

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Спеціальність 206 – “Садово-паркове господарство”

«Допустити до захисту»

В.о. завідувача кафедрою садово-
паркового мистецтва та ландшафтного
дизайну доц. Іванченко О.Є.

« _____ » _____ 2022 р.

**Обґрунтування методів дистанційного зондування для
визначення біопродуктивності соснових насаджень**

Здобувач вищої освіти: _____ Ковешко І. В.

Керівник дипломної роботи _____ Ловинська В.М.

Консультанти:

з охорони праці
к.т.н., доцент _____ Кравець В.В.

Нормоконтролер
к.б.н., доцент _____ Пономарьова О.А.

Дніпро, 2022

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
Агрономічний факультет
Кафедра садово-паркового мистецтва та ландшафтного дизайну

Освітній ступінь «*Магістр*»
Спеціальність 206 – «*Садово-паркове господарство*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувача кафедру

доц. Іванченко О.Є. _____
підпис

« ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ковешко Ірина Вадимівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Обґрунтування методів дистанційного зондування для визначення біопродуктивності соснових насаджень»

Керівник роботи: д.с.-г.н., доц. Ловинська В.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від «09» листопада 2021 р., № 3480

2. Строк подання студентом роботи на кафедру « ____ » _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи: супутникові знімки лісових насаджень Дніпропетровського регіону

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Провести обробку сцен, отриманих за допомогою супутникових знімків Sentinel-1A для вкритих лісовою рослинністю частини Обухівського лісництва.
2. Встановити показники надземної фітомаси насаджень сосни досліджуваної території дистанційними методами.
3. Здійснити аналіз динамічних змін біопродукувальних процесів сосняків за даними радара із синтетичною апертурою.
4. Надати працівникам лісгосподарських структур пропозиції щодо ефективності оцінювання лісонасаджень передовими методами дистанційного зондування.
5. **Перелік графічного матеріалу:** таблиці і рисунки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	доц. Кравець В.В.		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання огляду літератури	Вересень 2021	<i>виконано</i>
2	Формування бази даних супутникових знімків	Жовтень-листопад 2021	<i>виконано</i>
3	Розрахунки даних	Листопад 2021	<i>виконано</i>
4	Написання розділу з охорони праці	Грудень 2021	<i>виконано</i>
6	Висновки, оформлення літературних посилань	Січень 2022	<i>виконано</i>

Здобувач вищої освіти _____ Ковешко І.В.

Керівник роботи _____ Ловинська В.М.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	5
1. Огляд літератури.....	7
1.1. Методи дистанційного зондування Землі як перспективний напрям наукових досліджень в області лісової галузі.....	7
1.2. Дослідження лісотаксаційних показників та фітомаси лісів засобами ГІС-технологій	14
2. Умови проведення досліджень	19
2.1. Організаційно-господарські умови підприємства	19
2.2. Кліматичні і погодні умови району досліджень.....	20
2.3. Ґрунти району досліджень	21
3. Експериментальна частина.....	23
3.1. Характеристика об'єкту досліджень.....	23
3.2. Методика проведення роботи та обліків	26
3.3. Результати проведеної роботи та їх аналіз.....	30
3.3.1. Отримання даних супутникових знімків на території району досліджень	30
3.3.2. Динамічні зміни біопродукційного показника у межах досліджуваного лісництва.....	34
4. Охорона праці	38
4.1. Охорона праці при виконанні дистанційного зондування для визначення біопродуктивності соснових насаджень.....	38
4.2. Засоби індивідуального захисту при виконанні дистанційного зондування для визначення біопродуктивності соснових насаджень.....	41
Висновки та пропозиції виробництву	46
Список використаної літератури	47

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 55 с., 4 табл., 9 рис., 67 літературних джерел.

Мета роботи: дослідити динаміку надземної фітомаси соснових деревостанів із використанням супутникових знімків Sentinel-1A.

Об'єкт дослідження: соснові насадження.

Предмет дослідження: біопродукувальні процеси рослин.

Методи дослідження: дистанційного зондування, статистичний.

Використана апаратура: персональний комп'ютер.

Представлено результати варіації показників надземної фітомаси соснових насаджень за даними дистанційних методів досліджень. Оцінювання біомаси деревостанів здійснено на основі аналізування сцен, отриманих з радару із синтезованою апертурою Sentinel-1A.

У роботі наведено результати розрахунків, здійснених на основі існуючої регресійної моделі. Проведено картографування показників біомаси деревостанів сосни звичайної та їхньої різниці за визначений період часу.

Ключові слова: *соснові насадження, радар із синтетичною апертурою, сцена, індекс RDPI, степова зона України*

ВСТУП

Зі зростанням усе більш поглиблених наукових знань про складні екологічні процеси стає все більш недоцільним засновувати прийняття рішень в управлінні навколишнім середовищем на основі оцінювання різного роду екосистем шляхом емпіричної агрегації даних. Адже є загальновідомим, що екологічні процеси проходять, як правило, за дії багатьох факторів різної етіології та володіють сильною просторовою та часовою взаємозалежністю, що визначає специфікацію ландшафтної структури території. Географічні інформаційні системи (ГІС) являють собою комп'ютерні технології, які із плином часу дуже швидко вдосконалюється та роблять неоціненний вклад під час збирання та аналізу інформації про ландшафт. Дистанційне зондування зі застосуванням цифрової обробки надає повторювану та повну просторову інформацію про змінні навколишнього середовища та розширення баз даних ГІС для потреб моніторингу.

Sentinel-1A став першим у космічному угрупованні супутників з глобального моніторингу навколишнього середовища та безпеки Copernicus. Sentinel-1A. На його борту встановлено радіолокаційну апаратуру із синтезованою апертурою C-SAR, яка забезпечує цілодобове постачання космічних знімків у будь-яку погоду. Виходячи із загальної теорії радіолокації відомо, що в основі формування зображення лежать особливості відображення розсіювання випромінюваного радарного сигналу різними типами поверхні (Delgado-Aguilar, 2017).

Щодо основних завдань в області лісового господарства пріоритетними залишаються питання оцінювання функціонального стану та продуктивності деревостанів. На сукупну підсумкову інтенсивність відображення сигналу (яскравість пікселя) насамперед впливають біофізичні характеристики рослинності.

До переваг радарної зйомки під час вирішення лісгосподарських завдань відносяться незалежність від погодних умов, незалежність від умов

освітлення, чутливість до біофізичних параметрів (вологість, біомаса рослинності) та структурно-геометричних особливостей ґрунтового-рослинного покриву, що дозволяє використовувати такі знімки для моніторингу лісотаксаційних параметрів як в глобальному масштабі, так і на регіональних рівнях.

Сосна звичайна є основною хвойною лісотвірною породою більшості регіонів нашої країни, зокрема, зони Північного байрачного Степу. Інформація щодо стану соснових насаджень та їхньої продуктивності є актуальною та своєчасною з огляду на кліматичні зміни глобального характеру та енергетичну кризу.

Метою роботи є дослідити динаміку надземної фітомаси соснових деревостанів із використанням супутникових знімків Sentinel-1A.

Завдання роботи:

1. Провести обробку сцен, отриманих за допомогою супутникових знімків Sentinel-1A для вкритих лісовою рослинністю частини Обухівського лісництва.
2. Встановити показники надземної фітомаси насаджень сосни досліджуваної території дистанційними методами.
3. Здійснити аналіз динамічних змін біопродукувальних процесів сосняків за даними радара із синтетичною апертурою.
4. Надати працівникам лісгосподарських структур пропозиції щодо ефективності оцінювання лісонасаджень передовими методами дистанційного зондування.

Практичний бік значущості: отримані результати можуть стати достатньо ефективним методом оцінювання лісових екосистем території степової зони України.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Методи дистанційного зондування Землі як перспективний напрям наукових досліджень в області лісової галузі

Просторово-часові моделі екологічних процесів формують дані ГІС під час оцінювання даних на основі знань, які сприяють прийняттю конкретних рішень щодо управлінської діяльності у контексті аналізування ландшафтів. Ці додаткові технології впроваджуються при моделюванні комплексних заходів у лісівничій галузі.

Напрямок системи дистанційного зондування Землі існує вже понад 35 років. Застосування цифрових продуктів систем дистанційного зондування досить широке: від картографування типів земного покриття на Землі до виявлення природних і антропогенних змін у різноманітності екосистем і до розуміння макроекологічних, біологічних та соціологічних закономірностей. Однак саме дослідження рослинності, зокрема лісових екосистем, є одним із найпоширеніших застосувань дистанційних зображень.

Використання аерокосмічних знімків методами дистанційного зондування (ДДЗ) є найважливішим компонентом підвищення ефективності моніторингу лісових земель. Тут можна виділити кілька напрямків: оцінка лісових площ та їх динаміки, моніторинг лісових пожеж, дешифрування типів лісів, дослідження лісоінвентаризаційних і біофізичних параметрів деревостанів (Defries, Belward, 2000). Тимчасові дослідження в цій галузі спрямовані на встановлення емпіричних зв'язків між конкретним таксаційним параметром та особливостями спектрального відгуку лісового масиву, який оцінюється за космічним знімком. Дослідження такого виду залежностей проводяться у помірних, бореальних та тропічних лісах (Bartholomé, Belward, 2005). Розв'язання цього завдання безпосередньо пов'язане з вихідними характеристиками космічної зйомки (просторовий, спектральний, радіометричний розрізнення і кількість каналів), а також з

рівнем тематичної обробки супутникових даних, що дозволяє оцінити спектральні ознаки лісової рослинності.

Аналізування зарубіжних і вітчизняних джерел показав, що встановити функціональні зв'язки або близькі до них за точністю кореляційні відносини між спектральною відбивною здатністю насаджень і їх таксаційними або біофізичними показниками, як правило, не є можливим. Однак ряд робіт свідчать про отримані зв'язки з високим коефіцієнтом кореляції, що дозволяють побудувати прогнозні картограми розподілу того чи іншого лісоінвентаризаційного параметру і надати попередню оцінку розподілу деяких таксаційних або біофізичних характеристик лісового намету (Bartholome, Belward, 2005).

Фактором, що обмежує використання практично всіх отриманих емпіричних моделей, є регіональні особливості насаджень і, як наслідок, їх спектральні відбивні властивості.

Ліси займають приблизно 30 % усієї поверхні Землі і відіграють центральну роль у глобальних екологічних системах. Лісистість та її динаміка має особливе значення в дослідженнях глобальних екосистем, зміни клімату та біорізноманіття. Була проведена характеристика лісового покриву в глобальному масштабі за допомогою супутникових даних з 1990-х років і було створено ряд карт площі лісів отримано на основі даних грубої просторової роздільної здатності (300 м – 5 км) (Bartholome, Belward, 2005; Defries, Belward, 2000; Sun, Congalton, 2021).

Глобальна карта лісового покриву з помірною роздільною здатністю (10–30 м) останнім часом стало можливим завдяки прогресивним відкритим даним політику розповсюдження (тобто з архіву Landsat) та покращено можливості обробки для обробки вихідними даними (Hansen, Loveland, 2012).

Останні зусилля спільноти дистанційного зондування призвели до кількох глобальних карт процентного покриття дерев, які спираються на створений архів зображень Landsat (Hansen, DeFries., 2004).

Також є подібні фото намету та його динаміки, які доступні у різних масштабуваннях за допомогою супутника Landsat, а також радарів з синтетичною апертурою (SAR) й інших допоміжних наборів даних (Bolton et al., 2015).

Однак оцінки ступеня лісистості отримані від показників датчиків супутника, навіть якщо вони отримані протягом одного проміжку часу, не завжди узгоджені один з одним. Розбіжності є результатом ряду факторів, які включають питання визначення (тобто відмінності у визначенні «ліс») (Scaramuzza et al., 2012) та помилки, які виникають під час оцінки.

Наприклад, це можуть бути супутникові дані різних джерел, різні методології класифікацій та неправильна реєстрація зображень. Особливо що стосується рідколісних регіонів, фрагментованих ландшафтів та переходів від лісу до нелісових зон (Song et al., 2001; Song, Woodcock, 2003).

Взявши за приклад визначення лісу, згідно Міжнародної геосферно-біосферної програми (IGBP), вкриту лісовою рослинністю територію визначено як територію, що має деревний покрив $> 60\%$ і відкритий ліс як територію з деревним покривом від 30% до 60% , у обох випадках із висотою дерев, яка більша за 2 м (Bonan & Shugart, 1989).

У свою чергу продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO) визначила ліс як землю, яка є розміром не менше 0,5 га з деревним покривом $> 10\%$ і висотою дерев > 5 м. Деякі автори (Sexton та ін., 2016) показали, що вибір іншого порогу деревного покриття, тобто 10% або 30% , призведе до різної оцінки площі лісу до 13% загальної площі землі і 45,2 ГтС біомаси в одних тропіках.

Просторова модель цієї невідповідності співпадала з розбіжністю оцінок між численними глобальними продуктами даних земного покритву, особливо стосовно біомів засушливих земель з розрідженим деревним покривом (Bastin та ін., 2017; Hansen та ін., 2013; Schepaschenko та ін., 2017), що чітко підкреслює проблему точної характеристики рідколісся з використанням пасивного оптичного дистанційного зондування.

Оцінка деревного покриву будується на двох важливих засадах: 1) узгодженого визначення деревного покриву та 2) визначенні високоякісних дерев із впровадженням їх як довідкових даних. Кількість визначень деревного покриву залежить від методів, які застосовуються для вимірювання (Fiala та ін., 2006; Jennings та ін., 1999; Rautiainen та ін., 2005).

Центральні питання, які використовуються під час визначення покриття дерев: 1) чи розглядається крона дерева як суцільна опукла поверхня, що включає всі невеликі отвори або є комбінацією елементів конструкції намету, і 2) чи отримано вимірювання тільки в надирі, чи ні.

Тут можна класифікувати загальні визначення деревного покриву із застосуванням трьох основних термінів, а саме закритої крони, верхівки намету і цілісного покриття крони дерев. Закритий намет – це частка рослинності над сегментом півкулі неба в одній точці на ґрунті (Jennings та ін., 1999), і типовим прикладом є вимірювання, отримані з напівсферичних фотографій або денситометрів (Cook та ін., 1995).

Ефективне покриття намету визначається як відсоток фіксованої площі перекриті вертикальною проекцією конструктивних елементів навісу (тобто листя, гілки та стебла), за винятком невеликих отворів у кроні (Hansen та ін., 2003; Rautiainen та ін., 2005).

Покриття крони дерева – це відсоток землі, покритої вертикальною проекцією зовнішнього периметра природного поширення листя рослин (Jennings та ін., 1999). Закритий намет описує частку напівсферичної видимості неба на одній точці на землі, при цьому ефективне покриття крони і дерев вимірюють по вертикалі через певну горизонтальну протяжність.

Основною відмінністю між цими двома останніми визначеннями є виключення (або включення) зазорів всередині намету. В основному дані крони дерев використовується для відображення протяжності дерева та його динаміки, а також ефективного покриття крони, що можна застосувати для оцінки екологічного процесу та змінних, таких як індекс листової поверхні

листя (LAI) і частка поглиненої фотосинтетично активної радіації (FAPAR) (Chen та ін., 1997; Gower та ін., 1999; Hall та ін., 2011; Gutman та ін., 2013).

Довідкові дані про покриття дерев часто отримують під час польових досліджень або для класифікації зображень вищої роздільної здатності. Польові вимірювання вважаються «основним стандартом» або так званою «головною істиною». Однак, наземний збір даних зазвичай проводиться в дуже обмежених місцях (і в дуже невеликих обсягах) через високі витрати часу і праці.

Зображення з дуже високою роздільною здатністю (< 1 м, наприклад, як показано в Google Earth), дозволяють безпосередню візуальну ідентифікацію крон дерев, але ці зображення з ультратонкою роздільною здатністю не можуть забезпечити критерій чіткого визначення висоти навісу у визначених місцях лісу (Belward, 1996; FAO, 2010), адже у багатьох випадках необхідне застосування роздільної здатності для розрізнення дерев і чагарників.

Крім того, на загальну точність класифікації основних компонентів намету також може впливати наявність зображень та їх якість (Щепашенко та ін., 2017).

Якщо говорити про застосування лідарних знімків, то на сьогодні LIDAR розвинена та широко застосована нова активна техніка дистанційного зондування, що використовується для вимірювання структурних параметрів лісу, включаючи визначення висоти деревного покриву (Dubayah, Drake, 2000; Lefsky та ін., 2002).

LIDAR робить точні тривимірні виміри структурних елементів лісу (наприклад, листя та гілки), що дозволяє дуже точно визначати висоту намету, LAI, щільність дерев. Існує дві категорії системи лідарів із виведенням деревного покриття: лідар запису форми сигналу та лідар дискретного повернення (Lefsky та ін., 2002). При цьому LIDAR, що реєструє форму хвилі, краще характеризує весь вертикальний профіль

взаємодії лазера та купола шляхом надання більш точних оцінок ослаблення випромінювання у наметі.

Дані про використання земельних ресурсів та розподілу земельного покрову є важливими вхідними даними для країн, для яких проводиться моніторинг ґрунту і землекористування з часом змінюються (De Almeida та ін., 2016; Sannigrahi та ін., 2018).

Також можна визначити вплив збільшення міських середовищ у різних екосистемах (Wang та ін., 2018; Rimal та ін., 2017; Sahani, Raghavaswamy, 2018), моніторинг заповідних територій та розширення вирубуваних територій у тропічних лісах (Mukul та ін., 2017; Adhikari, Hansen, 2018; Shaharum та ін., 2018).

Дані та методи дистанційного зондування використовуються як інструменти моніторингу змін навколишнього середовища, для моделювання та оцінки екосистемних послуг.

Тим не менш, окремі автори (Song, 2018) підкреслюють обмеження цих оцінок значень, оскільки супутникові продукти мають невизначеність, пов'язану з даними.

З точки зору спостережень Землі, бажано мати вільний і відкритий доступ до даних, наприклад, для супутників Landsat і Sentinel. Це орбітальні датчики, які в поєднанні Landsat-5–8 і оптичним датчиком Sentinel, Sentinel-2, забезпечують 3-денний повторний візит часу в одній і тій же точці на поверхні Землі.

На відміну від них, ці датчики мають середню якість просторової роздільної здатності (30 м для Landsat і 10 м для Sentinel-2) у порівнянні з іншими даними, наприклад з Quickbird (0,6 м) і Worldview (0,5 м), але можуть дати задовільні результати, якщо правильно застосувати методологію.

Продукти Sentinel-2 стають все більш популярними, незважаючи на те, що у них недостатньо даних для отримання тимчасових даних. При аналізі вони мають кращу просторову роздільну здатність для отримання більш точних результатів. У перспективі моніторингу районів з високою

хмарністю, таких як тропічні регіони і райони лиманів, було повідомлено про деякі зміни у використанні радара з синтетичною апертурою (SAR) продуктів.

Щоб збільшити використання продуктів SAR для моніторингу та безпеки навколишнього середовища, Європейське просторове агентство (ESA) запустило Sentinel-1 у 2014 році. Схожий на Sentinel-2, Sentinel-1 доступний безкоштовно на платформі Copernicus і охоплює всю Землю.

Останнім часом такі процеси, як стекування, спільна реєстрація та злиття даних оптичних і радіолокаційних продуктів були застосовані для покращення якості класифікації та її точності. Хоча поляризація радара може бути перешкодою для виявлення деяких особливостей, цей продукт не має атмосферних перешкод, наприклад хмар.

Синергетичне використання оптичних та радіолокаційних даних є визнаною альтернативою для міських районів. У літературі вказується, що хоча обмеження мікроточок у виявленні різноманітності спектральних сигнатур над міським середовищем сприяє такому об'єднанню даних і покращує точність класифікації. Також наголошено на важливості радіолокаційних даних для екологічних досліджень, коли хмарний покрив у цих областях високий, що перешкоджає використанню оптичних зображень, а отже робить радіолокаційні дані альтернативою отримання зображень протягом усіх місяців року в цих місцях.

Інша альтернатива, описана в літературі, для підвищення точності остаточної класифікації результатом є включення оптичних індексів рослинності, ґрунту, води тощо. Індeksi, включені в набори даних дозволяють збільшити діапазон даних і статистичні можливості алгоритмів класифікації, тим самим підвищуючи їх ефективність.

1.2. Дослідження лісотаксаційних показників та фітомаси лісів засобами ГІС-технологій

Добре відомі джерела для відображення показника надземної біомаси включають польові вимірювання з алометричними функціями та дані від пасивних та активних дистанційних датчиків (Thurner та ін., 2014; Berninger та ін., 2018).

На відміну від лісових інвентаризацій і обладнання для виявлення та визначення дальності світла (LiDAR), супутникові знімки охоплюють більші території, тому є більш рентабельними (Searle, Chen, 2017). Загальноприйнятий підхід до збільшення точності інвентаризації лісів або оцінки надземної фітомаси, отриманих з повітряного вимірювання LiDAR, були посиленням для визначення подібних даних за допомогою супутникових знімків, а потім за допомогою алгоритмів просторового прогнозування для отримання просторово явних перерозподілів надземної фітомаси (Avitabile та ін., 2012).

Було досягнуто прогрес у відображенні надземної фітомаси лісу за допомогою оптимальних комбінацій предикторів та алгоритмів моделювання, отриманих із супутникових даних, на основі багатьох джерел дистанційного зондування (Muukkonen, Heiskanen, 2007; Shao та ін., 2017).

Ці алгоритми прогнозування були розділені на дві категорії, із застосуванням фізичних та емпіричних регресійних моделей, останні з яких включають звичайну регресію та методику машинного навчання (Fassnacht та ін., 2014).

Заснований на фізичних принципах з двома основними прикладами перенесення випромінювання і геометричними оптичними моделями, фізичні моделі зазвичай залежать від ряду факторів для моделювання, таких як коефіцієнт відбиття крони, індекс площі листової поверхні, концентрації хлорофіловмісних пігментів, вмісту води та мінеральних речовин, коефіцієнту відбиття ґрунту та функції двонаправленого розподілу

коефіцієнта відбиття, хоча це часто не такі легко доступні дані (Peddle та ін., 1999).

Навпаки, методи емпіричної регресії вимагають залучання великої кількості людей для наземних вимірювань, і залежать від зв'язку моделювання між спектральними сигналами і польовими даними, отриманими для надземної фітомаси. Поширені методології включають використання ступінчастої регресії, часткової регресії найменших квадратів, географічно зваженої регресії, метода k-найближчих сусідів (KNN) тощо (Propastin, 2012; Gao та ін., 2018).

Більшість опублікованих досліджень використовують один із перерахованих методів.

Запуск супутників серії Sentinel, зокрема, радара із синтетичною апертурою Sentinel-1 (SAR) та мультиспектрального приладу Sentinel-2 (MSI), надає можливості для формування нових ефективних даних для моніторингу та картографування надземної фітомаси лісів (Malenovsky та ін., 2012).

Дані Sentinel-1 SAR доступні в діапазоні поляризації – С НН (горизонтальна передача-горизонтальна) + НV (горизонтальна передача-вертикальна) або VV (вертикальна передавальна-вертикальна) + VН (вертикальна передача-горизонтальна).

Дані Sentinel-2 MSI включають два інфрачервоних, видимих і інфрачервоні діапазони. Дані серії Sentinel були використані для різноманітних досліджень рослинності (Rodríguez та ін., 2006; Sibanda та ін., 2016).

Однак використання даних Sentinel для відображення показників надземної фітомаси лісу заслуговує подальшого вивчення.

Визначення наземної біомаси лісів за допомогою дистанційного зондування в останні десятиліття привертає все більшу увагу з кількох причин: насамперед, за рахунок здатності дистанційного зондування просторово екстраполювати інформацію точкового поля на параметри лісу,

можливості відображення надземної фітомаси на великих площах. Окрім цього такі дослідження потрібні для збільшення доступності різних для Землі типів спостережень, адже у глобальному сценарії мають місце зміни клімату та втрати біорізноманіття, що особливо визначає актуальність встановлення лісової біомаси у межах глобального обліку вуглецю та звітності відносно збереження та управління природними ресурсами, моделювання навколишнього середовища.

Отже, як уже було визначено раніше, для оцінювання надземної фітомаси лісів за допомогою дистанційного зондування та заземлення були розроблені різні методи отримання даних на основі пасивних та/або активних інструментів. Активні датчики, такі як виявлення світла та дальності (LIDAR) і радары з синтетичною апертурою (SAR) мають перевагу, щоб проникати в довжину; з цієї причини вони вважаються більш корисними інструментами для забезпечення вертикальної структури або проведенні об'ємних лісових заходів.

За останні десятиліття були розроблені різні нові місії SAR з покращеними функціями, такі як поляриметричні можливості, покращена просторова роздільна здатність та збільшений час перегляду.

Нові місії також заплановані на найближче майбутнє із постійним збільшенням даних SAR, які б стали доступними для наукових і користувацьких спільнот. Ця доступність даних вимагає кращого розуміння корисності нової інформації SAR в екологічних дослідженнях.

Датчики SAR надають інформацію про зворотну розсіяну енергію від освітленого об'єкту. Залежно від структурно-діелектричних характеристик лісових наметів, взаємодії поверхня-об'єм і поверхневого розсіювання від лісу, загальний сигнал зворотного розсіювання радіолокатора зображення може змінюватися.

Датчики SAR можуть мати різні довжини хвиль (смуги) і, отже, різні можливості проникнення у намет лісу. Важливою перевагою радарів є нечутливість до хмарного покриття та, коли він встановлений на супутниках,

до багаторазових заходів із охопленням великих територій. Як свідчать різні моделі, Р- і L-діапазони забезпечують більш сильне зворотне розсіювання від гілок і стовбурів по відношенню до Х- і С-діапазонів, відповідно, які збирають більшу частину енергії з листя і хвої.

У характеристиках параметрів лісу, помітні результати були отримані з Р- і L-діапазонах або при комбінуванні різних довжин хвиль. Точні результати оцінки атрибутів лісу були отримані за допомогою SAR-методів інтерферометрії та поляриметричної інтерферометрії.

Характеристику лісу також була успішно проводити за допомогою С- або Х-діапазонів, особливо коли використовуються щільні тимчасові ряди. Адже насправді ці довжини хвилі більш чутливі до вологості поверхонь. У цьому випадку багаточасовий підхід може зменшити мінливість сигналу. Крім того, наявність даних SAR за різні дати дозволяє вибрати періоди і сцени з більшою чутливістю зворотного розсіювання відносно об'єкту.

SAR та інші типи об'єктів для дистанційного зондування (наприклад, LIDAR) можна використовувати для лісових досліджень разом. Поєднання SAR та оптичних супутників принесло результати більш точних прогнозів надземної фітомаси, оскільки структурна інформація SAR може бути доповнена інформацією про щільність крони, тип лісу та листя, зібрану оптичними приладами.

Навіть зі збільшенням кількості нових даних, методів злиття та інноваційних досліджень, прогнозування надземної фітомаси на основі даних, отриманих з SAR, залишається складним завданням, оскільки насичення сигналу є поширеним явищем у лісах, де на зворотне розсіювання впливає декілька факторів, наприклад такі як вологість ґрунту, особливо в умовах низького покриття рослинності; тип лісу, наявність листяних екземплярів у хвойних лісах, які можливо мають найвищий рівень насичення; сезонні та погодні умови; шорсткість намету; поляризація сигналу SAR, а також кут падіння. Звичайно ж дослідження уточнення реакції SAR в різних умовах і типах лісів є досить важливими, а отже вони

можуть мати ефективне використання для екологічних досліджень і моніторингу.

Європейське космічне агентство запустило перший супутник Sentinel (S1A: C-діапазон SAR) у 2014 році, за яким слідував S1B, що має ті ж характеристики, що й перший. Тепер це дозволяє дуже часте отримання даних SAR. Подальший запуск супутників Sentinel-2 у 2015 році та 2017 (S2A та S2B: покращені мультиспектральні датчики), разом із політикою безкоштовних даних, значно розширив можливості моніторингу лісів. Ці нові дані додані до досить значного архіву мультиспектральних даних Landsat і ALOS SAR L-діапазону SAR.

Розробка нових перспектив і методів ілюструється недавніми дослідженнями, які використовують потенціал даних Sentinel для характеристики лісу, наприклад, нові методи для моніторингу вирубки лісів, деградації та пожеж; деталізацію крон з точки зору біофізичних властивостей або класифікації функціональних типів; інноваційне об'єднання даних для картографування масштабів плантацій (Delgado-Aguilar, 2017). Однак до цього часу досить мало досліджень розглядали можливість застосування Sentinel-1, Sentinel-2 у ракурсі отримання спільних даних для моніторингу біомаси. Для Sentinel-1 окремі автори (Chang, Shoshany, 2016) досліджували потенціал цих даних у поєднанні з даними Sentinel-2 для картування біомаси в чагарниках Середземного моря. Деякі дослідження стосувалися тестування нових методів і даних на місцевому рівні, тоді як інші охоплювали всю країну (Gallaun, 2010).

Ці масштабні зусилля були засновані на оптичних зображеннях середньої роздільної здатності та створенні важливих джерел даних. Однак для деяких були визнані обмеження в цих картах, частково через внутрішні особливості дистанційного керування.

Використані дані зондування та їхня перевірка, частково через просторову роздільну здатність, часто виявляються занадто грубими для уловлювання мінливості фрагментованих ландшафтів.

УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Організаційно-господарські умови підприємства

Обухівське лісництво є одним із лісництв державного підприємства «Дніпровський лісгосп», що функціонує в умовах Дніпропетровської області, загальною площею 4437,465 га, розташований на крайньому північному сході.

Обухівське лісництво обмежене такими географічними координатами: широтою $48^{\circ}32'32''N$ та довготою $34^{\circ}50'15''E$, як показано на рис. 2.1.

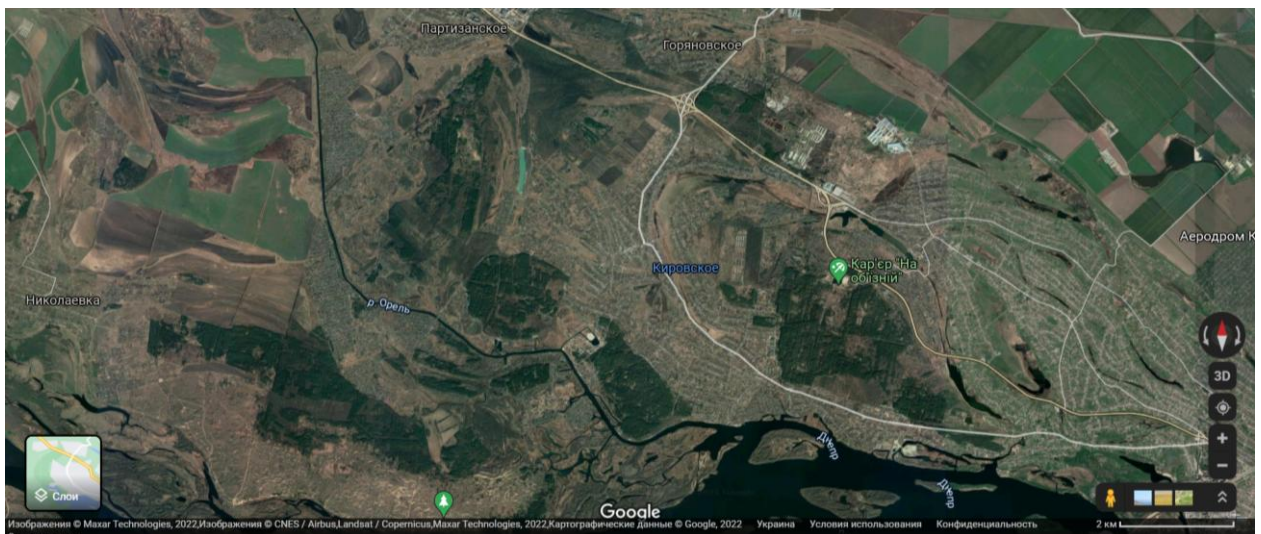


Рис. 2.1. Територіальне розміщення Обухівського лісництва

З усіх боків Обухівське лісництво обмежене населеним пунктом Обухівка, яке межує із селищем Партизанське. Обмежувальною територією для досліджуваного лісництва є також Дніпровсько-Орільський заповідник. Розташований ліс, у якому проводилось дослідження, на Лівобережжі регіону.

На супутникових знімках лісництво відображає мозаїчну структуру топографічної і кольорової форми. Відмінною топографічною формою на території лісництва є наявність води, так як поблизу протікає річка.

Для встановлення динаміки показників біопродукувальних процесів у межах Обухівського лісництва за визначеними раніше географічними координатами окреслені дослідні ділянки, зображені на рис. 2.2.

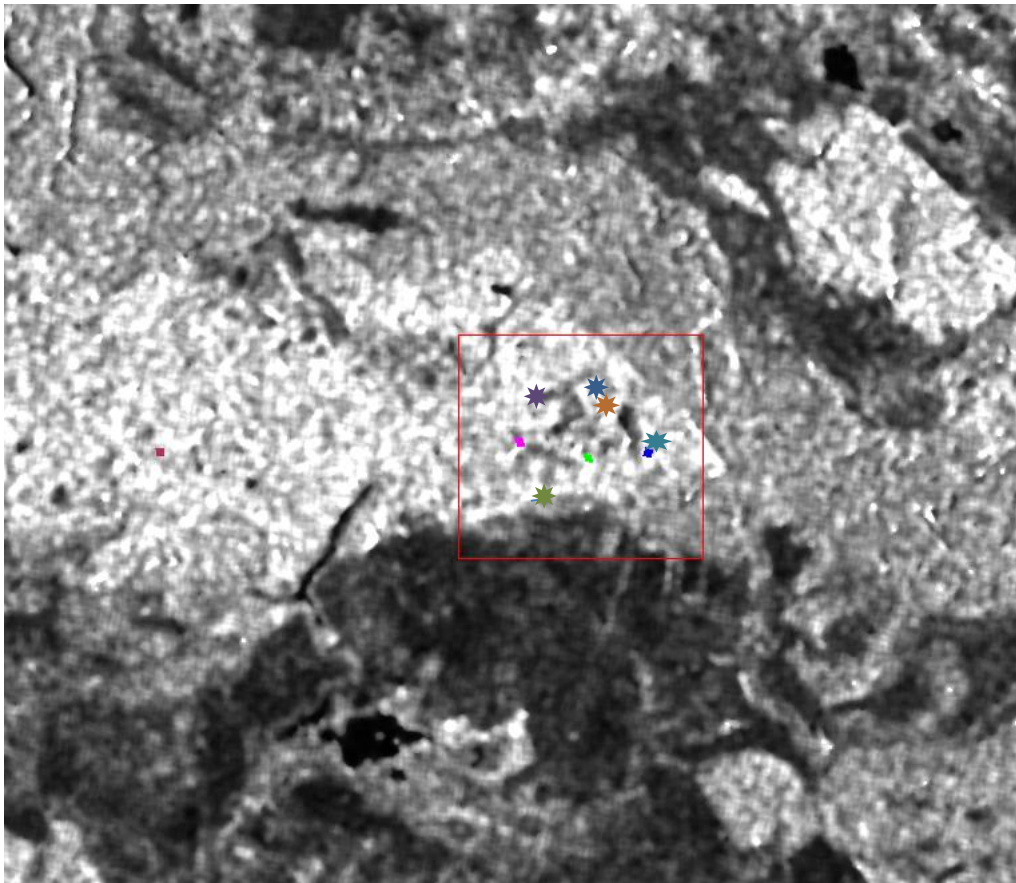


Рис. 2.2 Локалізація досліджуваних ділянок на території лісництва (знімок отриманий за допомогою SAR)

2.2 Кліматичні і погодні умови району досліджень

Клімат досліджуваної території помірно-континентальний, зазвичай із посушливим періодом, який триває приблизно із травня по вересень, з кількістю опадів від 450 до 550 мм/рік (Кульбіда та ін., 2009). Середньорічна температура становить близько 9 °С. Найспекотніші місяці – липень і серпень, коли середня температура складає близько 25 °С (Чугай, 1973). Найхолодніші місяці – грудень та січень із середніми температурами близько -5 °С. Розширена інформація відносно кліматичних особливостей Дніпропетровської області відображена у наведеній нижче таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Кліматична характеристика Дніпропетровського регіону

№ з/п	Ознака	Пояснення
1	Тип клімату	Помірно-континентальний
2	Зволоженість	Варіює від 45-90 %
3	Середньорічна температура	+ 9,0 ⁰ С
4	Максимальна та мінімальна середньодобова температура	+ 30 ⁰ С та + 15 ⁰ С
5	Сумарна кількість опадів за 2020 рік	467 мм
6	Кількість опадів за окремими місяцями	- Січень 16 мм - Лютий 89 мм - Березень 26 мм - Квітень 11 мм - Травень 54 мм - Червень 35 мм
7	Середня кількість посух (у днях)	84
8	Швидкість вітру (середня річна)	3-4 м/с

Ліси Обухівського лісництва розміщені навколо селища Обухівка. Рослинний асортимент головних лісотвірних видів лісництва представлений такими деревними породами як сосна звичайна, дуб звичайний, акація біла, верба біла, тополя чорна та тополя біла.

2.3 Ґрунти району досліджень

Для того щоб отримати загальне і наочне уявлення щодо особливостей ґрунтового покриву всієї Дніпропетровської області, доцільно усе різноманіття ґрунтів спростити, об'єднавши близькі між собою ґрунтові види. Із урахуванням такого впорядкування, при всьому різноманітті ґрунтів

області у їхньому розподілі виявляється певна закономірність. Так, розподіл ґрунтів пов'язаний з геоморфологічними елементами, тобто з водорозділами, схилами і терасами річок. Дані окремих авторів (Горб & Дук, 2006; Адаменко, 2014) показують, що чорноземи (повнопрофільні, солонцюваті) в Дніпропетровській області займають близько 2200 тис. га.

На перших, або заплавлених, терасах (плавнях) зазвичай залягають ґрунти, формування яких відбувалося при періодичному затопленні в період весняного розливу річок, а також близькому заляганні до поверхні ґрунтових вод. Тому на перших терасах, які складені сучасними алювіальними відкладеннями, поширені лучні, лучно-болотні і болотяні ґрунти, нерідко засолені хлоридними і сульфатними шарами. Ці ґрунти мають вирівняний рельєф і зазвичай покриті чорноземами, а на занижених ділянках представлені чорноземно-луговими і лучними ґрунтами. Досить часто на третій терасі зустрічаються також осолоділі ґрунти, солонцюваті і у вигляді окремих плям, які називаються солонцями.

Чорноземи області є зональними ґрунтами і представлені двома підтипами: чорноземами звичайними та чорноземами південними. Останні поширені лише на півдні області і займають повністю Апостолівський, більшу частину Широкового і Нікопольського, а також найпівденнішу околицю Софіївського районів. В інших районах області поширені звичайні чорноземи. Звичайні повнопрофільні чорноземи займають близько 42 % площі області (Адаменко, 2014). Це високородючі ґрунти, зі значним резервом поживних речовин і досить сприятливими фізичними властивостями. Зазвичай вони розташовані на підвищеннях.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика об'єкту досліджень

З метою реалізації поставлених у даній роботі завдань для виконання експериментальної частини для отримання результатів були використані супутникові знімки, отримані для соснових насаджень, які зростають в умовах Обухівського лісництва. Надамо коротку характеристику цьому об'єкту досліджень

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.)

Сосна звичайна або лісова поширена по усій Євразії, займаючи простір від Атлантики, тобто Шотландії та північно-західної частини Піренейського півострова, через Європу та Сибір майже до Тихого океану, тобто до Охотського моря (Заячук, 2014). Найпівденніша точка її розповсюдження у горах Сьєрра-Невада на півдні Іспанії, тоді як най північніша – у Скандинавії, за полярним колом; північний кордон веде приблизно по 68-й прямій до Камчатки (Caudullo та ін., 2018).

Сосна звичайна займає найбільшу площу серед усіх порід дерев у світі (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Зона поширення сосни звичайної (за Caudullo та ін., 2018)

Вертикальний інтервал від 0 до 2400 (2700 Кавказ) м над рівнем моря. Центр первинного залягання знаходиться в Північній Азії, в Сибіру виростає

на площі 5,7 млн. км² (близько 54 % території Європи). Загальна площа поширення становить 123° довготи і 30° широти, що становить приблизно одну третину Північної півкулі.

Сосна звичайна у Європі починає своє поширення разом з березою внаслідок невеликого підвищення температури під час останньої льодовикової ери в період під назвою Алерод (10000–8800 років до нашої ери). Швидке поширення в період Дріасу цих більш стійких деревних порід зробило можливим їх існування у Середній Європі. Ландшафт мав у добореальний період (8300–6800 років до н.е.) характер світло-тайгового лісу, схожого на сучасні північні ліси з представниками сосни, берези, ялівцю, верби, осики. Пізніше, в бореальний період (6800–5500 років до н.е.), внаслідок чергового підвищення температури в лісах почалося проникнення нових деревних порід: характерного для цього періоду дуба, в'яза, липи, клена та ліщини.

Щодо екологічної характеристики, то слід зазначити, що сосна звичайна – деревна порода-піонер. Відрізняється світлолюбністю і непереносимістю затінення. Зростає на мілководних, бідних, від сухих до кам'янистих ґрунтів (виникли з силікатних, вапнякових порід). Росте також на торф'яних і болотних ґрунтах, подекуди і на засолених ґрунтах. З місць з більш багатими ґрунтами відсувається з деревними породами, які є більш тіншовитривалими. Сосна звичайна пристосована до дуже широких кліматичних зон з тривалістю вегетаційного періоду 90–200 днів і кількістю опадів 200–1780 мм. Кліматичні види сосни Сибіру живуть в екстремальних умовах вічної мерзлоти, вегетаційний період тут для них не перевищує 90 днів, коли мінімальна температура досягає -64 °С. Навпаки, кліматичні типи на півдні Іспанії ростуть з тривалістю вегетаційного періоду 200 днів із термальною сумою в чотири рази вищою, ніж на півночі. Глибока коренева система та більш товста кора зробили сосну звичайну стійкою до вогню та здатності до регенерації на мінеральних ґрунтах.

У Північній Європі (Скандинавія, Шотландія) домінує сосна, яка розміщується північніше, ніж ялина. Зростає у спільнотах з такими породами як *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Salix* spp. та ін. У підліску можна зустріти деяких представників родини *Ericaceae*, а також мохоподібних та лишайників.

Найбільше поширення досягає сосна звичайна в зоні бореальних хвойних лісів Євразії та переважно у Сибіру. Тут сосна росте на широкій території від північної тундри до південного степу.

Щодо ботанічної характеристики, то сосна – це вічнозелене хвойне дерево висотою до 40 м і діаметром стовбура до 1 м. Коренева система відносно об'ємна, утворена міцним стрижневим і бічними корінням.

Верхівка дерев у північній та північно-східній частині європейського ареалу з тонким розгалуженням, у середній і південній частині переважають особини з дугоподібною до парасольковою формою верхівки дерев і потужними гілками. Стовбур прямий, може бути дещо звивистим. Нижня частина вкрита міцною, тріщинуватою, сіро-коричневою корою, у верхній частині помаранчевою. Однорічні пагони зелено-бурі, лисі, старші гілки сіро-бурі. Бруньки довгасті яйцеподібні, колючі, без смоли, або злегка смолисті, вкриті плівчастими лусочками.

Хвоя жорстка, 1–8 см завдовжки, 1–1,8 мм завширшки, колюча, злегка довгаста, закручена, на плоскій черевній стороні сіро-зелена, на спинному боці темно-зелена або блакитно-сіро-зелена, по краях зубчаста, утворена пучками по два. Зазвичай через 2-3 роки вона відпадає.

Шишки переважно поодинокі або по 2–3, на ніжках або майже сидячі, овально-конічні, при основі округлі, часто асиметричні, сіро-коричневі, розміром 2,5–7×2–3,5 см. Пластинки лусочок ромбоподібні, на освітлених сторонах більш розвинені, плоскі до пірамідальних або дзьобоподібні. Насіння овальні, довгі, білі, коричневі або сірі до чорного. Тривалість життя рослини становить близько 300 років (рідко до 600).

3.2. Методика проведення роботи та обліків

З метою проведення досліджень насамперед було здійснено аналітичний огляд оцінювання стану рослинних об'єктів дистанційними методами. Наразі виявлено, що аналіз рослинності зазвичай проводиться за допомогою їх інтегральних кількісних показників, які можна розрахувати непрямим способом або дистанційно (Станкевич, Пестова, 2014). Одночасно із цим бажаним є проведення комплексних наземних досліджень, які зазвичай є необхідними для побудови регресійних рівнянь. На основі встановлених показників польових досліджень та визначенні географічних координат проводиться відбір дослідних ділянок для наступного отримання для них багатоспектральних космічних знімків. Розроблення алгоритмів із залученням наземних даних є необхідною умовою для формування системного програмного забезпечення із впровадженням моделі динамічних змін рослинних об'єктів. Як результат оброблення супутникових знімків за таким алгоритмом стане побудова мапи варіювання фітомаси рослинності (на прикладі сосняків Обухівського лісництва).

Задля мети щодо реалізації розрахунків динамічних змін біопродуктивності сосняків досліджуваного регіону насамперед необхідна була попередня обробка космічних знімків, отриманих із супутника Sentinel-1, що включала в себе такі етапи:

- радіометричне калібрування,
- атмосферна корекція,
- усунення перешкод
- класифікація.

Алгоритм обробки супутникових знімків Sentinel-1

Sentinel-1 — це космічна місія, що фінансується Європейським Союзом і виконується Європейським космічним агентством (ESA) в рамках програми Copernicus. Місія Sentinel-1 являє собою роботу двох супутників на полярній орбіті (Sentinel-1A і Sentinel-1B), які здійснюють денне та нічне зондування за допомогою радару із синтетичною апертурою С-діапазону, інструменту,

що працює на центральній частоті 5,405 ГГц, що дозволяє отримувати зображення незалежно від погодних умов і умов освітлення. Супутники Sentinel-1 отримують дані SAR одинарної або подвійної поляризації з часом повторного відвідування тривалістю 6 днів. Дані Sentinel-1 рівня 1 поширюються Copernicus Open Access Hub за двома типами продуктів: виявлений наземний діапазон (GRD) та одинарний оглядовий комплекс (SLC).

Продукти GRD Sentinel-1 складаються із сфокусованих даних SAR, які мають різноманітний вигляд і спроектовані на наземний діапазон за допомогою моделі еліпсоїда Землі. Еліпсоїдна проекція продуктів GRD коригується з використанням висоти місцевості. Після виконання некогерентного накопичення (multi-looking) окремо для кожної серії, генерується зображення, виявлене наземним діапазоном, об'єднуючи всі серії. Сцена GRD Sentinel-1 складається з квадратних пікселів і представляє лише виявлену амплітуду.

Радіолокаційні дані вимагають кілька спеціалізованих алгоритмів для отримання відкаліброваних ортовиправлених зображень.

Дані Sentinel-1 збираються з кількома різними конфігураціями приладів, роздільною здатністю, комбінаціями діапазонів як під час висхідної, так і нисхідної орбіт. Через цю неоднорідність зазвичай необхідно відфільтрувати дані до певної однорідності перед початком обробки.

Зображення, отримані із Sentinel-1 (Image Collection) складаються із сцен із виявленням наземного діапазону першого рівня (GRD), оброблених до коефіцієнта зворотного розсіювання (σ°) в децибелах (дБ). Коефіцієнт зворотного розсіювання представляє площу зворотного розсіювання цілі (поперечний переріз радара) на одиницю площі землі. Поведінка розсіювання залежить від фізичних характеристик місцевості, насамперед від геометрії елементів рельєфу та їх електромагнітних характеристик.

Інтенсивність зображення Sentinel-1 порушується адитивним тепловим шумом, особливо в крос-поляризаційний канал. Усунення теплового шуму,

зокрема, зменшує шумовий вплив текстур між підсмужками, нормалізуючи сигнал зворотного розсіювання в усій сцені Sentinel-1, що призводить до зменшення розривів між підсмугами для сцен із отриманням кількох смуг.

Калібрування є обов'язковою процедурою, за допомогою якої можна перетворювати значення цифрових пікселів у радіометрично відкалібрований коефіцієнт питомого поглинання зворотнього розсіювання. Інформація, необхідна для застосування рівняння калібрування, включена в продукт Sentinel-1 GRD, зокрема вектор калібрування, дозволяє просто перетворити значення інтенсивності зображення в сигма-нульові значення.

Через інтерференцію хвиль на зображеннях SAR з'являється «плями» (*speckle*) у вигляді зернистого шуму, що відбитий від багатьох елементарних розсіювачів (Lee та ін., 1994). Спекл-фільтрація – це процедура збільшення якості зображення за рахунок зменшення плям.

Дані коефіцієнта питомого поглинання зазвичай визначаються з різним кутом огляду, що перевищує 0 градусів, що призводить до зображень із деякими спотвореннями, пов'язаними з геометрією. виправлення місцевості призначені для компенсування таких неточностей, щоб геометричне представлення зображення було максимально близьким до реального. Оператор корекції рельєфу з доплером діапазону доступний у SNAP реалізує метод орторектифікації Range Doppler (Lee та ін., 1994) для геокодування сцен SAR.

Для проведення досліджень на досліджуваній території обрано космічні знімки сенсора Sentinel-1A. Ці дані надаються безкоштовно агентством ESA (Sentinel-1 User Handbook, 2013). Космічні знімки було відібрано за датами вже проведених підсупутникових вимірів (Ловинська, 2021). Розбіжність між датою наземної та космічної зйомки не перевищувала п'ять днів. Знімки завантажувались у форматі GRD та пройшли стандартну процедуру попередньої обробки: радіометрична корекція, фільтрація, геометрична корекція. Далі для знімку проводиться дешифрування, обираються класи із позначенням типу об'єкту. В нашому випадку це був

хвойний ліс, де головною лісотвірною породою є сосна (сосна звичайна) і для якого наземним методом раніше визначено вік та здійснено заміри таксаційних показників (висота дерева та діаметр на висоті 1,3 м), знято географічні координати на восьми дослідних ділянках.

Параметром для встановлення кількісних варіювань біопродуктивності у межах ділянок обрано індекс листкової поверхні RDPI, що застосовується під час опрацювання знімків Sentinel-1.

Регресійна модель, яка використовувалась для розрахунку фітомаси соснових деревостанів Обухівського лісництва (Ловинська, 2021), має наступний вигляд:

$$Ph = 730,79 \cdot RDPI^{3,260}$$

де Ph – надземна фітомаса;

$RDPI$ – поляризаційний індекс.

Графічна інтерпретація регресійної залежності представлена на нижченаведеному рис. 3.2.

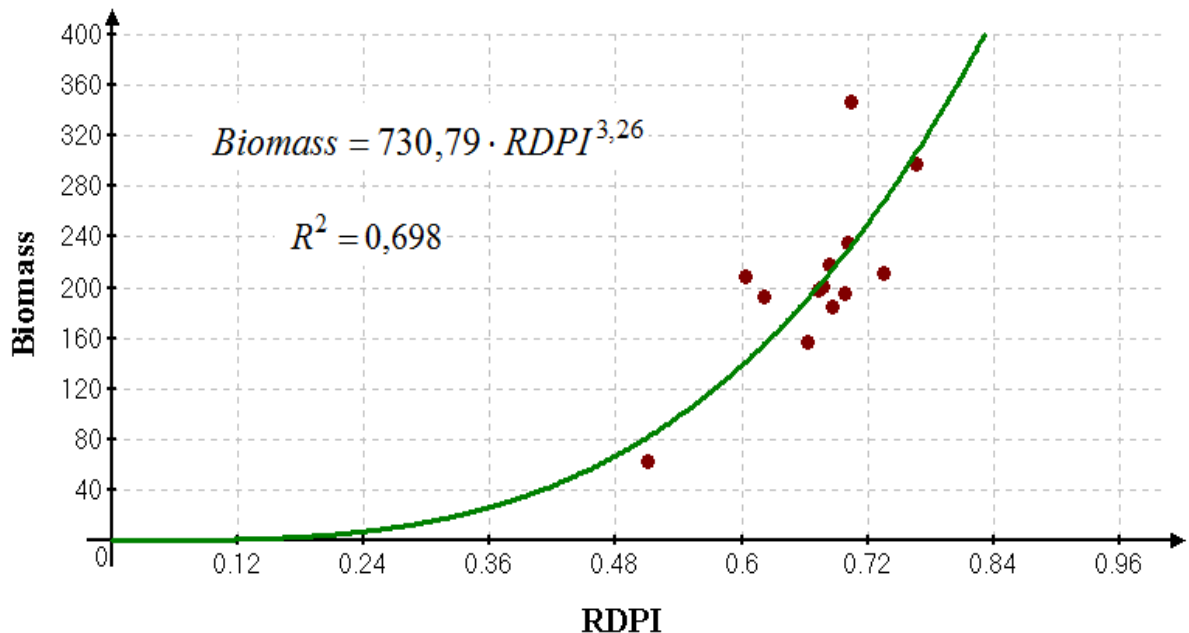


Рис. 3.2. Модель регресійної залежності фітомаси (biomass) соснових деревостанів від $RDPI$

3.3. Результати проведеної роботи та їх аналіз

3.3.1 Отримання даних супутникових знімків на території району досліджень

Як уже зазначалось, надземна біомаса є важливим параметром для опису функцій та продуктивності лісових екосистем, а оцінка надземної фітомаси важлива для визначення кількості органічних речовин, які зберігаються в лісовій екосистемі і дають ознаки стадій сукцесії (Крістенсен та ін. 1990). Останні дослідження показали, що дані радара із синтетичною апертурою (SAR) можна використовувати для оцінювання лісової біомаси (Ranson та ін., 1997).

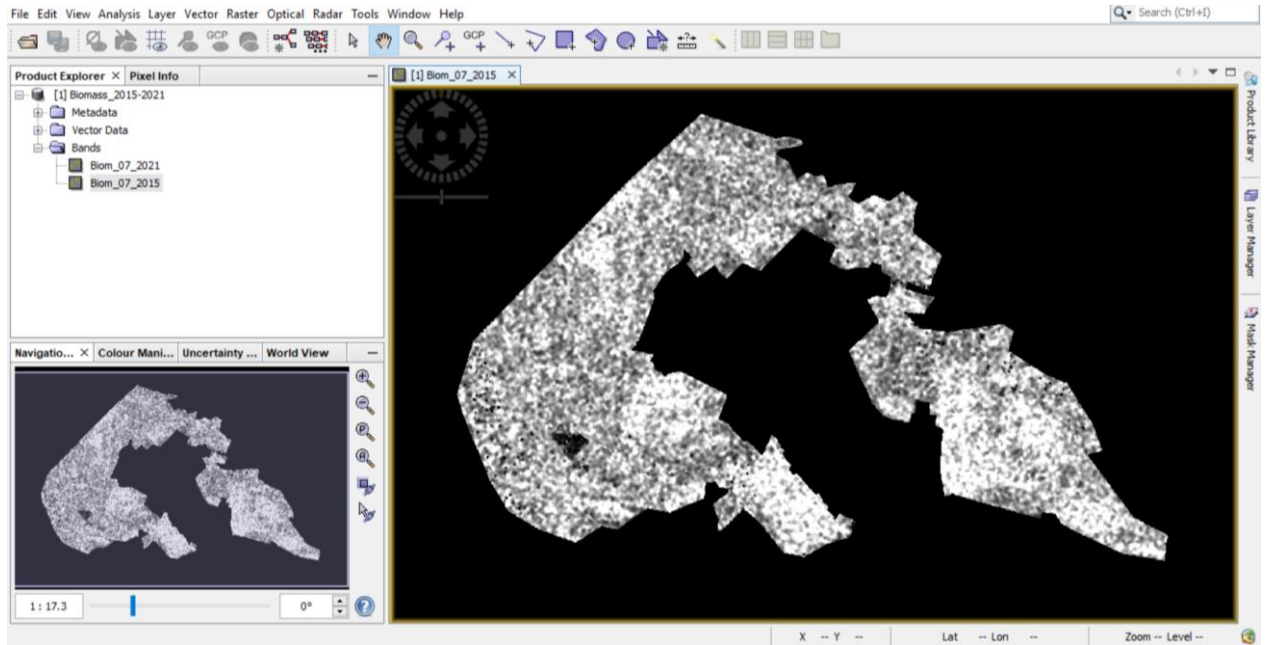
Наші дослідження спиралися на достатню кількість вимірювань, необхідних для отримання показників динамічності процесів накопичення фітомаси у деревних насадженнях.

У результаті розрахунків, здійснених на основі існуючої регресійної моделі, побудованої із використанням наземних даних, в програмі SNAP проведено картографування отриманих фактичних результатів показників біомаси деревостанів лісництва за попередні (взято у розрахунок 2015 р.) та поточний роки досліджень (взято 2021 р.) (рис. 3.4).

Як видно із представленого рис. 3.3а та рис. 3.4а, карта розподілу біомаси у межах досліджуваної території складається з метаданих, векторних даних, додаткову інформацію мережі точок геодезичної прив'язки, а також дані растрових каналів. Саме растрові канали містили усю необхідну інформацію для аналізування варіабельності змін біомаси (т/га) насаджень Обухівського лісництва.

Для кожного пікселя, який потрапляє в межі окремого поля, за допомогою застосованої програми можливим є встановлення географічних координат (рис. 3.3б, рис. 3.4б), а також розрахунок статистичних показників для заданого параметру.

a



б

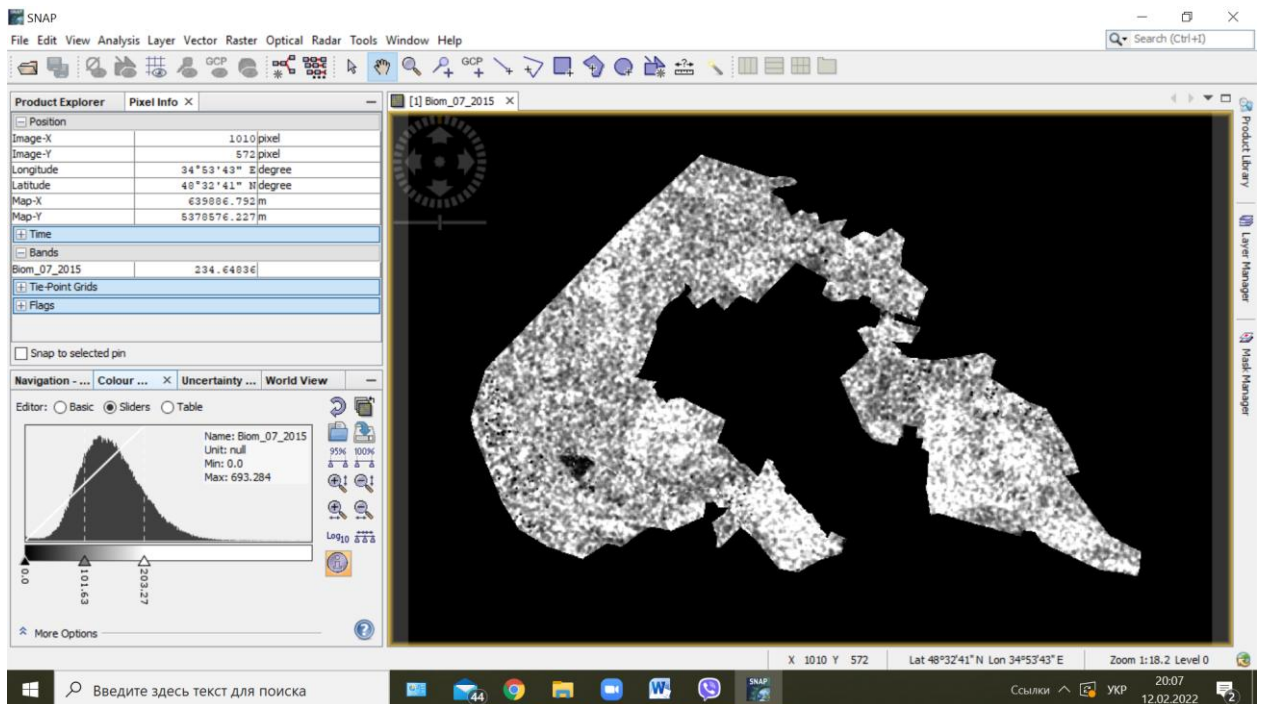
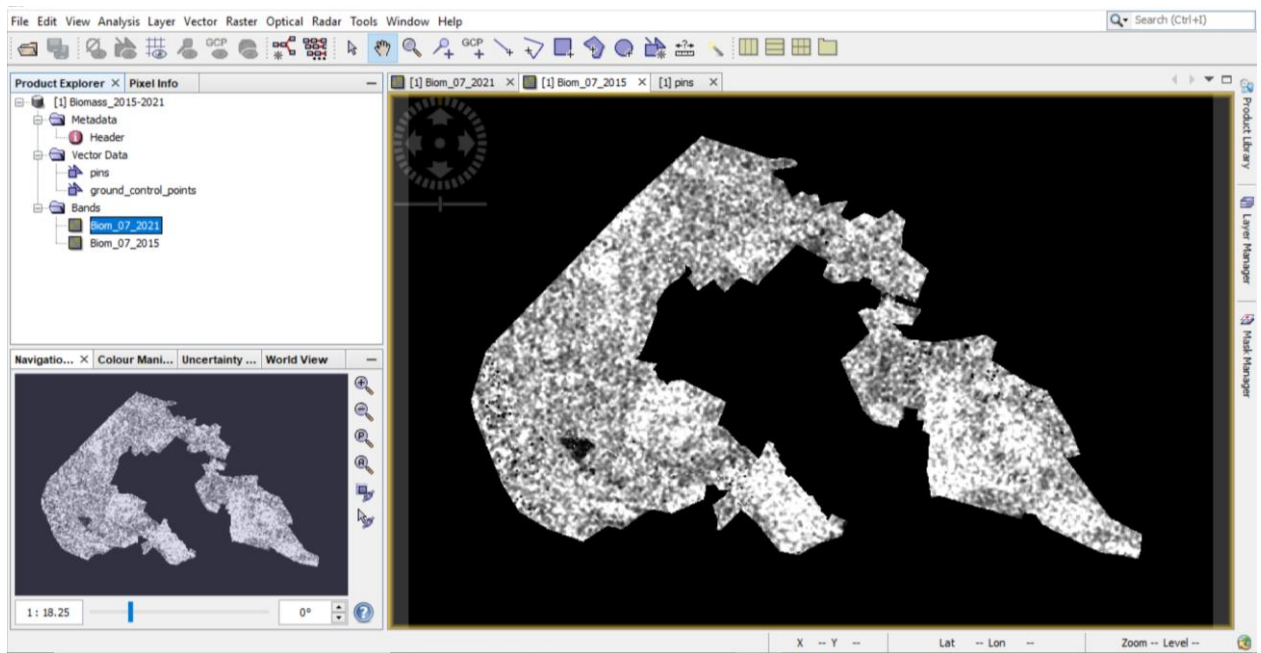


Рис. 3.3. Етапи оброблення радарного знімку розподілу біомаси насаджень станом на 2015 р.

а



б

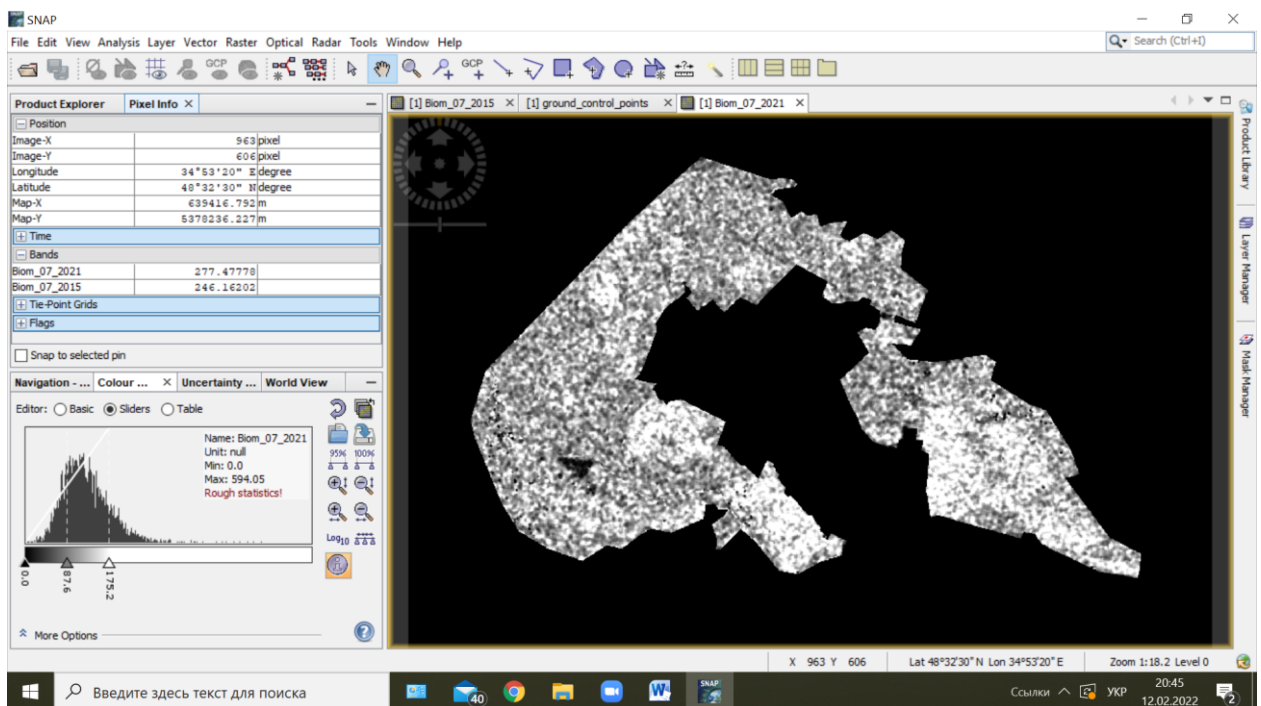


Рис. 3.4. Етап оброблення радарного знімку розподілу біомаси насаджень станом на 2021 р.

За отриманими знімками перерозподілу фітомаси здійснено статистичний аналіз результатів та визначено наступні показники (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1

Статистична характеристика даних біомаси сосняків на основі радарних знімків

Показник	Дані 2015 р.	Дані 2021 р.
Кількість пікселів	1500000	1500000
Мінімум	2,7	4,3
Максимум	693,28	698,18
Середнє	40,112	34,211
Стандартне відхилення	7,159	6,176
Медіана	0,347	0,349
Коефіцієнт варіації	2,189	2,331
Стандартна похибка	0,693	0,365

Отримані характеристики показали варіабельність змін мінімальних та максимальних значень у межах до 693 (для 2015 р.) та 698 (для 2021 р.) т/га біомаси соснових деревостанів.

Мінімальні значення знаходились практично на нулю у обох випадках, що насамперед пов'язано із врахуванням програмою під час обробки знімків не заліснених територій, які на рис. 3.2 показано чорним кольором. З появою зеленої частини надземної фітомаси і відповідним зростанням біопродуктивності колір змінюється від темно-сірого до білого.

Як видно із представленої таблиці, середні показники за обидва досліджуваними роками є відносно невисокими і становлять 40 (2015 р.) та 34 (2021 р.) т/га. Зниження середнього показника фітомаси насаджень скоріше за все пов'язаний із рубками, які періодично проводяться у лісництві, а також виникаючими з віком деградаційними процесами у деревостанах.

3.3.2. Динамічні зміни біопродукційного показника у межах досліджуваного лісництва

Наступним етапом експериментальної частини стало визначення динаміки показника біопродукувального процесу – надземної фітомаси соснових деревостанів у межах досліджуваного періоду. Це значення було отримано шляхом розрахунку різниці між значеннями біомаси сосняків 2021 та 2015 років (рис. 3.5).

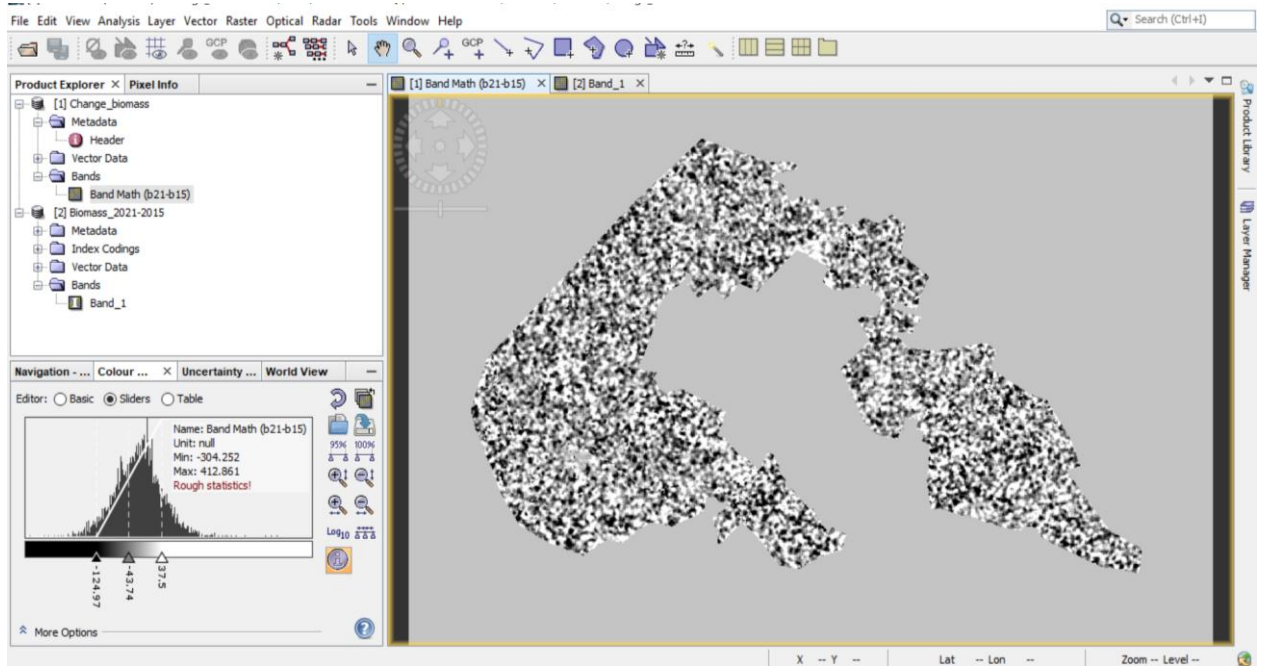


Рис. 3.5. Процес обробки радарного знімку у програмі SNAP з нанесенням показників різниці біомаси

За використання програми інструментів SNAP та операції з каналами, проведено відповідних обчислень різниці показників фітомаси на усій території досліджуваного лісництва, визначено варіаційні ряди та отримано мапу динаміки біомаси сосняків Обухівського лісництва. Як і в попередніх випадках, подібно до отриманих карт розподілу біомаси насаджень у межах окресленої території, побудований продукт дозволяє спостерігати варіювання змін по всій території лісництва.

Для більш зрозумілої інтерпретації отриманих даних з динаміки змін фітомаси, показники різниці згруповані у класи, які як видно із рис. 3.6, мають як від'ємні, так додатні значення.

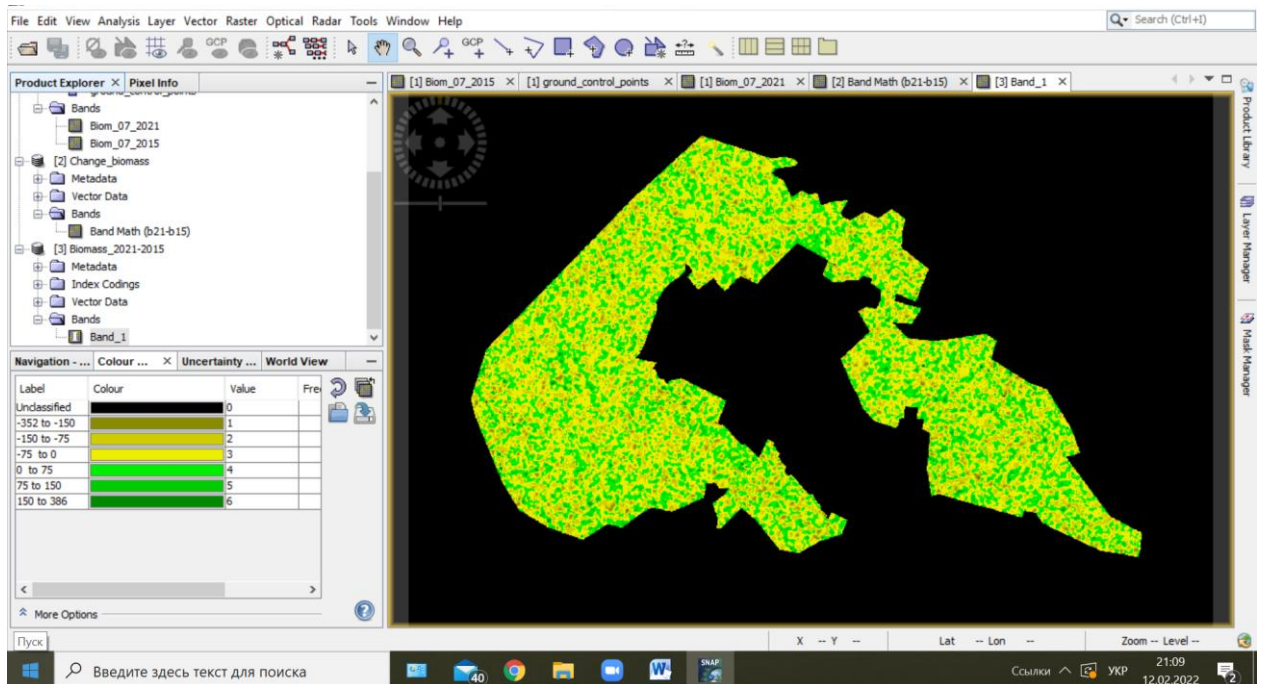


Рис. 3.6. Етап розбиття значень різниці біомаси на категорії

Рис. 3.7 відображає остаточний варіант обробленої мапи з нанесеними класами різниці фітомаси деревостанів сосни.



Рис. 3.7. Мапа динаміки фітомаси деревостанів сосни Обухівського лісництва

Для досліджуваної території лісництва, вкритої лісовою рослинністю, отримано вісім сцен з Sentinel-1 для 2015 та 2021 років, що представляють собою продукт з поверхневим відбиттям із наступними даними (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Показники надземної фітомаси сосняків, отриманих для дослідних площ

№ ділянки	Середній вік	Довгота	Широта	Надземна фітомаса, т/га (2015)	Надземна фітомаса, т/га (2021)	Різниця фітомаси
1	83	34.863457	48.524866	197	186	-11
2	69	34.857970	48.522975	151	149	-2
3	33	34.860469	48.524644	207	211	3
4	52	34.859291	48.525743	216	239	23
5	48	34.860133	48.526539	148	213	65
6	40	34.858063	48.525493	326	378	52
7	67	34.861301	48.525170	224	218	-6
8	18	34.860093	48.525460	235	239	4

За результатами розрахунків, значення фітомаси, отриманих з восьми досліджуваних ділянок варіювали від 148 до 326 т/га для 2015 року та від 149 до 378 т/га для 2021 р.

Середня різниця між показниками біомаси соснових деревостанів за даними сцен складає близько 15,25 т/га. Однак як видно із представлених результатів, різниця показників надземної фітомаси відповідно до визначених за географічними координатами пробних ділянок у більшості випадків була додатною, хоча на трьох дослідних ділянках вона від'ємна.

Для розуміння динамічних процесів у насадженнях сосни Обухівського лісництва, інтерпретованих на основі аналізу отриманих зі супутника сцен, було використано окремі дані польових досліджень за 2021 р. (табл. 3.3) (Ловинська, 2021).

Отримані дані динамічних змін чітко співставляються із такою характеристикою деревостану, як середній вік насадження. Цей показник був

раніше визначений для відібраних пробних площ у поточному році (Мамрак, 2021).

Таблиця 3.3.

Таксаційні параметри дослідних ділянок Обухівського лісництва

№ ділянки	Середній вік, років	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Відносна повнота
1	83	32,8	27,4	0,71
2	69	39,6	30,5	0,83
3	33	20,6	21	0,76
4	52	31,6	27,7	0,69
5	48	32,5	26	0,49
6	40	33,4	30	0,61
7	67	26,2	25,3	0,60
8	18	10,3	12,9	0,90

І як видно із представлених даних, різниця фітомаси йде на спад у насадженнях зі значенням найвищого показника віку. Це деревостани віком 83, 67 та 69 років. Очевидно, що у цих деревостанах відбуваються уже природні руйнівні процеси та у доповнення для рослин такого віку обов'язковим є проведення доглядових та санітарних рубань.

Плюсова різниця фітомаси дерев інших вікових категорій пояснюється інтенсифікацією ростових процесів у віковій категорії молодняки та середньовікові насадження.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Охорона праці при виконанні дистанційного зондування для визначення біопродуктивності соснових насаджень

Під час виконання магістерської роботи зі встановлення біопродукувальних процесів насаджень методами дистанційного зондування керувались Правилами охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин, які повинні забезпечувати мінімізацію основних ризиків (Кравчук та ін., 2015). До таких ризиків відносяться: підвищена температура окремих елементів персонального комп'ютера; монотонність трудового процесу; високий рівень зорових навантажень; ймовірність ураження статичною електрикою, що генерується технікою; недостатня освітленість у зоні виконання операцій біля комп'ютера; високий рівень напруженості електричного та магнітного полів у зоні встановлення комп'ютера; інші фактори.

Виконання нижче означених правил дозволить скоротити вплив факторів ризику та забезпечить можливість відновлення нормального самопочуття та працездатності без застосування додаткових засобів, наприклад масажу або медикаментозної терапії.

«Вимоги стосовно освітлення, оптимальних умов мікроклімату, ергономічних характеристик основних елементів робочого місця, рівнів шуму, вібрації, електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання та електростатичного поля викладено у ДСанПіН 3.3.2-007-98» (Кравчук та ін., 2015).

Гігієнічні вимоги. Відповідно до чинних санітарних правил та норм до персональних комп'ютерів, застосовуються умови про відповідність наступних параметрів чинним нормативам: звуковий тиск; показники тимчасових електромагнітних полів, які створюються комп'ютерами; візуальні параметри пристроїв для відображення інформації; концентрація

шкідливих речовин, що виділяються технікою в атмосферне повітря приміщення; потужність експозиційної дози м'якого рентгенівського випромінювання, що генерується; коефіцієнт відображення; яскравість та контрастність; інші параметри.

Відповідно із загальними вимогами до організації та обладнання робочих місць виділяються основні норми, яких вимагає робота на комп'ютері в постійному режимі: робоче місце повинно бути ізольованим із забезпеченням повітряобміну; конструкція крісла повинна регулюватись, щоб забезпечити відповідність його положення індивідуальним фізичним параметрам людини. Його поверхня повинна бути нековзкою та гарантувати можливість легкого чищення; конструкція столу повинна забезпечувати раціональне та зручне розміщення наявного обладнання та мати коефіцієнт відображення, що не перевищує 0,7.

Вимоги до приміщень з комп'ютерами. Правила виконання робіт за комп'ютером встановлюють такі вимоги до приміщень: приміщення повинні мати віконні прорізи для проникнення природного світла, орієнтовані переважно на північ чи північний захід. Робота за комп'ютером без природного освітлення допускається лише після проведення високоточних розрахунків, що обґрунтовують еквівалентність організованого штучного освітлення нормативам природного світла; вікна в приміщенні слід обладнати пристроями для регулювання яскравості природного освітлення, такими як штори, жалюзі тощо; допустима площа одного робочого місця працівника повинна становити не менше 6 квадратних метрів, а за умови, що у роботі використовуються плоскі монітори комп'ютерів рідкокристалічного або плазмового типу – 4,5 квадратних метра; внутрішнє оздоблення приміщення повинно проводитись з використанням матеріалів, що мають санітарно-епідеміологічні висновки. Максимальний коефіцієнт відображення матеріалів, що використовуються при обробці, становить для стелі – 0,8, для стін – 0,6, для підлоги – 0,5; приміщення повинні бути далеко від силових кабелів, високовольтних трансформаторів та іншого обладнання, здатного

створювати перешкоди для офісної техніки. У кімнатах необхідно організувати заземлення, що забезпечує безпечну роботу комп'ютерів.

Обов'язкові норми охорони праці вимагають забезпечення наступних нормативів при розміщенні монітора: відстань між столами студентів становить щонайменше 2 метрів, а між бічними поверхнями моніторів – щонайменше 1,2 метра; екран монітора, що використовується, знаходиться на відстані 0,6-0,7 метра від очей студента. При цьому електростатичний потенціал монітора не повинен перевищувати 500 В.

Режим праці та відпочинку при використанні комп'ютера. Безпечні правила поведінки та техніки виконання трудових операцій наводяться інструкціями з охорони праці.

До правил поведінки під час експлуатації комп'ютерів відносяться наступні пункти: дотримання працівником встановлених режимів праці та відпочинку, що дають можливість відновлення його працездатності після навантажень; дотримання правил під час виконання трудових операцій; заходи щодо збереження чистоти робочого місця; виконання лише тих обов'язків, які передбачені посадовою інструкцією працівника; використання справних комп'ютерів; регулярний контроль за станом обладнання та проведення необхідного планового ремонту та технічного обслуговування; виконання встановлених вимог щодо організації робочого приміщення для працівників, які працюють за комп'ютером.

«Навчання і перевірка знань з питань пожежної безпеки на підприємстві здійснюються відповідно до вимог Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи».

4.2. Засоби індивідуального захисту при виконанні дистанційного зондування для визначення біопродуктивності соснових насаджень

Діяльність працівників у сучасних умовах, зокрема, і під час виконання робіт із дистанційного зондування Землі, найчастіше пов'язана зі шкідливими та небезпечними виробничими факторами.

У випадках, коли за допомогою технічних та організаційних заходів забезпечити допустимі параметри виробничих факторів не вдається, найчастіше єдиною можливістю захистити від загрози здоров'я працівників є застосування засобів індивідуального захисту.

Для забезпечення належного рівня охорони праці необхідна розробка та впровадження структурованої сукупності управлінських рішень, норм і процедур, заходів, що дозволяють здійснювати та розвивати діяльність із запобігання ризикам виникнення аварій, загроз життю та здоров'ю працівників, збитків навколишнього середовища та дотримання вимог правил безпеки. Основною метою такого роду заходів є створення основи для сталого розвитку підприємств, підтримка культури безпеки, управління ризиками в галузі охорони праці, залучення персоналу забезпечення безпеки. Типовими пунктами, що стосуються забезпечення та застосування засобів індивідуального захисту є наступні: забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту; перевірка наявності, стану та зберігання засобів індивідуального захисту, спецодягу, вміння їх використання; застосування тих, хто пройшов обов'язкову сертифікацію або декларування відповідності у встановленому законодавством порядку про технічне регулювання засобів індивідуального захисту працівників; придбання та видачу за рахунок власних коштів спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту, миючих та знешкоджуючих засобів, що пройшли обов'язкову сертифікацію або декларування, відповідно до встановлених норм працівників, зайнятих на роботах із шкідливими та (або) небезпечними умовами праці, а також на

роботах, які виконуються в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням.

Як зазначається в ДСТУ 2293-99, «засіб індивідуального захисту працівника – засіб захисту, що надягається на тіло працівника або його частину, або використовується працівником під час праці».

«Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту регламентується такими документами: НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту та НПАОП 0.00-1.04-07 Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання, затвердженого наказом Держгірпромнагляд».

В цілому, засоби індивідуального захисту поділяються на засоби захисту органів дихання, спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук, голови, особи, очей, органів слуху, шкіри, засоби захисту від падіння з висоти та ін. Вибір засобів індивідуального захисту залежить від комплексу негативних факторів, характерних для конкретного виду робіт.

Згідно ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», до засобів індивідуального захисту відносяться засоби захисту голови; засоби захисту органів слуху; засоби захисту очей та особи; засоби захисту органів дихання; засоби захисту рук, плеча та передпліччя; одяг спеціальний захисний; засоби захисту ніг та стегон; засоби захисту від падіння з висоти; засоби захисту шкіри; засоби захисту комплексні.

Застосування засобів захисту голови спрямовано на зниження травматизму співробітників. Відповідно до норм і правил безпеки, вони повинні використовуватися скрізь, де є можливість падіння на голову будь-яких предметів. До засобів індивідуального захисту голови належать захисні каски; захисні шоломи та підшоломники; капелюхи, кепі, кепки із захистом та без, шапки, берети, косинки, сітки для волосся з козирком та без.

До засобів індивідуального захисту органів слуху належать: вушні затички та аналогічні засоби; звукозахисні шоломи; протишумні навушники; протишумні навушники; протишумні захисні пристрої з електронним приймачем; протишумні захисні пристрої з телефонним зв'язком. Протишумні навушники складаються з чашок та оголов'я. Корпус чашечки виготовляють, як правило, із пластмаси та заповнюють його звукопоглиначем. Для забезпечення щільного прилягання чашечки до привушної ділянки на його внутрішній стороні, зверненій до голови, встановлюють м'які ущільнювачі (протектори), заповнені пористим еластичним матеріалом (наприклад, поролоном), або наповнювачем рідини (наприклад, гліцерином або вазеліном).

Так як робота із дистанційного зондування Землі пов'язана насамперед із комп'ютером, то у найбільшій мірі тут слід використовувати засоби індивідуального захисту очей, до яких належать: захисні окуляри, у тому числі зі світлофільтрами; захисні окуляри від рентгенівського, лазерного, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання та від яскравого світла; екрани для обличчя; захисні окуляри та екрани від механічних пошкоджень, пилу, бризок, хімічних речовин; маски та щитки для дугового зварювання (такі, що тримають руками або такі, що кріпляться на голові або прикріплюються до захисних касок та шоломів). Як правило, для захисту очей працівників використовуються захисні окуляри. Відповідно до Технічного регламенту, захисні окуляри повинні бути без виступів, гострих кромок, задирок або інших дефектів, які завдають шкоди або створюють дискомфорт під час їх використання. Крім того, вони повинні бути стійкі до ударів, спалаху та корозії.

Засоби захисту органів дихання – це спеціальні технічні пристрої, що забезпечують захист органів дихання людини від шкідливих виробничих та інших факторів. Їх використовують в умовах небезпечного виробництва, пожежі, смогу та пилових бур, при нестачі кисню та в інших випадках різних

забруднень (за наявності парів, газів, аерозолів, суміші парів та аерозолів, пилу, що знаходяться в повітрі робочої зони).

Захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів та респіраторів. За принципом дії протигази поділяються на фільтруючі та ізолюючі. Фільтруючі подають у зону дихання очищений від домішок повітря робочої зони, що ізолюють повітря зі спеціальних ємностей або чистого простору, розташованого поза робочою зоною. У протигазах, що фільтрують повітря очищається від шкідливих речовин при проходженні його через фільтруючу коробку. Працювати з використанням фільтруючих протигазів більше 3 годин протягом робочого дня не допускається. У разі наявності в повітрі невідомих речовин або значного вмісту шкідливих речовин, а також при зменшеному вмісті кисню (менше 18 % при нормі 21 %) застосовувати фільтруючі протигази не можна. У цих випадках, а також при роботах у колодязях та ємностях застосовують лише ізолюючі протигази: шлангові (подача повітря для дихання із чистої зони по шлангу), або автономні (з генерацією або без генерації кисню).

Респіратор – полегшений засіб захисту органів дихання від шкідливих газів, пари, аерозолів. Він, як правило, складається з двох частин, напівмаски, ізолюючої органи дихання від забрудненої атмосфери, та фільтруючої частини. За призначенням респіратори поділяються на протигазові, протипилові та універсальні.

До спецодягу відносяться: куртки, штани, комбінезони, халати, плащі тощо. При виконанні низки виробничих операцій, необхідно носити спецодяг, пошитий із спеціальних матеріалів для забезпечення безпеки від впливів різних речовин та матеріалів, з якими доводиться працювати, теплового та інших випромінювань. Вимоги до спецодягу полягають у забезпеченні найбільшого комфорту для людини, а також бажаної безпеки. При деяких видах робіт для запобігання спецодягу можуть використовуватися фартухи, наприклад, у роботі з охолодними та

мастильними матеріалами, при теплових впливах тощо. В інших умовах можливе застосування спеціальних нарукавників.

Для захисту шкіри використовують дерматологічні засоби, такі як захисні креми, мазі, гелі, спреї. Вони захищають відкриті ділянки шкіри від різних біологічних, механічних та хімічних факторів та допомагають запобігти розвитку захворювань шкіри. Вирізняють три групи дерматологічних засобів індивідуального захисту: захисні, очищаючі, репаративні. Захисні дерматологічні засоби не повинні забруднювати виробничі матеріали та готові вироби. Вимоги до показників захисних, експлуатаційних та фізіолого-гігієнічних властивостей повинні встановлюватись нормативно-технічною документацією на конкретні препарати. Дерматологічні засоби повинні мати упаковку з інструкцією, на якій повинна бути зазначена інформація про призначення, правила застосування, зберігання, термін придатності препарату. Існують універсальні креми, що захищають від усіх перерахованих вище факторів.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Розглянуто алгоритм попередньої обробки супутникових знімків, який є необхідним для розв'язання задачі із оцінки стану лісових насаджень степової зони України. Виділено метод застосування радарних знімків системи Sentinel-1A із використанням даних польових досліджень.
2. У результаті розрахунків, здійснених на основі робастної регресії, проведено картографування отриманих фактичних результатів показників біомаси деревостанів Кіровського лісництва за 2015 та 2021 рр.
3. Значення фітомаси, отриманих з восьми досліджуваних ділянок варіювали від 148 до 326 т/га для 2015 року та від 149 до 378 т/га для 2021 р.
4. Середні показники надземної фітомаси соснових насаджень за досліджуваними роками є відносно невисокими і становлять 40 (2015 р.) та 34 (2021 р.) т/га.
5. Проведено обчислення різниці показників фітомаси на усій території досліджуваного лісництва, визначено варіаційні ряди та отримано мапу динаміки біомаси сосняків Обухівського лісництва.
6. Різниця показників надземної фітомаси відповідно до визначених за географічними координатами пробних ділянок у більшості випадків була додатною. Показник біопродуктивності насаджень має нисхідний тренд у насадженнях зі значенням найвищого показника віку.
7. Отримані результати динамічних змін показника біопродукувальних процесів можуть ефективно використовуватись природоохоронними організаціями з метою ефективного прийняття управлінських рішень щодо екологічного біомоніторингу лісів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко, Т. І. (2014). Агрокліматичне зонування території України з врахуванням змін клімату. Київ: Вєго «Мама-86».
2. Горб, А. С., & Дук, Н. М. (2006). Клімат Дніпропетровської області. Дніпропетровськ: ДНУ.
3. Заячук В. Я. (2014). Дендрологія: підручник, видання друге зі змінами та доповненнями. Львів: Сполом.
4. Кравчук А. М., Капленко Г. Г., Беліков А. С., Дмитрюк С. П. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в дипломних роботах студентів: методичні рекомендації: Дніпропетровськ, 2015. 17 с.
5. Кульбіда, М. І., Барабаш, М. Б., Єлістратова, Л. О., Адаменко, Т. І., Гребенюк, Н. П., Татарчук, О. Г., & Корж, Т. В. (2009). Клімат України: у минулому і майбутньому. Київ: Сталь.
6. Ловинська В.М. Біопродуктивність соснових насаджень Байрачного Степу України. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук: спец. 06.03.02 «Лісовпорядкування та лісова таксація». К., 2021. 46 с.
7. Станкевич, С. А., & Пестова І. О. (2014). Геоінформаційний сервіс оброблення даних для оцінювання стану рослинності урбанізованих територій. Вісник геодезії та картографії, 3, 23-26.
8. Чугай, Н. С. (1973). Климат и климатические ресурсы Днепропетровщины. Днепропетровск: Издательство Днепропетровского отделения географического общества.
9. Avitabile, V., Vaccini, A., Friedl, M.A., & Schullius, C. (2012). Capabilities and limitations of Landsat and land cover data for aboveground woody biomass estimation of Uganda. Remote Sens. Environ., 117, 366–380.

10. Bartholomé E. & Belward A. S. (2005). GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data, *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 1959–1977, DOI: 10.1080/01431160412331291297
11. Bastin, J.-F., Berrahmouni, N., Grainger, A., Maniatis, D., Mollicone, D., Moore, R. (2017). The extent of forest in dryland biomes. *Science* 356, 635–638. <https://doi.org/10.1126/science.aam6527>.
12. Belward, A.S. (1996). The IGBP-DIS global 1 km land cover data set "DISCover": proposal and implementation plans. Report of the Land Cover Working Group of IGBP-DIS. IGBP-DIS Office, Toulouse, France.
13. Berninger, A., Lohberger, S., Stängel, M., Siegert, F. (2018). SAR-based estimation of above-ground biomass and its changes in tropical forests of Kalimantan using L- and C-band. *Remote Sens.*, 10, 831.
14. Bolton D.K., Coops N.C., Wulder M.A. (2015). Characterizing residual structure and forest recovery following high-severity fire in the western boreal of Canada using Landsat time-series and airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment*, 163, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.004>.
15. Bonan, G.B., & Shugart, H.H. (1989). Environmental factors and ecological processes in boreal forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 1–28.
16. Caudullo, G., Welk, E. & San-Miguel-Ayanz, J. (2018). *Pinus sylvestris*. Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief* 12, pp. 662–666.
17. Chang J. and Shoshany M. (2016). Mediterranean shrublands biomass estimation using Sentinel-1 and Sentinel-2,” in *IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS)*, 5300–5303.

18. Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., Plummer, S. (1997). Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *J. Geophys. Res.* 102, 29429–29443. <https://doi.org/10.1029/97JD01107>
19. Cook, J.G., Stutzman, T.W., Bowers, C.W., Brenner, K.A., Irwin, L.L. (1995). Spherical densiometers produce biased estimates of forest canopy cover. *Wildl. Soc. Bull.* 23, 711–717.
20. De Almeida, C.A., Coutinho, A.C., Esquerdo, J.C.D.M., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C.G., Dessay, N., Durieux, L., Gomes, A.R. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amaz.*, 46, 291–302.
21. Defries, R.S. & Belward, A. (2000). Global and regional land cover characterization from satellite data: An introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing.* 21. 1083–1092. [10.1080/014311600210083](https://doi.org/10.1080/014311600210083).
22. Delgado-Aguilar M. J. (2017). Potential of TerraSAR-X and Sentinel-1 imagery to map deforested areas and derive degradation status in complex rain forests of Ecuador. *Int. For. Rev.* 19, 102–118.
23. Duan, J., Wang, Y., Fan, C.; Xia, B.; de Groot, R. (2018). Perception of Urban Environmental Risks and the Effects of Urban Green Infrastructures (UGIs) on Human Well-being in Four Public Green Spaces of Guangzhou, China. *Environ. Manag.*, 62, 500–517.
24. Dubayah, R.O., Drake, J.B. (2000). Lidar remote sensing for forestry. *J. For.*, 98, 44–46.
25. Fassnacht, F.E., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernandez, J., Corvalan, P., Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sens. Environ.*, 154, 102–114.

26. Fiala, A.C.S., Garman, S.L., Gray, A.N. (2006). Comparison of five canopy cover estimation techniques in the western Oregon Cascades. *For. Ecol. Manage.* 232, 188–197.
27. Gallaun H. (2010). EU-wide maps of growing stock and above-ground biomass in forests based on remote sensing and field measurements. *For. Ecol. Manage.* 260, 252–261.
28. Gao, Y.K., Lu, D.S., Li, G.Y., Wang, G.X., Chen, Q., Liu, L.J., Li, D.Q. (2018). Comparative analysis of modeling algorithms for forest aboveground biomass estimation in a subtropical region. *Remote Sens.*, 10, 627.
29. Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M. (1999). Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 70, 29–51.
30. Gutman, G., Huang, C.Q., Chander, G., Noojipady, P., Masek, J.G. (2013). Assessment of the NASA-USGS global land survey (GLS) datasets. *Remote Sens. Environ.* 134, 249–265.
31. Hall, F.G., Bergen, K., Blair, J.B., Dubayah, R., Houghton, R., Hurtt, G., Kellndorfer, J., Lefsky, M., Ranson, J., Saatchi, S., Shugart, H.H., Wickland, D. (2011). Characterizing 3D vegetation structure from space: mission requirements. *Remote Sens. Environ.* 115, 2753–2775.
32. Hansen M., DeFries R. (2004). Detecting long-term global forest change using continuous fields of tree-cover maps from 8-km Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data for the years 1982-1999. *Ecosystems* 7, 695–716.
33. Hansen M.C., Loveland T.R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>.

34. Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Carroll, M., Dimiceli, C., Sohlberg, R.A. (2003). Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm. *Earth Interact.* 7.
35. Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G. (2013). High-resolution global maps of 21st-Century forest cover change. *Science*, 342, 850–853.
36. Jennings, S.B., Brown, N.D., Sheil, D. (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry* 72, 59–73.
37. Lee, J.S., Jurkevich, L., Dewaele, P., Wambacq, P., Oosterlinck, A. (1994). Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote sensing reviews*, 8(4), 313–340.
38. Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G., Harding, D.J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioScience*, 52, 19–19.
39. Malenovsky, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M.E., Garcia-Santos, G., Fernandes, R., Berger, M. (2012). Sentinels for science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 missions for scientific observations of ocean, cryosphere, and land. *Remote Sens. Environ.*, 120, 91–101.
40. Mukul, S.A.; Sohel, M.S.I.; Herbohn, J.; Inostroza, L.; König, H. (2017). Integrating ecosystem services supply potential from future land-use scenarios in protected area management: A Bangladesh case study. *Ecosyst. Serv.*, 26, 355–364.
41. Muukkonen, P., Heiskanen, J. (2007). Biomass estimation over a large area based on standwise forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: A possibility to verify carbon inventories. *Remote Sens. Environ.*, 107, 617–624.

42. Peddle, D.R., Hall, F.G., LeDrew, E.F. (1999). Spectral mixture analysis and geometric-optical reflectance modeling of boreal forest biophysical structure. *Remote Sens. Environ.*, 67, 288–297.
43. Propastin, P. (2012). Modifying geographically weighted regression for estimating aboveground biomass in tropical rainforests by multispectral remote sensing data. *Int. J. Appl. Earth Obs.*, 18, 82–90.
44. Rautiainen, M., Stenberg, P., Nilson, T., (2005). Estimating canopy cover in Scots pine stands. *Silva Fennica*, 39, 137–142.
45. Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Wang, N., Lin, Y. (2017). Monitoring and Modeling of Spatiotemporal Urban Expansion and Land-Use/Land-Cover Change Using Integrated Markov Chain Cellular Automata Model. *ISPRS Int. J. Geo-Infor.*, 6, 288.
46. Rodríguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E. (2006). A global assessment of the SRTM performance. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 72, 249–260.
47. Sahani, S., Raghavaswamy, V. (2018). Analyzing urban landscape with City Biodiversity Index for sustainable urban growth. *Environ. Monit. Assess.*, 19–30.
48. Sannigrahi, S., Bhatt, S., Rahmat, S., Paul, S.K., Sen, S. (2018). Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995–2015. *J. Environ. Manag.*, 223, 115–131.
49. Scaramuzza, P.L., Bouchard, M.A., Dwyer, J.L. (2012). Development of the landsat data continuity mission cloud-cover assessment algorithms. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 50, 1140–1154. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2011.2164087>.
50. Schepaschenko, D., Fritz, S., See, L., Laso Bayas, J.C., Lesiv, M., Kraxner, F., Obersteiner, M. (2017). Comment on “The extent of forest in dryland biomes”. *Science*, 358.

51. Searle, E.B.; Chen, H.Y.H. (2017). Tree size thresholds produce biased estimates of forest biomass dynamics. *For. Ecol. Manag.*, 400, 468–474.
52. Sentinel-1_Team. Sentinel-1 User Handbook (2013). European Space Agency: Paris, France.
53. Sexton, J.O., Noojipady, P., Song, X.-P., Feng, M., Song, D.-X., Kim, D.-H., Anand, A., Huang, C., Channan, S., Pimm, S.L., Townshend, J.R. (2016). Conservation policy and the measurement of forests. *Nat. Clim. Change*, 6, 192–196.
54. Shaharum, N.S.N. Shafri, H.Z.M. Gambo, J., Abidin, F.A.Z. (2018). Mapping of Krau Wildlife Reserve (KWR) protected area using Landsat 8 and supervised classification algorithms. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, 10, 24–35.
55. Shao, Z.F., Zhang, L.J., Wang, L. (2017). Stacked sparse autoencoder modeling using the synergy of airborne LiDAR and satellite optical and SAR data to map forest above-ground biomass. *IEEE J.-STARS*, 10, 5569–5582.
56. Sibanda, M., Mutanga, O., Rouget, M. (2015). Examining the potential of Sentinel-2 MSI spectral resolution in quantifying above ground biomass across different fertilizer treatments. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 110, 55–65.
57. Song, C., Woodcock, C.E. (2003). Monitoring forest succession with multitemporal landsat images: factors of uncertainty. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41, 2557–2567. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2003.818367>.
58. Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., Macomber, S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sens. Environ.* 75, 230–244. doi. org/10.1016/S0034-4257(00)00169-3.

59. Song, X.P. (2018). Global Estimates of Ecosystem Service Value and Change: Taking into Account Uncertainties in Satellite-based Land Cover Data. *Ecol. Econ.*, 143, 227–235.
60. Sun P., Congalton R.G. (2021). The impact of landscape characteristics on the performance of upscaled maps. *Geocarto International*, 36, 1905–1922.
61. Thurner, M., Thurner, M., Beer, C., Santoro, M., Nuno, C., Wutzler, T., Schepaschenko, D., Shvidenko, A., Kompter, E., Ahrens, B. (2014). Carbon stock and density of northern boreal and temperate forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 23, 297–310.
62. Wang, S.; Ma, Q.; Ding, H.; Liang, H. (2018). Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. *Resour. Conserv. Recycl.*, 128, 526–534.