покриву, якість води, дослідження біорізноманіття (Табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Набір каналів Sentinel-2 [36]:

Номер каналу	Назва англійською	Назва українською	Діапазон (µm)	Просторове розрізнення (м)
Band 1	Coastal/Aerosol	Прибережний/Аерозольний	0.43 - 0.45	60
Band 2	Blue	Синій	0.46 - 0.52	10
Band 3	Green	Зелений	0.54 - 0.58	10
Band 4	Red	Червоний	0.65 - 0.68	10
Band 5	Red Edge 1	Червоний край 1	0.70 - 0.71	20
Band 6	Red Edge 2	Червоний край 2	0.73 - 0.74	20
Band 7	Red Edge 3	Червоний край 3	0.77 - 0.79	20
Band 8	Near-Infrared	Близький інфрачервоний	0.78 - 0.90	10
Band 8a	Red Edge 4	Червоний край 4	0.85 - 0.88	20
Band 9	Water Vapor	Водяна пара	0.94 - 0.95	60
Band 10	SWIR – Cirrus	Інфрачервоний – Циррус	1.36 - 1.39	60
Band 11	SWIR 1	Інфрачервоний 1	1.56 - 1.65	20
Band 12	SWIR 2	Інфрачервоний 2	2.10 - 2.28	20

Якщо порівнювати з Sentinel-2, то Landsat є менш детальний, але все ж таки забезпечує довший часовий період знімків. Продукти Sentinel-2A Level-1C мають таку ж геометричну точність, як і Landsat 8. Крім того, часове

розрізнення для Landsat менше, ніж для Sentinel, чого іноді недостатньо для спостережень рослинних угруповань, яким властивий швидкий ріст.

Наприклад, повторне дослідження того самого місця для супутника Landsat займає 16 днів; навіть з обома супутниками Landsat 7 і 8 ми можемо спостерігати одну й ту ж територію кожні 8 днів, тоді як із Sentinel-2A та 2B цей період скорочується до 5 днів. Проте однакові спостереження можуть бути зроблені як супутниками Sentinel, так і Landsat, які відрізняються полем зору, спектральною смугою пропускання, просторовим розрізненням та функцією спектрального відгуку.

Наразі коротко розглянемо властивості супутників, які забезпечують дані з високим просторовим розрізненням. Завдання таких знімків – аналіз тестових полігонів, проведення підсупутникових досліджень біорізноманіття (Табл. 3.4).

Таблиця 3.4. Характеристики супутників

Супутники	Просторове розрізнення	Канали	Особливості
Pleiades	Панхроматичний канал: 0,5 м Багатоспектральні діапазони: 2,0 м	Панхроматичний (PAN) Блакитний (Blue, 430–550 нм) Зелений (Green, 490–610 нм) Червоний (Red, 600–720 нм) Ближній інфрачервоний (NIR, 750–950 нм)	Висока деталізація, що є необхідністю для картографування міст та екологічного моніторингу
WorldView	Панхроматичний канал: до 0,31 м (WorldView-3) Багатоспектральні діапазони: 1,24–1,84 м	Панхроматичний (450–800 нм) Стандартні кольорові: Blue, Green, Red, NIR Додаткові вузькоспектральні (WorldView-2 має 8 багатоспектральних)	Відстеження змін ландшафтів та інфраструктурного розвитку

		каналів)	
Компсат (Компсат-2, Компсат-3)	Компсат-2: Панхроматичний - 1,0 м, багатоспектральний - 4,0 м Компсат-3: Панхроматичний - 0,7 м, багатоспектральний -- 2,8 м	Блакитний (450–520 нм) Зелений (520–600 нм) Червоний (630–690 нм) NIR (760–900 нм)	Зручний для регіонального моніторингу, відстеження змін ландшафтів та інфраструктурного розвитку
Ікопос	Панхроматичний канал: 1,0 м Багатоспектральний: 4,0 м	Блакитний (445–516 нм) Зелений (506–595 нм) Червоний (632–698 нм) Ближній інфрачервоний (757–853 нм)	Один із перших комерційних супутників високого просторового розрізнення, добре підходить для картографування та аналізу рослинності, має великий архів

Отже, аналіз супутникових систем засвідчив, що всі вони мають власну специфіку використання. Для досліджень біорізноманіття на базовому рівні доцільно використовувати дані Sentinel-2, на базовому та регіональному рівнях – дані серій Landsat. Для досліджень тестових полігонів необхідно використовувати знімки високого просторового розрізнення.

3.2. Методика класифікації рослинного покриву

Важливий та невід’ємний етап аналізу супутникових зображень – це класифікація рослинного покриву, вона допомагає визначати стан та типи рослинності. Застосовуються різні методи дистанційного зондування, різні спектральні канали, вегетаційні індекси та різні геопродукти.

Перший етап – це підготовка даних. Перш за все, потрібно отримати супутникові дані та виконати попередню обробку: видалення впливу хмар та аерозолів, виконати прив’язку до координатної системи, маскування непотрібних об’єктів, за необхідності – геометричну корекцію.

Другий етап – класифікація. Це тематичне оброблення знімків. Розрізняють декілька основних підходів до проведення класифікації - керована, некерована класифікація, змішана (комбінована).

Керовану класифікацію використовують тільки тоді, коли відомі типологічні особливості та число класів. Керована класифікація базується на статистичному аналізі певних еталонів, для кожного створюється відповідна сигнатура, й надалі застосовуються для визначення класів. Алгоритми класифікації поділяються на параметричні та непараметричні [32].

Можна встановити межі того, наскільки схожі інші пікселі, щоб згрупувати їх разом. Ці межі часто встановлюються на основі спектру характеристики навчальної зони, також призначається кількість класів, за якими класифікується зображення. У керованій класифікації важливу роль відіграють тестові полігони, наявність апріорної інформації про об’єкти, кількість спектральних каналів, просторове розрізнення знімка, вибір вирішального правила класифікації.

Некеровану класифікацію використовують, якщо відсутня інформація про об’єкт. До некерованої класифікації відносять: кластерний аналіз, метод ISODATA, К-середніх. Кластерний аналіз виділяє контури з неконтрастною по спектральній яскравості структурою, це може бути рослинність, хмари, вода та інші об’єкти (Рис. 3.1). Виконується розділення зображення на певні групи пікселів, кластери, які подібні за спектральними характеристиками [33].

У порівнянні з керованою класифікацією, некерована класифікація зазвичай вимагає лише мінімального обсягу початкових вхідних даних. Це пояснюється тим, що для кластеризації зазвичай не потрібні навчальні дані. Результатом процесу кластеризації є карта класифікації, що складається з певних спектральних класів.

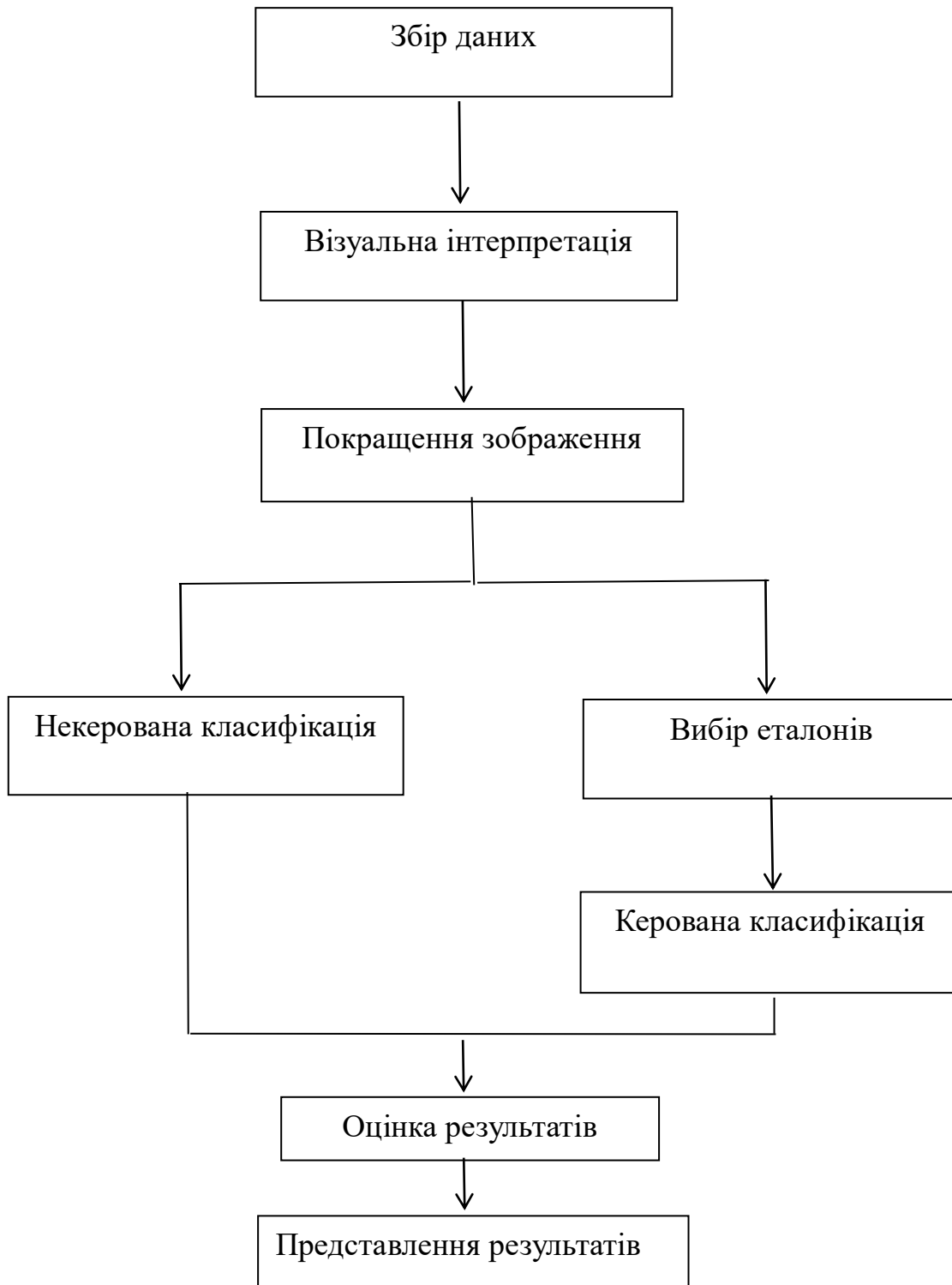


Рисунок 3.1. Етапи проведення класифікації знімків

Так, відомий алгоритм ISODATA обчислює середні значення класу, рівномірно розподілені в просторі даних, а потім кластеризує інші пікселі, використовуючи методи мінімальної відстані. Кожна ітерація перераховує середні значення та перекласифіковує пікселі щодо нових середніх. Ітеративне розбиття, злиття та видалення класів здійснюється на основі вхідних порогових параметрів. Усі пікселі класифікуються до найближчого класу, якщо не вказано стандартне відхилення або порогове значення відстані, у цьому випадку деякі пікселі можуть бути некласифікованими, якщо вони не відповідають вибраним критеріям.

При некерованій класифікації програмне забезпечення зазвичай виконує більшу частину обробки самостійно, що призводить до появи більшої кількості категорій, ніж цікавить користувача (Табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Методи класифікації

Метод	Приклади	Характеристики
Параметричний	Класифікація за максимальною ймовірністю та неконтрольована класифікація тощо	Припущення: Область даних із нормальним розподілом. Попереднє знання функцій щільності класів
Непараметричний	Класифікація найближчих сусідів, нечітка класифікація, нейронні мережі та опорні вектори тощо	Жодних попередніх припущень не робиться
Неметричний	Класифікація дерева рішень на основі правил	Може працювати як з реальними даними, так і зі статистичним аналізом номінальних масштабованих даних
Керована	Максимальна правдоподібність, мінімальна відстань, класифікація паралелепіпеда тощо	Визначає навчальні вибірки для представлення в класах, і кожен піксель класифікується на основі статистичного аналізу
Некерована	ISODATA, K-means тощо	Попередня наземна інформація невідома. Пікселі з подібними

		спектральними характеристиками групуються відповідно до певних статистичних критеріїв
Жорсткий (параметричний)	Контрольована та неконтрольована класифікація	Класифікація за допомогою дискретних категорій
М'якопараметричний	Логіка класифікації нечітких множин	Враховує гетерогенну природу реального світу. Кожному пікселю присвоюється частка типу земного покриву, який знаходиться в пікселі
Попередній піксель		Класифікація зображення піксель за пікселем
Об'єктно-орієнтований		Зображення, регенероване на однорідні об'єкти. Класифікація виконується для кожного об'єкта та пікселя
Гібридні підходи		Включає експертні системи та штучний інтелект

З метою виконання програми досліджень для Київської області в роботі використані супутникові знімки Sentinel-2.

Основні етапи дослідження наступні:

1. Вибір тестових полігонів (для різних екосистем з рослинністю), для цього використане зображення, отримане на основі продукту Copernicus Land Monitoring Service - LandUse/LandCover Mapping);
2. Вибір безхмарних знімків NDVI за період з 1 квітня по 1 жовтня 2024 р. на модельну територію (Київська область);
3. Створення мозаїки знімків вегетаційних індексів на основі вибору безхмарних знімків, групування знімків за періодами (29 квітня -1 травня), 17-19 серпня, 6-9 вересня 2024 року. Створення мозаїки для території всієї області.

4. Визначення варіювань значень NDVI для різних періодів та різних природних і природно-антропогенних екосистем;
5. Одержання продуктів GPP (валова первинна продукція MODIS; LAI - площі листкової поверхні (MODIS Leaf Area Index 8-day and 4-day);
6. Приведення даних до одного просторового розрізнення;
7. Статистичний аналіз вибірок
8. Створення шкал для оцінювання стану екосистем на основі використання NDVI, GPP, LAI.

3.3. Вегетаційні індекси: теоретичні положення

Вегетаційний індекс – це показник, що отримується внаслідок операцій із спектральними каналами. Основна ідея – це комбінація різноманітних каналів ДЗЗ, що надає уявлення про ріст та розвиток рослин, про стан природних і природно-антропогенних екосистем, продуктивність рослинних угруповань. На даний момент часу існує приблизно 500 різних вегетаційних індексів.

Вегетаційний індекс NDVI залишається найвідомішим та найбільш використовуваним індексом для виявлення зелених рослин, визначення їхнього стану та ідентифікування. NDVI використовується для кількісної оцінки зеленості рослинності та корисний для визначення щільності рослинності, оцінки змін у здоров'ї рослин [28].

Діапазон значень NDVI становить від -1 до 1. Негативні значення NDVI (значення, що наближаються до -1) відповідають воді. Значення, близькі до нуля (від -0,1 до 0,1), як правило, відповідають безплідним ділянкам, це каміння, пісок тощо. Низькі позитивні значення представляють чагарники та луки (приблизно від 0,2 до 0,4), тоді як високі значення (0,6 - 0,8) вказують на помірний та потужний розвиток рослинності [25].

NDVI рослин, який протягом певного періоду часу розраховується впродовж вегетаційного періоду, може багато чого розповісти про зміни рослинного об'єкту, його розвиток за певних умов. Так, ми можемо використовувати цей індекс для оцінки стану рослин у певний період.

Вираховується індекс за формулою:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1),$$

де NIR – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні спектра, RED – відбиття у червоному діапазоні спектра [29].

Негативні значення NDVI отримують для води, хмар та снігу, а значення, які наближаються до нуля, зазвичай властиві для оголеного ґрунту [30].

Існують певні обмеження використання нормалізованого різницевого індексу рослинності. А саме, явище, що називають «насиченням», відбувається тоді, коли кількість пігментів листя досягає критичної межі, тому таким чином знижується чутливість NDVI.

NDVI є одним із найпоширеніших індексів дистанційного зондування. Його практичне застосування різноманітне, що включає використання як індикатора посухи, оцінку запасів лісу, продуктивності рослинності у цілому.

Поширеною платформою для використання значень NDVI є EOS, що відстежує зміни NDVI для полів протягом сезону. Це дає змогу проаналізувати продуктивність за останні роки. Платформа візуалізує на графіках різні дані, такі як індекси рослинності, а також кількість опадів, температуру, стадії росту [31]. Це дає можливість досліджувати взаємозв'язок стану рослинності з її спектральними властивостями, продуктивністю, впливом кліматичних умов.

У дистанційному зондуванні мозаїка знімків або фотомозаїка - це комплексне зображення, створене в результаті об'єднання серії суміжних знімків. У роботі нами проаналізовані 147 квіклуків за період з 2 березня по 31 жовтня 2024 р., на основі перегляду яких обрані безхмарні ділянки території для створення мозаїки вегетаційних індексів NDVI (Рис. 3.2-3.5).

На основі вибраних безхмарних ділянок створено мозаїку для 3 періодів визначень NDVI за даними Sentinel-2: на 29 квітня -1 травня, 17-19 серпня, 6-9 вересня 2024 року.

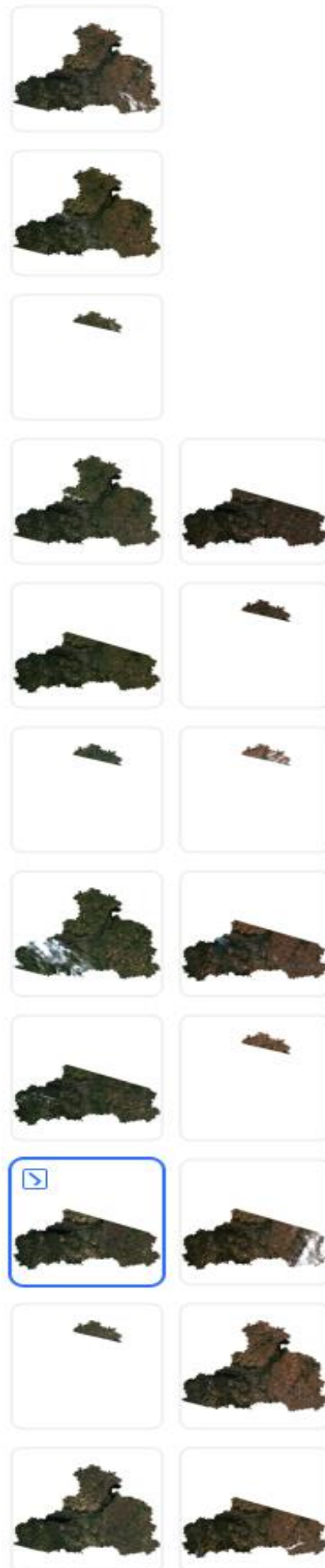


Рисунок 3.2. Мозаїка знімків

NDVI за даними Sentinel 2: на 29 квітня-1 травня

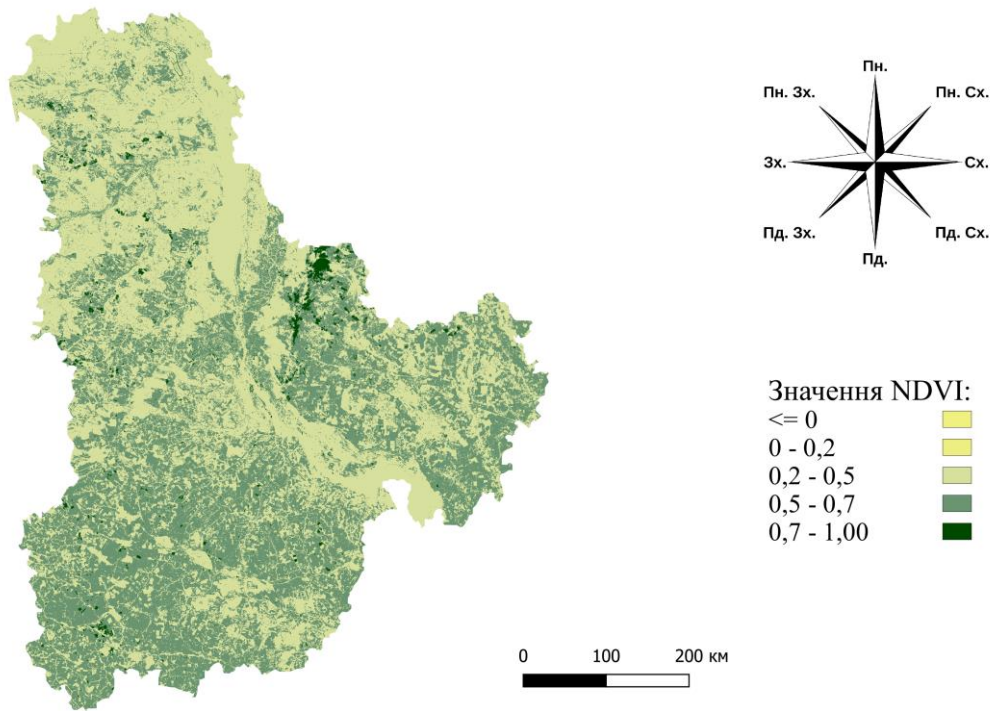


Рисунок 3.3. Розподіл NDVI станом на 29 квітня - 1 травня

NDVI за даними Sentinel 2: 17-19 серпня

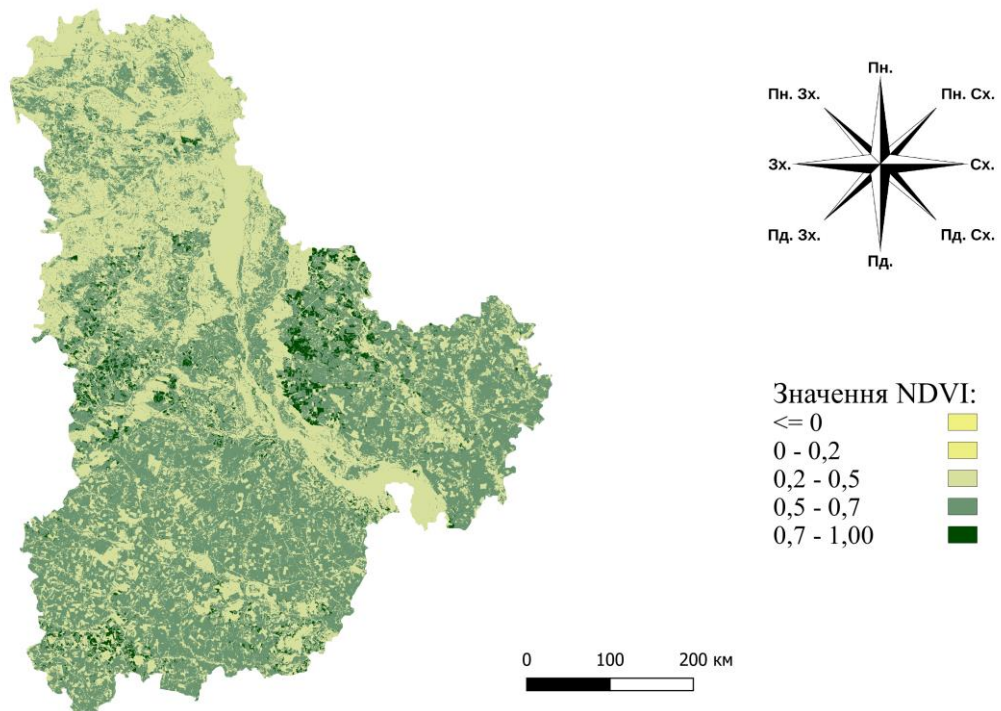


Рисунок 3.4. Розподіл NDVI станом на 17-19 серпня

NDVI за даними Sentinel 2: 6-9 вересня

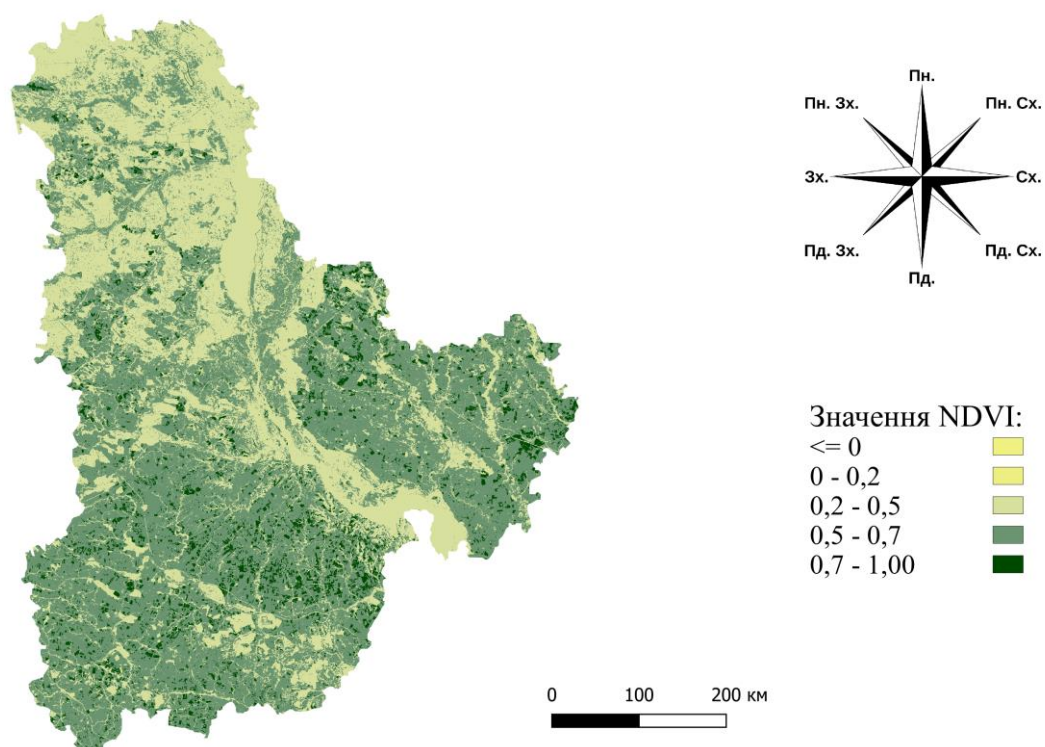


Рисунок 3.5. Розподіл NDVI станом на 6-9 вересня

3.4. Біофізичні параметри рослинності

Найголовніші біофізичні параметри, які описують рослинність - це індекс листової поверхні (LAI), частка поглинутої фотосинтетично активної радіації (fAPAR), фракція зеленого покриву (fCover), висота рослини, біомаса.

Різні типи даних дистанційного зондування мають переваги для отримання окремих біофізичних параметрів рослинності. Синтез даних ДЗЗ важливий для оцінки окремих параметрів рослинності. Крім того, алгоритм оцінки тісно пов'язаний із просторовим та часовим розрізненням даних дистанційного зондування [39].

Через комплексність наземної рослинності залишаються проблеми з оцінкою параметрів рослинності з точки зору продуктивності алгоритму та застосування. Передові методи дистанційного зондування та машинне навчання надають безпрецедентні можливості для вирішення проблем. Наприклад, область спектральних відгуків різних фізичних параметрів рослинності (включаючи біохімічні параметри) може перекриватися, завдяки чому інтеграція даних дистанційного зондування з багатьох джерел має великий потенціал.

Методи отримання біофізичних параметрів із даних дистанційного зондування поділяються на дві основні категорії [40].

Статистичні моделі зіставляють певні дані з біофізичною змінною. Застосовуються методи вимірювання індексу рослинності та поєднання вимірювань на різноманітних довжинах хвиль для одного або кількох біофізичних параметрів.

Фізичне моделювання – це підхід, що використовує сучасні моделі радіаційного переносу для опису переносу та взаємодії радіації всередині листя на основі фізичних, хімічних і біологічних процесів. Вони обчислюють взаємодію між сонячним випромінюванням і рослинами та забезпечують краще розуміння між біофізичними змінними та характеристиками відбиття [41].

Площа листової поверхні відноситься до загальної площі всіх листків на рослині. Індекс площі листя, з іншого боку, є показником того, яка площа листя

є на даній ділянці поверхні землі. Він розраховується шляхом ділення загальної площі листя рослини на площу землі, на якій росте рослина.

Дані супутникового дистанційного зондування можуть запропонувати широку інформацію про просторово-часовий розподіл рослинного покриву, а також про змінні моделі (наприклад, біомаса, індекс площі листя) [39]. Таким чином, його можна розглядати як хороший варіант для інтеграції з моделями, заснованими на процесах, щоб зменшити невизначеності в оцінках моделі.

LAI — це відношення загальної площі листків до площі ґрунту під рослинним покривом. Це відношення площі листя певної рослини до площі ґрунту. Якщо LAI від 0 до 1, то рослинний покрив розріджений, якщо від 3 до 5 – рослинність середньої щільності, якщо від 6 і більше – дуже щільна рослинність, ліси. Найчастіше використовують одиницю вимірювання LAI в m^2/m^2 .

Валова первинна продуктивність (GPP) - інтегральний показник кількості органічного вуглецю, накопиченого в результаті фотосинтезу на всіх листках, що є початком біогеохімічного циклу і основним джерелом вуглецю в рослинності. Приблизно половина GPP буде включена в нові рослинні тканини (наприклад, листя, коріння), а решта буде вивільнена назад в атмосферу. Таким чином, кількісні оцінки величини та мінливості GPP можуть покращити подальше розуміння біогеохімічної динаміки та вуглецевого циклу наземних екосистем [40].

Біофізичні параметри рослинності - це ключовий параметр для розуміння продуктивності екосистем. Сучасні технології дистанційного зондування дозволяють аналізувати ці показники та є доступним для екологічного моніторингу, сталого управління природними ресурсами та адаптації до кліматичних змін.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Динаміка змін угідь та рослинного покриву

Київська область — один з найдинамічніших регіонів України в контексті просторових трансформацій. Упродовж останніх десятиліть регіон переживає стрімке зростання урбанізованих територій, що зумовлено як близькістю до столиці, так і розвитком транспортної, промислової та житлової інфраструктури.

За класифікацією Land Cover визначається тип покриву землі, зокрема - це ліс, водні об'єкти, сільськогосподарські угіддя, чагарники, пасовища, трав'янисті водно-болотні угіддя та інші (Рис. 4.1).

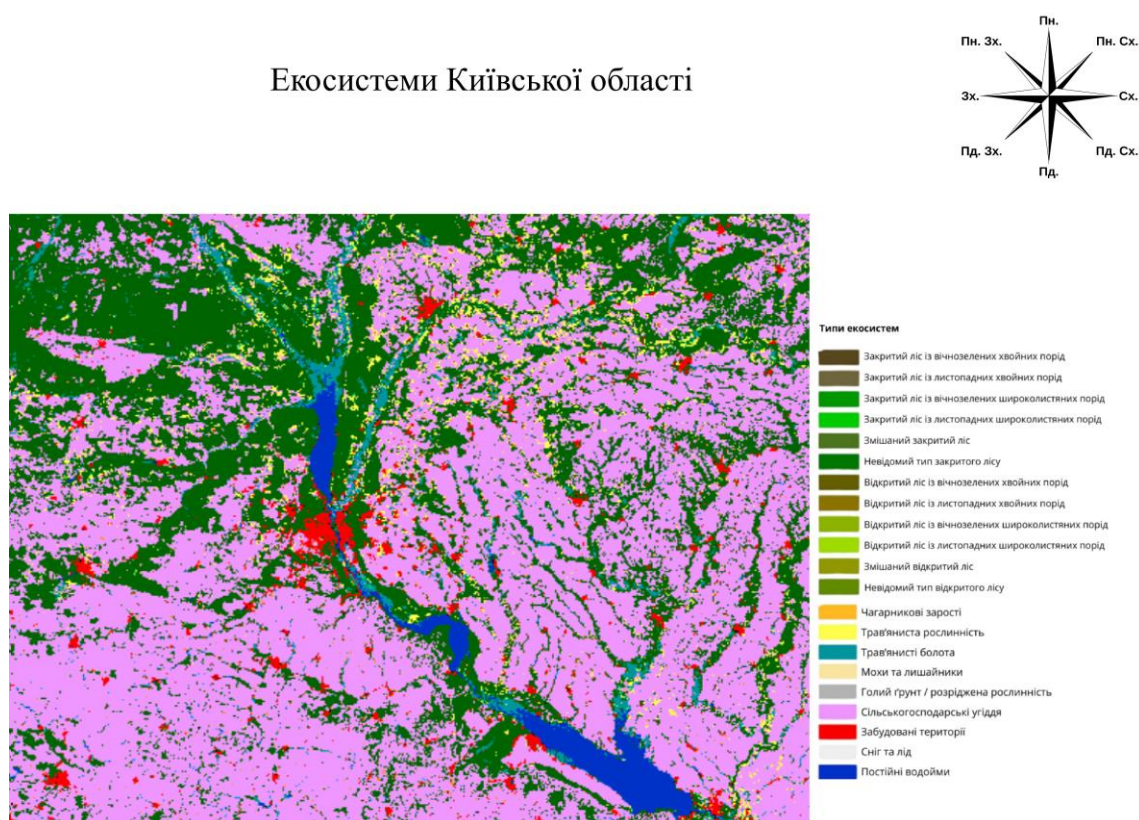


Рисунок 4.1 Екосистеми Київської області

Якщо порівнювати 2015 рік та 2019 рік, які використані у дослідженні за даними Land Cover Copernicus, та аналізувати рослинний покрив Київської області, можна зробити висновок, що площа орних земель зменшилась на 5%, зокрема поблизу Києва та у південній частині області. Зменшення площі пасовищ на 4% має місце, в основному в південних районах, де сільське

господарство є основним видом діяльності. Спостерігається зростання частки урбанізованих територій у Фастівському, Броварському та Бориспільському районах. Тобто, спостерігається процес трансформації земель в забудовані території.

Відбулось незначне зростання площі частки лісів та чагарників у північній частині області, оскільки це збільшення незначне, то могли вплинути природні умови або розширення у межах природоохоронних територій.

Суттєве зменшення вологих природних територій приблизно на 10%, тому що відбувається осушення та забудова територій. Зокрема водні об'єкти не зазнали суттєвих змін, площі залишились такими ж.

У північній частині області спостерігається позитивна динаміка відновлення рослинного покриву.

Отже, Київська область зазнала певних змін протягом досліджуваного періоду, оскільки площі зволжених ділянок скорочуються, осушуються, площі орних земель зменшились, а частка урбанізованих територій збільшилась.

4.2. Використання вегетаційних індексів для оцінки стану екосистем

З метою оцінювання стану природних та природно-антропогенних екосистем використано вегетаційний індекс NDVI та розроблені на основі його значень шкали.

Значення NDVI коливаються від -1 до +1:

Якщо значення близько -1, то це вода, хмари, сніг, наближається до 0 - це скелі, пустелі та урбанізовані території, від 0.2 до 0.5 - кущі, трав'яниста рослинність, від 0.5 до 1, то зазвичай густа зелена рослинність.

У дослідженні проведено вимірювання значень вегетаційного індексу для різних об'єктів. З метою аналізу використаний статистичний аналіз. Зокрема аналіз частот повторюваності ознак.

Так, використані наступні поняття. Квантиль у математичній статистиці - це значення, яке задана випадкова величина не перевищує з певною ймовірністю. Якщо ймовірність визначена у відсотках, то квантиль називають я процентілем або перцентілем. Нами створені розподіли даних вимірювань за вегетаційним індексом на основі відсоткових груп.

Дані NDVI у дослідженні згруповані на:

25% найнижчих значень - 1-й квантиль - зазвичай це ослаблений рослинний покрив або відсутність рослинності.

2 квантиль коливається від 25 до 50% - характеризує середню густоту рослинного покриву.

3 квантиль - від 50 до 75% - густа та добре розвинена рослинність.

4 квантиль - більше ніж 75%, рослинні екосистеми характеризуються дуже густою рослинністю.

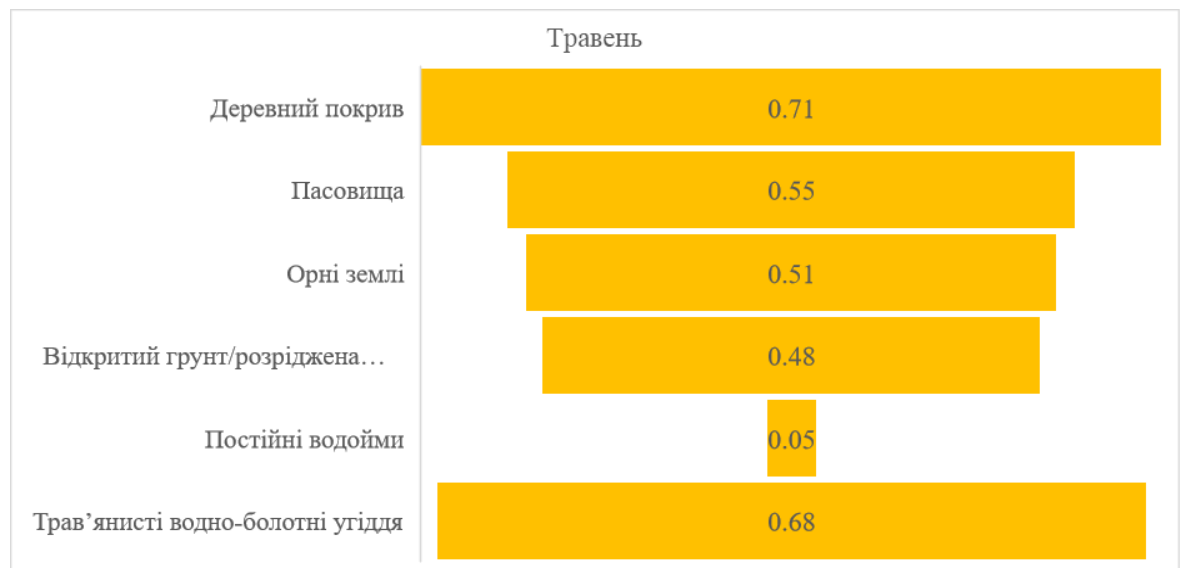
У таблиці 4.1 представлені первинні значення NDVI, визначені протягом різних періодів 2024 року (травень, серпень, вересень).

Таблиця 4.1 Вимірювання значень NDVI протягом різних періодів досліджень

	Травень	Серпень	Вересень	Середнє за дані періоди	Стандратне відхилення
Деревний покрив					
1	0.786	0.794	0.826	0.802	0.017
2	0.595	0.634	0.603	0.611	0.017
3	0.648	0.686	0.709	0.681	0.025
4	0.834	0.878	0.872	0.861	0.019
5	0.654	0.708	0.688	0.684	0.022
6	0.714	0.744	0.757	0.738	0.018
7	0.763	0.819	0.791	0.791	0.023
Середнє	0.713	0.752	0.749	0.738	0.018
Пасовища					
1	0.463	0.564	0.619	0.549	0.064
2	0.607	0.346	0.415	0.456	0.110
3	0.552	0.285	0.343	0.393	0.115
4	0.526	0.396	0.464	0.462	0.053
5	0.730	0.684	0.689	0.701	0.020
6	0.540	0.347	0.427	0.438	0.079
7	0.417	0.586	0.637	0.547	0.094
Середнє	0.548	0.458	0.513	0.507	0.037
Орні землі					
1	0.826	0.871	0.850	0.849	0.018
2	0.734	0.788	0.798	0.773	0.028
3	0.701	0.843	0.630	0.725	0.088
4	0.553	0.109	0.117	0.260	0.208
5	0.196	0.202	0.195	0.198	0.003
6	0.179	0.254	0.039	0.157	0.089
7	0.395	0.147	0.095	0.212	0.131
	0.512	0.459	0.389	0.453	0.050
Відкритий ґрунт/розріджена рослинність					
1	0.673	0.788	0.850	0.770	0.073
2	0.582	0.489	0.469	0.513	0.049
3	0.747	0.791	0.821	0.787	0.030
4	0.350	0.323	0.338	0.337	0.011
5	0.470	0.434	0.462	0.456	0.015
6	0.200	0.169	0.189	0.186	0.013
7	0.341	0.419	0.440	0.400	0.043

Середнє	0.481	0.488	0.510	0.493	0.012
Постійні водойми					
1	0.013	0.167	0.261	0.147	0.102
2	0.060	0.005	0.106	0.057	0.041
3	0.073	0.041	0.212	0.108	0.074
4	0.064	0.083	0.122	0.089	0.024
5	0.004	0.146	0.096	0.082	0.059
6	0.099	0.224	0.365	0.229	0.109
7	0.028	0.142	0.296	0.156	0.110
Середнє	0.049	0.115	0.208	0.124	0.065
Трав'янисті водно-болотні угіддя					
1	0.817	0.800	0.835	0.817	0.014
2	0.480	0.819	0.846	0.715	0.167
3	0.414	0.793	0.821	0.676	0.186
4	0.691	0.792	0.811	0.765	0.053
5	0.823	0.830	0.857	0.837	0.015
6	0.747	0.842	0.855	0.814	0.048
7	0.815	0.825	0.847	0.829	0.013
Середнє	0.684	0.815	0.839	0.779	0.083

На рис. 4.2. відображене варіювання величини вегетаційного індексу NDVI для досліджуваних екосистем протягом різних періодів.



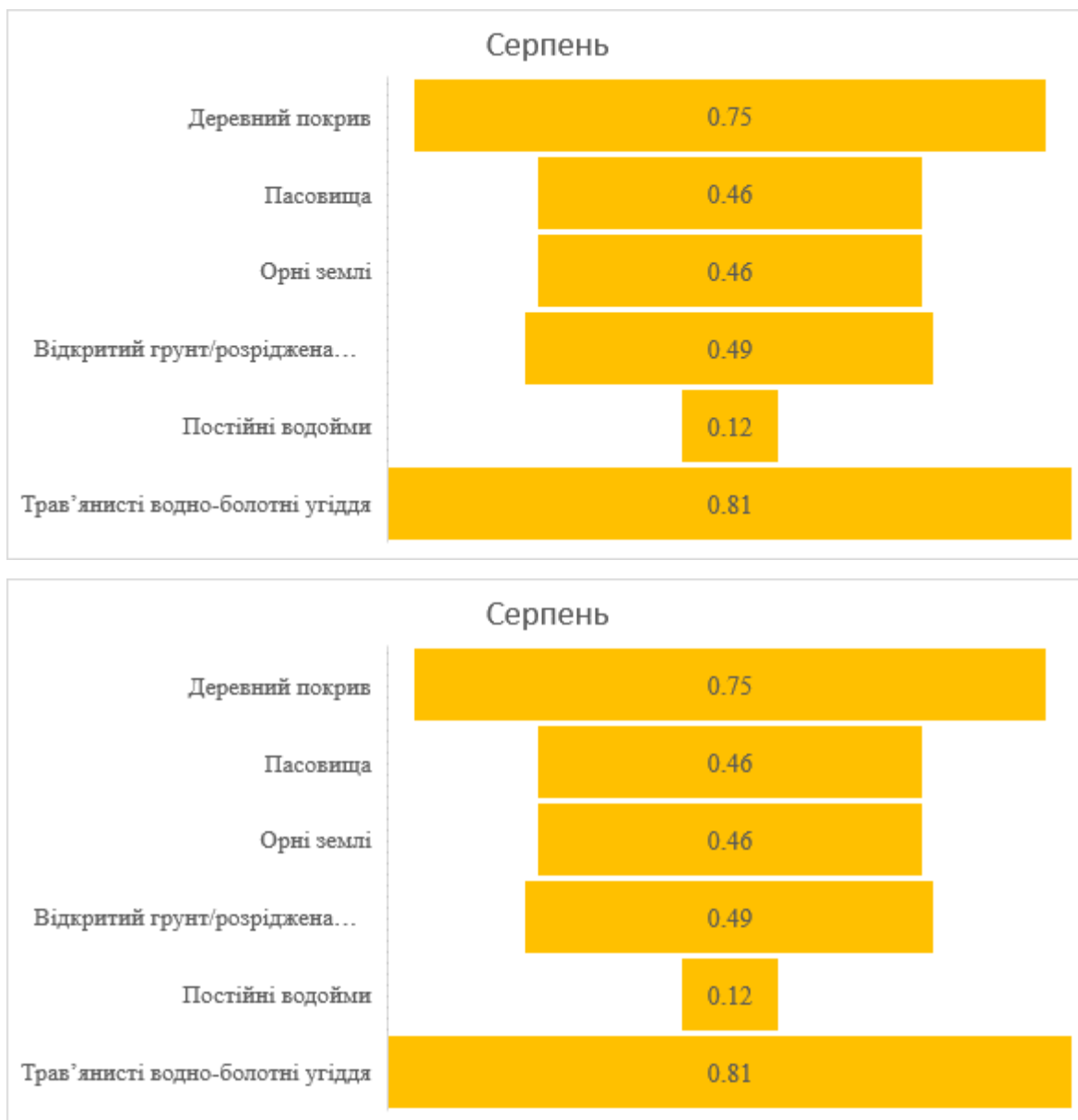


Рисунок 4.2. Варіювання величини вегетаційного індексу NDVI

У табл. 4.3 наведено статистику значень NDVI для різних екосистем.

Таблиця 4.3 Статистичні дані NDVI

Деревний покрив	NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє	0.713	0.752	0.749
стандартна похибка середнього	0.028	0.027	0.030
медіана	0.714	0.748	0.753
варіація	0.006	0.006	0.006
стандартне відхилення	0.079	0.078	0.084
діапазон	0.238	0.243	0.269

мінімум		0.595	0.634	0.603
максимум		0.834	0.878	0.872
Процентіль	25	0.651	0.697	0.698
	50	0.714	0.748	0.753
	75	0.775	0.807	0.809
Пасовища		NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє		0.548	0.458	0.513
стандартна похибка середнього		0.038	0.057	0.050
медіана		0.540	0.396	0.464
варіація		0.101	0.151	0.133
стандартне відхилення		0.010	0.023	0.018
діапазон		0.313	0.399	0.346
мінімум		0.417	0.285	0.343
максимум		0.730	0.684	0.689
Процентіль	25	0.479	0.347	0.418
	50	0.540	0.396	0.464
	75	0.593	0.580	0.633
Орні землі		NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє		0.512	0.459	0.389
стандартна похибка середнього		0.099	0.134	0.134
медіана		0.553	0.254	0.195
варіація		0.261	0.354	0.356
стандартне відхилення		0.068	0.126	0.127
діапазон		0.647	0.762	0.811
мінімум		0.179	0.109	0.039
максимум		0.826	0.871	0.850
Процентіль	25	0.246	0.161	0.100
	50	0.553	0.254	0.195
	75	0.725	0.829	0.756
Відкритий ґрунт/розріджена рослинність		NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє		0.481	0.488	0.510
стандартна похибка середнього		0.075	0.087	0.092
медіана		0.470	0.434	0.462
варіація		0.197	0.230	0.243
стандартне відхилення		0.039	0.053	0.059

діапазон		0.547	0.622	0.661
мінімум		0.200	0.169	0.189
максимум		0.747	0.791	0.850
Процентіль	25	0.343	0.347	0.363
	50	0.470	0.434	0.462
	75	0.650	0.713	0.733
Постійні водойми				
		NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє		0.049	0.115	0.208
стандартна похибка середнього		0.013	0.029	0.040
медіана		0.060	0.142	0.212
варіація		0.035	0.076	0.105
стандартне відхилення		0.001	0.006	0.011
діапазон		0.095	0.219	0.269
мінімум		0.004	0.005	0.096
максимум		0.099	0.224	0.365
Процентіль	25	0.017	0.052	0.110
	50	0.060	0.142	0.212
	75	0.070	0.162	0.288
Трав'янисті водно-болотні угіддя				
		NDVI (травень)	NDVI (серпень)	NDVI (вересень)
середнє		0.684	0.815	0.839
стандартна похибка середнього		0.064	0.007	0.007
медіана		0.747	0.819	0.846
варіація		0.170	0.019	0.017
стандартне відхилення		0.029	0.000	0.000
діапазон		0.409	0.049	0.046
мінімум		0.414	0.792	0.811
максимум		0.823	0.842	0.857
Процентіль	25	0.533	0.795	0.825
	50	0.747	0.819	0.846
	75	0.817	0.829	0.853

NDVI деревного покриву високий протягом усього періоду, але максимальне значення було у вересні (0,826), а мінімальне у травні (0,595). Середнє значення за три місяці становить 0,738, що відноситься до 3 квантилю, який характеризується добре розвиненою рослинністю. Стандартне відхилення 0,017, що характеризує екосистеми як стійкі до сезонних змін.

Показники пасовищ змінюються більше, оскільки відбувається інтенсивний випас худоби та використання. NDVI коливається від 0,416 до 0,729. Мінімальне значення 0,347, максимум - 0,729. Стандартне відхилення досить високе через неоднорідність та інтенсивне використання.

Орні землі мають досить високі значення, але різко знижуються у вересні, що свідчить про закінчення вегетаційного періоду. Мінімальне значення у вересні (0,039), максимальне - 0,87. Відмічений різкий перепад значень, тому стандартне відхилення становить 0,050.

Розріджена рослинність має найвищі показники у вересні та серпні, а у травні мінімальні значення. Середнє значення за період - 0,493, що характеризує змінний стан екосистем. Проте стандартне відхилення становить 0,012, що свідчить про сталість екосистеми.

Найнижчі показники мають постійні водойми, зокрема у травні. Мінімальне значення 0,003 (у травні), максимальне 0,364. Середнє значення 0,12, тобто у водоймах дуже мало рослинності. Високе стандартне відхилення (0,065), зазвичай це пов'язано з сезонними змінами.

Трав'янисті та водно-болотні угіддя мають високі показники NDVI, значення у травні коливаються від 0,48 до 0,82, що характеризує нормальний розвиток рослинного покриву. Середнє значення 0,83, що відноситься до 4 квантилю і свідчить про здорову екосистему.

Біологічна продуктивність найвища для деревного покриву та трав'янистих водно-болотних угідь, найбільша мінливість спостерігається на пасовищах, найнижчі значення NDVI на водоймах, що свідчить про низький відсоток рослинності.

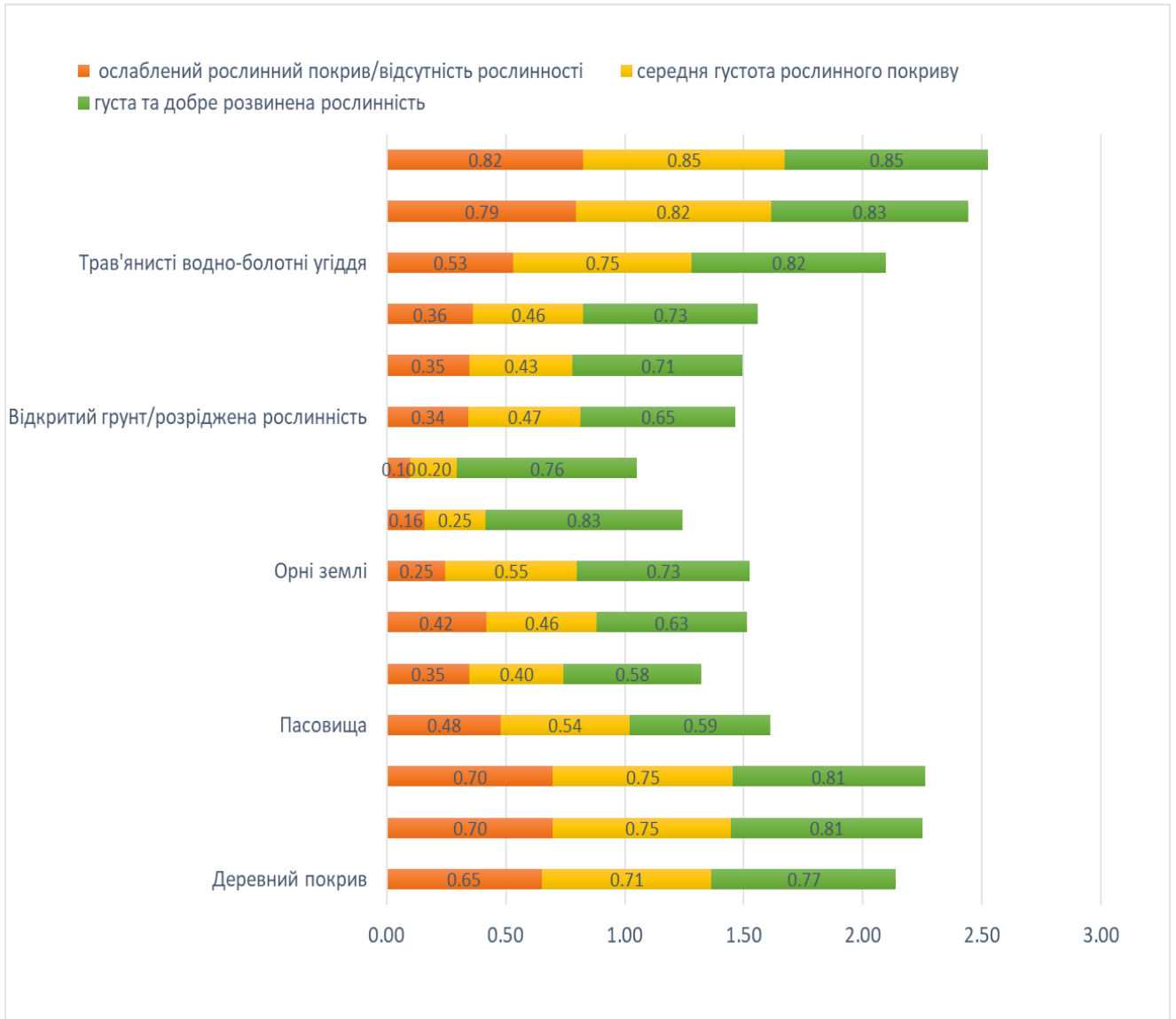


Рисунок 4.3 Шкали для оцінювання стану природних та природно-антропогенних екосистем за вегетаційним індексом NDVI

4.3. Аналіз площі листкової поверхні та продуктивності екосистем

Результати Табл. 4.4 відображують дані щодо трьох об'єктів спостереження для різних екосистем Київської області. У Табл. 4.5 зазначене статистичне оброблення даних вимірювань.

Таблиця 4.4 Показники GPP та LAI для екосистем Київської області

		GPP	LAI
Деревний покрив	1	0,066	0,23
	2	0,053	0,16
	3	0,047	0,13
Пасовища	1	0,06	0,26
	2	0,07	0,47
	3	0,062	0,35
Орні землі	1	0,065	0,37
	2	0,062	0,21
	3	0,037	0,08
Гола, розріджена рослинність	1	0,049	0,26
	2	0,053	0,34
	3	0,058	0,29
Постійні водойми	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
Трав'янисті водно-болотні угіддя	1	0,067	0,18
	2	0,07	0,09
	3	0,061	0,23

Таблиця 4.5 Статистика GPP та LAI для Київської області

Деревний покрив	GPP	LAI
Середнє	0,055	0,173
Стандартна помилка середнього значення	0,006	0,029
Медіана	0,0528	0,1600
Стандартне відхилення	0,009	0,051
Дисперсія	0	0,003
Діапазон	0,019	0,1

Мінімум		0,047	0,13
Максимум		0,066	0,23
Процентілі	25	0,049	0,137
	50	0,053	0,16
	75	0,063	0,213
Пасовища			
		GPP	LAI
Середнє		0,064	0,36
Стандартна помилка середнього значення		0,003	0,060
Медіана		0,0612	0,35
Стандартне відхилення		0,005	0,105
Дисперсія		0	0,011
Діапазон		0,010	0,21
Мінімум		0,06	0,26
Максимум		0,07	0,47
Процентілі	25	0,060	0,283
	50	0,062	0,35
	75	0,068	0,44
Орні землі			
		GPP	LAI
Середнє		0,055	0,22
Стандартна помилка середнього значення		0,009	0,083864971
Медіана		0,062	0,210
Стандартне відхилення		0,015	0,145
Дисперсія		0	0,021
Діапазон		0,027	0,29
Мінімум		0,037	0,08
Максимум		0,065	0,37
Процентілі	25	0,044	0,113
	50	0,062	0,21
	75	0,064	0,33
Відкритий ґрунт/ розріджена рослинність			
		GPP	LAI
Середнє		0,053	0,297
Стандартна помилка середнього значення		0,003	0,023
Медіана		0,053	0,290
Стандартне відхилення		0,005	0,040
Дисперсія		0	0,002
Діапазон		0,10	0,08
Мінімум		0,049	0,26
Максимум		0,059	0,34
Процентілі	25	0,05	0,268
	50	0,053	0,29
	75	0,057	0,328
Трав'янисті водно-болотні угіддя			
		GPP	LAI

Середнє		0,066	0,167
Стандартна помилка середнього значення		0,002	0,041
Медіана		0,067	0,180
Стандартне відхилення		0,004	0,071
Дисперсія		0	0,005
Діапазон		0,008	0,14
Мінімум		0,061	0,09
Максимум		0,07	0,23
Процентілі	25	0,063	0,113
	50	0,067	0,18
	75	0,069	0,216

Деревний покрив має середнє значення GPP 0,055, значення LAI - 0,173. Це свідчить про невелику щільність листяного покриву та помірну біопродуктивність. Стандартне відхилення низькі, що характеризує помірну варіативність між окремими територіями. Досить низькі мінімальні значення адже наявні фрагментовані ділянки. Деревний покрив характеризується нерівномірним розподілом продуктивності.

Пасовища мають середні значення GPP 0,063 та LAI — 0,36. Виходячи із вищезазначеного це перевищує показники деревного покриву.

На деяких ділянках LAI досягає 0,47, це свідчить про високу густоту рослинного покриву. Значення GPP вказують на стабільність продуктивності пасовищ.

На орних землях середнє значення GPP становить 0,054 і це характеризує помірну продуктивність, а середнє значення LAI - 0,22 – низька площа листового покриву.

Орні землі характеризуються середньою варіативністю, максимальне LAI 0,37, воно можливе на піку вегетації (у червні-липні), якщо брати до уваги мінімальне значення, то воно зазвичай після збору врожаю становить 0,08. Стандартне відхилення досить високе, це вказує на суттєві сезонні зміни.

Середнє значення GPP для розрідженої рослинності становить 0,053, що близьке до орних земель, але при вищому LAI це свідчить про менш ефективну продуктивність на одиницю листової поверхні.

Середнє LAI - 0,297, що свідчить про вищу щільність листкового покриву. На невелику відносну однорідність покриття вказують діапазон значень і низька дисперсія. Максимальний LAI низький, що характеризує обмежений потенціал і деградованість ґрунтів.

Трав'янисті водно-болотні угіддя мають найвище середнє значення GPP - 0,066. Це пов'язано з активною рослинністю у зволжених умовах. Середнє LAI становить 0,167, але при нижчому листковому індексі спостерігається вища ефективність. Стабільні умови через невелику дисперсію та середнє відхилення. Продуктивність на одиницю листової площі у цих екосистемах вища, ніж на орних землях, що вказує на екологічну цінність цих угідь (Рис. 4.4-4.5).

Продуктивність екосистем Київської області

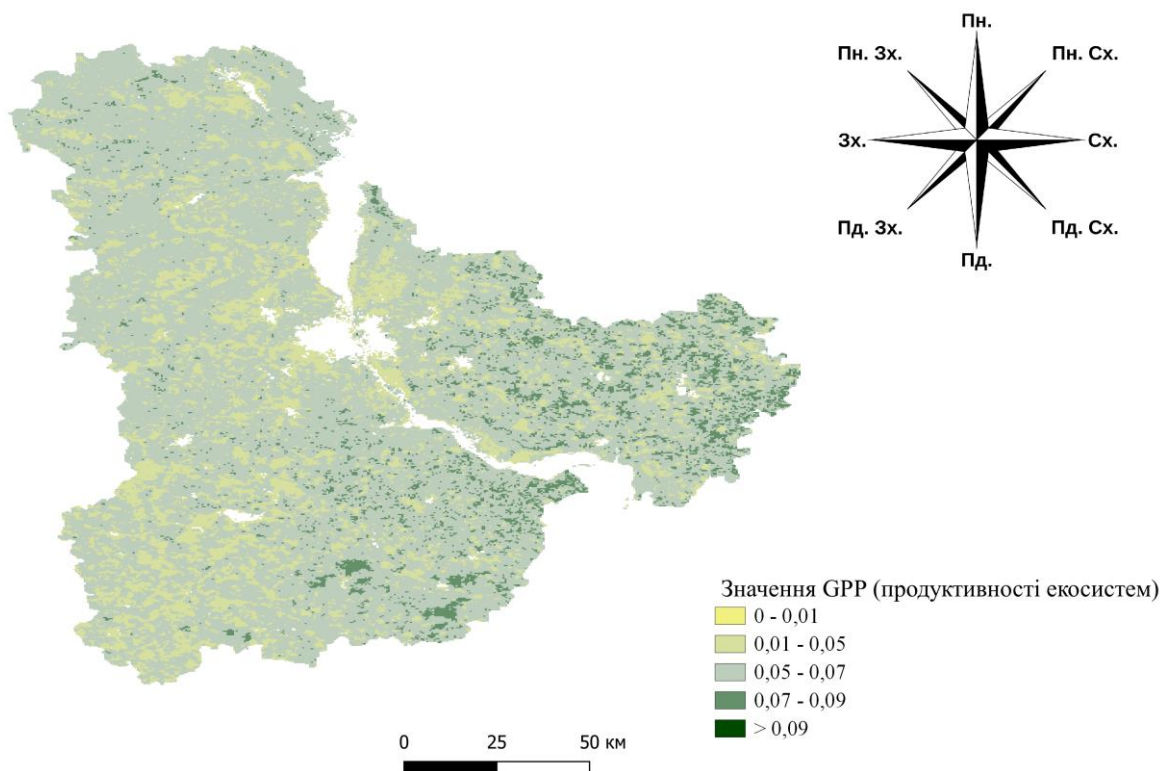


Рисунок 4.4. Продуктивність екосистем Київської області

Розподіл LAI (площі листкової поверхні)

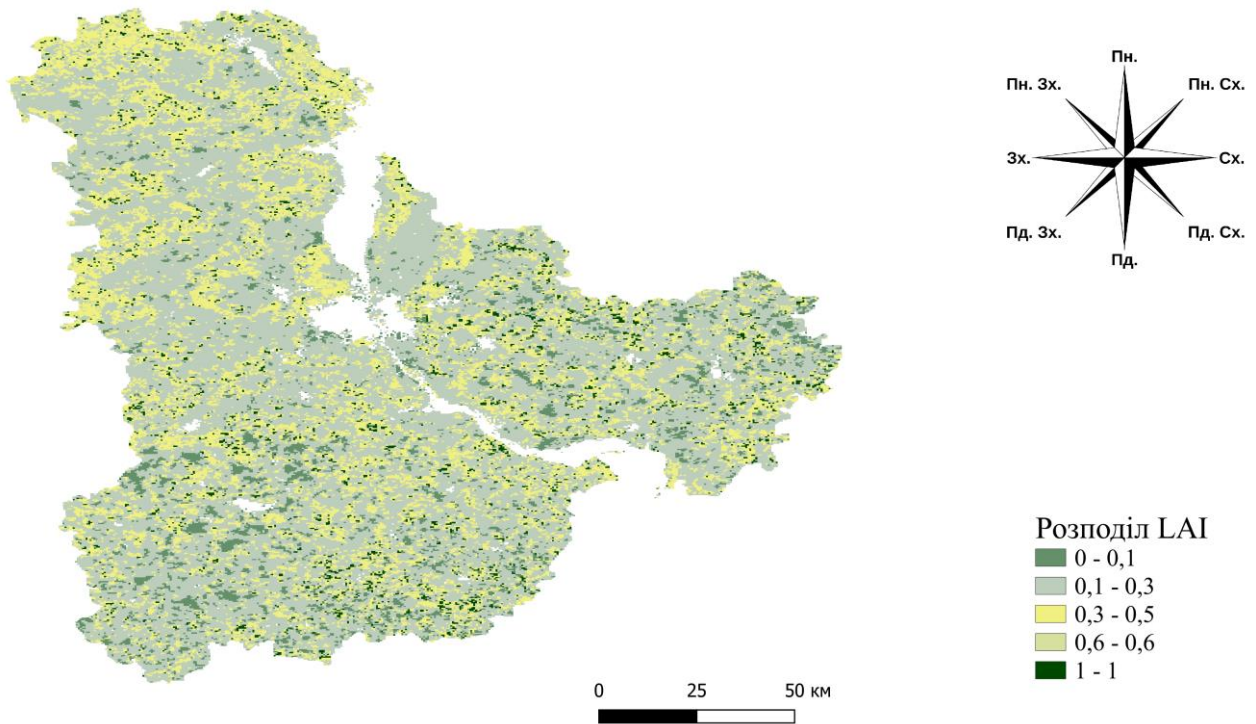


Рисунок 4.5. Розподіл LAI

Отже, результати проведених досліджень засвідчили, що показники площі листкової поверхні і продукту глобальної продуктивності можуть використовуватись для моніторингу біорізноманіття природних і природно-антропогенних екосистем.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

5.1. Екологічні заходи для зменшення впливу на біорізноманіття

Біорізноманіття є фундаментом нашого природного світу. Його значення полягає в його багатогранній ролі у збереженні здоров'я та стабільності екосистем.

Після застосування та вдосконалення заходів пом'якшення протягом десятиліть, наразі доступна велика кількість рішень, які можуть допомогти уникнути та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Наразі є 5 основних загроз біорізноманіттю [42]:

1. Втрата середовища існування
2. Інвазивні види
3. Надмірна експлуатація
4. Забруднення
5. Зміна клімату.

Основні екологічні заходи для зменшення негативного впливу на біологічне різноманіття наступні:

1. Збереження природних ландшафтів.

Наприклад, лісові екосистеми охоплюють типи місць існування, які забезпечують притулок для великого діапазону біорізноманіття, включаючи 80% видів земноводних, 75% видів птахів і 68% видів ссавців. Посадка дерев відновлює важливе середовище існування для біорізноманіття, деякі з яких не можна знайти в інших екосистемах [43].

Один із важливих шляхів передбачити виникнення проблем у регіональному просторі - це збереження, розвиток та відтворення ландшафту, яке можливо лише за реалізації та розроблення механізму управління ландшафтами.

2. Раціональне природокористування - один із заходів, який дозволить використання природних ресурсів способами, що забезпечують сталий розвиток, раціональне використання природно-ресурсного потенціалу, гармонію суспільства і природного середовища.

3. Створення заповідників та інших природоохоронних територій.

4. Зменшення викидів, зокрема викидів вуглецю. Передусім найбільш ефективними із способів є перехід на альтернативні джерела енергії, скорочення викидів на підприємствах та перехід на екологічний транспорт [44].

5. Залучення громадськості, проведення освітніх акцій, що допоможуть усвідомити важливість та залучити до дій. Важливо інформувати молодь про важливість світового біорізноманіття та про те, чому ми повинні захищати його для багатьох майбутніх поколінь. Підтримка місцевих ініціатив, які спрямовані на захист середовищ існування, які перебувають під загрозою та збільшення видового багатства.

6. Захист від браконьєрства. Це можна досягнути лише шляхом неухильної компенсації та високих штрафів за шкоду навколишньому середовищу, адже це зробить браконьєрство занадто ризикованою справою.

Всі перераховані заходи працюють комплексно, а не окремо один від одного, тільки таким чином буде результат. Кожен екологічний спосіб зменшення негативного впливу важливий та займає свою нішу в ланці збереження біорізноманіття.

5.2. Використання даних дистанційного моніторингу для управління природними ресурсами

Дистанційне зондування та геоінформаційні системи надають можливості для моніторингу та управління природними ресурсами в різних часових, просторових та спектральних роздільних здатностях.

Управління природними ресурсами за допомогою геоінформаційних технологій і дистанційного зондування — це потужний підхід, що поєднує різноманітні технології й дані для моніторингу та прийняття рішень щодо природних ресурсів.

Дистанційне зондування передбачає використання датчиків на супутниках або інших платформах для збору даних. Виходячи із вищезазначеного, ГІС — це система, яка призначена для збору, зберігання, аналізу, керування та представлення просторових або географічних даних. Разом ці технології пропонують численні переваги для управління природними ресурсами. Гетерогенні дані корисні для розуміння керівниками активів, а також для об'єднання з дослідниками з метою створення та застосування технологій дистанційного зондування [45].

Дані дистанційного зондування Землі допомагають ідентифікувати та здійснювати контроль середовища існування та видів, які перебувають під загрозою зникнення. ГІС забезпечує інтеграцію різних рівнів даних для того, щоб визначити пріоритетність щодо їх збереження. Дистанційне зондування та ГІС надають цінні інструменти для оцінки моделей біорізноманіття, виявлення змін у середовищах існування та розробки ефективних стратегій збереження. Перш за все створюються картографічні матеріали та виконується моніторинг середовищ існування. Дані дистанційного зондування, включаючи супутникові зображення високого просторового розрізнення та аерофотознімки, можна використовувати для моніторингу різних типів середовищ існування, таких як ліси, водно-болотні угіддя, луки тощо [46].

Дистанційний моніторинг забезпечує комплексне уявлення про лісисті території. ГІС дозволяє інтегрувати ці дані з іншою географічною інформацією,

дозволяючи проводити точну та актуальну інвентаризацію лісів. Це включає інформацію про породи дерев, покрив пологів, густоту лісу та висоту дерев. Дистанційне зондування сприяє виявленню змін і моніторингу вирубки лісів. За допомогою часових рядів зображень можливо ідентифікувати вирубку лісів, незаконну вирубку та інші порушення. ГІС допомагає проаналізувати ступінь і просторовий розподіл цих змін, а також картографувати біорізноманіття лісів та ідентифікувати критичні середовища проживання видів, що знаходяться під загрозою зникнення (Рис. 5.1).

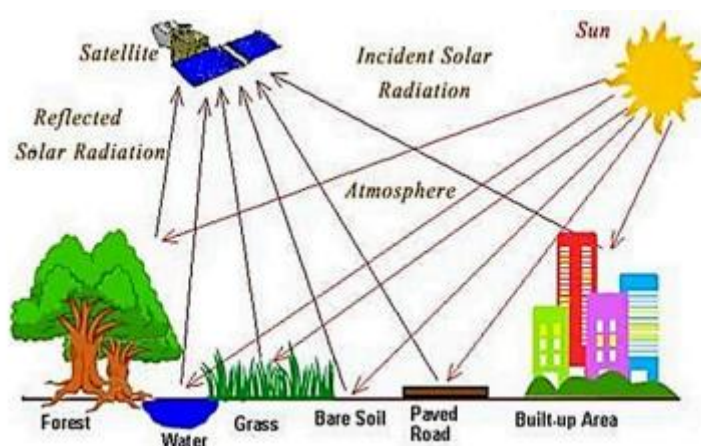


Рисунок 5.1. Елементи дистанційного зондування [48]

ГІС може інтегрувати кілька наборів даних, включаючи типи ґрунту, рельєф, кліматичні дані, зображення дистанційного зондування, щоб оцінити придатність землі для різних культур [47].

Використання даних ДЗЗ може сприяти адаптації сільського господарства до зміни клімату шляхом моніторингу кліматичних змінних, оцінки впливу на сільськогосподарські культури та впровадження стратегій для мінімізації ризиків і підвищення стійкості.

Дистанційний моніторинг сьогодні активно розвивається та сприяє забезпеченню управління природними ресурсами в різних сферах.

5.3. Стратегії збереження екосистем Київської області

На території Київської області локалізуються різноманітні екосистеми, які характеризуються високим біорізноманіттям. З часом, виникають загрози, які негативно впливають на екосистеми, зокрема:

1. Зменшення площ лісі за рахунок незаконної вирубки та збільшення кількості пожеж;
2. Забруднення повітря викидами забруднюючих речовин, які надходять від автотранспорту та підприємств;
3. Забруднення водних об'єктів (Дніпро, Ірпінь, Тетерів тощо) стічними водами та скидами забруднюючих речовин;
4. Зменшення видового різноманіття флори та фауни внаслідок знищення оселищ;
5. Деградація ґрунтів як наслідок нераціонального використання.

На рис. 5.2 зображені напрями стратегії збереження екосистем.



Рисунок 5.2. Напрями стратегії збереження екосистем

Загалом Україна порівняно з ЄС має досить низький відсоток площі природоохоронних територій, тому потрібно розвиватися у цій сфері, тому що це позитивно впливає на збереження цілісності екосистем.

Ґрунти Київщини внаслідок надмірного використання у сільському господарстві, урбанізації та багатьох інших факторів зазнають різних форм деградації, зокрема це: ерозія, засолення, підтоплення, забруднення тощо. Тому застосування агроекологічних, протиерозійних, адміністративних заходів та моніторингу необхідне для відновлення ґрунтів.

Екологічна модернізація регіону, водна стратегія, зелена урбаністика, «зелене зонування» міст - це все екостратегії, які впроваджуються на території Київської області і є важливими для збереження екосистем.

Екологічне землеробство застосовується, щоб зменшити забруднення навколишнього середовища, тим самим зменшити втрату біорізноманіття. Прикладом є органічні ферми Київської області, де використовують добрива біологічного походження.

Використання ГІС технологій необхідне для моніторингу змін екосистем, щоб відслідковувати їхній стан та прогнозувати наслідки. Аналіз супутникових знімків та картографування екосистемних змін впродовж року також є необхідним заходом.

Стратегія збереження екосистем діє лише комплексно, тому необхідно застосовувати всі методи, щоб зберегти та відновити втрачене біорізноманіття.

ВИСНОВКИ

Біорізноманіття є фундаментальним елементом стабільності екосистем, забезпечуючи регуляцію клімату, збереження ґрунтів, водного балансу та забезпечення продовольчої безпеки. Розуміння його стану є критичним для сталого розвитку регіонів.

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та сучасні засоби дозволяють проводити високоточний, масштабний та регулярний моніторинг змін в екосистемах без фізичного втручання у довкілля.

Київська область представлена широким спектром природних умов — від лісових і лісостепових екосистем до заболочених територій Полісся. Разом із високою щільністю населення та аграрною активністю це створює складну ситуацію в управлінні біорізноманіттям.

Аналіз супутникових знімків та вегетаційних індексів (NDVI), виконаний на основі використання часового ряду даних, визначення площі листкової поверхні (LAI), валової первинної продуктивності екосистем (GPP), показав значні просторові зміни у землекористуванні модельної території за останнє десятиліття:

- скорочення пасовищ і природних лук;
- урбанізацію сільськогосподарських угідь;
- часткове зростання площ лісового покриву через самозаліснення покинутих земель.

Веgetаційні індекси продемонстрували зниження середніх показників стану рослинного покриву у центральній та південній частині Київської області, що свідчить про деградацію екосистем під тиском антропогенних чинників (розорювання, забудова, знищення прибережних смуг).

Біофізичні параметри (площа листкової поверхні, продуктивність рослинності, фотосинтетична активність), оцінені за супутниковими даними, вказують на зниження екологічної ефективності екосистем у низці районів, що пов'язано з виснаженням ґрунтів і кліматичними змінами.

У дослідженні також було виявлено, що:

- найвищі показники біомаси зберігаються у лісових масивах півночі Київщини;
- найуразливішими є аграрні території, прилеглі до урбанізованих зон.

Нормативно-правовий аналіз засвідчив, що сучасна система екологічного моніторингу в Україні має потенціал для інтеграції даних дистанційного зондування Землі, але потребує оновлення процедур, стандартів та технічного забезпечення.

Запропоновані екологічні рекомендації включають:

- створення буферних зон довкола природних оселищ;
- відновлення деградованих екосистем через залісення та ревіталізацію водно-болотних угідь;
- активне використання даних дистанційного моніторингу для прийняття управлінських рішень.

Практична цінність дослідження полягає у створенні адаптованої методики для моніторингу біорізноманіття в умовах змішаного природно-антропогенного середовища, яку можна впроваджувати не лише в Київській області, а й в інших регіонах України.

Список використаних джерел:

1. Біологічне та ландшафтне різноманіття [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecoleague.net/pro-vel/tematychni-napriamy-diialnosti/biologichne-ta-landshaftne-riznomanittia>
2. Marc P. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool in pest control / Marc P., Canard A. // Agriculture, ecosystems & environment. – 1997. – Т. 62. – №. 2. – С. 229– 235.
3. Альфа-, бета-, гамма-, дельта-різноманітність. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mybiblioteka.su/tom2/7-52623.html>
4. Estimating Alpha, Beta, and Gamma Diversity Through Deep Learning. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.839407/full>
5. Конвенція про біорізноманіття. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/bioriznomanittya/mizhnarodni-dogovory-u-sferi-zberezheniya-bioriznomanittya-dykoyi-flory-ta-fauny/konventsiya-pro-bioriznomanittya/>.
6. Оргуська конвенція – Екологія Право Людина. *Екологія Право Людина*. URL: <https://epl.org.ua/environment-tax/orguska-konventsiya/> (дата звернення: 10.01.2025).
7. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text (дата звернення: 10.01.2025).
8. Про охорону навколишнього природного середовища. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 10.01.2025).
9. Про охорону атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 10.01.2025).

10. Екологічний моніторинг довкілля – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт.* URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichnyj-monitoryng-dovkillya/>
11. Дистанційне зондування Землі: види та перспективи - WEAGRO. *WEAGRO.* URL: <https://weagro.com.ua/blog/dystanczijne-zonduvannya-zemli-vydy-ta-perspektyvy/>
12. Проф., д-р Петро Когут. Види Дистанційного Зондування: Переваги та Застосування. *EOS Data Analytics.* URL: <https://eos.com/uk/blog/vydy-dystantsiinoho-zonduvannia/>
13. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.
14. Види дистанційного зондування. *StudFiles.* URL: <https://studfile.net/preview/5166486/page:5/> (дата звернення: 12.01.2025).
15. Перегляд Перспективи і особливості використання різних типів дистанційного зондування Землі для моніторинга екологічних індикаторів болотних та річкових екосистем. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Екологія. Людина. Суспільство".* URL: <https://ecoconference.kpi.ua/article/view/233530/233334> (дата звернення: 12.01.2025).
16. МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. *Команда підтримки реформ, Міндовкілля.* URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf.
17. LibreTexts. 10.1: моніторинг екосистем. *LibreTexts - Ukrayinska.* URL: <https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B>

[3%D1%96%D1%8F/%D0%91%D1%96%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F %D0%B7%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F %D0%B2 %D0%90%D1%84%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%96 %D0%BD%D0%B0 %D0%BF%D1%96%D0%B2%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%8C %D0%B2%D1%96%D0%B4 %D0%A1%D0%B0%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B8 %28Wilson and Primack%29/10%3A %D0%B7%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F %D0%B5%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC/10.01%3A %D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3 %D0%B5%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC?](https://freemap.com.ua/kyiv-region/opys-elementiv-kyyivskoyi-rehionalnoyi-shemy-ekolohichnoyi-ekomerezhi/)

18. Карта Київської області. *Старовинні карти*.

URL: <https://freemap.com.ua/kyivskaya-oblast/> (дата звернення: 18.01.2025).

19. Фізико-географічна характеристика Київської області. *StudFiles*.

URL: <https://studfile.net/preview/7105843/> (дата звернення: 18.01.2025).

20. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний паспорт Київської області [Електронний ресурс] / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. – 2023. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-Kyyivska-oblast.pdf>.

21. Характеристика клімату Київської області. *StudFiles*.

URL: <https://studfile.net/preview/5025387/page:2/> (дата звернення: 18.01.2025).

22. Опис елементів Київської регіональної схеми екологічної екомережі | Природно-заповідний фонд Київщини. *ІПрирода України*.

URL: <https://pryroda.in.ua/kyiv-region/opys-elementiv-kyyivskoyi-rehionalnoyi-shemy-ekolohichnoyi-ekomerezhi/> (дата звернення: 25.01.2025).

23. Парнікоза І., Василюк О., Іноземцева Д., Костюшин В., Мішта А., Некрасова О., Балашов І. Степи Київської області. Сучасний стан та проблеми збереження. Серія: Збережемо українські степи— К.: НЕЦУ, 2009. — 160 с. з іл.

24. Landsat Science. Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/> (date of access: 16.02.2025).
25. Вегетаційний індекс NDVI: Формула та Використання. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndvi/> (дата звернення: 16.02.2025).
26. USGS EROS Archive - Sentinel-2 - Comparison of Sentinel-2 and Landsat. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat> (date of access: 16.02.2025)
27. Сергеева К. Вегетаційні Індекси Та їх Застосування В Агросекторі. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/uk/blog/vehetatsiini-indeksy/>
28. Landsat Normalized Difference Vegetation Index. USGS. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index> (date of access: 05.02.2025).
29. NDVI: нормалізований диференційний вегетаційний індекс. *AgriChain Scout* | Управління моніторингом посіві. URL: <https://scout.agrichain.com.ua/ndvi-normalizovanyj-dyferenczijnyj-vegetaczijnyj-indeks/> (дата звернення: 06.02.2025).
30. Вегетаційний індекс NDVI: Формула та Використання. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/make-an-analysis/ndvi/> (дата звернення: 06.02.2025).
31. Черлінка В. NDVI Та Стан Рослинності: Відповіді На Популярні Питання. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/blog/ndvi-pytannia-i-vidpovid/> (дата звернення: 06.02.2025).
32. Дериш Б. Б. Алгоритми класифікації біомедичних зображень на основі методу k-means : Магістерська робота. Тернопіль, 2018.
33. Кластерний аналіз, переваги його застосування. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/6440954/page:17/> (дата звернення: 20.02.2025).
34. Квартич Т. АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ. *Фотограмметрія та дистанційне зондування землі*. 2014. С. 110–114.

35. Drusch, M., Gascon, F., Berger, M., Skakun, S., Middleton, E., Fomferra, N., Martimort, P. Sentinel-2: Overview, mission requirements, and user applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. 166: 170–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.001>.
36. Sentinel Hub. (n.d.). Sentinel-2 Bands. URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/bands/>
37. Operational Land Imager | Landsat Science. Landsat Science | A joint NASA/USGS Earth observation program. URL: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/spacecraft-instruments/operational-land-imager/> (date of access: 17.03.2025).
38. IKONOS-2 - Earth Online. Earth Online. URL: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/ikonos-2> (date of access: 17.03.2025).
39. Dente, L.; Satalino, G.; Mattia, F.; Rinaldi, M. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield. *Remote Sens. Environ.* 2008, 112, 1395–1407. (дата звернення: 18.04.2025).
40. Martha, G.B.; Alves, E.; Contini, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agric. Syst.* 2012, 110, 173–177. (дата звернення: 19.04.2025).
41. Parente, L.; Mesquita, V.; Miziara, F.; Baumann, L.; Ferreira, L. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sens. Environ.* 2019, 232, 111301. (дата звернення: 18.04.2025).
42. Solutions to mitigate impacts and benefit nature - Biodiversity & infrastructure handbook. Biodiversity & infrastructure handbook. URL: <https://www.biodiversityinfrastructure.org/handbook/5-solutions/> (date of access: 02.04.2025)
43. 12 Ways to Prevent Biodiversity Loss. One Tree Planted. URL: https://onetreepanted.org/blogs/stories/conserving-biodiversity?srsItd=AfmBOorSj0L8yOu8vpk9zH_NsiXON-ft_7q74gKd2hVxwQBTW23cM6Ta (date of access: 02.04.2025).

44. Directory S. How Can We Minimize Negative Biodiversity Impacts? → Question. Sustainability Directory. URL: <https://sustainability-directory.com/question/how-can-we-minimize-negative-biodiversity-impacts/> (date of access: 02.04.2025).
45. Schulz, K.; Hänsch, R.; Sörgel, U. Machine Learning Methods for Remote Sensing Applications: An Overview. *Proc. Remote Sens.* 2018, 10790, 1079002.
46. Reddy Machireddy S. Natural Resource Management using Remote Sensing and Geographic Information Systems. Sunandana Reddy.et.al / *Environmental Science and Engineering* 2(2), 2023, 73-82 Copyright@ REST Publisher Environmental Science and Engineering. 2023. Vol. 2, no. 2
47. Wang, M.; Wander, M.M.; Mueller, S.; Martin, N.; Dunn, J.B. Evaluation of Survey and Remote Sensing Data Products Used to Estimate Land Use Change in the United States: Evolving Issues and Emerging Opportunities. *Environ. Sci. Policy* 2022, 129, 68–78.
48. Runoff volume prediction in the megadrigadda reservoir catchment due to past land use/land cover trends-a case study. Авторы: P. Shiva Kumar, G. Venkata Rao, Eswara Veera Raghava Rao, CH Kannamu Naidu Журнал: *Journal of Physics: Conference Series* Том: 2040 Выпуск:1 Рік:2021