

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА  
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ  
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи  
магістра

---

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Методика визначення геометричних параметрів  
багаторічних лісових насаджень за даними дистанційного  
зондування Землі**

Виконав: студент, групи ЗВ-21маг  
напряму підготовки (спеціальності)  
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Мацура К. М.**  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.е.н., доцент Колодій П.П.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент:

ДУБЛЯНИ - 2021р





## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1. Методи та засоби дистанційного зондування для вирішення проблем та завдань лісового господарства .....	9
1.1. Проблеми та завдання лісового господарства, вирішувані засобами дистанційного моніторингу .....	9
1.2. Загальна характеристика методів аерокосмічних знімків для завдань лісового господарства .....	12
2. Методи аерокосмічних знімків, які застосовуються при вирішенні завдань лісового господарства .....	13
2.1. Космічні знімки оптичного діапазону .....	13
2.2. Радарні знімання .....	19
2.3. Лідарні знімання .....	22
2.4. Аерознімання .....	26
3. Експериментальні дослідження фотограмметричної методики визначення геометричних параметрів лісових насаджень .....	35
3.1. Мета та порядок виконання експериментальних робіт .....	35
3.2. Характеристика вихідних даних .....	38
3.3. Дослідження сегментації кольорового ортофотоплану методом вододілів .....	40
3.4. Дослідження методу виявлення дерев з використанням геометричних моделей топографічних поверхонь .....	44
4. Охорона природи та навколишнього середовища .....	48

4.1 Охорона ґрунтів та використання земельних ресурсів .....	48
4.2 Водні ресурси та їх охорона .....	49
4.3 Охорона атмосферного повітря .....	50
4.4 Стан охорони і примноження флори і фауни .....	50
5. Охорона праці та захист населення в надзвичайних ситуаціях .....	53
5.1 Основи організації охорони праці при проведенні топографо-геодезичних та інших землевпорядних робіт .....	53
5.2 Захист населення від надзвичайних ситуацій .....	56
Висновки .....	58
Список використаної літератури .....	60

## УДК 528.9

Методика визначення геометричних параметрів багаторічних лісових насаджень за даними дистанційного зондування Землі. Мацура К. М. - Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Дубляни, ЛНАУ, 2021.

63 с. текст. част., 3 табл., 38 рис., 27 джерел, Електронна презентація.

Проаналізовано існуючі методики визначення місцеположень дерев за аерокосмічними зображеннями та іншими продуктами геоматики.

Проаналізовано сучасні підходи у сфері застосування сучасних засобів дистанційного зондування Землі для забезпечення інформаційних потреб лісового господарства.

Експериментально опрацьовано два методи геоінформаційного аналізу щодо визначення місцеположень і розміру крон дерев в різних частинах Львівської області.

Результати роботи розкривають можливості програмних комплексів та геоінформаційних методів їх застосування у сучасному лісокористуванні

## ВСТУП

Актуальність теми. Широке впровадження методів дистанційного зондування Землі надвисокого просторового розрізнення призвело до появи нових можливостей у вивченні лісових ресурсів. Технології такого вивчення ґрунтуються на методах комп'ютерного оброблення зображень та геоінформаційного аналізу. Такі технології дозволяють дистанційно виконувати серед іншого й вивчення геометричних параметрів деревостанів на рівні окремих дерев, що є актуальним завданням при здійсненні лісогосподарської діяльності, та управління земельними ресурсами в цілому.

Мета і задача дослідження. Визначення характеристик деревостанів в різних частинах Львівської області за цифровими ортофотопланами методами сегментації зображень та геоінформаційного аналізу топографічних поверхонь.

Предметом дослідження даної роботи є лісові масиви в межах дослідних ділянок на території Львівської області.

Об'єктом дослідження є території окремих локальних ділянок лісових масивів у Львівському та Дрогобицькому районах Львівської області.

Методологія і методика дослідження. Методологічною основою дослідження є вимірювання, спостереження, методи просторово-часового аналізу, літературний аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних вчених з досліджуваної проблеми.

Інформаційна база. Цифрові повноколірні ортофотоплани та цифрові моделі топографічних поверхонь досліджуваних територій надвисокого просторового розрізнення, отримані шляхом опрацювання матеріалів аерознімання з пілотованих та безпілотних носіїв, програмне забезпечення Geoscan.

Особистий внесок дипломника. Кваліфікаційна робота є самостійно виконаною науковою працею, в якій викладено теоретичні та методологічні дослідження способів визначення геометричних параметрів лісових масивів і

окремих дерев за даними дистанційного зондування Землі. Використано сучасні матеріали аерознімання з пілотованих та безпілотних літальних апаратів. Висновки що винесені на захист, зроблено самостійно.

Структура і обсяг кваліфікаційної роботи. Складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури. Робота виконана на 64 сторінках тексту, презентаційні матеріали підготовлені у комп'ютерній програмі PowerPoint 2010.



# **1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ТА ЗАВДАНЬ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА**

## **1.1. Проблеми та завдання лісового господарства, вирішувані засобами дистанційного моніторингу**

Разом з даними натурних обстежень і обмірів, дані дистанційного зондування Землі (дані ДЗЗ) а також матеріали різномасштабних аерознімків, лідарних знімків є джерелом об'єктивної і просторово локалізованої інформації щодо стану, структури і просторового положення об'єктів на земній поверхні [2]. Також такі джерела дозволяють з меншими витратами та найбільш оперативно організувати моніторингові, періодичні дослідження щодо явищ і процесів, які відбуваються на території дослідження. Сучасні технології обробки аеро та космічних знімків, даних лідарних знімків (багатовимірних хмар точок) дозволяють в стислі терміни забезпечити інформацією потреби таких видів діяльності: сільське та лісове господарство, інвентаризація і моніторинг стану об'єктів інженерної інфраструктури і нерухомості, картографування територій, екологія тощо.

Розробка повного технологічного циклу лісового моніторингу ведеться на базі найбільш сучасного та продуктивного програмно-апаратного забезпечення для обробки та аналізу космічних чи аеро знімків, лазерного сканування, аерознімання з БПЛА, методів геоінформаційного аналізу та візуалізації. Відпрацювання технологій ведеться в рамках експериментального підбору та апробування різних алгоритмів обробки знімків, вибору найкращих із них, формування поєднань застосування алгоритмів у вигляді конкретних покрокових процедур. Після виконання проекту замовнику передаються вже готові картографічні та табличні матеріали в електронному вигляді, які можуть бути використані в управлінській діяльності. Крім того, можливе впровадження технологій на базі замовника. Результатом розробки технологічного циклу стають: загальні структурно-технологічні схеми кожного виду моніторингу,

методичні вказівки щодо виконання робіт аж до покрокових інструкцій, атласи еталонів для візуального дешифрування тих чи інших змін (порушень) у лісовому фонді, програмні додатки до програмних продуктів.

Сформулюємо проблеми та завдання лісового господарства, вирішувані засобами дистанційного моніторингу, що використовує аерокосмічні знімання і визначено із складовими у наступних пунктах[4]:

Завдання інвентаризації та моніторингу лісового фонду:

- визначення породного складу лісів;
- підрозділ лісів за типами з подальшим уточненням породного складу, у тому числі із застосуванням текстурно-радіометричного дешифрування;
- поділ лісів на категорії за віком, ступенем стиглості, запасом деревної маси, біологічною продуктивністю;
- визначення висоти лісових масивів шляхом автоматизованої спільної обробки цифрових моделей місцевості, створених по стереопарах космічних знімків та об'єктивних даних про рельєф місцевості;
- картографування лісового фонду.

Завдання моніторингу ведення лісокористування :

- контроль лісо відновлювальних робіт, моніторинг процесів лісовідновлення;
- експрес-оцінка фактичних площ рубок, що з'явилися з часу останнього лісовпорядкування, в автоматизованому режимі;
- вивчення природних умов, що сприяють чи перешкоджають активній лісогосподарській діяльності (виявлення плоских знижених заболочених ділянок, безстічних улоговин, різких перегинів рельєфу тощо) із застосуванням цифрових моделей рельєфу;
- контроль видів рубок (вибіркових, поступових, суцільних), площ вирубок, розміщення лісовозних доріг, волоків та вантажних майданчиків відповідно до технологічної карти розробки лісосіки, виявлення недорубів та перерубів.

Завдання охорони лісу та виявлення незаконних рубок:

- виявлення існуючих незаконних вирубок та згарищ, оперативний автоматизований моніторинг появи нових ділянок, пройдених пожежами, та вирубок (несанкціонованих також), визначення економічної та екологічної шкоди;
- забезпечення своєчасною інформацією про хід та дотримання правил рубок компаніями-лісозаготівельниками;
- вирішення судових спорів, пов'язаних з порушеннями Лісового кодексу України. Завдання боротьби з лісовими пожежами:
- оперативне виявлення вогнищ виникнення лісових та торф'яних пожеж;
- прогнозування розвитку та просування вогнищ лісових пожеж на базі знань про вплив на цей процес метеорологічних умов та пірогенних факторів;
- оцінка пройденої вогнем площі;
- виявлення згарищ та визначення їх площ, оперативний автоматизований моніторинг появи нових ділянок, пройдених пожежами, визначення економічної та екологічної шкоди;
- оперативне автоматизоване виявлення вогнищ пожеж розміром аж до десятків квадратних метрів на базі традиційних алгоритмів;
- оцінка збитків, завданих лісовому господарству пожежами.

Завдання лісопатологічного моніторингу та виявлення впливу несприятливих погодних явищ:

- вивчення негативних процесів, що впливають на лісові масиви: впливу шкідників і хворіб, висушення або перезволоження лісів, що призводять до їх деградації та загибелі;
- оцінка стану лісових насаджень із хронічною формою ослаблення дерев хворобами, промисловими викидами, надмірним рекреаційним навантаженням тощо;
- Виявлення масивів лісу, повністю або частково поваленого ураганними вітрами, визначення площ вітровалів;
- Оцінка площ порушених та вражених захворюваннями лісів.

## 1.2. Загальна характеристика методів аерокосмічних зніманих для завдань лісового господарства

Опрацювання матеріалів зніманих лісових масивів дозволяє створювати різноманітні плани, схеми, тематичні карти, у тому числі як основи геоінформаційних систем (ГІС) лісогосподарського призначення [1]. Описані в попередньому розділі задачі можливо вирішувати на різних масштабних рівнях, застосовуючи такі джерела даних, як оптико-електронне та радарне космічне знімання, аерознімання камерами оптичного та інфрачервоного діапазону, лідарні аерознімання, аерознімання з безпілотних літальних апаратів для виявлення локальних особливостей деревостанів.

Методи інвентаризації лісів за даними аерокосмічних зніманих прийнято умовно розділяти на дві групи:

1. Методи інвентаризації на основі областей (area-based inventory methods). Ці методи використовують цифрові моделі місцевості (Digital Terrain Model, DTM), цифрові моделі рельєфу (Digital Elevation Model, DEM) та цифрові моделі видимої (або денної) поверхні (Digital Surface Model, DSM), регресійний чи дискримінантний аналіз. Методи опрацювання та інтерпритації цифрових зображень допомагають більш ефективно вилучати корисну інформацію про оточення точок хмари лазерного сканування і пікселів цифрових моделей місцевості і поверхонь.

2. Методи інвентаризації на основі окремих дерев (tree-based inventory methods). Обчислюються для кожного окремого дерева (інколи – для менших форм рослинності) такі характеристики як форма і об'єм крони, діаметр ствбура на висоті грудей (Diameter-at-Breast Height, DBH), висоту дерев та інші. Об'єктивно така інвентаризація може здійснюватись тільки на основі високо детальних зніманих і забезпечує більш точні оцінки.

## **2. МЕТОДИ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМАНЬ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА**

### **2.1. Космічні знімки оптичного діапазону**

Космічні знімання широко застосовуються для вирішення широкого кола задач лісового господарства. Космічні знімки земної поверхні, виконані в різних діапазонах електромагнітного спектра, дозволяють оперативно, з необхідною періодичністю отримувати наглядну, достовірну, одночасно на значну територію інформацію про стан лісів.

Довгий час найбільш поширеним способом виявлення дерев й ідентифікація їхніх видів було ручне дешифрування знімків. Після появи цифрових космічних знімальних систем для автоматичної класифікації. Класифікація тут - це процес автоматизованого віднесення кожного з пікселів знімка до групи (класу), які в свою чергу відповідають різним типам об'єктів. Автоматичною класифікацією є процес приурочення пікселів растрового зображення до якоїсь категорії (класу) на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення [19].

Для виявлення і розпізнавання дерев на знімках були розроблені і впроваджені комп'ютерні методи обробки зображень. Це дозволило опрацьовувати значно більшу кількість даних та отримувати більш точні результати. Сучасні об'єктно-орієнтовані методи забезпечують прийнятну точність класифікації при невеликій кількості класів (до 10). Основна увага приділяється окресленню об'єкта-дерева, і менше - класифікації на видовому рівні. Це пояснюється обмеженою кількістю спектральних каналів, доступних для існуючих сенсорів середнього і високого просторового розрізнення. Типові 4-канальні зображення не забезпечують достатньої точності розділення видів.

Ефективним є використання вегетаційних індексів як засобу диференціації рослинного покриву від інших територій. Серед інших, для виділення на знімках пікселів, що відображають рослинний покрив, найбільш часто використовують

нормалізований відносний індекс рослинності ((NDVI) Normalized Difference Vegetation Index). Цей індекс – простий кількісний показник вимірювання фотосинтетичної активної біомаси (зазвичай званий вегетаційним індексом). Один із найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що використовують кількісні оцінки рослинного покриття. Нижче приведена формула розрахунку індексу NDVI для супутникових знімків різних сенсорів.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

де NIR – процент відбитої радіації (покази каналу знімка) в ближньому інфрачервоному діапазоні (Near Infra-Red), довжина хвилі 0,7-1,0 мкм; RED – процент відбитої радіації (покази каналу знімка) в видимому червоному діапазоні (Red), довжина хвилі 0,6-0,7 мкм.

За охопленням територій та точності кінцевої моделі даних (національна, регіональна, місцева чи локальна) системи лісового моніторингу використовують супутникові знімки різного розрізнення від 0.5м до 10-30м. (рис. 1).



Рисунок 1 – Типи супутникових знімків для ведення лісового моніторингу

Визначення висоти дерев та діаметра крони за супутниковим знімком – є завданням складним в реалізації, але при цьому має високий потенціал

корисності застосування у лісовій сфері. Так, для багаторічних лісів - наявність високого ярусу (25-45 м) є ознакою високої якості лісової екосистеми (говорить про те, що екосистема є непорушеною або ж для відновленого лісу, що його якість близька до якості непорушеної екосистеми). Тому така техніка допомогла б визначати ступінь порушеності лісового покриву з практичними цілями: виявлення територій високої якості найбільш важливих для збереження; визначення проблемних регіонів з подальшою розробкою заходів щодо усунення ушкоджень; оцінки ефективності використаних методик лісовідновлення. У північних широтах ця техніка важлива вивчення перехідних екотонів, є чутливим індикатором глобальних кліматичних змін. Подібний алгоритм описано у статтях [10, 11]. Результатом аналізу знімка високої роздільної здатності (був використаний знімок з КА QuickBird роздільною здатністю 2.4 м у спектральних зонах і 0.6 м для панхроматичного каналу) за описаною в цих роботах методикою є: - карта дерев та чагарників з діаметром крон (рис.2) - карта меж екотонів - карта проективного покриття крон, які розраховуються для елементарних майданчиків заданого розміру.

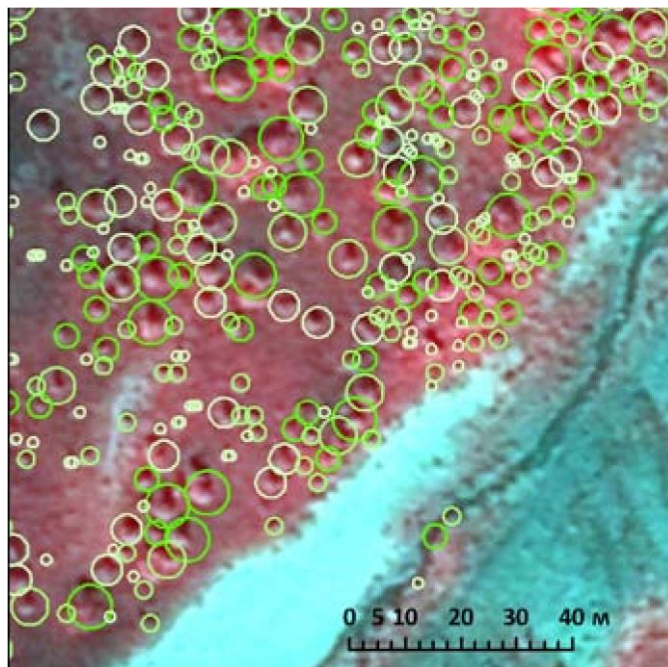


Рисунок 2. – Результат виявлення дерев та чагарників з різними діаметрами крон (показані кольоровими колами) на фоні синтезованого знімка з штучною кольоропередачею RGB (R=4: G =3: B =2)



Отримана карта дерев та чагарників дозволяє оцінювати кількість дерев та великих чагарників на одиницю площі, з поділом їх на кілька класів за висотою, а також відстань між стовбурами дерев та проектне покриття деревостанів. Оцінка висот об'єктів дозволяє автоматизовано проводити межу між основними екологічними класами в досліджуваному екотоні.

За космічними знімками надвисокого просторового розрізнення вирішують завдання при більшій деталізації. Прикладом використання таких космічних знімків при інвентаризації деревної рослинності в містах є роботи [12, 13]. Експерименти виконувались з космічними знімками КА WorldView-2 (супутник виконує знімання з просторовим розрізненням 1 м в таких спектральних каналах: фіолетовий, синій, зелений, червоний, дальній червоний або red-edge, ближній інфрачервоний ПЧ-1, ближній ПЧ-2)).

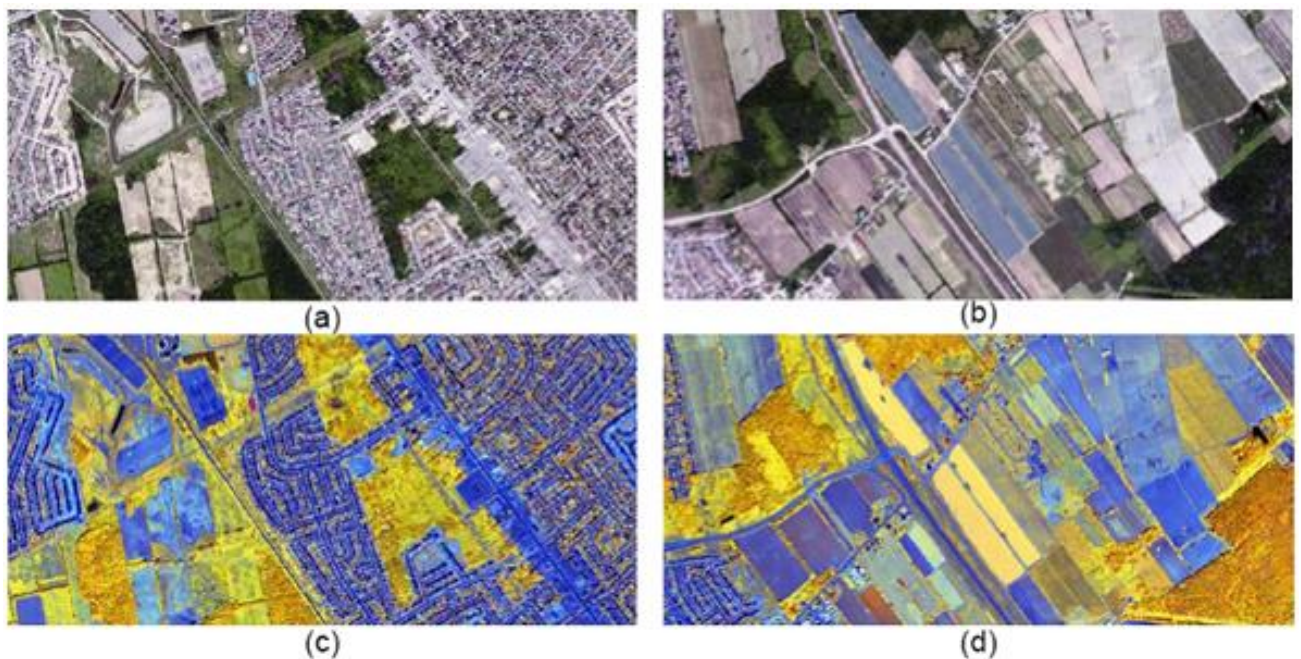


Рисунок 3 – Приклади кольорових 3-х каналних композитів, створених з використання різних спектральних каналів

Використовуючи емпірично визначений ряд порогових значень, за зображенням індексу NDVI можна відокремити ділянки з рослинним покривом від інших територій з високою точністю, як показано на рис.4.





Рисунок 4 – RGB композит в натуральних кольорах (а) і результати ідентифікації ділянок міста з рослинним покривом на основі NDVI (б); зони без рослинності масковані)

Ефективність методів автоматичної класифікації космічних знімків визначають за контрольними (за взірцевими) даними, які отримують в результаті польових досліджень території. Такі дослідження виконують на окремих типових ділянках і реєструють такі характеристики дерев, як вид, висота і діаметр на рівні грудей. В дослідженні за знімками надвисокого розрізнення КА WorldView-2 польові дані містять інформацію про 2602 дерева 46 порід. Оцінку точності автоматичної класифікації знімка приведено в таблиці 1.



Таблиця 1 – Результати розрахунку точності класифікації для кожного рівня [13]

Рівень	Масштаб	Точність, %
Рівень ґрунтово-рослинного покриву	150	98,5
Рівень насаджень	50	94,3
Рівень типу дерев	35	90,5
Рівень роду дерев	35	64,5
Рівень виду дерев	35	62,2

Компанія «Візіком» (м.Київ) використовує космічні знімки роздільною здатністю від 0,3м до 1м і для розпізнавання зелених насаджень в місті, таких як лісопарки, парки, сади, сквери. Підрахунок площ відбувається окремо для листяних та хвойних дерев, кущів, газонів (рис.5,6) [15]. Дана технологія використовується для:

- точного обліку та оцінки стану зелених насаджень;
- картографування зелених насаджень;
- ведення різних баз даних містобудівного та екологічного спрямування.



Рисунок 5 – Результат картографування міських зелених насаджень

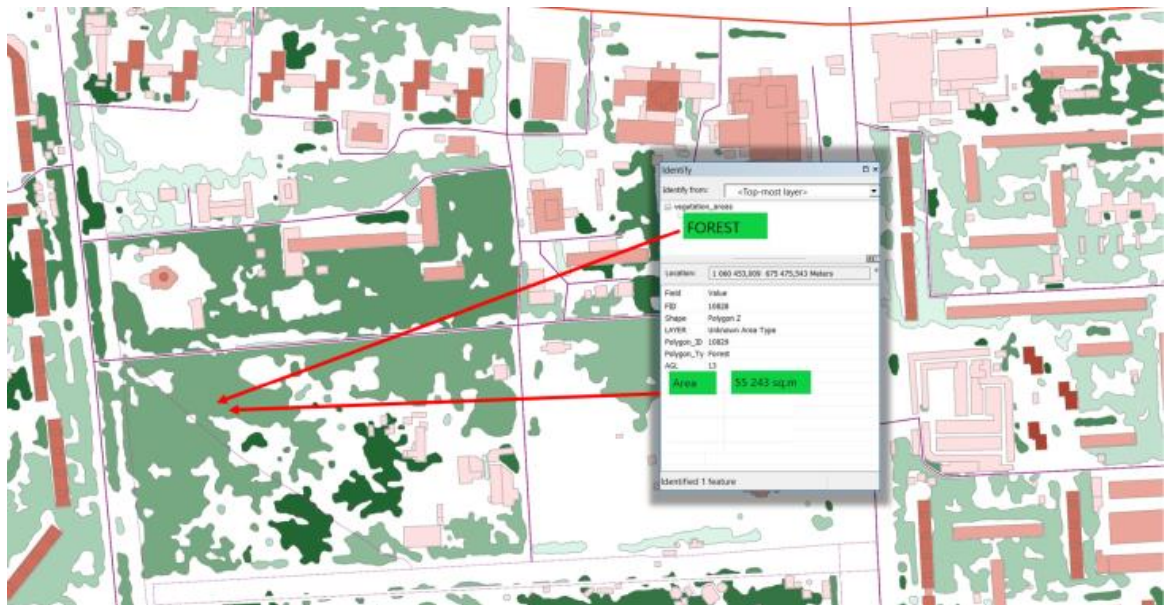
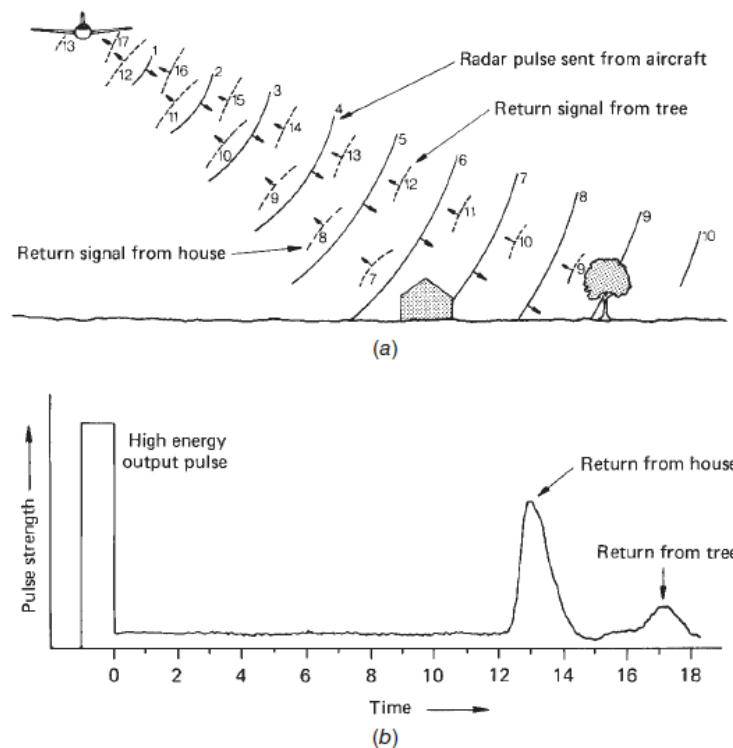


Рисунок 6 – Векторна карта зелених насаджень

## 2.2.Радарні знімання

Радарні знімання набули поширення з розробкою літакових та супутникових систем активного зондування в радіодіапазоні – мікрохвильове випромінення з довжиною електромагнітних хвиль від 1мм до 1м. Принципи здійснення таких знімачь показано на рис.7 [5]



### Рисунок 7 - Принцип виконання радарного знімання земної поверхні

Метод ґрунтується на визначенні направленої похилої відстані від радара до об'єкта:

$$\overline{SR} = \frac{ct}{2} \quad (2)$$

де  $SR$  - направленої похилої відстані від радара до об'єкта;  $c$  – швидкість світла ( $3 \times 10^8$  m/s);  $t$ - час між імпульсом та прийомом сигналу.

При відомих координатах джерела імпульсу та достатній частоті його генерації можна сформувати неперервне покриття відзнятої поверхні. Просторове розрізнення такого покриття складає:

$$R_r = \frac{c\tau}{2 \cos \theta_d} \quad (3)$$

де  $\tau$ - тривалість проходження імпульсу в обох напрямках;  $\theta_d$  – вертикальний кут напрямку імпульса.

В радарному дистанційному зондуванні діапазони довжин хвиль позначають літерами X, C,S,L і P (рис.8)

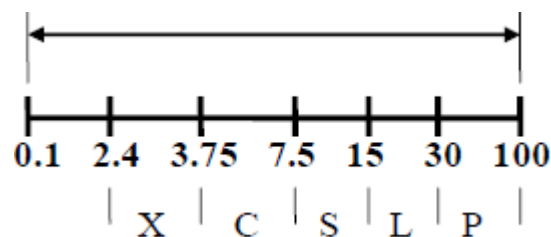


Рисунок 8 – Шкала діапазонів мікрохвильового випромінення (см)

Починаючи з 2010 року поширення набули глобальні та семі-глобальні покриття, які відображають топографічну поверхню землі. Першою такою моделлю стала SRTM американсько-німецького проекту радарного знімання Землі Shuttle Radar Topography Mission. В шатл-місії (космічний човник «Ендевор») 2000 року радар SRTM відзняв за 11 днів 80% суші Землі за допомогою інструмента С-діапазону інтерферометричного радара з синтетичною апертурою (InSAR). Через відносно коротку довжину хвилі (5,6 см) приладу SRTM, більшість вхідної електромагнітної енергії відбивається

розсіювачами всередині рослинного покриву на висоті значно вище поверхні землі (рис.9).

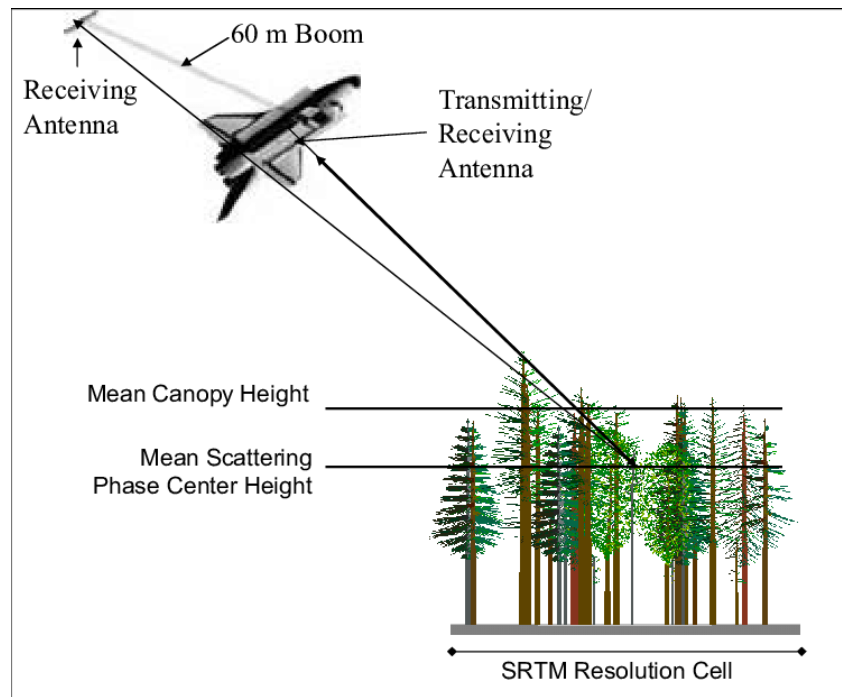


Рисунок 9 – Відбиття радарного імпульсу всередині крон рослин

Серед публікацій, приуроченим меті визначення висоти лісового покриву з використанням даних SRTM фундаментальними є роботи [8, 9]. В публікаціях приводиться аналіз закономірностей відношення висот моделі SRTM і лісових насаджень. Встановлено, що поверхня, зафіксована сенсором, розміщується на висоті від 0.5 до 0.75 від висоти дерев. Більш глибокому проникненню радіо променів С-діапазону в крони є суха погода, незначна щільність крон, невелика висота рослин, невеликі розміри листя, конічна форма крон.

Одним з шляхів визначення поправок в цифрову модель рельєфу з врахуванням висоти рослинності за даними радарних знімків є використання в якості інформації про наявність рослинності певної маси індексних карт NDVI та внесення у висоти комірок моделі поправок що складають  $(-2h/3)$ , де  $h$  – очікувана висота дерев для цього типу і стадії розвитку, як дешифровано на космічному знімку середнього просторового розрізнення [6, 7].

### 2.3.Лідарні знімання

На сьогоднішній день одним з найбільш ефективних методів збору просторових даних є авіаційне лазерне сканування місцевості.

Отримані точки відбиття лазерного променя від поверхні землі використовуються для побудови ЦМР та встановлення параметрів об'єктів місцевості. Висока густина таких точок (3-4 на м<sup>2</sup>) і точність визначення їх положення в просторі (до 15 см) дозволяє створювати високоточні цифрові моделі місцевості. У першому наближенні такою моделлю є хмара тривимірних точок лазерного відбиття.

Прилади для лазерної локації є інтеграцією двох незалежних компонентів, а саме - віддалемірного блоку (лазерного сканера) і навігаційного комплексу (глобальна позиційна система GPS і інерційна навігаційна система IMU), які роздільно впливають на точність авіаційного лазерного сканування.

Авіаційний лазерний сканер (лідар) є активним засобом дистанційного зондування. Активним елементом є напівпровідниковий лазер, що працює в імпульсному режимі з робочою довжиною хвилі в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру. Лазер випромінює короткі імпульси, напрям розповсюдження яких регулюється оптичною системою, а саме скануючим елементом (дзеркало, призма, оптичний клин або більш складні конструкції). Режим сканування вибирається так, щоб покрити деяку наперед задану смугу сканування. В більшості випадків поперечна розгортка утворюється за рахунок використання дзеркала, що коливається, а поздовжня - за рахунок руху носія вздовж знімального маршруту. Якщо на своєму шляху імпульс стикається з неповною перешкодою, то частина енергії імпульсу відбивається, а інша частина проходить далі вздовж лінії візування; причиною першого відбиття можуть бути листяний покрив, проводи і опори ЛЕП і т. д., а останнє відбиття як правило відповідає землі або іншій суцільній поверхні, яка є абсолютною перешкодою на шляху лазерного імпульсу (це може бути дах будівлі і т. д.) [15].



Лідари здатні виконувати сканування крізь не суцільні крони рослинності (рис.10) на відміну від інших технологій дистанційного зондування. Тому вони знайшли широке застосування в лісовому господарстві і природоохоронній діяльності:

- інвентаризація лісового покриву (розмір крони, висота, бонітет, зімкнутість крон);
- аналіз спектральних характеристик крон і оцінка пригніченості лісового покриву;
- створення великомасштабних планів лісотехнічного стану і породного складу лісів і рослинності в цілому;
- виявлення фактичних меж гару, рубок; пошук незаконних вирубок;
- виявлення ділянок затопленого лісу при високій зімкнутій кроні (повені, паводки, і ін.).

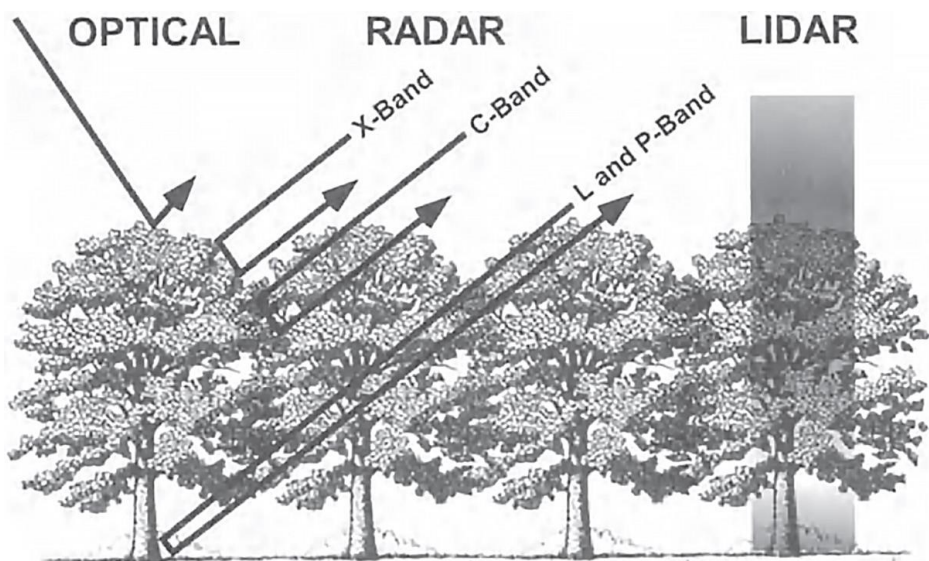


Рисунок 10 – Ілюстрація розсіювання електромагнітних хвиль різних діапазонів лісовим покривом [16]

Оброблення даних лідара приводить до створення та детального аналізу хмари точок у трьох вимірному просторі. Результатами аналізу є об'ємні геометричні показники кожного окремого дерева [1]. На рис. 11 зображено

можливість виявлення окремого дерева з описом границь крони. Крім двовимірного опису об'єкта (2D) для лідара також можливо застосувати двох з половиною вимірний (2.5D) та трьох вимірний (3D) опис.

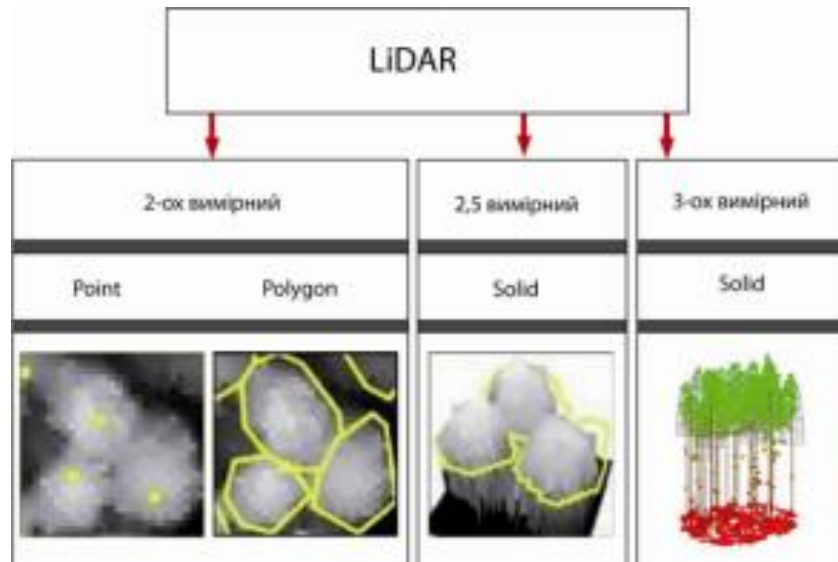


Рисунок 11 - Автоматичне виділення дерев за лідарним зніманням

Результатом обробки хмари точок лазерного відбиття є моделі кожної рослини. Використовуючи складні фільтрації можна роз'єднувати точки, що належать різним видам дерев або різним деревам одного виду (рис.12)

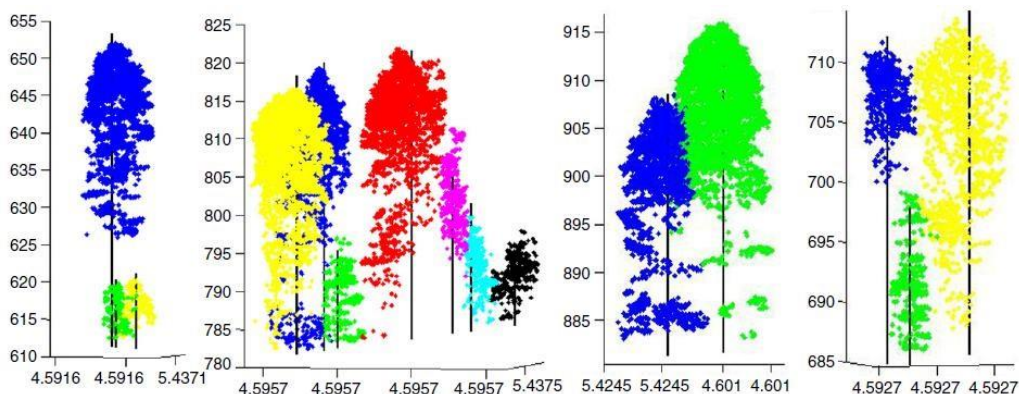


Рисунок 12 - Приклади моделювання дерев за лідарними даними

На основі лідарних даних визначаються такі параметри окремих дерев:

- висота дерева, де параметр визначається прямим вимірюванням перших і останніх сигналів, відбитих деревом;



- вертикальний розподіл крони, як функція розподілу біомаси дерева.
- діаметр стовбура на висоті грудей, який є розрахунковим параметром (DBH), що відповідає висоті 1.3м за даними лазерної локації тісно корелюються з наземними звірками і визначається за формулою:

$$DBH = a_0 + a_1H + a_2 \log D + a_3 \log L, \quad (4)$$

де, а – коефіцієнти регресії, Н – висота деревостану, D – діаметр крони, L – довжина крони.

Часто середній діаметр насаджень визначають на основі його залежності від висоти дерева та іншими таксаційними показниками. Такі емпіричні залежності виведені різними дослідниками для поширених порід дерев:

Таблиця 2 – Формули для визначення середнього діаметра насаджень.

Порода	Формула	Автор
Сосна	$d_{1,3} = 0,85h_d + 2,36D_k - 2,86$	Е.А. Курбанов
Ялина	$d_{1,3} = 0,68h_d + 1,25D_k + 4,3$	С.В. Бєлов
Береза	$d_{1,3} = 0,65h_d + 3,04D_k - 5,4$	С.В. Вавілов

Об'єм стовбура. Розраховується опосередковано з врахуванням висоти дерева, об'єму крони, максимальної площі перетину крони і висоти крони.

Форма крони. Визначається геометричними формами, такими як конус, параболоїд чи півкуля.

Щільність крони. Оцінюють за інтенсивністю відбитих лазерних імпульсів.

Об'єм крони. Розраховується за висотою дерева, вертикальному розподілу і формі крони.

Вік дерева. Параметр прогнозується (визначається опосередковано) по вертикальному розподілу крони і за породою дерева. Таблиця для визначення середнього віку поширених в Україні порід дерев:

Таблиця 3 – Середній вік дерев в залежності від діаметра крон.

Породи дерев	Середній вік дерев в залежності від діаметра крони,м (за стадіями розвитку)				
	20-30-40	50	60	70	80-90-100
Сосна	2.2-2.9-3.5	3.9	4.3	4.6	4.9-5.2-5.5
Береза	1.8-3.0-3.9	4.7	5.4	6.3	7.0-7.5-8.2
Осика	2.4-3.5-4.4	5.1	5.6	6.1	6.6-7.1-7.6
Дуб	2.1-3.0-3.9	4.7	5.4	6.1	6.9-7.7-8.3

#### 2.4.Аерознімання

Аналіз деревостану на рівні окремого дерева, що є найменшою структурною одиницею є найбільш складним питанням для ведення точного лісового господарства. Ця задача вирішувалась за матеріалами стереоскопічного аерознімання в панхроматичному діапазоні електромагнітних хвиль та з використанням багато спектральних аерофотознімків.

Використання панхроматичних аерознімків для визначення положення кожного дерева в масиві відбувається шляхом вимірювання прямих (зображення дерева та його окремих частин) та опосередкованих ознак (зображення тіні від крони дерева). Теоретичною основою цих вимірювань є теорія стереофотограамерії в частині відображення за законами центральної проекції і вимірювання зображень вертикальних об'єктів місцевості. На рис. показано порядок визначення перевищень точок місцевості (в нашому випадку – висоти дерева за стереопарою аерознімків. Точність, яку забезпечує цей метод, складає 7-10%.

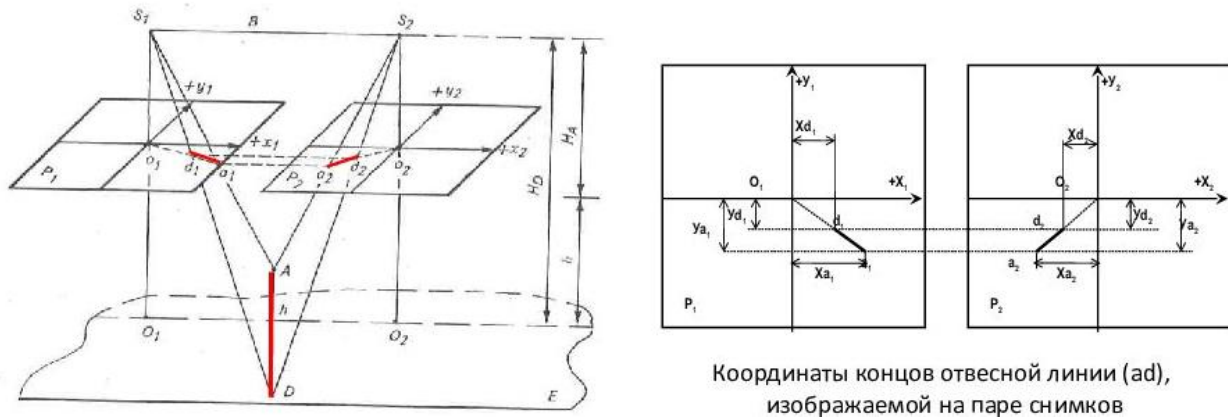


Рисунок 13 – Зображення вертикальної лінії (AD) на стереопарі аерознімків (ліворуч) та координати кінців вертикальної лінії (ad) що зображена на знімках стереопари

Формули для визначення перевищень:

$$\pm h = \frac{H_d \cdot \Delta P}{P_d + \Delta P}$$

$$\pm h = \frac{H \cdot \Delta P}{b}$$
(5)

де, прийнято позначення:

$H$  – перевищення точки  $a$  над точкою  $d$ ;

$H_d$  – висота фотографування над точкою  $d$ ;

$P_d$  – повздовжній паралакс точки  $d$ ;

$b$  – базис фотографування в масштабі аерознімка;

$H$  – середня висота знімання.

величина  $\Delta P$  є різниця повздовжніх паралаксів між вимірними точками в основі і вершині стовбура, розраховується за формулою

$$\Delta P = (P_a - P_d) \cdot$$
(6)

В якій поперечні паралакси в точках  $a$  та  $d$ :

$$P_a = \pm X_{a1} - (\pm X_{a2})$$

$$P_d = \pm X_{d1} - (\pm X_{d2})$$
(7)

Наближено, з точністю 10-15% висота дерев і насаджень за аерознімками може бути визначена кількома способами:

- за довжиною тіней;
- за величиною проекції зображення дерева;
- окомірною-стереоскопічним способом.

Визначити висоту дерева по довжині зображення на аерознімку його тіні (рис. 14, 15) можна за формулою (8):

$$h = l_t \cdot \operatorname{tg}(\gamma) \quad (8)$$

де  $h$  – висота дерева, м;

$l_t$  – розмір тіні, м;

$\gamma$  – висота Сонця над горизонтом, град (залежить від географічного положення, дати і часу знімання. Для розрахунку цієї величини можна скористатись онлайн калькулятором «Обчислення азимута і висоти Сонця за заданими координатами і часом спостереження»: <http://www.planetcalc.ru/?license=1>).

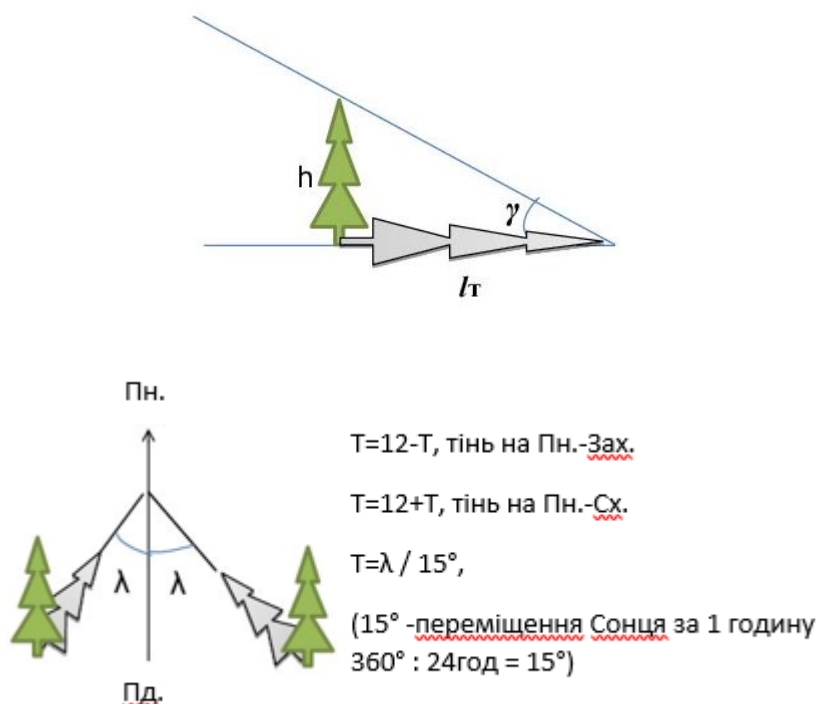


Рисунок 14– Спосіб визначення висоти дерева за зображенням на знімку його тіні

Визначити висоту дерева за величиною проекції зображення дерева можливо при значному віддаленні об'єкта від центру аерознімка. Тут використовується ефект більшого зміщення вершини на краях знімка, що дає змогу виконати визначення висоти точніше. Формула способу:

$$h_d = \Delta \cdot H / r \quad (9)$$

де  $\Delta$  - довжина зображення дерева на знімку, мм;  $H$  – висота фотографування, м;  $r$  – відстань на знімку між вершиною дерева і точкою надиром, мм.

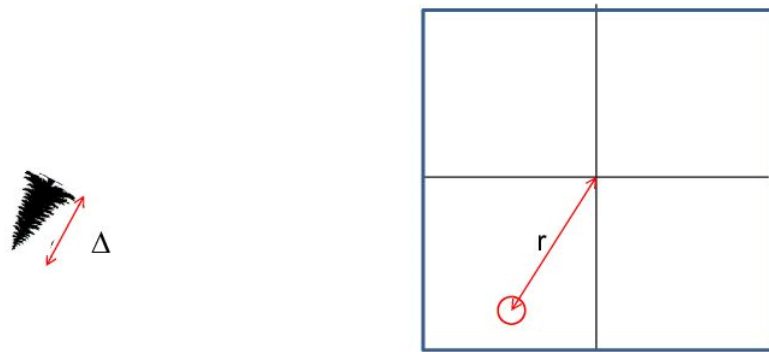


Рисунок 15 – Визначення висоти дерева за величиною проекції зображення

Визначення висот дерев окомірною-стереоскопічним способом використовує формулу:

$$h_d = h_c \cdot m_e \quad (10)$$

де  $h_c$  – висота дерева, визначена окомірно при стереоскопічному розгляданні знімків, мм;

$m_e$  – вертикальний масштаб аерознімків, залежить від висоти знімання  $H$ , величини базису на знімку  $b_{zn}$  та коефіцієнта збільшення  $K_{зб}$ :

$$m_e = \frac{H}{250 \cdot b_{zn} \cdot K_{зб}} \quad (11)$$

Якщо встановлені геометричні центри стовбурів та геометричні розміри крон дерев, можна виконати визначення зімкнутості покриву. Для цього використовують два способи: точковий та лінійний (рис.16).

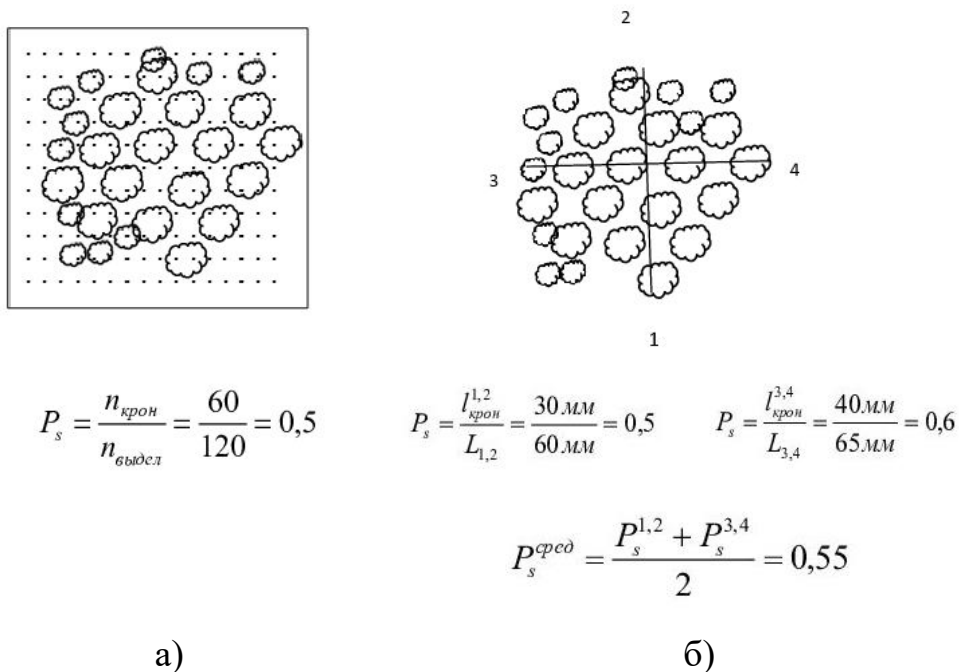


Рисунок 16 – Визначення зімкнутості покриву:

а) точковим способом; б) лінійним способом.

При використанні багатоспектральних аерофотознімків для визначення положення кожного дерева в масиві в більшості випадків полягає у визначенні локальних максимумів інтенсивності. Теоретично ці максимуми повинні означати найвищу точку крони - пік, яка освітлюється сонячним світлом. Багатоспектральні зображення складаються як мінімум з трьох спектральних діапазонів. З них часто виокремлюють один, найбільш інформативний канал. Саме в цьому каналі відбувається ідентифікація максимумів відбиття.

При використанні аерофотознімків виявлення крон дерев є ефективним тільки у випадку, коли відсутні перекриття крон на одному висотному рівні та відсутні пригнічені крони на фоні домінуючих крон в верхньому ярусі лісу. Практично не можливо виявити середній і нижній рівень зелених насаджень (підлісок). Також, пасивний принцип формування зображення, який закладений в конструкцію більшості відомих сучасних технічних засобів багато - та гіперспектрального знімання, суттєво обмежує можливості отримання оцінок розподілу характеристик і параметрів об'єктів на різних відстанях (висотах, ярусах) [1].

## Знімання з БПЛА

В 2006 році лісовий департамент Швеції запропонував використовувати БПЛА для інвентаризації лісів. З цієї дати розпочалось активне застосування БПЛА різних класів в лісгосподарській діяльності [20]:

1. Виявлення лісових пожеж та боротьба з ними.
2. Організація повітряного патрулювання локальних площинних (сільськогосподарських угідь, ділянок цінних насаджень, молодняків, рекреаційних місць, торфовищ тощо) та лінійних об'єктів (ЛЕП, залізниць, трубопроводів, автомагістралей тощо);
3. Моніторинг лісокористування та охорона лісів (оперативне інспектування місць проведення рубок та інших господарських міроприємств в лісах з фото- або відеодокументуванням; протидія незаконній діяльності в лісах);
4. Лісовпорядкування (планове або оперативне аерознімання ділянок насаджень).

Корисне навантаження БПЛА:

1. фото та відеокамери оптичного, теплого і інфрачервоного діапазонів;
2. скануючі пристрої (радары, лазерні сканери);
3. системи визначення координат наземних об'єктів і цілевказання;
4. газоаналізатори, магнітні датчики.



Рисунок 17 – Квадрокоптер DJI 4 PRO, оснащений мультиспектральною 6-канальною фотокамерою

В більшості випадків аерознімання виконується по аналогії з багато маршрутним аерозніманням шляхом прокладання системи паралельних маршрутів із значним (від 80% до 90%) повздовжнім та міжмаршрутним перекриттями (рис. 18).

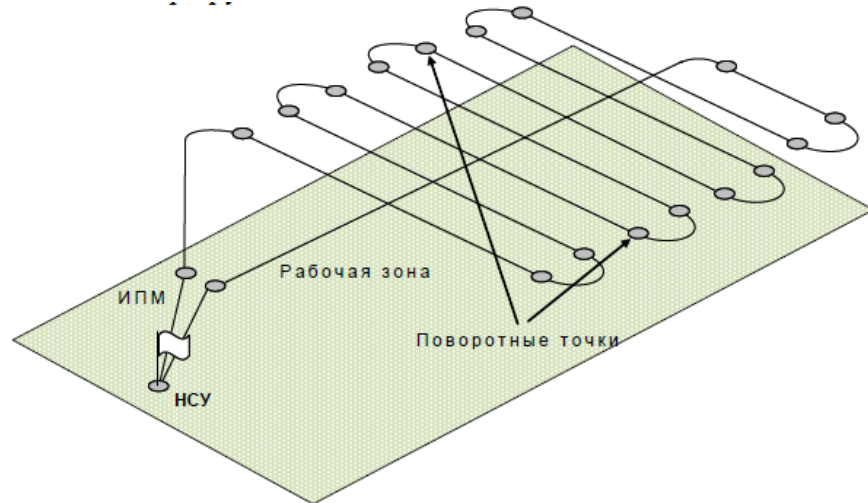


Рисунок 18 – Схема виконання площинного аерознімання з БПЛА

При виконанні знімань RGB фотокамерами основним продуктом оброблення знімків є хмара 3D точок. На її основі виконують моделювання топографічних поверхонь (рис.19 ).

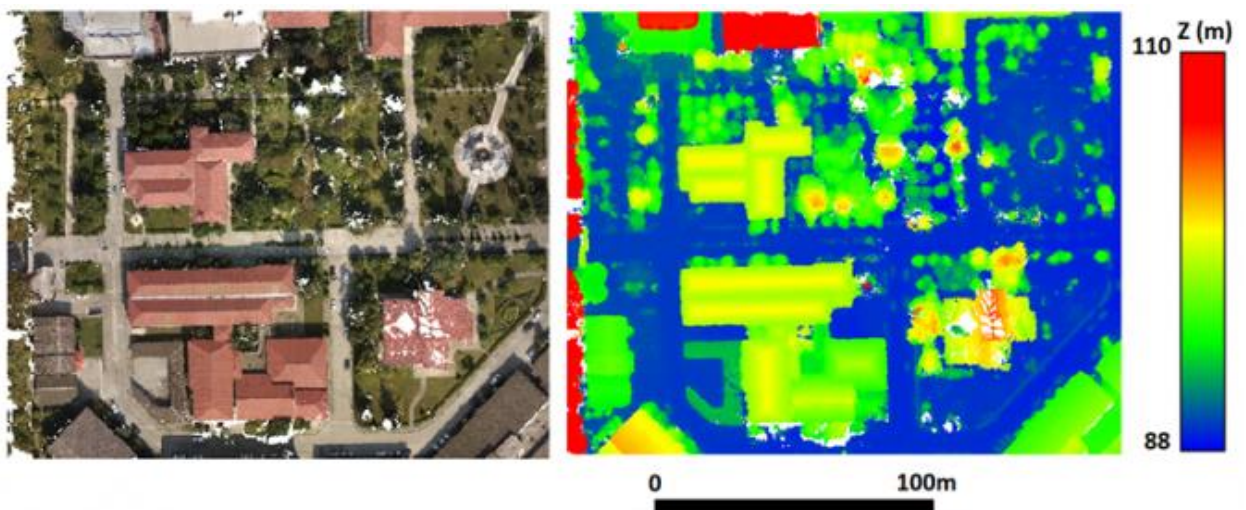


Рисунок 19 – Хмара 3D точок (ліворуч) та створена на її основі цифрова модель видимої поверхні DSM (праворуч)



У випадку, якщо аерознімання виконувалось із застосуванням багатоспектральних камер, основним продуктом є карти вегетаційних індексів. Найбільш вживані індекси та формули для їхнього розрахунку за значеннями в спектральних каналах R (червоний), G (зелений), B (синій), NIR (ближній інфрачервоний) приведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Формули для розрахунку вегетаційних індексів

Index		Equation
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(NIR-R)/(NIR+R)$
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(NIR-RE)/(NIR+RE)$
NGRDI	Normalized Green-Red Difference Index	$(G-R)/(G+R)$
VIDVI	Visible-band Difference Vegetation Index	$(2G-R-B)/(2G+R+B)$
CIVE	Colour Index Vegetation Extraction	$0.441R-0.81G+0.385B+18.7874$
ExG	Excess Green VI	$2G-R-B$
ExR	Excess Red VI	$1.3R-G$
VEG	Vegetation	$G/R^a B^{1-a}$ with $a=0.667$

Результатами розрахунків є растрові карти, які використовуються для інтерпретації стану об'єктів, зокрема рослинності:

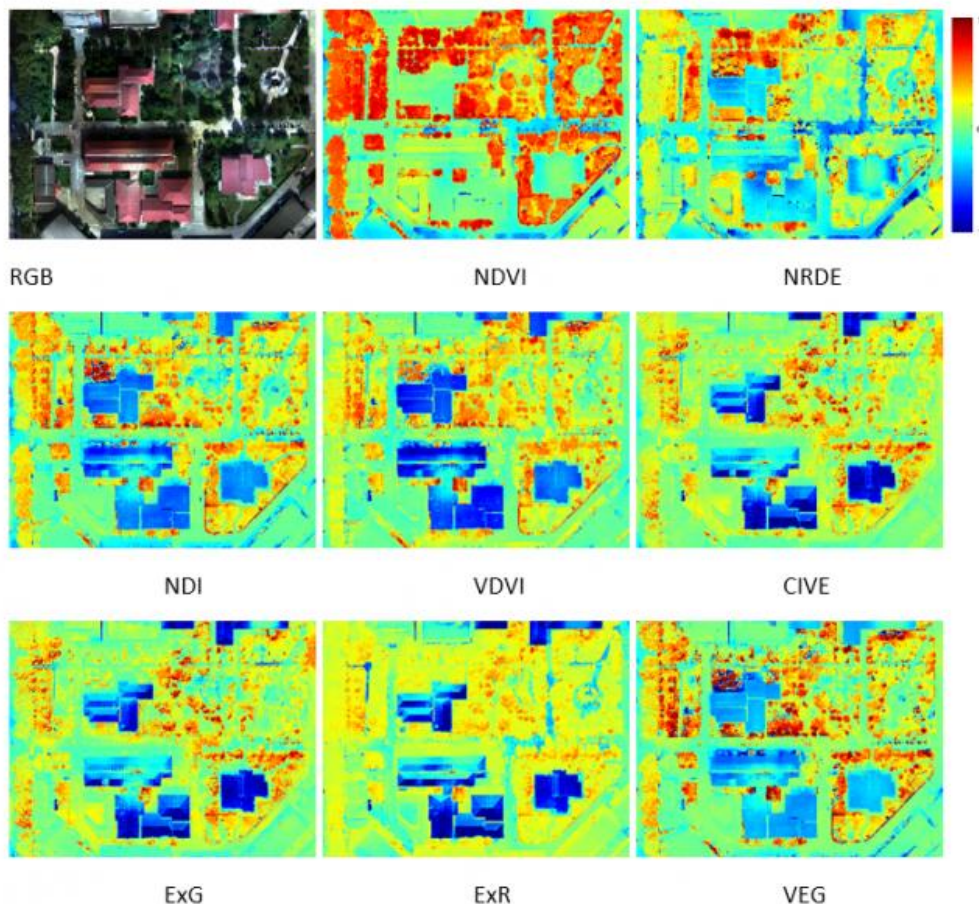


Рисунок 20 – Карти вегетаційних індексів, створені за багатоспектральними аерозімками БПЛА

Узагальнюючи позитивні і негативні особливості використання матеріалів дистанційних знімків в лісогосподарській сфері, розповсюдження набувають комплексні технології, які передбачають інтеграцію різновидових, різномасштабних знімків. Приклад такої технології подається в роботі професора Фаворської та в інших працях [3].

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОГРАММЕТРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ**

#### **3.1. Мета та порядок виконання експериментальних робіт**

Метою експериментальних робіт є перевірка двох методів виявлення на знімках дистанційного зондування Землі дерев та їхніх крон.

Перший метод базується на ідеї сегментації зображення методом вододілів. Цей метод обрано тому, що він вирішує завдання знаходження на растровому зображенні ліній супряження сусідніх предметів.

Метод водорозділів - це один з основних алгоритмів нарощування областей на зображенні, який рекурсивно виконує процедуру групування пікселів в підобласті за наперед заданими критеріями. Для задачі виділення крон дерев такі критерії будуються на передбаченні, що верхні частини крон є краще освітленими, а отже на зображенні є світлішими, а межею крони є область глибокої тіні яку відкидає як сама крона так і сусідні їй крони. Всі тіні розміщені в однаковому напрямку і з однаковою густиною. Концепція вододілу заснована на представленні зображення аналогічно до тривимірної поверхні, де в якості висоти використовується рівень яскравості пікселя. Якщо починаючи з найнижчих місць (в реальності – найтемніших на знімку ділянок) починати цю місцевість заповняти водою, тоді утворюються басейни. При подальшому заповненні водою ці басейни об'єднуються. Місця такого об'єднання позначаються лінії водорозділу. При цьому на поверхні можна зустріти три типи точок:

- локальні мінімуми (депресії);
- точки, розташовані на схилі, з яких вода стікає;
- точки, розташовані на гребені пагорба (локальні максимуми, які в нашій задачі є верхніми точками крон дерев). Лінії, утворені точками хребта, є вододілами, тому основним завданням цього методу є саме пошук вододілів.

Метод реалізовано компанією Geoscan як програмний додаток (плагін) для геоінформаційної системи QGIS і доступний для завантаження і вільного використання за інтернет-адресою: [https://github.com/geoscan/geoscan\\_forest](https://github.com/geoscan/geoscan_forest). Плагін Geoscan Forest дозволяє шукати верхівки дерев і виконувати сегментацію крон дерев на ортомозаїці. Приблизна просторова роздільна здатність вхідної ортомозаїки має становити близько 5 сантиметрів на піксель. Плагін має три регульовані опції при застосуванні:

- Розмір вікна – є можливість встановити розмір прямокутної області, яка обробляється за одну ітерацію роботи (занадто великі ділянки вимагають великого обсягу оперативної пам'яті)

- Сегментація крон – є можливість ввімкнути або вимкнути сегментацію полігонів які позначають проекцію кожної виявленої крони на горизонтальну площину;

- Область пошуку – є можливість виконати пошук по дереву для всієї ортомозаїки або для заданої області – багатокутника.

Результати роботи плагіну – два набори векторних даних у форматі GeoJSON. Це точки – позначають найвищі точки окремих вершин та полігони – позначають проекцію крони на горизонтальну площину.

Недоліки цього методу такі:

- вимагається дуже детальне знімання території (розробник рекомендує розрізнення 5 см);
- вимагається наявність вираженої тіні, що входить в протиріччя з правилами виконання аерознімань;
- алгоритм не використовує ні спектральної, ні геометричної інформації, що призводить до ефекту перебільшення виявлених дерев, адже всі предмети що мають перевищення над рельєфом і відкидають тінь, можуть бути трактовані як крони рослинності.

Другий метод реалізовано в геоінформаційній системі Sputnik Agro і базується на використанні суто геометричних даних. Алгоритм визначає

локальні максимуми перевищень предметів за заданими цифровими моделями поверхонь – цифровою моделлю рельєфу DTM та цифровою моделлю денної поверхні DSM (рис. 21).

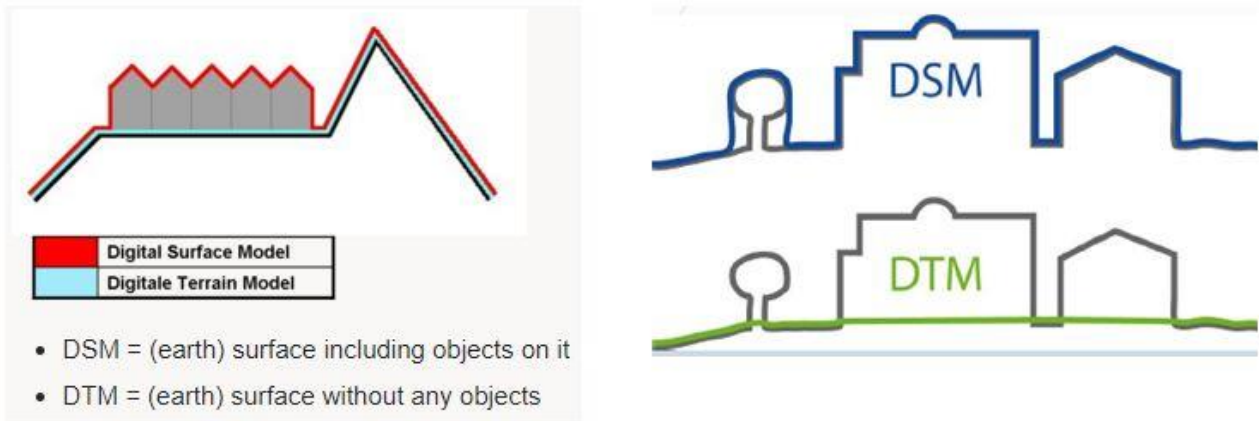


Рисунок 21 – Цифрові моделі Digital Terrain Model (DTM) та Digital Surface Model (DSM)

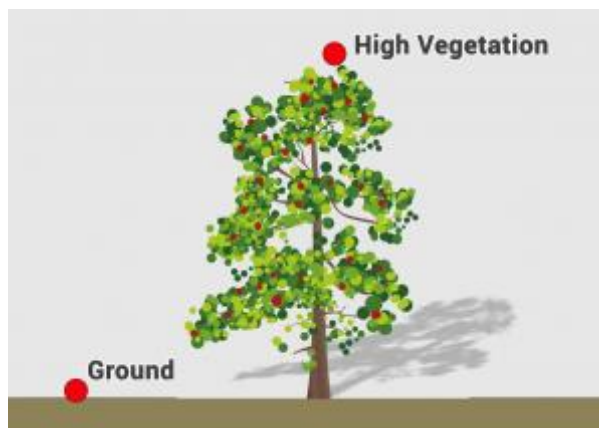


Рисунок 22 – Віднайдення локального максимуму перевищень за моделями DTM та і DSM та визначення висоти дерева

Після віднайдення локальних максимумів перевищень, вони відмічаються 3D точками та можуть бути використані для автоматичного пошуку висоти рослин, відстаней між ними, а при наявності відомостей про породу дерев і вік насаджень – можна розраховувати інші показники деревостою.

### 3.2. Характеристика вихідних даних

Для виконання експериментальних досліджень використано матеріали аерознімання двох типів – аерознімання повноформатною цифровою камерою UltraCAM D з фокусною відстанню 150мм з пілотованого носія та аерознімання з безпілотного літального апарату.

Перший комплект даних – аерознімки, отримані повноформатною аерокамерою з висоти 4100м сільської, лісної місцевості з рівнинним рельєфом та створений за ними повноколірний ортофотоплан. Ортофотоплан покриває територію розміром 1200x800м та має розмір комірки (просторове розрізнення) 0.07м. При ортотрансформуванні було використано цифрову модель рельєфу (DTM) з розрізненням 1м і точністю визначення висот точок  $\pm 0,15$ м. Це означає, що зображення високих об'єктів місцевості, таких як дерева на ортофотоплані і на вхідних аерознімках є тотожними і містять залишкові перспективні спотворення. Тип лісової рослинності – широколистяні, дубово-букові, стиглі ліси та молоді насадження (ділянка в північно-східній частині. В південній частині ортофотоплану деревна рослинність представлена лісопосадкою та захисними лісосмугами (рис. 23).

Другий комплект даних - аерознімки, отримані з БПЛА літакового типу Arrow в районі гірського перевалу в селищі Східниця Львівської області. Район гірський, з перепадом висот рельєфу в території дослідження 120м. Аерознімання виконувалось в літній час. Район заліснений. Переважання порід в лісах – модрина, сосна, бук.

При застосуванні спеціального фотограмметричного програмного забезпечення типу Pix4D, Agisoft Metashape для створення ортофотопланів за знімками з БПЛА відбувається поява артефактів в зображенні високих об'єктів, таких як крони дерев, дахи будівель тощо. Така обставина може негативно вплинути на роботу методів сегментації зображень (рис. 24).





Рисунок 23 – Ортофотоплан місцевості

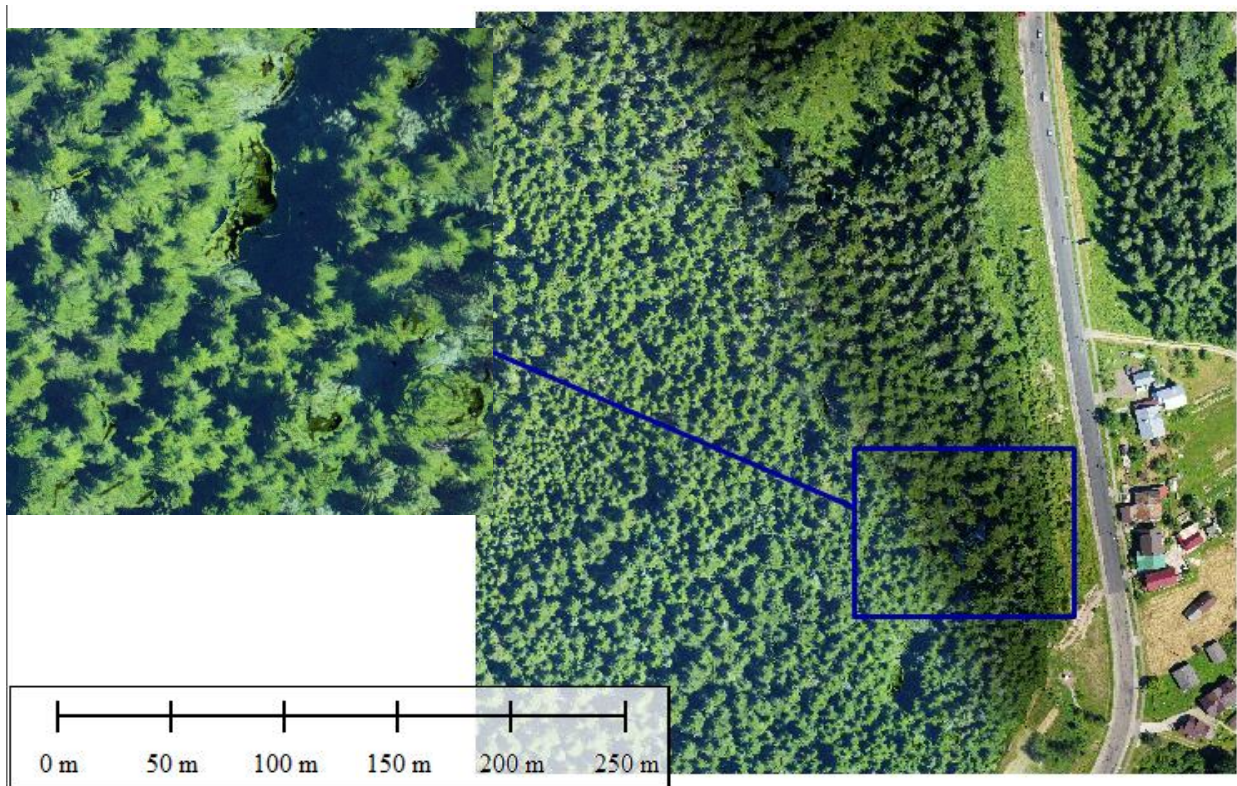


Рисунок 24 – Ортофотоплан, створений за знімками з БПЛА. У збільшеному вікні показано артефакти при зображенні крон дерев

### 3.3 Дослідження сегментації кольорового ортофотоплану методом вододілів

Дослідження виконувалось в відкритій геоінформаційній системі QGIS версії 3.2.2 з встановленим плагіном «Geoscan Forest». Перший комплект вхідних даних було опрацьовано частинами для двох дослідних ділянок. Перша являє собою лісовий масив з щільною структурою деревостану. В північній частині ліс листяний, змішаних порід з куполоподібними кронами. В південній – молоді насадження темнохвойних порід з пірамідальними кронами.



Рисунок 25 – Структура лісового покриття ділянки №1

Запуск плагіна «Geoscan Forest» здійснює виклик вікна для встановлення опцій виконання сегментації.

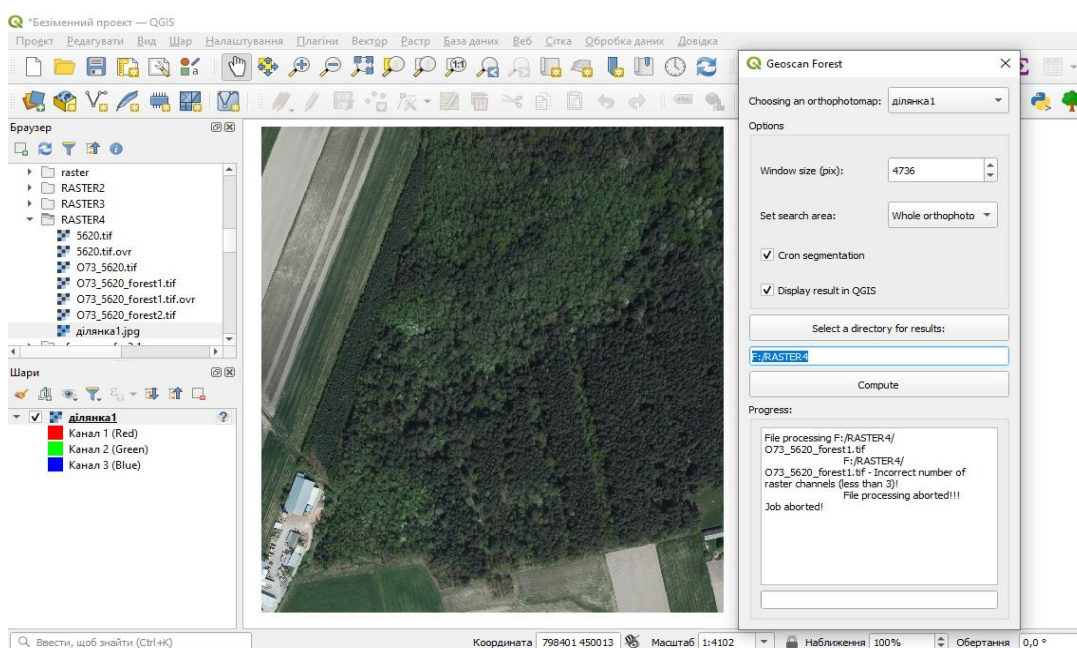


Рисунок 26 – Запуск плагіна «Geoscan Forest» для ділянки №1



Результатом сегментації є два набори даних. Перший – це набір точок, які показують стовбури дерев (фактично найбільш освітлену точку в кроні) та другий – набір полігонів, які показують поширення крони (фактично – більш освітлену область довкола найосвітленішої точки до границі, якою є тінь) (рис. 27)

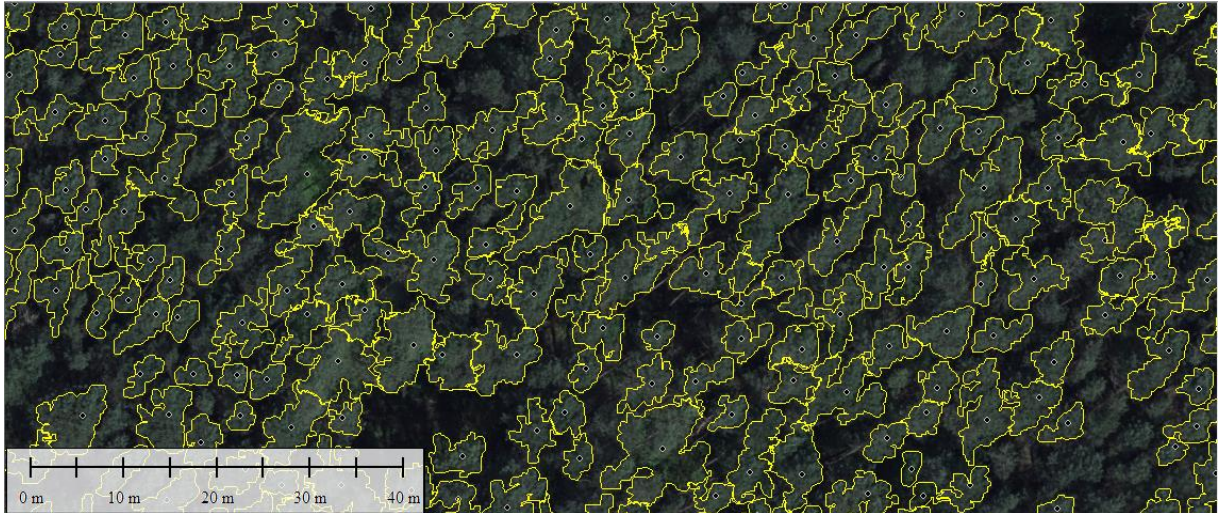


Рисунок 27 – Результатом сегментації

Дослідження дозволило встановити наступне:

1. Метод незадовільно працює на ділянках малорослих насаджень



Рисунок 28 – Помилковий розрахунок плагіна для ділянок малорослих насаджень

2. Метод дає до 66% правильних співставлень тільки на ділянках з яскраво освітленими, рівномірною забарвленням та текстурою ділянок лісу. Як правило це листяні породи.

3. Метод практично не реагує на сухостої.
4. На ділянках хвойних лісів метод має виражену тенденцію до злиття кількох крон в один полігон. Це призводить до заниження загальної кількості дерев та завищення оцінки розвитку крони.



Рисунок 29 – Ефект злиття полігонів при окресленні крон хвойних дерев

Загалом на досліджувану ділянку лісу площею 23,6 гектари метод дозволив виявити місцезположення 3719 стовбурів дерев та окреслити графічно їхні крони.

Застосування плагіна щодо ділянки №2 показало таке:

1. Для окремо розміщених дерев відбувається опис крони кількома полігонами:

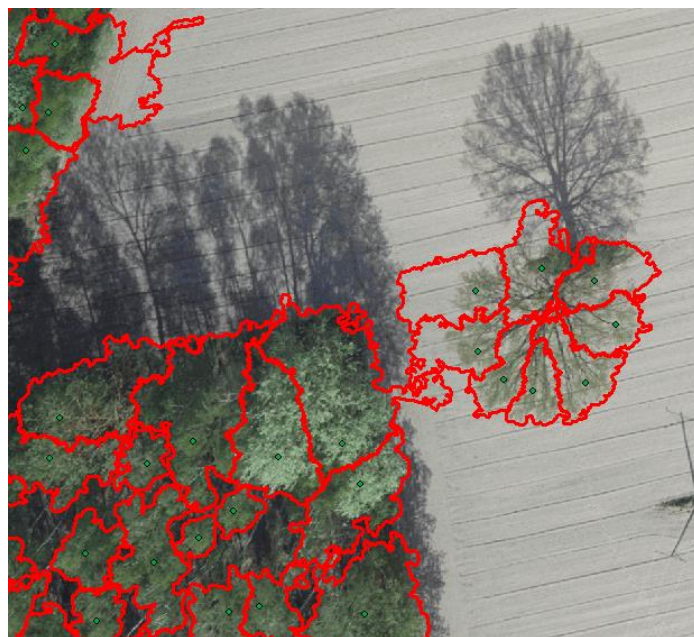


Рисунок 30 – Ефект «розщеплення крони».



2. Алгоритм генерує багато полігонів на відкритих полях, де немає рослинності.

Застосування плагіну «Geoscan Forest» для оброблення ортофотоплану, який був створений за знімками з БПЛА продемонстрував в цілому дещо більш адекватні результати за винятком місць, де зображення ортофото було спотворено артефактами. Це можна пояснити дещо вищим просторовим розрізненням ортофотоплану та технологією його створення. Цей ортофотоплан створено за моделлю поверхні DSM і таким чином зображення дерев на ньому не мають перспективних спотворень.



Рисунок 31 – Результатом сегментації ортофотоплану. Різними кольорами показано блоки, почергово опрацьовані плагіном

### 3.4. Дослідження методу виявлення дерев з використанням геометричних моделей топографічних поверхонь

Пошук розміщення стовбурів дерев на основі морфометричного аналізу моделі DSM реалізовано в комп'ютерній програмі Scanex Sputnik Agro. Програма є відкритим, безкоштовним програмним забезпеченням.

Підхід до використання геометричних моделей поверхонь DTM та DSM може бути реалізований при використанні таких технологій сучасної фотограмметрії як автоматична щільне стереоототожнення. Результатом цього процесу є хмара точок, кожна з яких має просторові координати XYZ та координати кольорів RGB. Така хмара може складатись з десятків мільйонів точок на км<sup>2</sup> площі території. Загалом поверхня, побудована по точках такої хмари, є поверхнею DSM. Якщо з хмари вилучити точки, які не належать поверхні землі, а є точками на рослинності, будівлях, спорудах тощо – у такому випадку залишаться точки, за якими можна створити модель рельєфу DTM. Ці процеси відбуваються автоматизовано. Щодо комплекту даних знімання з БПЛА території селища Східниця теж було створено хмару точок і розділено її на класи земля (коричневі точки), рослинність (зелені точки), будівлі (червоні точки), дороги (сірі точки) як показано на рис.3.11.

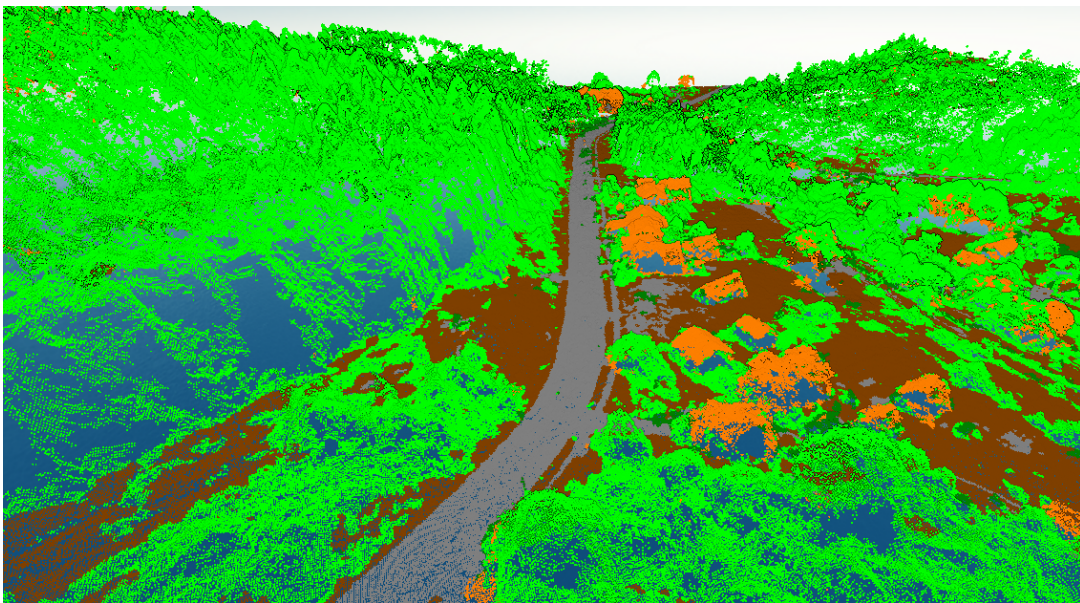


Рисунок 31 – Хмара точок на територію с. Східниця (фрагмент в аксонометричній проекції)

Програмний діалог для запуску розрахунків в програмі Scanex Sputnik Agro показано на Рис. 3.12. Порядок дій оператора наступний:

- У меню Інструменти вибираємо пункт «Пошук дерев»;
- У вікні Карти з допомогою курсора миші полігоном окреслюємо ділянку для ідентифікації дерев;
- Додаємо файли цифрових моделей рельєфу та видимої поверхні;
- Вказуємо файл формату kml для зберігання точкових об'єктів карти, які показуватимуть розміщення стовбурів дерев та до яких буде приєднана атрибутивна інформація з результатами розрахунків.

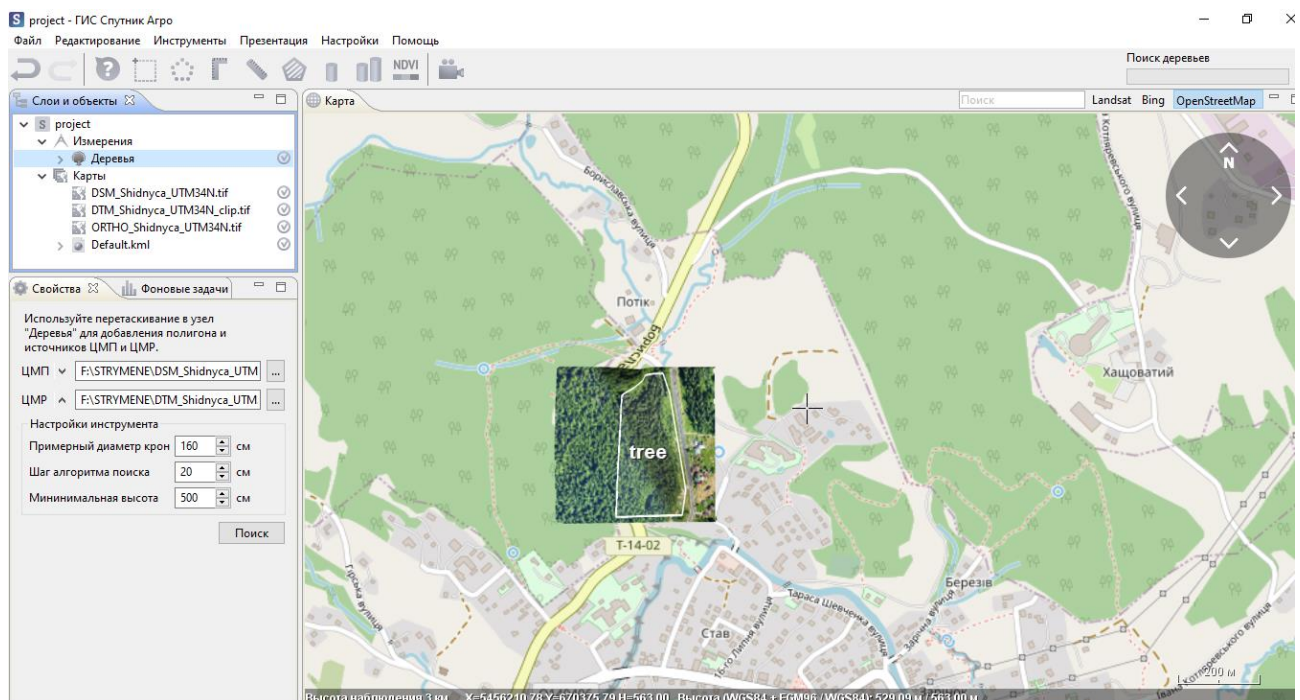
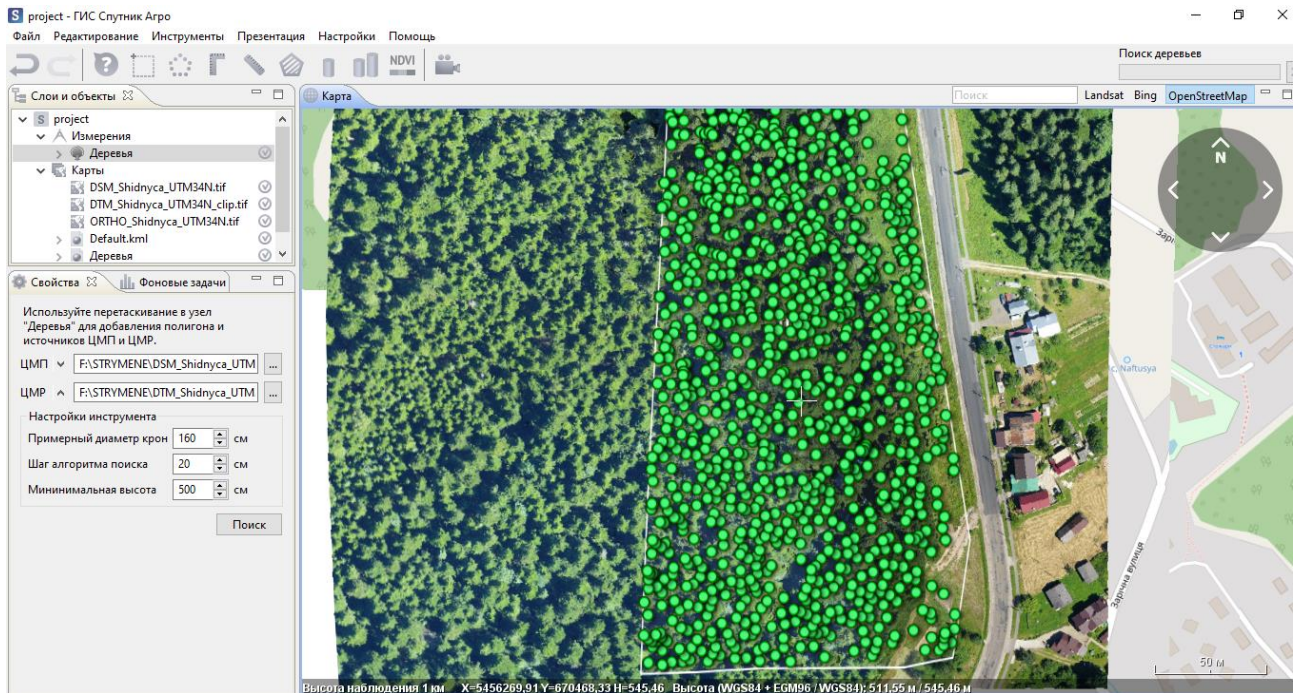


Рисунок 32 – Налаштування умов виконання розрахунків. Полігоном окреслено ділянку для ідентифікації дерев

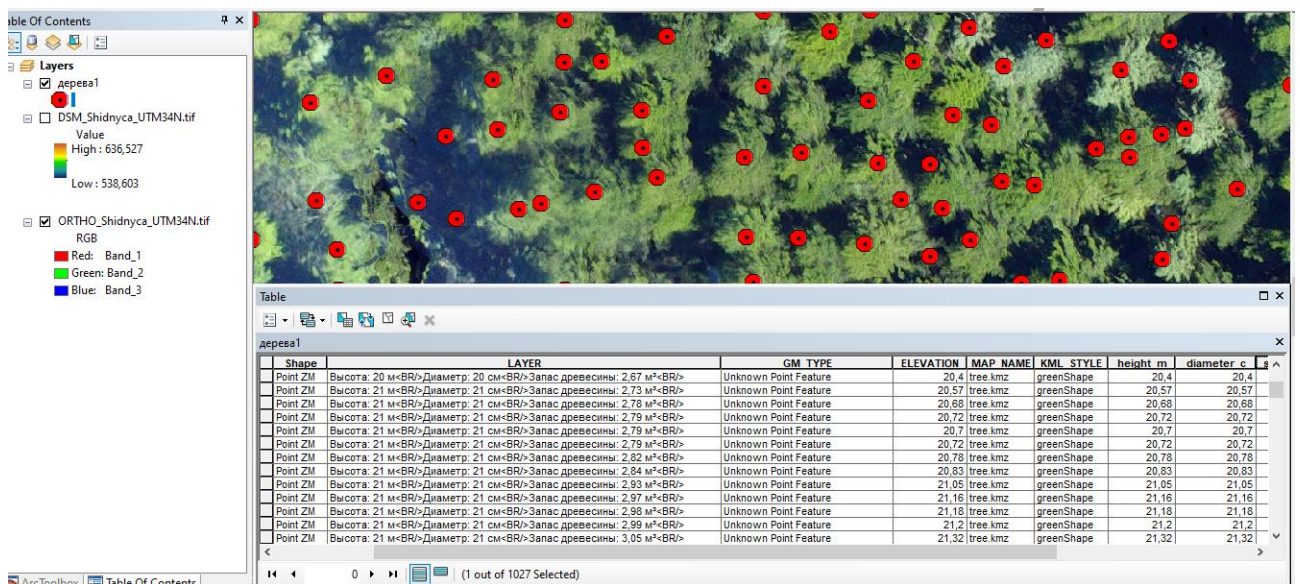
Всього на даній ділянці ідентифіковано 1027 дерев. Після завершення розрахунку переглянемо результати на карті та в атрибутивній таблиці бази даних. Крім координат розміщення стовбура подаються відомості:

- Висота (м)
- Діаметр (см)
- Запас деревини (м<sup>3</sup>).





а)



б)

Рисунок 33. – Візуалізація результатів розрахунків: а) загальний план; б) збільшений фрагмент та таблиця атрибутів в геоінформаційній системі ArcGIS

Всього на тестовій ділянці в північно-західній частині смт. Східниця нами виявлено 1027 дерев. Нами виконано аналіз просторового розподілу дерев на ділянці та встановлено показники розподілу відстаней між стовбурами та висоту дерев та кущів. Результати цього аналізу подано у виді гістограми (рис. 3.14)



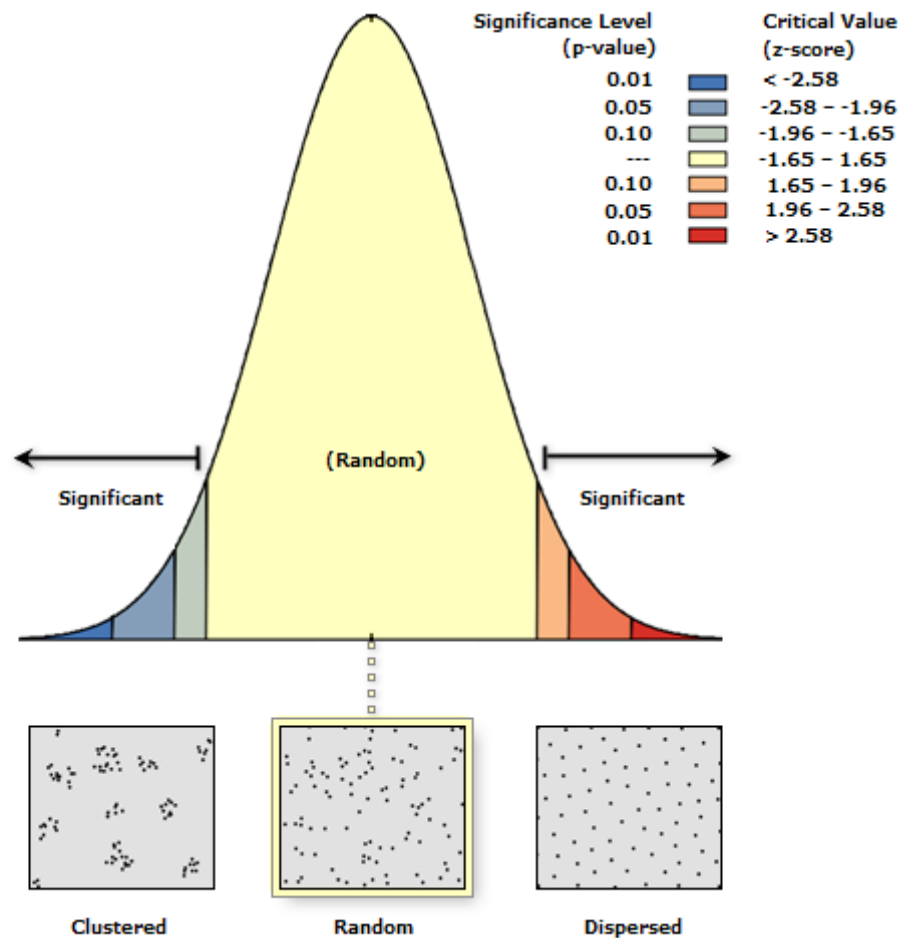


Рисунок 34 – Гістограма розподілу відстаней між стовбурами

Гістограма демонструє випадковий розподіл стовбурів на досліджуваній ділянці з діапазоном відстаней між стовбурами від 1,65м до 4,58м. Середнє значення відстані складає:

- спостережувана середня відстань: 4,12 м
- очікувана середня відстань: 3,86 м
- найближчий сусідній коефіцієнт: 1,06 м

Прорахунок відстаней виконано за допомогою Евклідового методу обчислення.

## **4. ОХОРОНА ПРИРОДИ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Охорона навколишнього природного середовища регулюються законом України «Про охорону природного навколишнього середовища» [21].

Охорона навколишнього природного середовища включає систему правових економічних заходів, що спрямовані на зменшення забруднення навколишнього середовища через господарську діяльність.

В напрямі охорони природи та навколишнього середовища важливе значення має система заходів, спрямована на раціональне використання земель, захист їх від шкідливого антропогенного впливу.

Важливе місце в охороні навколишнього природного середовища належить систематичному дистанційному моніторингу за станом природних чинників.

У системі моніторингу за раціональним природокористуванням розкривається значний перелік напрямків, зокрема і за охороною лісових ресурсів якому частково присвячена наша кваліфікаційна робота. Однак мабуть не менш важливим є і охорона природних ландшафтів, охорона ґрунтів, охорона водних ресурсів, охорона флори і фауни [22].

### **4.1 Охорона ґрунтів та використання земельних ресурсів**

В цілому охорона ґрунтів є тісно пов'язана з організацією раціонального природокористування та створення умов для збалансованого розвитку територій адміністративних одиниць. В процесі формування ґрунтів рельєф відіграє значну роль в поєднанні з кліматичними умовами, ґрунтоутворюючими породами, зволоження та діяльністю людини, що призводить до утворення різних ґрунтів. Це відповідно вкладає свій відбиток на саму організацію використання земель яка розробляється проектами та схемами землеустрою.

Органічною основою ґрунтозахисного комплексу заходів є контурно-меліоративна організація території. З урахуванням ландшафтних зв'язків забезпечена ерозійна стабільність границь землеволодінь, земле користувань сільськогосподарських угідь та окремо оброблюваних ділянок. А також у критичних (кризових) ситуаціях застосовують такі заходи як рекультивация, консервація чи заліснення територій [23].

## **4.2 Водні ресурси та їх охорона**

Вода – один із найважливіших екологічних чинників, без якого життя на землі не можливе. Вода це основа життя людини, тому її необхідно берегти. Основні річки у зоні дослідження це Дністер та його притоки Стривігор, Болозівка. Щоб запобігти забрудненню води, господарські і ферми розміщують якнайдалі від водних з дотриманням усіх умов охорони.

Забруднення поверхневих вод та підземних вод призводить до зміни фізичних властивостей, що шкідливо впливає на людини, природу і сільськогосподарське виробництво [22].

Всі речовини що забруднюють води і які викликають у них якісні зміни поділяються на: мінеральні, органічні, бактеріальні, біологічні.

На території дослідження водні джерела постійно накопичують продукти ерозії, від чого поступово міліють, втручають свою економічну роль. Щоб ця роль зберігалась, на території району систематично здійснюються заходи запобігання замулювання річок, каналів і водоймищ. Серед них виділяють протиерозійну організацію території, задерніння схилів, лісомеліоративні заходи.

Для захисту джерел господарсько-питного і виробничого водопостачання від забруднення і зараження встановлені санітарно-захисні зони. Зона строгого режиму передбачається біля бурових свердловин діаметром 30 м, біля джерел – 50 м. в межах зони строгого режиму забороняється будувати споруди, що не відносяться до водопостачання. Біля ставків і каналів встановлені прибережні смуги шириною від 10 до 25 метрів. В межах прибережних смуг забороняється

регулярна оранка земель, застосування отрутохімікатів, випасання худоби і будівництво літніх таборів для худоби, стоянка і миття машин, влаштування сміттєзвалищ.

Відповідальність за дотримання належного режиму на землях водоохонних зон покладається на керівників сільськогосподарських кооперативів і на окремих осіб, присадибні землі яких безпосередньо прилягають до русел річок і каналів.

### **4.3 Охорона атмосферного повітря**

Атмосферне повітря належить до категорії невичерпних ресурсів, однак господарська діяльність людини впливає на атмосферу і змінює склад повітря. Ці зміни можуть бути настільки суттєвими, що виникає потреба охорони повітряного басейну. Велика частка парникових газів продукується тваринницькими комплексами, що є актуальною проблемою у світі.

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря району є викидні гази двигунів тракторів, автомобілів, комбайнів та інших машин, які використовуються на виробництві, викиди побутових підприємств, випаровування у повітря шкідливих газів з тваринницьких ферм, зокрема при несвоєчасній чистці приміщень та неправильному зберіганні та використанні, втратах на машинних дворах, у майстернях, накопичення у тваринницьких приміщеннях аміаку, вуглекислого газу та шкідливих мікроорганізмів при відсутності належної вентиляції. [22]

### **4.4 Стан охорони і примноження флори і фауни**

Тваринний та рослинний світ відіграє важливу роль в навколишньому природному середовищі. Різні тварини та рослини по різному впливають на екологічні системи довкілля. Без них навіть неможливо уявити життя людини на землі. Тому ми повинні подбати за їх збереження та примноження на землі. Адже

в якому стані знаходиться флора та фауна, найбільше залежить від нас самих. [22]

На території наприклад Дрогобицького району проводяться деякі заходи щодо збереження та примноження рослинного та тваринного світу. Зокрема для збільшення корисних птахів та звірів на території району розроблено ряд заходів. До таких заходів можна віднести розклад штучних годівниць поблизу тієї місцевості, де ці тварини і птахи найбільше перебувають. До таких належать прилісові та прирічкові території. Також проводяться заходи по збереженню місць гніздування птахів, що живляться шкідниками рослин, створюються штучні місця для закладки гнізд.

Одним із головних заходів, що проводиться це запровадження біологічних методів захисту рослин з метою зменшення внесення хімічних засобів, які спричиняють негативні екологічні зміни навколишнього середовища, сприяють загибелі корисних тварин

Аналізуючи екологічний стан території дослідження а саме, екологічний стан, можна прийшли до висновку що тут проводяться заходи для покращення природних ресурсів. Але для кращого екологічного стану території все ж необхідно провести ряд заходів.

Для покращення земельних ресурсів на даній території необхідно впровадити ґрунтозахисну систему землеробства з контурно-меліоративною організацією території. Провести заходи щодо хімічної меліорації ґрунтів. Також необхідно провести агро лісотехнічні заходи на ярах, балках та інших ерозійно небезпечних землях.

Для покращення водних джерел перш за все необхідно розробити, виготовити або придбати системи, прилади, оснащення спеціальним транспортом, для здійснення контролю за кількістю та якістю поверхневих, підземних та стічних вод і скидів шкідливих речовин у водні ресурси. Також необхідно провести будівництво споруд для очищення стічних вод,

контролювати рівень вирубки масивів лісу і не допускати суцільних рубок так як вони сприяють потім замуленню річок .

Для покращення стану атмосферного повітря, також необхідно розробити певні заходи. До таких заходів ми можемо віднести як проведення робіт з інвентаризації джерел забруднення навколишнього середовища, створення та впровадження пристроїв для знешкодження та знедимлення відпрацьованих газів двигунів транспортних засобів.

Також необхідно розробити певні заходи для покращення стану флори та фауни, а саме, необхідно в першу чергу розробити заходи щодо охорони тваринного світу та боротьби з браконьєрством (придбання матеріально-технічних засобів тощо). Будівництво розплідників і ферм для розведення диких звірів та птахів з метою їх розселення в природному середовищі.

Для рослинного світу було б доцільно створити станції і лабораторії біологічного та хімічного захисту лісових насаджень.

Вище перелічені ті основні заходи, які повинні позитивно вплинути на стан навколишнього природного середовища на гірських територіях Львівської області..



## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Основи організації охорони праці при проведенні топографо-геодезичних та інших землепорядних робіт**

Відповідно до Закону „Про охорону праці” [24] у кожному структурному підрозділі і на робочому місці повинні бути створені умови праці, що відповідають існуючим нормативним актам, а також додержання прав працівників гарантованих законодавством про охорону праці. Для цієї мети власник повинен забезпечити функціонування системи управління охороною праці. Адже виробничий травматизм та захворюваність завдають великих збитків.

Метою охорони праці є навчити спеціалістів необхідних знань і навиків для створення безпечних умов діяльності в конкретній виробничій галузі, для проектування і застосування нових технологій і технологічних процесів відповідно до вимог з безпеки їх використання й надійності функціонування, для прийняття правильних рішень в умовах надзвичайних ситуацій по захисту підлеглого персоналу і обладнання від можливих наслідків аварій та інших стихійних лих.

Система управління охороною праці включає: створення відповідних служб і призначення посадових осіб, затвердження інструкцій про їх обов’язки, права та відповідальність за виконання покладених функцій; розроблення разом з профспілкою і реалізація комплексних заходів, щодо охорони праці, впровадження прогресивних технологій, досягнень науки і техніки, засобів автоматизації та механізації виробництва та позитивного досвіду з охорони праці; усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань і виконання профілактичних заходів, визначених комісіями при розслідування цих причин; досліджень умов праці, атестації робочих місць на їх відповідність нормативним актам; розроблення і затвердження положення,

інструкції, інших нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємствах та встановлення правил виконання робіт і поведінки працюючих на території підприємства, у виробничих приміщеннях та на робочих місцях відповідно до існуючих, забезпечення працівників такими актами безкоштовно; постійного контролю за дотриманням працівниками виробничих процесів, правил експлуатації машин, механізмів, обладнання і інших засобів виробництва, використання засобів індивідуального захисту, виконання робіт згідно з існуючими вимогами охорони праці, пропаганди безпечних методів праці.

Згідно із Законом України „Про охорону праці” [24] власник зобов’язаний створити в кожному структурному підрозділі і на кожному робочому місці безпечні умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечити дотримання прав працівників, гарантованих законодавством „Про охорону праці”.

На виробничих ділянках, які являються складовими частинами виробничої галузі, відповідальність за стан охорони праці накладається на керівників структурних підрозділів. Вони проводять інструктаж по техніці безпеки на виробничому місці, слідкують за поломками техніки, наявністю та ефективністю використання індивідуальних засобів захисту. [25]

На всіх виробничих ділянках існують журнали реєстрації інструктажів по техніці безпеки і пожежній безпеці. З метою покращення умов праці в господарствах створена комісія, в склад якої входять голова господарства, інженер по техніці безпеки і начальник пожежної сторожової служби. [24]

Основними причинами нещасних випадків – використання несправних інструментів, механізмів і машин, недбале поводження на робочому місці. А в часових рамках це більше всього нещасних випадків припадає на весняний період. Пояснюється це непостійними кліматичними умовами, великим об’ємом роботи, неправильним режимом роботи і відпочинку.

При проведенні топографо-геодезичних та інших землепорядних робіт надзвичайно велика увага приділяється безпеці праці при польових пошукових роботах. Саме тут повинні враховуватись умови створення безпеки праці людям, які виконують свою роботу. В першу чергу такі працівники повинні бути забезпечені всіма необхідними засобами; а це продукти харчування, вода, протипожежні засоби, спецодяг та медикаменти. Також потрібно ознайомити даних людей із чинним положенням та статутом з безпеки праці при виконанні даних топографо-геодезичних робіт. Важливу роль відіграють заходи безпеки при виконанні камеральних робіт при землепорядкуванні. Необхідно враховувати: мікроклімат робочої зони, нормалізацію його показників, зокрема виділення шкідливих речовин в робочій зоні, виробничий шум, вібрація обладнання, захист персоналу при використанні іонізуючих випромінювань, освітлення виробничих приміщень і робочих місць, безпеку праці у фотолабораторії та при інших роботах.

Топографо-геодезичні роботи характеризуються специфічними особливостями: велика різноманітність фізико-геодезичних умов праці; проживання в польових умовах; загальне харчування; проведення робіт і постійне переміщення окремих виробничих підрозділів; відсутність швидкої медичної допомоги і ряд інших особливостей.

Для запобігання сонячних ударів рекомендується виконувати топографо-геодезичні роботи в спекотні дні, в ранкові або вечірні години. В процесі відпочинку місце вибирається в тіні і добре провітрюване, не рекомендується вживати спиртних напоїв, оскільки вони прискорюють тепловий удар.

Крім цього робітникам рекомендується носити спецодяг і головні убори. При тривалій активній діяльності при топографо-геодезичних роботах працівники швидко втомлюються і знижується їх увага до навколишньої обстановки, що часто може бути причиною травми. Однією з головних умов відпочинку та зняття втоми і психічного розвантаження є правильна і своєчасна організація повноцінного відпочинку.

## 5.2 Захист населення від надзвичайних ситуацій

До надзвичайних ситуацій, як правило, призводять аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо. За характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій – надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціально-політичного, військового характеру.

Події, при яких відбувається порушення нормальних умов життя і діяльності людей і які можуть призвести або призводять до загибелі людей та до значних матеріальних витрат, називаються надзвичайними ситуаціями.

Найбільш ефективний засіб зменшення шкоди та збитків, яких зазнають суспільство, держава і кожна окрема особа в результаті надзвичайних ситуацій – запобігти їх виникненню, а в разі виникнення виконувати заходи, адекватні ситуації, що склалася. Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу різних заходів з метою прогнозування оцінки щодо можливого перебігу подій та метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків. [26]

Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система цивільного захисту, затверджене постановою КМУ від 09.01.2014 р. № 11 «Положення про єдину державну систему цивільного захисту» [27]

Ця система включає в себе центральні і місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організують проведення роботи із запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних витрат.

Причинами надзвичайних ситуацій у регіоні дослідження можуть бути аварії техногенного та природного характеру, епідемії, стихійні лиха. До аварій

природного характеру можна віднести повені, так як на території дослідження району протікають річки: Дністер, Стрвяж, Черхавка, Болозівка.

Для організації життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій та організації робіт з ліквідації наслідків аварій, катастроф, стихійних лих створюються Державні комісії з надзвичайних ситуацій – ДКНС. ДКНС діють при Кабінеті Міністрів України, в областях, містах, регіонах, як на постійній основі, так і у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

До їх функції входить забезпечення постійної готовності до дій аварійно-рятувальних служб, контроль за розробкою та реалізацією заходів з попередження можливих аварій і катастроф. Усі завдання з ліквідації надзвичайних ситуацій виконуються по черзі у максимально короткі строки.

Передусім вирішуються завдання щодо термінового захисту населення, запобігання розвитку чи зменшення впливу надзвичайної ситуації і завдання з підготовки та виконання рятувальних та інших невідкладних робіт. [27]

Організація життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій – це комплекс заходів, спрямованих на створення і підтримання нормальних умов життя, здоров'я і працездатності людей.

З метою недопущення загибелі людей, забезпечення їх нормальної життєдіяльності у надзвичайних ситуаціях передусім повинно бути проведено сповіщення населення про можливу загрозу, а якщо необхідно, організовано евакуацію.

Сповіднення населення здійснюється усіма доступними способами: через телебачення, радіомережу, радіотрансляційну провідну мережу, спеціальними сигналами (гудки, сирени). Передбачається спеціальна схема повідомлення посадових осіб та осіб, задіяних у системі цивільної оборони.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. Виконано аналіз сучасної спеціальної наукової літератури за тематикою досліджень: статті в наукових виданнях, монографії, наукові звіти, інтернет джерела.
2. Проаналізовано умови застосування сучасних засобів дистанційного зондування Землі для забезпечення інформаційних потреб лісового господарства.
3. Проаналізовано існуючі методики визначення місцеположень дерев за аерокосмічними зображеннями та іншими продуктами геоматики. В роботі досліджено растрові матеріали аерознімань місцевості надвисокого (розмір пікселя на місцевості складає біля 5см) просторового розрізнення. Технологією дослідження передбачене використання растрових ортофотопланів та растрових цифрових моделей рельєфу та видимої поверхні. Джерелом даних є аерознімання, виконані повноформатними (встановлені на літаку) та малоформатними (встановлені на БПЛА) RGB аерокамерами. Експериментальні дослідження виконано із застосуванням відкритого програмного забезпечення, а саме геоінформаційної системи QGIS та комп'ютерних програм компанії Geoscan.
4. В роботі два методи визначення місцеположень і розміру крон дерев в різних частинах Львівської області. Метод сегментації зображень за цифровими ортофотопланами показав невисоку надійність і може бути рекомендованим тільки для формування загальних, наближених оцінок характеристик деревостанів. Метод геоінформаційного аналізу топографічних поверхонь рельєфу і видимої топографічної поверхні демонструє високу надійність при автоматичному визначенні місцеположень стовбурів дерев та точні оцінки таких параметрів як площа проекції крони на горизонтальну площину та

висота дерева. Програмне забезпечення Geoscan дозволяє також визначати за відомими математичним залежностями такі оціночні параметри як товщина стовбура на рівні грудей, об'єм деревини. Застосування геоінформаційних технологій дозволило встановити просторовий розподіл стовбурів на досліджуваній ділянці та середню відстань між ними.

5. Розглянуто питання охорони природи та навколишнього середовища, в якому відзначена значна роль методів дистанційного зондування для організації раціонального природокористування.
6. В цілому результати роботи розкривають можливості програмних комплексів та геоінформаційних методів їх застосування у сучасному лісокористуванні та умови за дотриманням яких буде отримано якісний очікуваний результат.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методи дистанційного оцінювання біофізичних параметрів лісових рослинних угруповань та агрофітоценозів в межах різних ландшафтно-кліматичних зон території України. Заключний звіт про науково-дослідну роботу. Науковий керівник НДР директор ЦАКДЗ ІГН НАН України академік НАН України В.І. Лялько. Київ 2016. [Електронний ресурс] URL:[http://www.ikd.kiev.ua/phocadownload/userupload/space\\_reports\\_2016/report5.pdf](http://www.ikd.kiev.ua/phocadownload/userupload/space_reports_2016/report5.pdf)
2. G Zagalikis, A.D. Cameron, and D. R. Miller. The application of digital photogrammetry and image analysis techniques to derive tree and stand characteristics. Publication: Canadian Journal of Forest Research • May 2005. [Електронний ресурс] URL: <https://doi.org/10.1139/x05-030>
3. Фаворская М. Н. Моделирование ландшафтных сцен на основе данных лазерного сканирования и цифровых аэрофотоснимков. – Бердск, 2017. [Електронний ресурс] URL:[http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2017/416747/\(P\)FavorskayaMN.pdf](http://conf.nsc.ru/files/conferences/SDM-2017/416747/(P)FavorskayaMN.pdf)
4. Космический мониторинг в лесном хозяйстве // проспект компании «Совзонд». – 2017. [Електронний ресурс] URL:<https://sovzond.ru/files/bro%D1%81hure-forest.pdf>
5. Remote sensing and image interpretation / Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer, Jonathan W. Chipman.—Seventh edition. –Wiley. -2017. -770p.
6. Ihor Kolb, Marija Lucyshyn, Małgorzata Panek. The study of methods for correcting global digital terrain models using remote sensing data. Geomatics, Landmanagement and Landscape No. 3. -2013, pp.59–66 [Електронний ресурс] URL:<https://pdfs.semanticscholar.org/48af/469f2689f731841b269b2d98ff50ff745b93.pdf>

7. Efiang, J., Digha, O.N., & Asouzu, O.E. Spatial Analysis of Land Surface - Vegetation Relationship in Mountainous Areas of the Tropics Using Srtm-3 Dem. *Journal of Geography and Geology*, -2016. -No. 8, p.59.
8. Kellndorfer J., Walkera W., Piercea L., Dobsona C., Fitesb J.A., Hunsakerc C., Vonad J., Clutter M. Vegetation height estimation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation Datasets // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 93. pp. 339–358.
9. Sexton J., Bax T., Siqueira P., Swenson J., Hensley S. A comparison of lidar, radar, and field measurements of canopy height in pine and hardwood forests of southeastern North America // *Forest Ecology and Management*. 2009. Vol. 257. pp. 1136–1147.
10. Новичихин А.Е. , Тутубалина О.В. Интеграция алгоритмов обработки космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения для автоматизированного дешифрирования лесной растительности. - ж. "Земля из Космоса" №3, "Охрана природы и веб-технологии", -2009., с. 40-42, [Электронный ресурс] URL:[http://www.zikj.ru/images/archive/no3/novichihin\\_9.pdf](http://www.zikj.ru/images/archive/no3/novichihin_9.pdf)
11. Anton Novichikhin. Research report. Development of object-oriented image classification technique with a tree heights and species interpretation using 8-band VHR satellite imagery, [Электронный ресурс] URL:[http://ga0.ru/storage/files/Novichikhin\\_8\\_band\\_Paper.pdf](http://ga0.ru/storage/files/Novichikhin_8_band_Paper.pdf)
12. Кавайяс Ф., Рамос Ю., Бойе А. Инвентаризация городских зеленых насаждений и их мониторинг с использованием данных WorldView-2. *Геоматика*. № 3 (11), -2011. с.67-73. [Электронный ресурс] URL: [https://sovzond.ru/upload/iblock/586/10kavayyas\\_inventarizacia\\_gorodskikh\\_nasa\\_zhdeni\\_ikh\\_monitoring\\_worldview.pdf](https://sovzond.ru/upload/iblock/586/10kavayyas_inventarizacia_gorodskikh_nasa_zhdeni_ikh_monitoring_worldview.pdf)
13. Шридхаран Х.. Многоуровневая классификация городских лесов по мультиспектральным данным WorldView-2. *Геоматика*. № 4 (13), -2011. с.80-88. [Электронный ресурс] URL:[https://sovzond.ru/upload/iblock/e09/13\\_ww2\\_shridharan.pdf](https://sovzond.ru/upload/iblock/e09/13_ww2_shridharan.pdf)

14. Картографування об'єктів лісового і сільського господарства. [Електронний ресурс] URL: [https://visicom.ua/news/kartohrafuvannya\\_obyektiv\\_lisovoho\\_i\\_silskoho\\_hospodarstva?lang=uk](https://visicom.ua/news/kartohrafuvannya_obyektiv_lisovoho_i_silskoho_hospodarstva?lang=uk)
15. Данилин И.М., Медведєв Е.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учеб. пособие. – Красноярск: Институт леса им. Сукачева СО РАН, 2005, 182 с.
16. Чимитдоржиев Т. Н., Дмитриев А. В., Кирбижекова И. И., Шерхоева А. А., Балтухаев А. К., Дагуров П. Н.. Дистанционные оптико-микроволновые измерения параметров леса: современное состояние исследований и экспериментальная оценка возможностей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 9–24
17. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. — 392 с.
18. Ebadat Ghanbari Parmehr. Vegetation Mapping Using Multispectral UAV Images. An Invaluable Source of Data for Green Area Management. GML. -April 22, 2021. [Електронний ресурс] URL: <https://www.gim-international.com/content/article/vegetation-mapping-using-multispectral-uav-images>
19. Малышева Н.В.. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений. –М.; Издательство Московского государственного университета леса. -2012. -154с.
20. І.Колб. Спосіб створення та практичне застосування карти-маски високих об'єктів місцевості при ортотрансформуванні цифрових аерознімків. «Геодезія, картографія і аерофотознімання». – Міжв. наук.-техн. зб. – Вип. 89. - 2019. – С. 29-35. [Електронний ресурс] URL: <https://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/vypusk-89-2019/sposib-stvorennya-ta-praktychne-zastosuvannya-karty-masky>
21. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546 [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

- 22.Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища: навч. посіб. / Е. М. Солошенко, О. В. Бугай. – 2-ге вид.,стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. – 284 с.
- 23.Сохнич А.Я., Богіра М.С. Моніторинг та охорона земель: навчальний посібник-практикум / А.Я.Сохнич, М.С.Богіра; за ред.. д.е.н. А.Я.Сохнича. – Львів: ЛНАУ, 2016. – 220с
- 24.Закон України «Про охорону праці» (редакція 2002р. зі змінами та доповненнями). [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
- 25.НПАОП 74.2-1.01-89 Правила техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах. [Електронний ресурс] URL: [http://sop.zp.ua/norm\\_praop\\_74\\_2-1\\_01-89\\_03\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_praop_74_2-1_01-89_03_ua.php)
- 26.Положення про єдину державну систему цивільного захисту / Постанова Кабінету Міністрів України від 09.01.2014 р. № 11 [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text>
- 27.Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1198-98-%D0%BF#Text>