

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Факультет природничих наук
Кафедра лісового і аграрного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
на тему **«МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ ЛІСОВОГО ФОНДУ МЕТОДОМ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ЛГ-2м
спеціальності 205 «Лісове господарство»

Первісник К.О.

Керівник: д.т.н., проф. Перович І.Л.

Рецензент: к.б.н, доц. Клід В.В.

Івано-Франківськ – 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ЗМІН ЛІСОВОГО ПОКРИВУ.....	5
1.1. Лісовий покрив – об’єкт географічного дослідження.....	5
1.2. Метод дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій у моніторингу та обліку лісів.....	10
РОЗДІЛ 2. ВИДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	21
2.1. Активні методи дистанційного зондування Землі.....	21
2.2. Пасивне дистанційне зондування Землі.....	23
2.3. Мікрохвильові методи дистанційного зондування Землі....	28
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВКРИТИХ ПЛОЩ.....	38
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Дослідження за допомогою супутникових знімків стає важливим інструментом для моніторингу та обліку територій, особливо в контексті природоохоронних зон і лісовкритих площ. Це технологічне рішення значно збільшує ефективність, дозволяючи проводити моніторинг великих територій без необхідності витратних наземних досліджень.

Супутникові знімки дозволяють дистанційно оцінювати стан ландшафтних комплексів, що дає змогу відстежувати зміни в екосистемах, виявляти вирубки лісів, аналізувати біорізноманіття та реагувати на надзвичайні ситуації, такі як лісові пожежі або ерозія ґрунтів. Завдяки використанню геоінформаційних систем (ГІС), супутникові дані можна інтегрувати з іншими джерелами інформації для створення точних карт та моделей розвитку ландшафтів.

Такий підхід особливо важливий для природоохоронних територій, де традиційні методи обліку і моніторингу можуть бути надто затратними та складними через важкодоступність місцевості або потребу в великій кількості робочої сили. Використання супутникових даних спрощує контроль за станом лісових угідь, сприяє оперативному реагуванню на екологічні зміни та підтримці природного балансу на таких територіях.

Окрім того, супутникові знімки забезпечують неперервний доступ до даних, що дозволяє проводити довгостроковий аналіз та прогнозувати зміни в екосистемах, полегшуючи планування та впровадження заходів для збереження природного середовища.

Об'єктом дослідження є – лісовкриті площі, а **предметом** – застосування геоінформаційних методів та методів дистанційного зондування для їх моніторингу.

Метою даної роботи є висвітлення основних підходів до спостереження та обліку лісового покриву за допомогою геоінформаційних

технологій та дистанційного зондування землі. Відповідно до мети нами були поставлені наступні **завдання**:

- дати загальну характеристику геоінформаційних технологій дистанційного зондування Землі та змін лісового покриття;
- описати основні види дистанційного зондування землі та їх застосування;
- навести методику моніторингу лісо вкритих площ.

Стан наукової розробки. У дипломній роботі використана науково-технічна література наукової бібліотеки Прикарпатського національного університету ім. В. Стефаника», яка висвітлює досліджувані питання. При опрацюванні дипломної роботи проаналізовано нові монографії, статті у наукових фахових виданнях та матеріали міжнародних науково-практичних конференцій.

Методи дослідження. При виконанні дипломної роботи описувались методи дистанційного зондування лісовитих площ.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження рекомендуються до впровадження у лісогосподарських підприємствах ДП «Ліси України».

Окремі положення і висновки мають теоретично-пізнавальне значення і можуть бути використані у навчальному процесі студентів лісогосподарського профілю при викладанні навчальної дисципліни “ГІС в лісовому господарстві”.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків і списку використаних джерел 19 посилань), викладена на 56 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ЗМІН ЛІСОВОГО ПОКРИВУ

1.1. Лісовий покрив – об’єкт географічного дослідження.

Ліси є важливим природним багатством України, виконуючи водоохоронні, захисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі та інші функції, а також забезпечуючи населення лісовими і рекреаційними ресурсами. Хоча лісовий фонд України охоплює значну площу – 10,4 млн га, з яких 9,6 млн га вкриті лісами, рівень лісистості в країні є відносно низьким і становить лише 15,9%. Це нижче за оптимальний рівень для забезпечення екологічної стабільності, який для України складає близько 20%.

Ліси в Україні сприяють не тільки поліпшенню стану навколишнього середовища, але й відіграють значну роль в економіці, особливо в таких галузях, як лісове господарство та деревообробна промисловість. Лісові ресурси також є важливим компонентом рекреаційної сфери, оскільки лісові масиви часто використовуються для відпочинку та туризму. Водночас низький рівень лісистості вимагає збалансованого підходу до використання та відновлення лісових ресурсів, а також проведення лісовідновлювальних заходів для підтримки екологічного та економічного потенціалу країни.

Збереження і раціональне використання лісів мають велике значення для забезпечення екологічної рівноваги, захисту ґрунтів від ерозії, регулювання водного режиму та боротьби зі зміною клімату [2].

Згідно з Лісовим кодексом України, ліс визначається як природний комплекс (екосистема), в якому переважають деревна та чагарникова рослинність, поєднана з відповідними ґрунтами, трав'яною рослинністю, тваринним світом, мікроорганізмами та іншими природними компонентами. Усі ці елементи лісової екосистеми взаємодіють між собою

і впливають на розвиток один одного, а також на навколишнє природне середовище.

Такий підхід підкреслює, що ліс є складною та взаємопов'язаною системою, яка виконує важливі екологічні функції. Ліси не тільки служать джерелом деревини та інших ресурсів, але й регулюють клімат, сприяють збереженню біорізноманіття, поліпшують водний баланс і захищають ґрунти від ерозії. Відповідно, сталий підхід до лісокористування та збереження лісових екосистем є важливим елементом екологічної політики України [3]. Так, під лісом можна розуміти елемент ландшафту, що складається з великої кількості дерев, які утворюють суцільне насадження та взаємодіють як між собою, так і з навколишнім середовищем через складну систему екологічних і біологічних зв'язків. Ліс є не просто скупченням дерев, а цілісною екосистемою, де різні компоненти – дерева, чагарники, трав'яна рослинність, ґрунти, мікроорганізми та тваринний світ – взаємопов'язані і впливають один на одного.

Ця екосистема виконує різноманітні функції, такі як регулювання клімату, забезпечення притулку для різних видів тварин і рослин, збереження водних ресурсів та підтримка біорізноманіття. Ліс як ландшафтний елемент відіграє важливу роль не лише у природних процесах, але й у людській діяльності, забезпечуючи ресурси та місце для відпочинку і рекреації.

Так, поняття «лісовкрита територія» означає площу, на якій зростає значна кількість дерев, що формують суцільний, відносно однорідний за складом і структурою масив. Це може бути як велика частина суцільного лісового масиву, так і окремі ділянки, вкриті деревною рослинністю, що входять до складу цього масиву або є ізольованими від нього.

Лісовкриті території відіграють важливу роль у природоохоронних дослідженнях і лісовому господарстві, оскільки вони представляють собою ділянки, на яких зосереджені головні лісові ресурси та екологічні функції

лісів. До таких ділянок належать не тільки великі лісові масиви, але й менші фрагменти лісу, які можуть бути окремо розташованими, але все одно важливими для збереження біорізноманіття, водного балансу та кліматичних умов.

Проблема вирубки та деградації лісів дійсно є актуальною для України, особливо з огляду на обмежені площі лісових територій та їхню важливу природоохоронну роль. Ліси відіграють ключову роль в екологічному балансі: вони очищають повітря, підвищують вологість, накопичують і зберігають вологу, рівномірно розподіляють поверхневі стоки, захищають ґрунти від ерозії, особливо на стрімких схилах. Збереження цих функцій є критично важливим для сталого розвитку країни та екологічної стабільності.

Хоча в Україні спостерігається поступове збільшення запасів деревини, що свідчить про позитивні тенденції в лісовому господарстві, це також потребує продовження та посилення зусиль для захисту лісів. Зростання частки заповідних лісів до 6,1% є важливим кроком у збереженні біорізноманіття та захисті природних екосистем. Однак, враховуючи, що близько половини українських лісів є штучно створеними (лісозахисні смуги, плантації), вони потребують посиленого догляду та регулярного моніторингу для забезпечення їх здорового розвитку і стійкості до кліматичних змін та шкідників.

Охорона лісів та їх ефективний моніторинг (у тому числі із застосуванням сучасних технологій, таких як супутникові знімки та ГІС-системи) дозволять краще контролювати стан лісових масивів, оперативно реагувати на незаконні вирубки та деградацію, а також планувати заходи для покращення лісовідновлення та стійкого управління лісовими ресурсами.

Знеліснення є серйозною екологічною проблемою, яка активно прогресує як в Україні, так і в усьому світі. Це процес, під час якого колись лісовкриті території перетворюються на угіддя без деревної рослинності,

часто внаслідок вирубки або зміни землекористування. Згідно з визначенням ЮНЕП (Програми ООН з проблем довкілля), знеліснення означає повне знищення лісової рослинності та переведення земель в інший тип господарського призначення.

Знеліснення може бути викликане різними факторами, такими як розширення сільськогосподарських угідь, незаконні вирубки лісу, урбанізація, промислові проєкти, пожежі або зміна клімату. Цей процес негативно впливає на біорізноманіття, водний режим, ґрунти та клімат. Ліси виконують важливу роль у поглинанні вуглекислого газу, тому їх втрата сприяє збільшенню викидів парникових газів і прискоренню змін клімату.

В Україні проблема знеліснення також є актуальною, оскільки ліси займають лише 15,9% території країни, що вже є недостатнім для забезпечення екологічної стабільності. Це потребує посилення зусиль зі збереження існуючих лісів, запобігання незаконній вирубці та впровадження сталих практик лісовідновлення. Ефективний моніторинг знеліснення, включаючи використання супутникових технологій, допомагає краще розуміти масштаби проблеми та вживати відповідних заходів для її вирішення [4].

Знеліснення дійсно не є виключно антропогенним явищем, оскільки на цей процес можуть впливати і природні фактори. До основних причин знеліснення належать вирубка лісів без належного поновлення, лісові пожежі, вітровали, кислотні дощі, зміни у гідрологічному режимі, зниження стійкості дерев до фітозахворювань, радіоактивне ураження (як у випадку з Чорнобильською зоною), масове всихання дерев тощо. Ці фактори призводять до деградації лісових екосистем і втрати лісового покриву.

З огляду на це, важливим завданням сучасного лісового господарства є охорона лісових ресурсів, ефективне управління та контроль за станом лісів. Це потребує інтегрованого підходу, що включає

моніторинг лісів, своєчасне виявлення проблем та їх вирішення, наприклад, шляхом лісовідновлення та впровадження заходів проти шкідників і хвороб.

Стратегія сталого розвитку України до 2030 року (Ціль 6) передбачає збільшення площ територій природно-заповідного фонду до 15% території країни та підвищення рівня лісистості до 20%. Це є важливим кроком у напрямку збереження екологічного балансу та адаптації до змін клімату. Виконання цих цілей потребує як розширення територій, що перебувають під охороною, так і ефективних заходів для лісовідновлення та сталого використання лісових ресурсів [5]. У вирішенні цього питання допомогти можуть геоінформаційні методи обліку територій.

Однією з вкрай важливих функцій природоохоронних територій є збереження та охорона лісових ресурсів. Проблемами, з якими можуть стикатися природоохоронні території, особливо НПП – це незаконні вирубки лісів та деградація лісового покриву. Тому важливим в такій ситуації є їх моніторинг та контроль ситуації. Даний моніторинг найкраще може бути здійснений за допомогою сучасних дистанційних методів дослідження, особливо з застосуванням геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі й подальшого обліку земель.

Існує велика кількість категорій природоохоронних територій, що розрізняються за ступенями обмеження діяльності людей та за підпорядкуванням. Національний природний парк – одна з найвищих категорій природоохоронних територій. Це територія, що знаходиться у державній власності та на якій обмежена господарська діяльність задля збереження природного середовища. Національний парк є природоохоронною територією категорії II згідно з визначенням МСОП (Міжнародний союз охорони природи). Згідно статтею 20 Закону України Про природно-заповідний фонд України: Національні природні парки є природоохоронними, рекреаційними, культурно-освітніми, науково-

дослідними установами загальнодержавного значення, що створюються з метою збереження, відтворення і ефективного використання природних комплексів та об'єктів, які мають особливу природоохоронну, оздоровчу, історико-культурну, наукову, освітню та естетичну цінність.

На національні природні парки покладається виконання низки важливих завдань.

На території національних природних парків з урахуванням природоохоронної, оздоровчої, наукової, рекреаційної, історико-культурної та інших цінностей природних комплексів та об'єктів, їх особливостей встановлюється диференційований режим щодо їх охорони, відтворення та використання згідно з функціональним зонуванням [6].

Отже, згідно з Законом України, вирубка та загалом будь – яка господарська діяльність, яка може зашкодити парку – заборонена. Проте дотримання цієї заборони не завжди відбувається. Щороку реєструються сотні випадків незаконних рубок чи створення несанкціонованих рекреаційно – туристичних точок, які докорінно змінюють ландшафти парку. Відслідкування цих та інших негативних змін в межах лісонасаджень НПП вкрай важливо й потребує детального контролю. Здійснення цього контролю можливе через застосування в моніторингу лісів методів дистанційного зондування, використання сучасних геоінформаційних технологій й опрацювання супутникових матеріалів.

1.2. Метод дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій у моніторингу та обліку лісів.

Лісові масиви є складними і динамічними природними системами, які постійно зазнають змін під впливом як природних, так і антропогенних факторів. Через високу трудомісткість отримання інформації про стан лісів і їх склад, велике значення в оцінюванні та моніторингу лісів набувають

дистанційні методи досліджень. Вони забезпечують оперативний збір та аналіз даних, що є особливо важливим для виявлення незаконних вирубок, контролю за станом лісових ресурсів, лісовими пожежами та іншими загрозами.

Експлуатація лісових ресурсів часто проводиться нерационально і не завжди санкціоновано, що створює додаткову загрозу для лісів. Тому дистанційний моніторинг лісів, зокрема за допомогою супутникових знімків, дронів та геоінформаційних систем (ГІС), є важливим інструментом для контролю за їх промисловим використанням і відновленням. Цей метод дозволяє отримувати точні та актуальні дані про площі лісів, їхній склад, динаміку змін та стан окремих ділянок.

Облік лісовкритих площ та лісовпорядкувальні роботи є частиною системи державних заходів, які спрямовані на організацію та ведення лісового господарства. Ці заходи включають охорону і захист лісів, раціональне використання лісових ресурсів, підвищення продуктивності лісових насаджень і забезпечення їх відновлення. Оцінка лісовкритих площ та аналіз основних таксаційних показників (таких як вік лісів, їх склад, продуктивність) є важливими для забезпечення сталого управління лісовими ресурсами.

Регулярний моніторинг дозволяє своєчасно виявляти зміни у лісових масивах, відслідковувати вирубки, лісові пожежі, антропогенне навантаження та інші загрози. Це також сприяє збереженню біорізноманіття, охороні екосистем та підвищенню екологічної стійкості лісів.

Для підвищення ефективності управління лісовими ресурсами, зменшення витрат та точного визначення лісівничо-таксаційних показників в лісовому господарстві особливо корисним є впровадження методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Ці методи дозволяють отримувати важливу інформацію про стан лісів з допомогою супутникових знімків та інших дистанційних даних. ДЗЗ має низку переваг, зокрема доступність

для великих територій, оперативність у зборі даних та відносно низьку вартість порівняно з традиційними методами наземного моніторингу.

Супутникові знімки дозволяють відслідковувати зміни лісового покриву, виявляти незаконні вирубки, оцінювати рівень вирубки і природного поновлення лісів, а також аналізувати вплив змін клімату та інших факторів на ліси. Використання ДЗЗ забезпечує можливість автоматичного оновлення інформації про стан лісів, що полегшує прийняття рішень щодо лісовпорядкування, планування рубок, відновлення та охорони лісів.

Завдяки високій роздільній здатності сучасних супутникових систем, можливо детально аналізувати структуру лісових насаджень, їхній склад, густоту та біомасу. Крім того, ДЗЗ допомагає в екологічному моніторингу лісів, виявленні зон зниження стійкості до хвороб та шкідників, що особливо актуально у контексті змін клімату та антропогенного впливу.

Отже, впровадження технологій дистанційного зондування Землі є важливим інструментом для забезпечення сталого управління лісовими ресурсами, скорочення витрат на моніторинг та підвищення точності оцінки лісових ресурсів.

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відіграють ключову роль у моніторингу лісів, особливо у важкодоступних районах, де традиційні методи збору даних можуть бути ускладнені через погані умови прохідності або нестачу спеціалістів. Використання супутникових знімків надає можливість отримати високоякісні та інформативні дані про лісові угіддя, що суттєво полегшує процес моніторингу.

Завдяки ДЗЗ можна:

1. Визначати площу лісів: Супутникові знімки дозволяють точно вимірювати площі, вкриті лісом, а також виявляти зміни в їхньому розмірі протягом часу.

2. Оцінювати деревний склад: Аналізуючи спектральні канали знімків, можна отримати інформацію про види дерев, їх густоту та загальний обсяг біомаси.

3. Відстежувати динаміку лісовкритих площ: ДЗЗ допомагає виявляти як позитивні, так і негативні зміни у лісовому покриві, такі як природне поновлення, вирубки або деградація.

4. Моніторити лісові пожежі: Супутникові знімки можуть швидко виявляти місця поширення лісових пожеж, що дозволяє оперативно реагувати на загрози.

5. Аналізувати стан лісів: З допомогою спектрального аналізу можна визначити «здоров'я» лісу, його ураженість шкідниками та хворобами, а також приблизний вік дерев.

Завдяки цим можливостям, дані дистанційного вимірювання можуть служити альтернативою дорожчим наземним спостереженням. Використання ДЗЗ забезпечує економію ресурсів і часу, дозволяючи отримувати актуальну інформацію для управління лісовими ресурсами з високою точністю. Спеціалізовані програми для обробки супутникових знімків можуть перетворити велику кількість даних у корисні аналітичні показники, що сприяє більш обґрунтованому прийняттю рішень у сфері лісового господарства.

Дослідження лісовкритих площ із застосуванням дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можна здійснювати за допомогою аерозйомки та супутникової зйомки, кожен з яких має свої особливості та переваги.

Типи дистанційного зондування:

1. Аерозйомка:

- Виконується з літаків або безпілотних літальних апаратів (дронів).
- Забезпечує високу просторову роздільну здатність, що дозволяє детально аналізувати лісові угіддя.

- Зазвичай використовується для обстеження менших територій з більшою деталізацією.

2. Супутникова зйомка:

- Виконується з космічних супутників, що дозволяє охоплювати великі території.

- Підходить для моніторингу змін у лісовому покриві на глобальному рівні.

Типи знімальних систем:

- Пасивні системи:

- Фіксують відбиті сонячні промені від поверхні Землі.

- Використовують мультиспектральні сенсори, які здатні захоплювати різні спектри світла (наприклад, видиме, інфрачервоне).

- Зазвичай застосовуються при дослідженнях лісів, оскільки дозволяють отримувати інформацію про здоров'я рослин, їх видову різноманітність і зміни в покритті.

- Активні системи:

- Випромінюють сигнали (наприклад, радіохвилі або лазерні промені) і вимірюють їх відбиття від поверхні.

- Це можуть бути радарні системи або LiDAR (Light Detection and Ranging), які забезпечують детальну інформацію про структуру лісу, включаючи висоту дерев і густоту покриття.

Пасивні мультиспектральні сенсори зазвичай використовуються в дослідженнях лісів завдяки їх здатності:

- Визначати види рослинності: за допомогою спектральних характеристик різних типів рослин.

- Оцінювати стан здоров'я лісу: завдяки аналізу відбитого світла, яке варіюється в залежності від фізіологічного стану рослин.

- Моніторити зміни лісових угідь: завдяки регулярним знімкам можна виявити тенденції в зміні площі лісів, їх деградації або відновлення.

Завдяки цим можливостям, дистанційне зондування Землі, особливо з використанням пасивних систем, стало важливим інструментом для ефективного моніторингу та управління лісовими ресурсами.

Для моніторингу лісових угідь і проведення обліку лісовкритих площ в Україні різні рівні точності знімків дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можуть бути використані залежно від специфіки дослідження. Ось як різні сенсори відповідають потребам на різних рівнях:

Базовий рівень (окреме господарство): ці знімки дозволяють отримати детальну інформацію про лісові масиви, визначити їх межі, типи рослинності та виявити зміни в структурі покриття.

Регіональний рівень: знімки з такою роздільною здатністю можуть використовуватись для аналізу стану лісів на регіональному рівні, виявлення великих масивів лісу та моніторингу змін на ландшафтному рівні.

Національний рівень: на цьому рівні знімки з роздільною здатністю 30–50 м є найбільш придатними для загального моніторингу лісових масивів. Вони дозволяють чітко встановити контури великих лісових площ, оцінити їх стан, а також здійснити спостереження за масштабними змінами в лісовому покритті.

Таким чином, вибір сенсора та відповідної роздільної здатності знімків ДЗЗ залежить від мети дослідження, масштабу території та специфічних потреб у моніторингу лісів. Це дозволяє зменшити витрати та забезпечити ефективний контроль за станом лісових ресурсів [7].

Використання мультиспектральних зображень з інфрачервоними каналами є надзвичайно корисним для аналізу вегетаційного покриття земної поверхні, оскільки ці канали здатні виявляти різні характеристики рослинності, які не доступні в видимому спектрі. Ось детальніше про переваги використання інфрачервоного діапазону та рекомендації щодо сенсорів:

Переваги інфрачервоного діапазону:

1. Визначення стану рослин: інфрачервоне випромінювання відображає здоров'я рослин, оскільки здорові рослини відображають більше інфрачервоного світла порівняно з хворими або мертвими рослинами.

2. Вегетаційний індекс: використання вегетаційних індексів, таких як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), який обчислюється на основі значень червоного та інфрачервоного діапазонів, дозволяє оцінити щільність і продуктивність рослинності.

3. Визначення породного складу: спектральні характеристики можуть бути використані для розпізнавання різних видів дерев та їх порід, оскільки кожен вид має унікальний спектральний підпис.

Для визначення вегетаційного покриття та породного складу деревостанів доцільно використовувати мультиспектральні сенсори з різним просторовим розрізненням, залежно від масштабу робіт:

- Просторове розрізнення: 2–10 м:
- QuickBird
- Ikonos.

Ці сенсори підходять для детального картографування та аналізу рослинності на локальному рівні, де важливо зафіксувати малі деталі.

- Просторове розрізнення: 10–30 м:
- Landsat TM/ETM+
- Spot-5.

Знімки з цими сенсорами підходять для регіонального аналізу, де необхідно спостерігати за великими площами лісів та оцінювати їх стан і різноманітність.

Використання мультиспектральних зображень з інфрачервоними каналами значно підвищує інформативність досліджень вегетаційного покриття та породного складу деревостанів. Вибір відповідного сенсора з залежністю від розрізнення дозволяє оптимізувати моніторинг лісових ресурсів і ефективно вирішувати завдання обліку та охорони лісів.

Впровадження сучасних методик дешифрування, зокрема використання «м'яких» класифікаторів, методів нечіткої логіки та субпіксельної класифікації, відкриває нові можливості для детального аналізу та моніторингу лісових ресурсів. Ось кілька ключових аспектів, які підкреслюють важливість цих методів:

Переваги використання сучасних методик дешифрування:

1. Точність класифікації: М'які класифікатори дозволяють присвоювати кілька класів пікселям, що особливо корисно в умовах змішаного покриття, де одні пікселі можуть містити ознаки декількох класів (наприклад, дерев та чагарників). Це сприяє точнішій ідентифікації різних типів деревостанів і їх стану.

2. Субпіксельна класифікація: Дозволяє визначити компоненти, які займають менше ніж один піксель. Це важливо для виявлення молодняків або змішаних насаджень на знімках, де традиційні методи можуть бути недостатньо точними.

3. Відстеження сукцесій: Використання сучасних методів дозволяє відстежувати зміни в рослинності на вирубках та невідкритих лісом землях. Це важливо для планування лісовідновлення та управління лісовими ресурсами.

Застосування на практиці. Аналіз знімків Spot-5: знімки з розміром пікселя 5x5 м. дозволяють відокремлювати різні типи покриття, такі як заростання деревами та чагарниками, або вирубки, де росте лише трав'яна рослинність. Це допомагає виявляти молодняки, зрілі ліси з великими деревами та спостерігати за динамікою сукцесій на територіях, що зазнали змін.

Таким чином, сучасні методики дешифрування, зокрема м'які класифікатори, методи нечіткої логіки та субпіксельна класифікація, значно покращують можливості моніторингу та управління лісовими ресурсами. Вони дозволяють отримувати точнішу інформацію про

структуру лісових насаджень, відстежувати їхній стан і планувати ефективні заходи з лісовідновлення. Впровадження таких технологій у лісогосподарську практику може суттєво підвищити ефективність управління лісами [8, 9] .

Визначення видової структури лісової рослинності є важливим аспектом лісовпорядкування та екологічного моніторингу. Використання багатоспектральних космічних знімків у поєднанні з сучасними програмними продуктами, такими як Erdas Imagine, забезпечує можливість точного аналізу та класифікації лісових масивів.

Методи класифікації

1.Класифікація з навчанням: Цей метод передбачає використання попередньо відомих зразків (тренувальних вибірок) для навчання алгоритму класифікації. Це дозволяє автоматично визначати типи рослинності на основі спектральних характеристик. Навчання може здійснюватися за різними класами, такими як листяні, хвойні, чагарникові рослини, що дає змогу деталізувати картографічні дані.

2. Високий рівень розрізнення: для досягнення максимальної точності класифікації важливо використовувати знімки з високим просторовим розрізненням. Знімки, які забезпечують таку якість, включають:

- Landsat (США) – традиційний вибір для моніторингу лісів, який пропонує доступні дані з хорошою просторовою роздільною здатністю.

- Ikonos та QuickBird (США) – супутники з високим розрізненням, які дозволяють детальніше вивчати структуру лісів.

- SPOT (Франція) – забезпечує мультиспектральні дані з різною просторовою роздільною здатністю.

- IRS (Індія) та Січ-2 (Україна) – інші джерела, які також пропонують відповідні дані для класифікації.

Результати та переваги:

- Уточнення просторового розподілу: використання класифікації з навчанням дозволяє суттєво уточнити просторовий розподіл лісів за видовим складом, що є важливим для розробки схем лісовпорядкування. Це також допомагає виявляти зміни в структурі лісів з часом, що може бути корисним для моніторингу стану лісових екосистем.

- Просторова детальність: завдяки високій роздільній здатності знімків, можливо детально аналізувати видову структуру в межах конкретних кварталів і виділів, що є важливим для раціонального управління лісами.

Отже, використання багатоспектральних космічних знімків та сучасних програмних продуктів, таких як Erdas Imagine, є ефективним інструментом для класифікації видової структури лісової рослинності. Це не лише покращує точність картографування лісів, але й сприяє розумінню екологічних процесів і збереженню біорізноманіття [10].

Оцінка стану лісів за допомогою космічних знімків стикається з низкою викликів, що ускладнюють оперативний моніторинг та аналіз. Однією з основних проблем є темпоральне розрізнення, яке є характеристикою різних сенсорних систем, що впливає на частоту отримання даних.

Виклики у поточній оцінці стану лісів:

1. Темпоральне розрізнення: різні сенсори мають різні інтервали між зйомками, що обмежує можливість оперативного контролю за змінами в лісах. Наприклад, деякі супутники можуть здійснювати зйомку територій щоденно, в той час як інші – раз на кілька тижнів або місяців. Це ускладнює своєчасне виявлення змін у стані лісів.

2. Тривалість терміну після замовлення знімка: час, необхідний для обробки та доставки знімків, також може бути значним, що затримує аналіз даних і ухвалення рішень. В результаті оперативне реагування на проблеми, такі як поширення хвороб або шкідників, може бути ускладнене.

Незважаючи на вищезазначені труднощі, наявність архівних знімків є цінним ресурсом для оцінки стану лісів. Це відкриває такі можливості:

- Аналіз минулих станів: за наявності архівних знімків можна проводити ретроспективний аналіз стану лісів, вивчаючи їх динаміку за попередні роки. Це дозволяє виявити тенденції в зміні лісової рослинності, зміни в видовому складі та виявлення антропогенного впливу.

- Дослідження динаміки поширення хвороб і шкідників: аналіз архівних даних може бути корисним для відстеження поширення хвороб і шкідників у часі, що допоможе вжити заходів для їх контролю та запобігання подальшій деградації лісових масивів.

Таким чином, незважаючи на виклики, пов'язані з поточною оцінкою стану лісів за допомогою космічних знімків, наявність архівних даних надає можливість для глибшого аналізу. Це дозволяє не лише оцінити зміни в лісових екосистемах, а й підготувати рекомендації для їх охорони та відновлення. Тому важливо продовжувати розвивати системи моніторингу, які дозволяють ефективно використовувати наявні дані для покращення управління лісовими ресурсами [11].

.

РОЗДІЛ 2. ВИДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) мають широкий спектр застосувань у різних сферах, і сільське господарство є однією з ключових областей, де ці технології використовуються для підвищення ефективності та продуктивності. Ось деякі основні напрямки використання ДЗЗ в аграрному секторі:

Застосування ДЗЗ в аграрному секторі:

1. Моніторинг стану посівів: ДЗЗ дозволяє фермерам здійснювати регулярний моніторинг здоров'я рослин, виявляти стреси та хвороби на ранніх стадіях. Супутникові знімки, отримані з таких платформ, як Sentinel і Landsat, можуть показувати вегетаційний індекс (NDVI), що вказує на стан рослинності.

2. Оцінка врожайності: аналіз даних з супутників може допомогти у прогнозуванні врожайності культур, що дозволяє фермерам оптимізувати збори та управління ресурсами. ДЗЗ також може забезпечити інформацію про розподіл і щільність рослин.

3. Управління водними ресурсами: супутникові дані дозволяють відслідковувати рівень вологості ґрунту, виявляти ділянки, які потребують зрошення, і управляти водними ресурсами більш ефективно. Це особливо важливо в умовах зміни клімату.

4. Моніторинг земельних ресурсів: за допомогою ДЗЗ можна здійснювати оцінку та моніторинг земельних ресурсів, виявляти зміни в землекористуванні, а також відстежувати деградацію земель, що є важливим аспектом для сталого сільського господарства.

5. Аналіз навколишнього середовища: супутникові знімки використовуються для вивчення впливу аграрного сектора на навколишнє середовище, включаючи аналіз викидів, забруднення води та зміни біорізноманіття.

6. Агрометеорологічні дослідження: ДЗЗ дозволяє фермерам та лісівникам отримувати дані про метеорологічні умови (температура, вологість, опади) на великих територіях, що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо посіву, догляду за культурами та збору врожаю.

Приклади супутників ДЗЗ:

- RADARSAT і TerraSAR-X: Використовуються для моніторингу вологості ґрунту та змін у поверхні.

- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission): Забезпечує дані про рельєф та топографію, що важливо для планування сільськогосподарських територій.

- EOSDA: Використовує алгоритми для аналізу агрономічних даних та прогнозування врожайності.

- ERS (European Remote Sensing Satellite): Застосовується для вивчення зміни стану рослинності.

- Sentinel: Частина програми Copernicus, пропонує високоякісні дані для моніторингу сільського господарства.

- Landsat: Довготривала програма, що надає дані про зміни в землекористуванні, вегетації та використанні ресурсів.

Таким чином, впровадження методів дистанційного зондування Землі в сільському господарстві дозволяє фермерам покращувати управління своїми ресурсами, знижувати витрати, підвищувати врожайність та забезпечувати сталий розвиток. Ці технології забезпечують безпрецедентну можливість збору та аналізу даних, що є критично важливим у сучасному агробізнесі.

2.1. Активні методи дистанційного зондування Землі.

Розглянемо детальніше різницю між активним і пасивним ДЗЗ, а також їхні приклади та застосування.

Активне ДЗЗ. Принцип дії: активне дистанційне зондування використовує власне джерело випромінювання для збору інформації про об'єкти на поверхні Землі. Прилади активного ДЗЗ самостійно випромінюють сигнал, який відбивається від поверхні, а потім реєструють цей відбитий сигнал.

Приклади:

1. Радари: Вони використовують радіохвилі для сканування поверхні. Наприклад: Synthetic Aperture Radar (SAR), Interferometric SAR (InSAR).

2. Лідари (Light Detection and Ranging): Вони використовують лазерне випромінювання для вимірювання відстані до об'єктів. Лідари здатні створювати детальні 3D-моделі поверхні та виявляти зміни в ландшафті.

Вони використовуються для моніторингу змін у земному покриві, картографування лісових масивів, оцінки обсягу деревини, а також для дослідження гідрологічних процесів.

Пасивне ДЗЗ. Принцип дії: у пасивному дистанційному зондуванні використовується відбите сонячне світло. Прилади реєструють енергію, що відбивається від поверхні Землі, без використання власного джерела світла.

Приклади: мультиспектральні та гіперспектральні камери. Вони фіксують світло в різних спектральних діапазонах, що дозволяє аналізувати вегетаційний покрив, стан рослинності та інші характеристики поверхні. Використовуються для моніторингу стану сільськогосподарських культур, оцінки зміни використання земель, аналізу якості води та вивчення екосистем.

Довжина хвиль:

- Короткохвильове випромінювання: включає видиме світло, ближній та середній інфрачервоний діапазони. Ці хвилі зазвичай використовуються для оцінки стану рослинності, оскільки рослини відбивають та поглинають різні довжини хвиль по-різному.

- Довгохвильове випромінювання: включає мікрохвилі, які здатні проникати крізь хмари та інші атмосферні перешкоди, що робить їх корисними для збору даних в умовах поганої видимості.

Таким чином, вибір між активними та пасивними методами дистанційного зондування залежить від конкретних потреб дослідження та характеристик об'єктів, що вивчаються. Поєднання обох методів може надати більш комплексну інформацію про стан і динаміку лісів, сільськогосподарських угідь та інших природних ресурсів.

Розглянемо детальніше прилади активного дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), їхні функції та особливості:

1. Радар: випромінює електромагнітні імпульси (радіохвилі), які відбиваються від об'єктів на земній поверхні. Вимірюється час, за який сигнал повертається до антени. Залежно від інтенсивності повернутого сигналу можна визначити характеристики об'єкта, такі як його відстань, висота, форма та матеріал. Використовується для картографування місцевості, моніторингу зміни земельних покривів, вивчення геологічних структур та моніторингу атмосферних явищ (наприклад, для виявлення опадів).

2. Лідар (Light Detection and Ranging): використовує лазерні імпульси для вимірювання відстані до об'єкта. Сигнал, що відбивається, аналізується для визначення характеристик об'єкта (форма, розмір, висота). Розрахунок базується на часі, за який імпульс доходить до об'єкта і повертається назад. Використовується для створення 3D-моделей поверхні, картографування лісів, визначення об'ємів деревини, а також для моніторингу змін у природних ландшафтах.

3. Лазерний альтиметр: вимірює висоту об'єктів, використовуючи лідар. Він генерує лазерні імпульси, які відбиваються від поверхні Землі, і визначає відстань за аналогічним принципом, як і лідар. Використовується для моніторингу висоти рельєфу, оцінки товщини снігового покриву, а також в геодезії та навігації.

4. Дальноміри: можуть працювати на основі лазерних або радіочастотних сигналів. Вони вимірюють відстань між двома точками, використовуючи час, за який сигнал проходить між ними, та його швидкість. Використовуються для геодезичних вимірювань, картографування та в будівництві.

5. Ехолот: випромінює звукові імпульси, які проходять через атмосферу та відбиваються від об'єктів. За часом, необхідним для

повернення сигналу, визначається глибина або висота. Застосовується в метеорології для дослідження вертикальної структури атмосфери, а також в океанографії для вимірювання глибини води.

6. Скаттерометр: використовує радіохвилі для вимірювання розсіяного випромінювання, яке повертається з поверхні. Це допомагає оцінити характеристики земної поверхні, такі як вологість, стан рослинності та текстуру ґрунту. Використовується для моніторингу метеорологічних умов, океанографії, вивчення сільськогосподарських культур та оцінки зміни клімату.

Загальні переваги активного ДЗЗ:

- Незалежність від погоди: Активні методи не залежать від сонячного світла, що дозволяє проводити вимірювання у будь-яких погодних умовах.

- Точність і деталізація: Можливість отримання високоточних даних про рельєф та структуру об'єктів.

- Незалежність від природного освітлення: пристрої активного ДЗЗ можуть працювати в будь-який час доби, оскільки не потребують сонячного світла для отримання даних. Це є особливо важливим для нічних операцій або в умовах поганої видимості.

- Стійкість до погодних умов: активні системи, такі як радари та лідари, працюють незалежно від атмосферного розсіювання, що дозволяє отримувати дані в умовах туману, дощу або снігу.

- Висока просторово-часова розрізненість: ці методи можуть надавати детальну інформацію про поверхню Землі, включаючи висоту, текстуру та інші фізичні характеристики об'єктів.

- Можливість отримання 3D-моделей: використання лідара дозволяє створювати тривимірні моделі рельєфу, що є важливим для картографії та ландшафтного дизайну.

- Широкий спектр застосувань: активні методи ДЗЗ можуть використовуватись у наукових дослідженнях, агрономії, лісовому господарстві, екології, а також у рятувальних операціях.

Використання активних методів дистанційного зондування Землі забезпечує широкий спектр можливостей для моніторингу та аналізу навколишнього середовища, що є особливо важливим у контексті управління природними ресурсами та екологічного моніторингу.

Приклади використання активного ДЗЗ:

1. Топографічні місії:

- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): Ця місія використовувала радарні технології для збору даних про рельєф Землі, створюючи високоточні цифрові моделі поверхні. Це дозволило значно поліпшити карти рельєфу, які використовуються в різних галузях, таких як геологія та екологія.

- Лідар: лідарні дані використовуються для створення цифрових моделей поверхні, які допомагають в оцінці лісових ресурсів, управлінні природними ресурсами, а також в археологічних дослідженнях для виявлення схованих об'єктів.

2. Моніторинг важкодоступних місць: дані, отримані за допомогою активного ДЗЗ, використовуються в рятувальних операціях, коли важливо оцінити стан території, наприклад, під час

стихійних лих, щоб забезпечити безпечний доступ до постраждалих районів.

3. Ехолоти в метеорології: ехолоти, які вертикально досліджують шари атмосфери, допомагають у складанні прогнозів погоди, надаючи інформацію про вологість, температуру, опади та наявність або відсутність хмарного покриву.

Таким чином, активні методи дистанційного зондування Землі є потужним інструментом для збору та аналізу даних про навколишнє середовище. Їх застосування в різних сферах підкреслює важливість технологій, які сприяють покращенню управління природними ресурсами, наукових досліджень та реагування на надзвичайні ситуації.

2.2. Пасивне дистанційне зондування Землі.

Основні характеристики пасивних датчиків ДЗЗ:

1. Природне джерело енергії: пасивні датчики не мають власних джерел енергії. Вони використовують природні джерела, такі як сонячне світло. Це означає, що їхня ефективність залежить від наявності достатньої кількості світла, тому знімки можуть бути менш якісними у похмурі дні або вночі.

2. Спектральні канали: пасивні датчики можуть бути мультиспектральними або гіперспектральними. Мультиспектральні датчики зазвичай мають кілька каналів (смуг) в різних частинах спектра, в той час як гіперспектральні датчики вимірюють значно більше каналів, що дозволяє отримувати детальніші спектри для аналізу матеріалів.

3. Спектри в межах та за межами людського зору: пасивні датчики здатні реєструвати різноманітні спектри, включаючи:

- Видимий спектр: Діапазон, який сприймається людським оком (приблизно 400-700 нм).

- Ближній інфрачервоний: Використовується для вивчення вегетації та рослинності, оскільки рослинні покриви відбивають ІЧ-світло.

- Тепловий інфрачервоний: Використовується для вивчення температури поверхні та теплових характеристик об'єктів.

- Мікрохвилі: Використовуються для аналізу вологості ґрунту, ландшафтних змін та інших характеристик.

Застосування пасивних датчиків:

1. Агромоніторинг: вимірювання стану сільськогосподарських культур, оцінка здоров'я рослин, виявлення стресу в рослинах, що дозволяє фермерам оптимізувати використання води і добрив.

2. Лісівництво: оцінка стану лісів, моніторинг змін у рослинності, визначення видового складу лісів, що є важливим для лісокористування та охорони навколишнього середовища.

3. Екологічні дослідження: моніторинг екосистем, вивчення динаміки змін природного середовища, виявлення впливу антропогенної діяльності на природу.

4. Картографія: створення карт територій, вивчення рельєфу, визначення меж земельних ділянок та ін.

5. Моніторинг природних катастроф: оцінка шкоди від стихійних лих, таких як повені або лісові пожежі, що дозволяє краще планувати заходи реагування.

Таким чином, пасивні датчики дистанційного зондування Землі відіграють важливу роль у зборі екологічної, сільськогосподарської та географічної інформації. Вони забезпечують важливі дані для наукових досліджень, моніторингу природних ресурсів і управління

довкіллям, дозволяючи отримувати велику кількість інформації з повітря та космосу. Основні інструменти пасивного ДЗЗ:

1. Спектрометр: розрізняє та аналізує спектральні діапазони випромінювання, що відбивається від об'єктів. Використовується для ідентифікації матеріалів, аналізу складу рослинності та оцінки стану навколишнього середовища.

2. Радіометр: визначає інтенсивність випромінювання, яке походить від об'єкта в певних діапазонах спектра (наприклад, видимий, інфрачервоний, мікрохвильовий). Використовується для моніторингу температури поверхні, аналізу вологості ґрунту, а також для вивчення термальних характеристик різних об'єктів.

3. Спектрорадіометр: Вимірює силу випромінювання у кількох діапазонах спектра. Вживається в екологічних дослідженнях, агрономії та для картографії вегетаційного покриву.

4. Гіперспектральний радіометр: Відноситься до найточніших приладів пасивного ДЗЗ, здатний розрізняти сотні дуже вузьких діапазонів спектра в межах видимого, а також ближнього та середнього інфрачервоного випромінювання. Використовується для детального аналізу матеріалів, вивчення геології, моніторингу рослинності, а також для виявлення забруднень.

5. Радіометр із функцією формування зображень: Сканує об'єкт або поверхню Землі та передає зображення. Використовується для картографії, моніторингу змін у ландшафті, аналізу використання земель.

6. Ехолот: Зондує атмосферні явища вертикально, використовуючи звукові або радіохвилі для вимірювання.

Використовується в метеорології для дослідження структури атмосфери, вивчення вертикального розподілу вологи та температури.

7. Акселерометр: виявляє зміни швидкості за одиницю часу, включаючи лінійні та ротаційні рухи. Використовується в багатьох областях, включаючи метеорологію, океанографію та для моніторингу руху вітрильних суден або літаків.

Таким чином, пасивні датчики дистанційного зондування Землі забезпечують важливі дані для аналізу природних ресурсів, моніторингу довкілля та підтримки сталого розвитку. Їхня здатність вимірювати різні спектри випромінювання дозволяє проводити детальний аналіз різноманітних об'єктів і явищ на Землі.

Одним із найзначніших проєктів у галузі дистанційного зондування Землі, що суттєво вплинула на численні наукові дослідження та практичні застосування, є програма Landsat. Ось кілька ключових аспектів та досягнень програми Landsat:

Перший супутник Landsat, Landsat 1, був запущений у 1972 році. Відтоді програма продовжує розвиватися, включаючи випуски Landsat 2, 3, 4, 5, 7, 8 і 9. Дані Landsat стали доступними для громадськості безкоштовно, що зробило їх важливим інструментом для науковців, урядових організацій та підприємств.

Технічні характеристики:

- Спектральна здатність: Landsat супутники обладнані мультиспектральними сенсорами, які можуть фіксувати дані в декількох спектрах, включаючи видимий, ближній та середній інфрачервоний.

- Роздільна здатність: Роздільна здатність знімків Landsat становить близько 30 метрів, що дозволяє проводити детальний аналіз земної поверхні.

Програма Landsat не лише стала основою для досліджень у різних наукових сферах, але й сприяла розвитку нових технологій у дистанційному зондуванні та обробці даних. Вона є унікальним ресурсом, що допомагає вченим та фахівцям у розробці стратегій сталого управління природними ресурсами та охорони навколишнього середовища.

Завдяки своїй тривалій історії, надійності та доступності даних, Landsat залишається одним із найважливіших інструментів для вивчення змін на Землі та підтримки рішень, спрямованих на збереження природних ресурсів та навколишнього середовища.

Застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у лісовому господарстві дійсно є важливим інструментом для моніторингу здоров'я рослин та управління лісовими ресурсами. Ось кілька основних аспектів, які підкреслюють значення цього методу:

Вегетаційні індекси

1. Оцінка здоров'я рослин:

- **Вегетаційні індекси**, такі як NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), є потужними інструментами для оцінки здоров'я рослин. Ці індекси використовують співвідношення між відбитими інфрачервоними та видимими (червоними) світловими сигналами, щоб виявити стан рослин.

- Значення NDVI можуть варіюватися від -1 до 1, де високі значення свідчать про здорові, щільні рослинні покриття, тоді як низькі значення вказують на мертві або висохлі рослини.

2. Моніторинг стадій розвитку: дистанційне зондування дозволяє моніторити зміни в стані рослин протягом вегетаційного періоду. Це дозволяє агрономам і лісівникам отримувати дані про розвиток культур, що допомагає в прийнятті управлінських рішень.

Платформа EOSDA Crop Monitoring

1. Функціональність:

- EOSDA Crop Monitoring — це платформа, яка використовує дані дистанційного зондування для моніторингу стану сільськогосподарських культур та лісів. Вона пропонує інструменти для аналізу та візуалізації даних, що дозволяє фермерам та лісівникам своєчасно отримувати важливу інформацію.

- Платформа надає доступ до історичних даних, які можуть використовуватись для аналізу тенденцій і змін у стані полів та лісів.

2. Переваги для фермерів:

- Своєчасна інформація: Платформа забезпечує оперативні дані про зміни в стані рослин, що дозволяє фермерам швидко реагувати на проблеми, такі як захворювання або стрес від посухи.

- Підвищення врожайності: Використання даних ДЗЗ допомагає оптимізувати управління полями, що може призвести до підвищення врожайності. Фермери можуть краще планувати внесення добрив, полив та інші агрономічні практики.

- Економія ресурсів: Завдяки точній інформації фермерам вдається зменшити витрати на добрива та воду, що є вигідним з економічної точки зору та позитивно впливає на екологію.

Дистанційне зондування Землі є важливим інструментом для моніторингу та управління лісовими та сільськогосподарськими ресурсами. Використання платформ, таких як EOSDA Crop Monitoring, забезпечує доступ до актуальної інформації, що допомагає агрономам і лісівникам приймати обґрунтовані рішення для підвищення ефективності та стійкості виробництва. Ці технології сприяють не

лише підвищенню врожайності, а й збереженню природних ресурсів.

2.3. Мікрохвильові Методи Дистанційного Зондування Землі.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) у мікрохвильовому діапазоні дійсно має свої особливості, які роблять його важливим інструментом у різних галузях, включаючи сільське господарство, лісове господарство, геологію та екологію.

Активні системи ДЗЗ самостійно випромінюють сигнали мікрохвильового діапазону і вимірюють відбиті сигнали, які повертаються до датчика. Це дозволяє отримувати інформацію про структуру та характеристики об'єктів на поверхні Землі.

ДЗЗ у мікрохвильовому діапазоні, як активне, так і пасивне, надає широкі можливості для моніторингу земної поверхні. Цей метод є особливо корисним у ситуаціях, де погодні умови можуть ускладнити збирання даних за допомогою оптичних систем. Застосування цих технологій дозволяє отримувати цінну інформацію для різних галузей, включаючи сільське господарство, екологію, управління ресурсами та надзвичайні ситуації.

Пасивне дистанційне зондування Землі в мікрохвильовому діапазоні має важливе значення у багатьох галузях завдяки своїй здатності отримувати інформацію про об'єкти на поверхні Землі за допомогою природного випромінювання. Ось детальніше про його особливості та застосування:

Пасивні методи дистанційного зондування Землі в мікрохвильовому діапазоні є важливим інструментом для отримання інформації про стан навколишнього середовища та природних

ресурсів. Завдяки здатності вимірювати параметри, такі як вологість і температура, вони знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи метеорологію, агрономію, екологію та океанологію. Ці технології дозволяють більш ефективно управляти ресурсами та реагувати на екологічні виклики.

Активні датчики мікрохвильового дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є потужними інструментами, які використовують власні сигнали для вивчення об'єктів на поверхні планети.

Активні датчики мікрохвильового дистанційного зондування Землі є незамінними інструментами для отримання інформації про різні об'єкти на поверхні планети. Вони дозволяють здійснювати точні вимірювання, що допомагає вченим і фахівцям у різних галузях проводити моніторинг та аналіз стану навколишнього середовища, агрономії, екології та інших дисциплін.

Активні пристрої мікрохвильового дистанційного зондування Землі, зокрема радари, є важливими інструментами для збору даних про поверхню планети. Основні типи дистанційного зондування можна класифікувати за форматом зображень і типом вимірювань, які вони здійснюють:

Активні пристрої мікрохвильового дистанційного зондування Землі, такі як радари, альтиметри та скаттерометри, забезпечують цінну інформацію про поверхню планети. Вони мають різні формати даних і методи вимірювання, що дозволяє їх використовувати в широкому спектрі застосувань у науці, сільському господарстві, екології та багатьох інших галузях.

Особливо ця технологія корисна для застосування у авіаційної та космічної галузях, морських наукових дослідженнях, метеорології тощо.

Супутники дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відіграють ключову роль у сучасних наукових дослідженнях і практичних застосуваннях. Переваги супутникового ДЗЗ:

1. Моніторинг в реальному часі: супутники постійно облітають планету, що дозволяє отримувати дані про стан об'єктів у реальному часі. Це особливо важливо для моніторингу природних катастроф, зміни клімату, стану сільського господарства та багатьох інших галузей.

2. Аналіз змін з часом: зібрані дані можна порівнювати з попередніми спостереженнями, що дозволяє оцінити динаміку змін у навколишньому середовищі. Це є корисним для вивчення таких явищ, як ерозія, зміна ландшафтів, зменшення лісових площ та багато інших.

3. Широка область застосування: супутникові дані використовуються в різних сферах, таких як: сільське господарство (для моніторингу стану посівів, оцінки врожайності та управління водними ресурсами), екологія (для моніторингу біорізноманіття, зміни екосистем та забруднення), геологія (для вивчення структур Землі, геологічних процесів та ресурсів), метеорологія (для прогнозування погоди та вивчення кліматичних змін).

4. Технологічні інновації: розвиток технологій дистанційного зондування, таких як гіперспектральне та лідарне зондування, дозволяє отримувати дедалі точніші та різноманітніші дані. Це відкриває нові можливості для досліджень і моніторингу.

5. Спрощення роботи фахівців: супутникові дані надають фахівцям швидкий доступ до великої кількості інформації, що спрощує процеси прийняття рішень, планування і управління. Наприклад, агрономи можуть оперативно отримувати дані про

вологість ґрунту та стан рослин, що дозволяє ефективніше планувати полив.

Таким чином, супутники дистанційного зондування Землі є потужним інструментом для дослідження і моніторингу навколишнього середовища. Завдяки своїй здатності збирати дані в реальному часі та аналізувати їх зміни, ці технології відіграють важливу роль у багатьох наукових і практичних сферах, що, в свою чергу, сприяє покращенню нашого розуміння планети і прийняттю обґрунтованих рішень у різних галузях [19].

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ЛІСОВКРИТИХ ПЛОЩ.

Ліси дійсно є важливими природними ресурсами, які виконують безліч функцій, що сприяють збереженню екологічного балансу та забезпечують потреби суспільства. Ось кілька ключових аспектів, що підкреслюють їхню цінність і необхідність відповідального управління:

Екологічні функції лісів:

1. Збереження біорізноманіття: ліси є домівкою для величезної кількості видів флори і фауни. Вони забезпечують середовище для існування багатьох ендемічних і рідкісних видів.

2. Регулювання клімату: ліси поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень, що допомагає в боротьбі зі змінами клімату. Вони також сприяють зниженню температури в навколишньому середовищі.

3. Захист водних ресурсів: ліси відіграють важливу роль у збереженні якості води, запобігаючи ерозії ґрунту та контролюючи стік. Вони також допомагають у збереженні водоносних горизонтів.

4. Регулювання природних процесів: ліси сприяють стабілізації ґрунтів, запобігаючи зсувам і повеням, а також допомагають підтримувати гідрологічний режим території.

Економічна цінність лісів:

1. Промисловість: лісові ресурси використовуються для виробництва деревини, паперу, целюлози та інших матеріалів, що є важливими для економіки країни.

2. Рекреація та туризм: ліси приваблюють туристів та відпочивальників, пропонуючи можливості для активного відпочинку, екотуризму та навчання. Це сприяє розвитку місцевих економік і культур.

Виклики та загрози:

1. Надмірні вирубки: інтенсивне вирубування лісів без відповідного відновлення призводить до деградації екосистем, зниження біорізноманіття та зміни клімату.

2. Неефективне управління: неефективні методи господарювання можуть призвести до виснаження ресурсів і забруднення навколишнього середовища, що завдає шкоди не лише лісам, але й суспільству в цілому.

3. Зміна клімату: зміна клімату впливає на здоров'я лісів, змінюючи їх екосистемні функції та збільшуючи ризик виникнення природних катастроф, таких як лісові пожежі та шкідники.

Враховуючи зазначене вище, з метою збереження лісів і їх функцій необхідно впроваджувати сталий підхід до їх використання та управління. Це включає ефективні практики лісовідновлення, контроль за вирубками, а також облік екологічних, економічних і соціальних аспектів при плануванні використання лісових ресурсів. Тільки так ми зможемо зберегти цю безцінну частину нашої планети для майбутніх поколінь.

Методична база дослідження лісовкритих територій дійсно є складною та багатогранною, адже вона включає в себе широкий спектр загальнонаукових і спеціальних географічних методів, а також методи з інших суміжних наук. Розглянемо основні етапи і методи, а також їхню роль у дослідженнях.

1. Загальнонаукові та спеціальні методи.

- Методи аналізу та синтезу: ці методи дозволяють виділити основні тенденції та закономірності в досліджуваних даних, що є важливим для формування узагальнень та висновків.

- Літературний метод: вивчення наукових джерел дозволяє зібрати існуючі знання про моніторинг лісовкритих площ та вдосконалити дослідницькі підходи.

- Статистичні та математичні методи: використовуються для обрахунку лісовтрат та аналізу вегетаційних індексів. Це дозволяє об'єктивно оцінити зміни в лісовому покритті.

- Картографічний метод: візуалізація даних через карти допомагає ілюструвати результати дослідження та виявляти просторові закономірності.

- Порівняльно-географічний метод: дозволяє порівнювати різні території, вивчаючи їх особливості та варіації в лісовому покритті.

- Метод моделювання: служить для створення картографічних моделей, які можуть відобразити зміни в лісовому покритті, базуючись на вегетаційних індексах та інших параметрах.

2. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – є одним із ключових методів, оскільки:

- Забезпечує об'єктивні дані: За допомогою супутникових знімків можна отримати дані про залісненість, структуру лісів та їх зміни в часі.

- Масштабність: ДЗЗ дозволяє моніторити великі території з мінімальними витратами часу та ресурсів.

- Використання спеціального програмного забезпечення: Спеціалізовані програми дозволяють аналізувати отримані зображення та проводити геоінформаційний аналіз.

3. Геоінформаційний аналіз

- Інтеграція даних: Геоінформаційні системи (ГІС) використовують дані з різних джерел (картографічних, статистичних) для комплексного аналізу.

- Візуалізація та моделювання: ГІС дозволяють створювати картографічні моделі, що відображають не лише наявні лісові площі, а й прогнози їх зміни.

Таким чином, поєднання різноманітних методів дослідження забезпечує комплексний підхід до аналізу лісовкритих територій. Застосування ДЗЗ та геоінформаційного аналізу в даному контексті відкриває нові можливості для моніторингу та управління лісовими ресурсами, що є важливим для збереження екологічного балансу та ефективного господарювання.

Алгоритм дослідження передбачає виділення чотирьох послідовних етапів, таких як: підготовчий, аналітичний, прогностичний та заключний, які включають в себе поєднання та комбінації вище перелічених методів дослідження (рис. 1.)

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) справді є важливим джерелом актуальних і оперативних даних для геоінформаційних систем (ГІС). Це технологія, яка дозволяє отримувати інформацію про поверхню Землі, використовуючи дані з космічних апаратів або літальних засобів, що оснащені спеціальними датчиками.

Основні аспекти ДЗЗ та його значення:

1. Широкий спектр застосування: дані, отримані за допомогою ДЗЗ, використовуються в багатьох сферах: екології, сільському господарстві, містобудуванні, моніторингу природних катастроф, охороні навколишнього середовища та багато іншого.

2. Космічні апарати: у навколоземному просторі дійсно функціонує близько тисячі космічних апаратів, які виконують різні завдання, від спостереження за кліматом до моніторингу природних ресурсів. Ці апарати можуть мати різну орбіту, призначення та технології, включаючи як пасивні, так і активні датчики.

3. Оперативність даних: завдяки постійній роботі супутників, ДЗЗ забезпечує своєчасне оновлення інформації, що є критично важливим для прийняття рішень у реальному часі, особливо в умовах природних катастроф або для моніторингу змін у навколишньому середовищі.

4. Інтеграція з ГІС: ДЗЗ забезпечує вхідні дані для геоінформаційних систем, які, в свою чергу, дозволяють аналізувати просторову інформацію, візуалізувати дані на картах і створювати моделі для прогнозування змін.

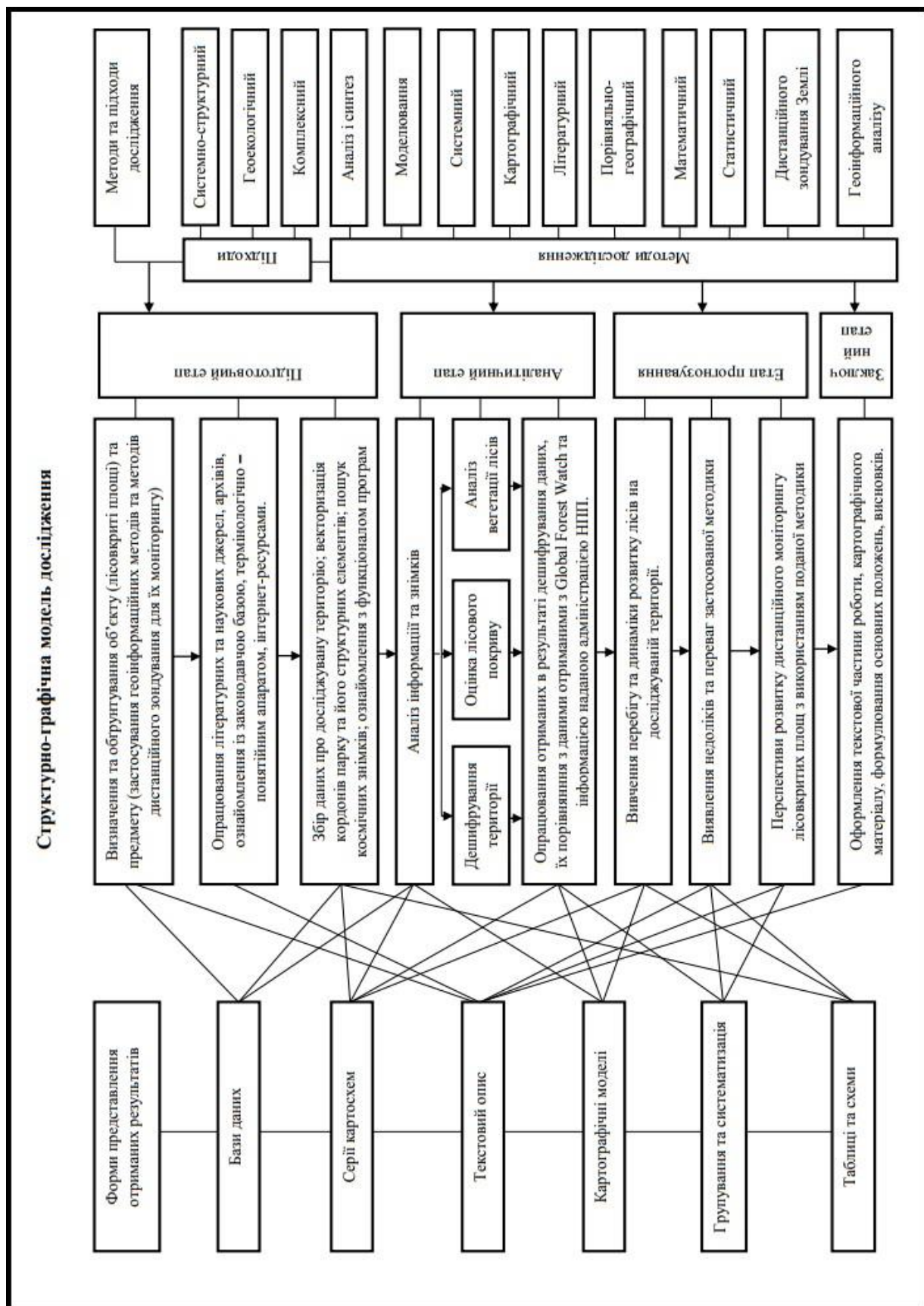


Рис. 1. Структурно-графічна модель дослідження.

5. Технологічний прогрес: розвиток технологій, таких як гіперспектральне та мультиспектральне знімання, значно підвищує якість та кількість даних, що дозволяє більш детально досліджувати різні аспекти земної поверхні.

Дистанційне зондування Землі є ключовим інструментом для сучасних досліджень та управлінських практик у різних галузях. Завдяки своїй здатності надавати оперативні та актуальні дані, воно значно покращує ефективність геоінформаційних систем, сприяючи більш обґрунтованим рішенням у сфері охорони навколишнього середовища, управління ресурсами та планування.

Космічний знімок – це важливий елемент дистанційного зондування Землі, який надає унікальну інформацію про поверхню нашої планети. Ось детальніше про його основні характеристики та компоненти:

Основні характеристики космічного знімка:

1. Типи знімків:

- Чорно-білі знімки (PAN): Це знімки, отримані в панхроматичному діапазоні, які забезпечують високу просторову роздільність, але не містять кольорової інформації.

- Багатоканальні знімки: Включають кілька спектральних каналів, що дозволяє отримати інформацію про різні довжини хвиль (наприклад, видимий, інфрачервоний). Це дозволяє здійснювати більш детальний аналіз земної поверхні.

2. Сенсори (датчики): це ключовий пристрій, який відповідає за захоплення і перетворення світлового спектра, відбитого від поверхні Землі, у цифрові дані. Сенсори можуть мати різну конструкцію і функціональність, в залежності від призначення супутника. Вони можуть бути пасивними (збирають природне випромінювання) або активними (випромінюють сигнал для подальшого його відображення).

3. Просторове розрізнення: Розмір пікселя визначає, з якою точністю можна розпізнати об'єкти на знімку. Чим менший розмір пікселя,

тим вища просторове розрізнення, і навпаки. Висока роздільність дозволяє детальніше досліджувати ландшафти, визначати межі угідь, виявляти зміни в екосистемах тощо.

Таким чином, космічні знімки є потужним інструментом для наукових досліджень, екологічного моніторингу та управління природними ресурсами. Завдяки своїм характеристикам, вони відкривають нові можливості для аналізу та розуміння складних процесів, що відбуваються на Землі [12, 13].

Супутник Landsat 8 є важливим інструментом у сфері дистанційного зондування Землі, який забезпечує високоякісні дані для різноманітних досліджень і застосувань. Ось детальніший опис його характеристик та можливостей:

Основні характеристики Landsat 8:

1. Обладнання:

- Операційний датчик руху (OLI): Основний датчик, що виконує мультиспектральне знімання. Він має високу радіометричну точність і покращене співвідношення сигнал/шум, що забезпечує якісніші дані для аналізу.

- Тепловий інфрачервоний датчик (TIRS): Використовується для збору даних про теплове випромінювання, що дозволяє оцінити температуру поверхні та вологість ґрунту.

2. Технічні параметри:

- Розмір пікселя: 30 метрів для мультиспектральних каналів, що дозволяє отримувати детальну інформацію про об'єкти на поверхні.

- Орбіта: Супутник облітає Землю на сонячній синхронній, майже полярній орбіті на висоті 705 км, з нахилом 98,2 градуса.

- Цикл повтору: Landsat 8 проходить над однією і тією ж точкою на Землі кожні 16 днів, що дозволяє здійснювати регулярний моніторинг змін на поверхні.

3. Покриття та обробка даних:

- Сцени: Супутник може знімати близько 740 сцен на день у Всесвітній довідковій системі-2 (WRS-2). Кожна сцена має розмір 185 км x 180 км (114 миль x 112 миль).

- Динамічний діапазон: OLI має 12-бітовий динамічний діапазон, що забезпечує високу точність в реєстрації різних значень відбитого світла.

Застосування Landsat 8:

- Моніторинг землекористування: Завдяки високій роздільності знімків, Landsat 8 є ефективним інструментом для вивчення змін у землекористуванні, включаючи урбанізацію, сільське господарство, лісовідновлення тощо.

- Оцінка стану екосистем: Датчики OLI і TIRS дозволяють оцінювати стан рослинності, водних ресурсів та інших екологічних аспектів.

- Гідрологічні дослідження: Можливість отримувати дані про температуру і вологість сприяє вивченню гідрологічних циклів і водних ресурсів.

Landsat 8 є потужним інструментом для наукових досліджень та практичних застосувань у різних галузях. Його здатність надавати детальні, точні дані робить його незамінним для фахівців у сфері екології, сільського господарства, картографії та інших галузях, що потребують моніторингу стану Землі.

Найпоширенішим методом оцінки стану рослинності, зокрема лісів, є використання нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (NDVI). Цей вегетаційний індекс є потужним інструментом для моніторингу екологічних характеристик та стану рослинності на Землі. Ось кілька ключових аспектів NDVI:

NDVI обчислюється на основі відбиття червоного (Red) і ближнього інфрачервоного (NIR) світла рослинністю. Інтерпретація значень NDVI:

- Значення від -1 до 1: NDVI приймає значення в діапазоні від -1 до 1.

- Високі значення (близькі до 1): Вказують на густу та здорову рослинність (зазвичай значення вище 0.5).

- Низькі значення (близькі до 0): Вказують на непокриту рослинність або інші поверхневі матеріали, такі як ґрунт або вода.

- Негативні значення: Зазвичай відображають ненатуральні об'єкти, такі як вода або сніг.

Застосування NDVI:

1. Моніторинг здоров'я рослинності: NDVI є важливим інструментом для оцінки стану та стресу рослин, що дозволяє виявляти проблеми, пов'язані з водою, поживними речовинами або шкідниками.

2. Вивчення сезонних змін: За допомогою NDVI можна відстежувати сезонні зміни в рослинності, що важливо для агрономії, лісового господарства та екологічного моніторингу.

3. Дослідження впливу змін клімату: NDVI допомагає оцінювати, як зміни клімату впливають на рослинність та екосистеми в цілому.

4. Управління природними ресурсами: Вегетаційний індекс використовується для оцінки продуктивності сільського господарства, планування використання земель та управління природними ресурсами.

Переваги NDVI:

- Простота використання: NDVI легко обчислюється за допомогою даних дистанційного зондування, доступних з різних супутників.

- Чутливість до змін: Індекс чутливий до невеликих змін у стані рослинності, що робить його корисним для раннього виявлення стресу.

Таким чином, NDVI (нормалізований різницевий вегетаційний індекс) дійсно є одним із найзначніших інструментів у сфері дистанційного зондування Землі. Його застосування дозволяє:

1. Ефективна оцінка стану лісів і рослинності: NDVI забезпечує можливість детального моніторингу здоров'я рослинності, що є критично важливим для збереження екосистем.

2. Універсальність: Індекс може бути використаний у різних сферах, включаючи сільське господарство, екологію, лісове господарство та дослідження кліматичних змін.

3. Простота використання: NDVI легко обчислюється з використанням даних дистанційного зондування, що робить його доступним для широкого кола дослідників і практиків.

4. Своєчасна реакція на зміни: Індекс чутливий до змін у стані рослинності, що дозволяє швидко виявляти проблеми, пов'язані з водою, поживними речовинами та іншими факторами, що впливають на рослинність.

Загалом, NDVI є важливим інструментом для моніторингу, управління та дослідження природних ресурсів, який сприяє стійкому розвитку та охороні навколишнього середовища.

NDVI, або нормалізований різницевий вегетаційний індекс, є потужним інструментом для оцінки стану рослинності на основі спектральних характеристик фотосинтетично активної біомаси. Його основна мета полягає в кількісному вимірюванні здоров'я та щільності рослинності на певній території.

Принципи роботи NDVI. Спектральні характеристики: NDVI базується на аналізі відбиття сонячної радіації рослинами в різних спектральних діапазонах.

- Червоний діапазон (0,6-0,7 мкм): В цій області відбувається максимальне поглинання радіації хлорофілом, що веде до зниження відбиття. Це означає, що чим більше рослинності, тим менше відбиття в червоному спектрі.

- Близький інфрачервоний діапазон (0,7-1,0 мкм): У цьому діапазоні спостерігається максимальне відображення радіації, яке пов'язане

з клітинними структурами листя. Чим більше рослинності, тим більше відбиття в інфрачервоній області.

Переваги використання NDVI:

- Висока чутливість: NDVI дозволяє швидко виявляти зміни в рослинності, що робить його корисним для моніторингу стану лісів, сільськогосподарських угідь та екосистем.

- Широке застосування: Його використовують в агрономії, екології, дослідженнях змін клімату та в управлінні природними ресурсами.

- Доступність даних: NDVI можна обчислювати на основі супутникових знімків, що робить цей метод зручним для широкомасштабного моніторингу.

NDVI є надзвичайно важливим інструментом для оцінки здоров'я та продуктивності рослинності. Його здатність виявляти зміни в рослинному покриві з часом робить його незамінним у багатьох наукових і практичних сферах, пов'язаних із моніторингом навколишнього середовища.

Побудова індексу NDVI по супутниковому знімку досліджуваної території дозволяє оцінити тип і стан (ступінь порушеності) рослинного покриву, в тому числі-лісового покриву. Зіставлення карт індексу NDVI за різні роки -дозволяє оцінити динаміку процесу зміни стану рослинного покриву в розглянутий період в кращу або гіршу сторону [15,10]. Обчислюється за формулою:

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

NIR- відображення в ближній інфрачервоній області спектра RED - відображення в червоній області спектра.

Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована безперервна градієнтна або дискретна шкала, що показує значення в діапазоні від -1..1. Відповідно до значення визначається тип місцевості.

Метод кольорових композитів у поєднанні з індексом NDVI є потужним інструментом для оцінки типу і стану рослинного покриву. Цей підхід дозволяє здійснити більш широкий аналіз території, надаючи змогу порівнювати результати, отримані різними методами, і отримувати візуалізації, що легко інтерпретуються.

Основи методу кольорових композитів:

1. Комбінування спектральних каналів: Метод кольорових композитів передбачає використання різних спектральних каналів з супутникових знімків для створення кольорового зображення. Це дозволяє візуалізувати дані, спрощуючи їх інтерпретацію.

2. Оптимальні комбінації: Для лісової місцевості оптимальною є комбінація каналів 7-5-3, яка дозволяє отримати зображення, близьке до природних кольорів. Це поєднання підкреслює особливості рослинності, що є важливим для моніторингу стану навколишнього середовища.

Інтерпретація кольорових композитів:

- Здорова рослинність: Яскраво-зелений колір свідчить про здорову та активну рослинність.

- Трав'янисті співтовариства: Вони зображуються зеленими відтінками, що вказує на їх активність.

- Відкритий ґрунт: Яскраво-рожеві ділянки вказують на відсутність рослинності, тобто відкритий ґрунт.

- Розріджена рослинність: Коричневі та оранжеві тони характеризують розрідженість рослинного покриву.

- Сухостійна рослинність: Помаранчевий колір свідчить про деградацію рослинності або її відмирання.

- Вода: Водні об'єкти представлені блакитними відтінками, що дозволяє легко їх ідентифікувати.

- Міська забудова: Відображається в рожевих та блакитних тонах, що допомагає у визначенні меж міських територій.

- Лісові масиви: Оливково-зелений колір вказує на наявність лісових масивів, а темніші відтінки можуть сигналізувати про домішку хвойних порід.

Переваги комбінованого використання NDVI та кольорових композитів:

1. Комплексний аналіз: Використання обох методів дозволяє отримати більш повну картину стану рослинності, що є корисним для моніторингу екосистем, виявлення порушень та управління природними ресурсами.

2. Поліпшена візуалізація: Кольорові композити допомагають легше візуалізувати дані, що підвищує ефективність їх аналізу та інтерпретації.

3. Детальні дослідження: Завдяки аналізу кольорів і використанню інших спектральних каналів, дослідники можуть детально вивчати стан природної рослинності, а також виявляти зміни в її стані з часом.

Таким чином, комбінування методу кольорових композитів із застосуванням NDVI є важливим підходом у дистанційному зондуванні, що дозволяє детально оцінювати рослинний покрив та його стан. Це сприяє покращенню розуміння екологічних процесів і оптимізації управління природними ресурсами.

Основною функцією дистанційного зондування лісів є ефективне використання отриманих результатів для практичних цілей, зокрема для оновлення застарілих даних, які зберігаються в лісогосподарських та природоохоронних структурах. Це є важливим аспектом управління лісовими ресурсами, оскільки сучасні технології дозволяють отримувати актуальну інформацію про стан лісів з мінімальними витратами часу і коштів.

Переваги використання дистанційного зондування в лісовому господарстві:

1. Актуалізація даних: Дистанційне зондування дозволяє своєчасно оновлювати інформацію про лісовкриті площі, що є критично важливим для ефективного управління лісами.

2. Зниження витрат: Завдяки технологіям дистанційного зондування, зменшуються витрати на проведення обліку лісових площ, оскільки обробка та аналіз даних можуть виконуватися з використанням супутникових знімків без необхідності фізичного обстеження території.

3. Стабільний моніторинг: Постійний моніторинг стану лісів стає більш реалістичним завдяки можливості отримувати дані з високою частотою. Це дозволяє виявляти зміни в рослинності, що можуть бути спричинені природними явищами або людською діяльністю.

4. Підтримка прийняття рішень: Отримані дані можуть використовуватися для ухвалення обґрунтованих рішень у сфері управління лісами, екологічного контролю та планування природоохоронних заходів.

5. Дослідження екологічних змін: Дистанційне зондування допомагає вивчати довгострокові зміни в екосистемах, такі як вплив кліматичних змін, деградація лісів або зміни в біорізноманітті.

Отже, дистанційне зондування лісів є важливим інструментом для підтримки сталого управління лісовими ресурсами. Його можливості дозволяють не лише оновлювати та підвищувати точність даних, але й забезпечують ефективний моніторинг стану лісів, що є необхідним для збереження природних ресурсів та екологічної рівноваги.

ВИСНОВКИ

Отже, дистанційне зондування Землі відіграє важливу роль у моніторингу стану, продуктивності та динаміки лісових насаджень. Вдосконалення технологій ДЗЗ сприяє розробці нових підходів до обліку лісу, яке знаходять використання в різних завданнях природокористування. Нами досліджено та доведено, що врахування сезонних особливостей спектральних показників лісових насаджень на знімках, сприяє кращій ідентифікації деревних видів і прогнозуванню таксаційних показників деревостанів. За умови проведення аналогічних досліджень у майбутньому, створені тематичні карти дають можливість аналізувати динаміку лісового фонду, зміни породного складу лісових насаджень.

Комплексне використання методів дистанційного зондування різного просторового розрізнення геоінформаційних технологій забезпечує можливість проведення регіонального моніторингу на регулярній основі. Проведені роботи свідчать про можливість використання ДЗЗ для вирішення таких завдань, як оцінка площ лісів, моніторинг динаміки лісів, визначення їх складу та стану.

Важливими є те, що отримані дані можуть використовуватися для контролю точності лісовпорядних робіт. Також інвентаризація лісів забезпечить можливість планування заходів, щодо ведення лісового господарства.

Вивчення лісів з допомогою дистанційних методів, в тому числі опрацювання супутникових знімків, застосовується у багатьох розвинених країнах світу. Такий спосіб моніторингу лісової рослинності актуальний й для України.

Дані, отримані в результаті дистанційного зондування лісових насаджень, розширюють спектр можливостей щодо встановлення кількісних та якісних характеристик лісу, дозволяють відстежувати

динаміку насаджень, дають детальну інформацію про територіальне розміщення лісів, їх межі та параметри. Доцільність використання космічних знімків для моніторингу та дослідження лісових насаджень зумовлена їх інформативністю та відносною дешевизною порівняно з традиційними методами аерофотознімання, чи безпосередніми польовими роботами. Космічні знімки, які можна використовувати для лісоінвентаризаційних робіт, можна отримати з різних космічних апаратів, зокрема Landsat, Sentinel, IRS, Spot, EROS, Ikonos, Quick Bird та інших.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Миронюк В.В. Перспективи використання методу класифікації космічних знімків для лісової інвентаризації України. Збалансоване природокористування. 2015. № 2. С. 9–15.
2. Загальна характеристика лісів в Україні [Електронний ресурс]- Режим доступу до ресурсу: https://web.archive.org/web/20110830024226/http://yref.eu/forest_ua_ua.
3. Лісовий кодекс України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12>.
4. UNEP [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.unep.org/>.
5. Указ Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» № 722/2019, від 30 вересня 2019 року– Режим доступу до ресурсу:- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
6. Закон України Про природно-заповідний фонд України [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>.
7. Перспективи дистанційного зондування землі для вирішення лісівничих завдань [Електронний ресурс] // Екоінформ – Режим доступу до ресурсу: <https://ekoinform.com.ua/?p=1534>.
8. Миклуш С. І. Дешифрування різнопланових космічних знімків для оцінювання груп порід / С.І.Миклуш, О.Г.Часковський, С.А.Гаврилюк // РВВ НЛТУ України. – 2013. – №11. – С. 143.
9. Миронюк В.В. Перспективи використання методу класифікації космічних знімків для лісової інвентаризації України. Збалансоване природокористування. 2015. № 2. С. 9–15.
10. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В.І.Лялька, М.О.Попова.– К.: Наукова думка, 2006. – 360 с.

11. Поліщук Б.В. Сучасні досягнення і проблеми в дослідженнях розвитку та стану лісів / Б.В. Поліщук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2008. – Вип. 70. – С. 38–45.
12. Токар О. Використання супутникових знімків для оцінювання таксаційних показників лісових насаджень /О. Токар, М. Король, С. Гаврилюк, А. Цуняк. // Національний університет «Львівська політехніка». – 2017.
13. Зацерковний В. І. Застосування матеріалів дистанційного зондування в завданнях моніторингу лісових пожеж і кількісного оцінювання рослинності / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, О. І. Шищенко. // Наукоємні технології № 1. – 2016. – №29. – С. 42.
14. Landsat Missions [Електронний ресурс] // USGS. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con.
15. Normalized Difference Vegetation Index // [Електронний ресурс] Режим доступу [http://en.wikipedia.org/wiki/ Normalized Difference Vegetation Index](http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index).
16. RouseJ.W. Monitoring vegetation system sinthe Great Plains with ERTS / J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // Third ERTS Symposium. NASA SP-351 (I). – 1973. – P. 309–317.
17. Лісотаксаційний довідник / за ред. КашпораС. М. та Строчинського А. А. Київ: Видавничий дім «Вініченко». 2013. – 496 с.
18. Global Forest Watch - Map [Електронний ресурс] // Global Forest Watch. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.global-forestwatch.org/map/>.
19. Ridwan, Mohammad Azmi & Mohamed Radzi, Nurul Asyikin & Wan Ahmad, Wan Siti Halimatul Munirah & Mustafa, Intan Shafinaz & Din, Norashidah & Jalil, Yanti & Isa, A.M. & Othman, Noor & W Zaki, W Mimi Diyana. (2018). Applications of Landsat-8 Data: a Survey. International Journal

of Engineering and Technology(UAE). 7. 436-441.
10.14419/ijet.v7i4.35.22858.↑