

Шпурик В.В., Бандурка О.І. *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ*

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА СТАН ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

Анотація: Дистанційне зондування Землі являється новим і сучасним інструментом для дослідження кліматичної та географічної ситуації в світі. В останні роки було запущено сучасні супутникові системи, що дозволяють отримувати багатовимірні зображення земної поверхні високої якості, та використовуються у різних напрямках: моніторинг морських об'єктів, лісових угідь, контроль стану та прогнозування врожаю, моніторингу стихійних лих, дослідження клімату тощо. Останніми роками інтенсивність лісових пожеж, яка обумовлена кліматичними змінами та антропогенним чинником, за кількістю та площею в Україні зростає. Також останніми роками збільшується кількість випадків незаконного вирубування лісів. Це все несе непоправну шкоду екологічній ситуації нашої країни. Знищення лісів негативно впливає не тільки на стан атмосфери, а й може привести до різкої зміни температури, руйнування ґрунтів, що в майбутньому спричинить їх ерозію, погіршенню круговороту води, а також зміни постійного місця проживання лісових тварин. Розвиток космічних засобів дистанційного зондування дозволяє розроблювати нові ефективні методи оцінки стану лісів. Було проаналізовано лісовий покрив Овруцького району Житомирської області. Дана інформаційна система використовує космічні знімки, що були зроблені супутником Landsat 5 і 8. З метою аналізу лісистості досліджуваної території створено та проаналізовано тематичну карту лісистості Овруцького району. Для класифікації породного складу за космічними знімками було обрано класифікатор Байєса. Було виділено 7 видів порід дерев в лісі, серед яких найбільшу територію займають соснові. Виокремлено територію, де на території лісу немає лісових насаджень. Також для якісного аналізу лісового покриву було проаналізовано лісовий покрив цього району по кількості дерев протягом декількох десятиліть (1999, 2009 та 2019 роки) по кожній породі окремо. Ці всі результати представлені графічно.

Ключові слова: дистанційне зондування землі, космічні знімки, класифікація знімків, дешифрування знімків, породний склад дерев.

Shpuryk V.V., Bandurka O.I. *National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv*

INFORMATION SYSTEM OF ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON THE CONDITION OF FOREST PLANTATIONS

Abstract: Remote sensing of the Earth is a new and modern tool for studying the climatic and geographical situation in the world. In recent years, modern satellite systems have been launched to obtain multidimensional images of the earth's surface with high spatial diversity, and are used in many areas: monitoring of marine objects, forest lands, monitoring and forecasting of crops, disaster monitoring, climate research and more. In recent years, the intensity of forest fires, which is due to climate change and anthropogenic factors, is growing in number and area in Ukraine. Accordingly, the share of fires in the forestry fund, which need to grow new forest, is increasing. The number of cases of illegal deforestation has also increased in recent years. All this is irreparable damage to the environmental situation of our country. The development of space remote sensing and geographic information systems allows the development of new effective methods for assessing the state of forests. The forest cover of Ovruch district of Zhytomyr region was analyzed. This information system uses data from space images taken by the Landsat 5 and 8 satellites. In order to analyze the forest cover of the study area, a thematic map of the forest cover of Ovruch district was created and analyzed. The Bayesian classifier was chosen to classify the breed composition from space images. 7 species of tree species in the forest were identified, among which the largest area is

occupied by pine. The territory where there are no forest plantations on the territory of the forest is singled out. Also, for the qualitative analysis of forest cover, the forest cover of this area was analyzed by the number of trees for several decades (1999, 2009 and 2019) for each species separately. All these results are presented graphically.

Keywords: remote sensing of the earth, space images, classification of images, decoding of images, species composition of trees.

Шпурик В.В., Бандурка Е.И. *Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев*

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Аннотация: Дистанционное зондирование Земли является новым и современным инструментом исследования климатической и географической ситуации в мире. В последние годы были запущены современные спутниковые системы, позволяющие получать многомерные изображения земной поверхности высокого качества и используются во разных направлениях: мониторинг морских объектов, лесных угодий, контроль состояния и прогнозирования урожая, мониторинг стихийных бедствий, исследование климата и т.д. В последние годы интенсивность лесных пожаров, обусловленная климатическими изменениями и антропогенным фактором, по количеству и площади в Украине растет. Также в последние годы увеличивается количество случаев незаконной вырубке лесов. Это все несет непоправимый ущерб экологической ситуации нашей страны. Уничтожение лесов негативно влияет на состояние атмосферы, может привести к резкому изменению температуры, разрушению почв, что в будущем приведет к их эрозии, ухудшению круговорота воды, а также изменению постоянного места обитания лесных животных. Развитие космических средств дистанционного зондирования позволяет разрабатывать новые эффективные методы оценки состояния лесов. Был проанализирован лесной покров Овручского района Житомирской области. Данная информационная система использует данные космических снимков, сделанных спутником Landsat 5 и 8. С целью анализа лесистости исследуемой территории создана и проанализирована тематическая карта лесистости района. Для классификации породного состава по космическим снимкам был выбран классификатор Байеса. Было выделено 7 видов пород деревьев в лесу, среди которых наибольшую территорию занимают сосновые. Выделена территория, где на территории леса нет лесных насаждений. Также для качественного анализа лесного покрова был проанализирован лесной покров этого района по количеству деревьев в течение нескольких десятилетий (1999, 2009 и 2019) по каждой породе отдельно. Все эти результаты представлены графически.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, космические снимки, классификация снимков, дешифрование снимков, породный состав деревьев.

1. Вступ. Останнім часом спостереження за поверхнею Землі за допомогою різних космічних засобів стало активно впроваджуватися в наше повсякденне життя завдяки розвитку інформаційних технологій. Дистанційне зондування Землі являється новим і сучасним інструментом для дослідження кліматичної та географічної ситуації в світі. В останні роки було запущено сучасні супутникові системи, що дозволяють отримувати багатовимірні зображення земної поверхні високої просторової розрізненості, та використовуються у багатьох напрямках: моніторинг морських об'єктів, лісових угідь, контроль стану та прогнозування врожаю, моніторингу стихійних лих, дослідження клімату тощо. Проте знімки передаються в необробленому вигляді і виникає необхідність у створенні ефективних методів їх обробки з подальшим дешифруванням, а саме: класифікація знімків, розпізнавання різних об'єктів земної поверхні та пошук конкретних об'єктів.

Сьогодні зацікавленість в космічних знімках лісових угідь зростає через включення лісових ресурсів до світової економіки, а також через активізацію діяльності міжнародних

організацій по захисту природи. Україна займає 9 місце в Європі за загальною лісовою площею. Проте останніми роками в Україні зафіксовано дуже багато випадків лісових пожеж. Вони непередбачувані та мають велику руйнівну силу, і навіть якщо вдається зупинити їх розповсюдження, десятки гектарів лісових територій зникають із земної поверхні. Також останніми роками збільшується кількість випадків незаконного вирубування лісів. Це все несе непоправну шкоду екологічній ситуації нашої країни. Знищення лісів негативно впливає не тільки на стан атмосфери, а й може привести до різкої зміни температури, руйнування ґрунтів, що в майбутньому спричинить їх ерозію, погіршенню круговороту води, а також зміни постійного місця проживання лісових тварин. Тому створення інформаційної системи, яка буде здійснювати моніторинг лісів, отримувати об'ємні відомості щодо поточного і минулого стану лісових угідь, а також проводити порівняння за відповідними показниками, є актуальною задачею сьогодення.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій показує, що науковці всього світу активно ведуть дослідження в сфері обробки цифрових зображень для розв'язання практичних задач не тільки в сфері інформаційних технологій, а й в сфері лісового та сільського господарства.

У роботі [1] розглянуті різні категорії властивостей супутникових зображень, розроблено спеціальний алгоритм класифікації знімків та побудовано гістограму розподілу класів. У статті [2] запропоновані модифікації еквівалентних моделей розпізнавання зображень, узагальнені на випадок багатоспектральних зображень, що дозволяють проводити класифікацію зображень земель сільського господарства.

Автори статті [3] використовують глобальні карти змін лісового покриття Global Forest Change для картографування та визначення площі лісів на відносно невеликих територіях в умовах Українського Полісся. У ході дослідження було проведено порівняння точності класифікації та інтервальних оцінок площі лісового покриття, отриманих за результатами дешифрування мультиспектрального супутникового знімка RapidEye та карти GFC та підтверджено, що мультиспектральні супутникові знімки RapidEye є важливим джерелом геопросторової інформації про лісові екосистеми і дають змогу створювати тематичні карти з високою точністю.

Стаття [4] присвячена додаткам для швидкого моніторингу з використанням БПЛА на основі методу геометричної корекції. У роботі [5] описаний алгоритм автоматизованої класифікації супутникових знімків високої просторової роздільної здатності, отриманих супутниками WorldView-2 та WorldView-3. Запропонований алгоритм базується на об'єктно-орієнтованому підході до обробки зображень та нечіткому логічному виведенні, дозволяє врахувати властивості кожного типу об'єктів земної поверхні.

У статті [6] досліджується синергетичне використання оптичних та радіолокаційних даних зі супутників Землі для виявлення територій, де пройшли різні стихійні лиха, наприклад, повені. В [7] описана методика моніторингу територій, які постраждали внаслідок затоплень, за допомогою супутникових знімків RADAR та оброблених в Sentinel Toolbox. У роботі [8] розповідається про новий підхід до обробки супутникових знімків, а саме автоматичне виявлення та видалення тіней.

В [9] досліджуються зміни лісового вкриття Українських Карпат за період 1084-2016 років за допомогою часових рядів зображень, отриманих із супутникових знімків проекту Landsat із застосуванням засобу візуалізації TimeSync. Було здійснено оцінку щорічного пошкодження намету лісу, які враховували як природні порушення, так і антропогенні. В роботі [10] авторами проведено оцінювання втрат лісового покриття Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації. Для порівняння карт змін використано знімки із супутників Sentinel2 з роздільною здатністю 10 м×ріх-1 для аналізу втрат лісу за 2015-2018 рр. Розмежування вододілу проведено для досліджуваної території за допомогою інструменту SAGA "Басейни вододілу" з

використанням цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM. За допомогою інструменту QGIS розраховано стрімкість схилів на основі цифрової моделі рельєфу ASTER GDEM2. В [11] за допомогою дистанційного зондування Землі (на основі космознімків QuickBird) векторизовано лісовий покрив Дрогобицького району Львівської області. На цій основі здійснено геопросторовий аналіз лісових угідь передгірної і низькогірної частин Українських Карпат.

У статті [12] науковцями проведено аналіз процесу обробки даних агромоніторингу, що дозволяє отримувати комплексну інформацію про стан полів та сільськогосподарських культур, які вирощуються на них. Дані представлені у вигляді мультиспектральних зображень, які в процесі обробки проходять відповідні етапи. Кожен з цих етапів включає в собі відповідні йому види та способи реалізації, причому деякі методи поліпшення зображень передбачають зміну спектральних характеристик знімка, тому після їх застосування не можна переходити на наступні етапи обробки.

У статті [13] описана інформаційна система аналізує зміну рослинного покриву лісів Чорнобильської зони за допомогою нормалізованого вегетаційного індексу NDVI, методу К-середніх та формули Байєса. У статті [14] авторами запропонований новий метод виявлення пожеж в екосистемах за допомогою космічних знімків низької роздільної здатності.

Незважаючи на те, що останнім часом програмних продуктів для обробки супутникових знімків та моніторингу лісової території багато, дослідження в даних напрямках є актуальними та важливими.

3. Ціль дослідження. Метою дослідження є створення інформаційної системи, яка класифікуватиме космічні знімки протягом декількох десятиліть й аналізуватиме часові зміни лісових насаджень.

4. Результати дослідження. Сьогодні в галузі інформаційних технологій ведуться розробки ефективних інформаційних систем та веб-додатків для лісового господарства. Лісівники, інженери з охорони та захисту лісу і керівники державних лісгоспів поступово починають впроваджувати в своє повсякденне життя різні програмістські розробки, присвячені моніторингу лісу з метою раціонального використання лісових ресурсів, систематичного контролю за якісними та кількісними змінами лісового фонду. Останніми роками на території України зафіксовано велику кількість лісових пожеж. Саме тому терміновий облік лісових угідь вкрай необхідний, враховуючи великі втрати лісової площі через це стихійне лихо.

Розвиток супутникових систем протягом останніх років сприяє збільшенню даних в геоінформаційних системах. Постійно з'являються нові методи класифікації космічних знімків та аналізу даних. Зважаючи на те, що технології постійно змінюються, на даний момент немає універсального продукту, який міг би відповідати всім потребам користувачів. Тому він повинен адаптуватися до специфічних вимог кожного з користувачів в залежного від їх профілю. Прийнято рішення реалізувати базовий функціонал, який буде використовуватися кожним, але може бути розширений у майбутньому.

Для аналізу лісових угідь використовуються космічні знімки, отримані супутниковою програмою Landsat 5 та 8 за 1999-2020 роки на території Овруцького району Житомирської області. Для завантаження цих знімків обрано відкритий електронний ресурс <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Зображення із супутників ми отримуємо в необробленому вигляді у вигляді растрових зображень, тому виникає необхідність в їх детальній обробці, яка пов'язана з корекцією зображень, перетворенням, поліпшенням, дешифруванням та їх візуалізацією.

Розрізняють два методи обробки зображень дистанційного зондування Землі:

- попередня обробка – проводиться для усунення спотворень зображень: посилення контрасту, зміна розміру, атмосферна корекція, морфологічна обробка, видалення шуму, поліпшення зображень з використанням фільтрів та сегментації;

- спеціальна обробка – це методи, які вирішують завдання, пов’язані з пошуком і розпізнаванням об’єктів, їх класифікацією у зображенні з певними ознаками.

Дані дистанційного зондування дозволяють отримати більш детальну інформацію про територію, оскільки не всі дрібні об’єкти можуть бути відображені на спеціалізованих картах через генералізації даних (дрібні озера, просіки, зміна порід дерев і т.д.). Проте на багатьох знімках, які ми отримуємо, присутні геометричні викривлення, які утворюються тому, що точки сканованої області не лежать в одній площині, а спостереження знаходиться не в самій глибокій площині, а під кутом до земної поверхні. Також під час сканування земної поверхні або під час передачі знімків на Землю можуть втрачатися деякі пікселі або замінюються значеннями яскравості цілого рядка значеннями сусіднього рядка. Пропущені пікселі можна відновити за допомогою інтерполяції з певною похибкою.

При відтворенні об’єктів на знімку використовують фільтрацію – перетворення в ковзному вікні, при якому перераховуються значення яскравості всіх пікселів зображення. Перерахунок відбувається для кожного пікселя – якщо вибраний піксель є центральним у вікні, яке «рухається» по зображенню, йому дається нове значення, яке є функцією від значень оточуючих його у вікні пікселів (розмір вікна може бути 3x3 або 5x5 пікселів). Вікно кожного разу зміщується на 1 піксель і рухається до тих пір, поки не пройде весь знімок. Для всіх пікселів вікна встановлюються вагові коефіцієнти, виходячи з цілей дешифрування. Наприклад, матриці фільтрації мають такі значення:

- $\begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 \end{pmatrix}$ – вагові коефіцієнти всіх пікселів у вікні рівні, тому зображення є

згладженим (рис. 1, а);

- $\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$ – ваговий коефіцієнт центрального пікселя у вікні значно вищий за

інші, тому зображення є більш різким (рис. 1, б);

- $\begin{pmatrix} -1 & 3 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \end{pmatrix}$ – вагові коефіцієнти центрального стовпця у вікні пікселів значно

вищі, ніж інші, тому на зображенні виділяються лінії меридіонального напрямку (рис. 1, в).

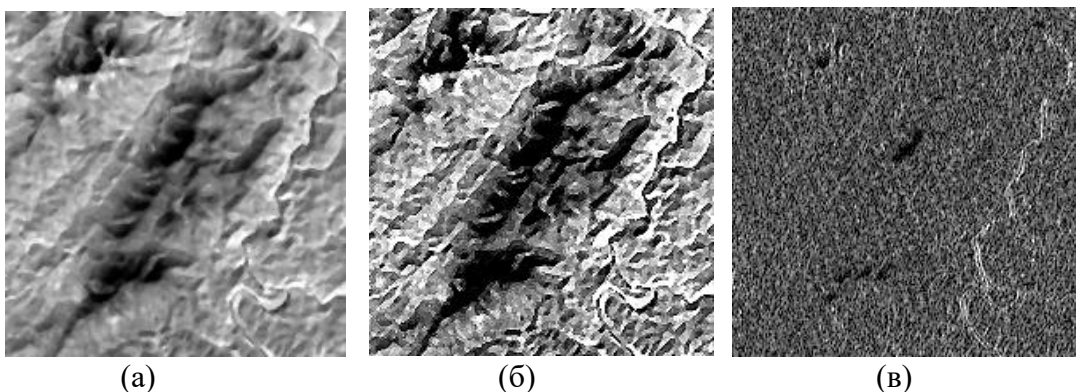


Рис. 1. Фільтрація зображення

Для визначення конкретних об'єктів на космічному знімку потрібно проводити дешифрування – процес автоматичного поділу пікселів зображення на групи, які відповідають різним об'єктам одного типу. Дешифрування охоплює низку задач обробки ДДЗ: класифікацію супутникових знімків, розпізнавання окремих об'єктів, пошук і підрахунок об'єктів одного типу, встановлення властивостей об'єктів, присутніх на знімку. Для коректного дешифрування космічних знімків необхідно брати до уваги логіку процесів відбиття у видимій ділянці спектра, випромінювання в ІЧ (інфрачервоному) та мікрохвильовому діапазонах, відбивні та випромінювальні ознаки різних поверхонь, а також особливі структурні якості об'єктів і підстильної поверхні. При дешифруванні космічних знімків використовуються дешифрувальні ознаки: яскравість (тон) і рисунок (структура) зображення, які залежать від переліку фізичних особливостей об'єкту. Якщо знімок зроблений у видимій ділянці спектра, тон створюється за рахунок відбивних особливостей об'єкту та його освітленості. На інфрачервоних знімках яскравість визначається за рахунок теплового фону об'єкту, який є також важливим параметром для тону. Найбільшу кількість інформації несуть виразні зміни тону на знімку, які окреслюють структуру зображення.

Класичні алгоритми класифікації зображень, що застосовуються при обробці ДДЗ, можна поділити на алгоритми контрольованої та неконтрольованої класифікації. Контрольована класифікація – це процес порівняння значення яскравості кожного пікселя зі стандартами, в результаті чого кожен піксель належить до найбільш відповідного класу об'єктів. Дана класифікація використовується, якщо заздалегідь відомо, які об'єкти є на зображенні або ці класи чітко виділяються на малюнку. Цей включає кілька етапів: визначення завдань обробки зображень, вибір методу класифікації, підбір опорних точок і класифікація результатів (рис. 2).

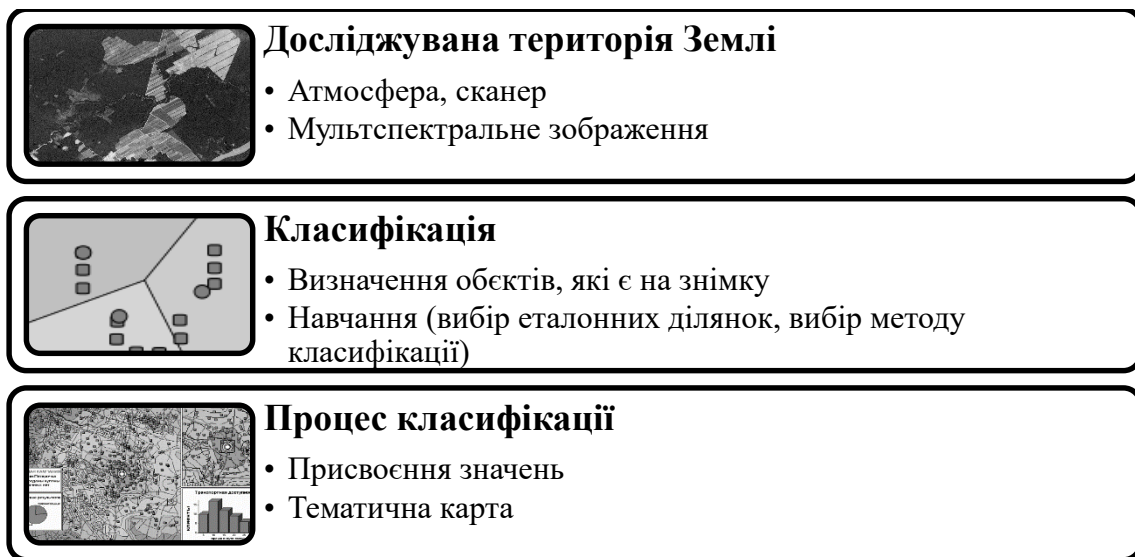


Рис. 2. Етапи отримання та обробки мультиспектральних зображень

Одним із завдань є поєднання даних класифікації, використовуючи кросплатформні можливості, адже класифікація – це дуже трудомісткий процес, який займає дуже багато часу через те, що відбувається порівняння кожного пікселя в зображенні. Для коректної класифікації потрібно виділити полігони кожної породи аби програмний продукт зміг точно виділити потрібний піксель та віднести його до класу, який відповідає його стандартам. Для нашого зображення було обрано класифікатор Байєса – алгоритм класифікації, заснований на принципі апостеріорної ймовірності. Для кожного пікселя обчислюються функції вірогідності кожного з класів, за якими обчислюються апостеріорні ймовірності класів.

Обчислюємо наступні ймовірності:

- апіорна ймовірність $P(I)$,
- умовна ймовірність, що відповідає за розподіл навчальної вибірки $P(F/I)$,
- апостеріорна ймовірність $P(I/F)$, яка знаходиться за формулою Байєса:

$$P(I/F) = \frac{P(F/I)P(I)}{P(F)} \quad (1)$$

де F – вектор ознак пікселя, I – число класів, $P(F)$ – повна ймовірність, що визначається за формулою:

$$P(F) = \sum_i P(F/I)P(I).$$

Правило прийняття рішень формулюється за допомогою апостеріорних ймовірностей з формули (1). Піксель належить до того класу, апостеріорна ймовірність якого більша, ніж для інших класів.

Для класифікації супутникових знімків використовувався вільна крос-платформенна геоінформаційна система QGIS як лідер в цій області. QGIS – це додаткове програмне забезпечення, де зберігається безліч геоінформаційних програмних продуктів. Платформа дає готові, звичні для користувача елементи для відображення тексту, зображень, таблиць, списків та кнопок. Великою перевагою є перевикористання коду між додатками на платформах за допомогою елементів керування та відображення, які адаптуються до їх контексту та презентації.

Вхідні дані, які будуть зберігатися у базі даних, повинні відповідати певному формату, а саме:

- номер класу;
- назва класу;
- кількість дерев у обраній місцевості.

Створюємо концептуальну модель місцевості для оцінки лісового покриття в Овруцькому районі. Визначення класів полягає в формуванні статистичних вибірок пікселів знімку для кожної породи. Вибір виконується шляхом позначення контрольних полігонів на знімку там, де ми точно знаємо породу дерев. Такий вибір ми робимо за допомогою карти лісових виділів. Відповідність назв і кодів порід, позначених на карті:

- 033 – Дуб пристигаючий
- 034 – Дуб стиглий та перестиглий
- 061 – Граб молодняки
- 062 – Граб середньовікові
- 063 – Граб пристигаючі
- 071 – Ясен молодняки
- 072 – Ясен середньовікові
- 073 – Ясен пристигаючі
- 084 – Акація стиглі та перестиглі
- 091 – Береза молодняки
- 093 – Береза середньовікові
- 094 – Береза пристигаючі
- 101 – Осика молодняки
- 102 – Осика середньовікові
- 103 – Осика пристигаючі
- 104 – Осика стиглі та перестиглі

- 114 – Тополя стиглі та перестиглі
- 121 – Вільха молодняки
- 122 – Вільха середньовікові
- 123 – Вільха пристигаючі
- 124 – Вільха стиглі та перестиглі

Чим більше ми виділимо полігонів для кожної породи, тим буде більша статистична вибірка і тим точніша буде класифікація породного складу на всій досліджуваній території. Об'єднавши полігони для кожного класу, ми виділили 7 основних класів дерев, а Class 8 був обраний для того, щоб позначити територію, де немає лісу (рис. 3).

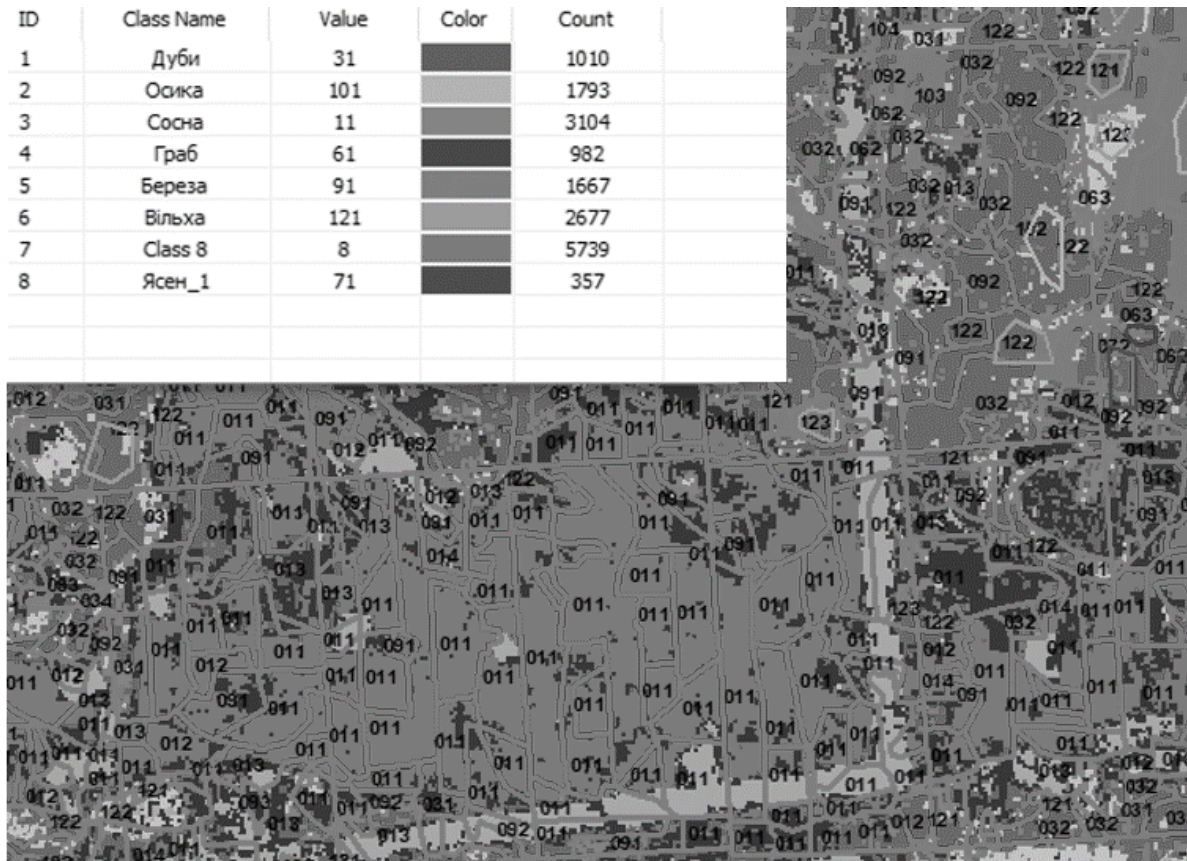


Рис. 3. Класифікація породного складу по лісових виділах

В результаті ми отримали карту лісу на обраній території з класифікацією дерев з відповідними пронумерованими кольорами (рис. 4): 8 – нелісова місцевість, 11 – сосновий ліс, 31 – дубовий ліс, 61 – грабовий ліс, 71 – ясеневий ліс, 91 – березовий ліс, 101 – осиковий ліс, 121 – вільховий ліс.

Також для якісного аналізу лісового покриву потрібно ще знати, як змінювався лісовий покрив на одній території по кількості дерев протягом декількох десятиліть. Наприклад, ми хочемо порівняти кількість лісових насаджень за 1999, 2009 та 2019 роки. Дана інформаційна система може видати інформацію всіх лісових насаджень в даному регіоні за три роки і побудувати гістограму (рис. 5), а можна вибрати лише один рік і подивитися статистику по всіх деревах.

Отримавши дані по кількості дерев за останні 20 років, можна побудувати діаграми для аналізу лісового покриву (рис. 6).

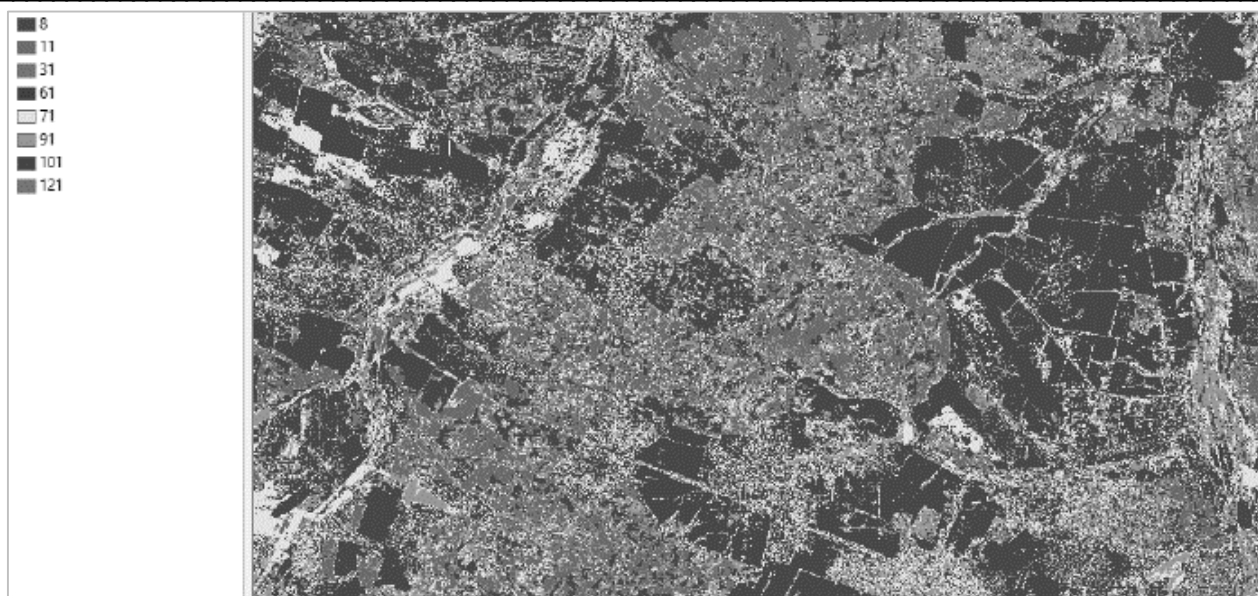


Рис. 4. Тематична карта лісових насаджень Овруцького району в 2020 році

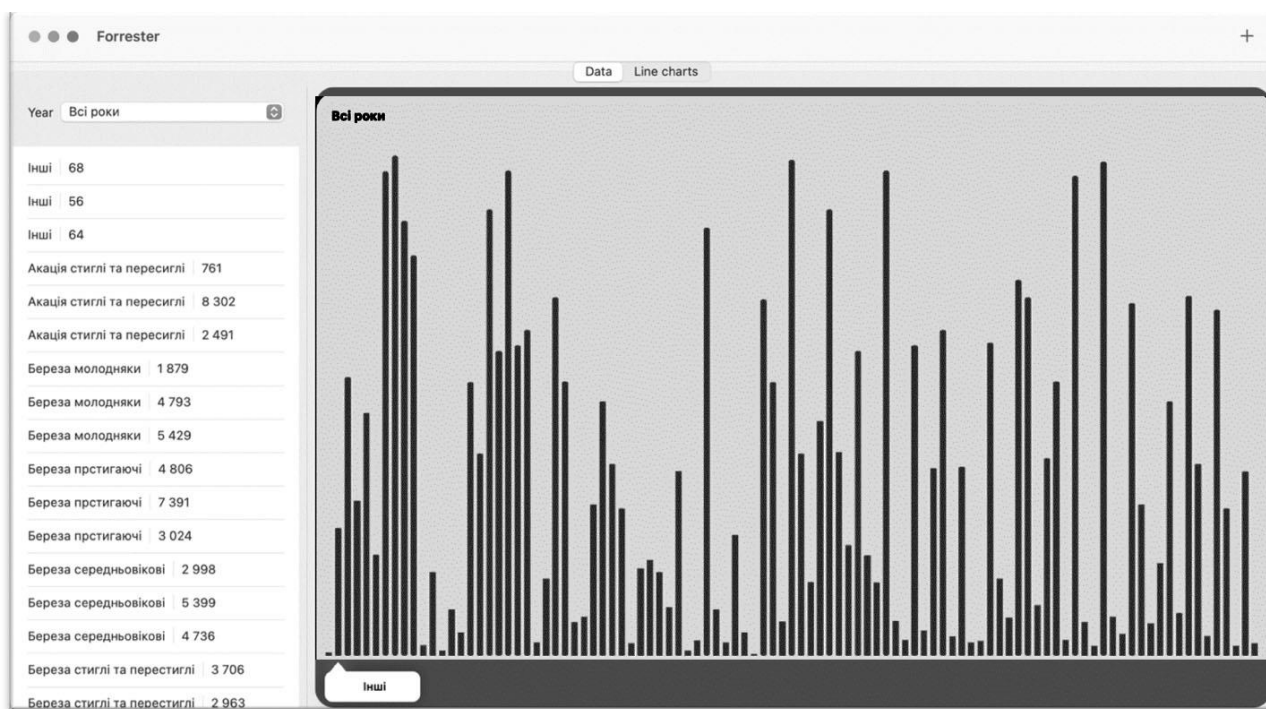


Рис. 5. Інформація про кількість дерев за 1999 рік в Овруцькому районі

Наведені дані на рис. 6 свідчать про те, що породний склад дерев протягом останніх десятиліть змінювався дуже часто для різних порід дерев. Це пов'язано з тим, що кожного року лісівники проводять санітарні рубки, також йде неконтрольована вирубка дерев, часто територіями лісів проходять великі пожежі, що також призводять до великих втрат лісових насаджень.

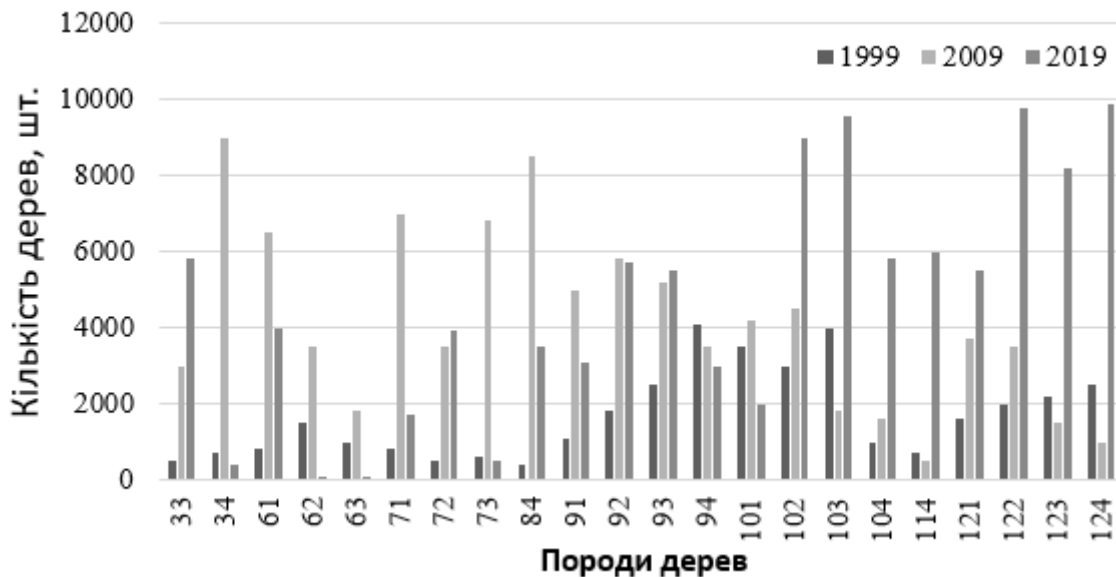


Рис. 6. Класифікація лісових насаджень за породним станом протягом 1999, 2009, 2019 років Овруцького району

З метою підвищення точності аналізу та встановлення додаткових характеристик лісостану доцільно в подальшій роботі використовувати супутникові знімки високої роздільної здатності. Це дасть змогу аналізувати ситуацію на рівні частини окремо взятого дерева, що необхідно для своєчасного виявлення змін та прийняття завчасних рішень.

5. Обговорення результатів проведеного дослідження. З кожним роком стан лісових насаджень на території України має негативну тенденцію. Якщо брати до уваги дані Державної служби статистики України, за минулі 10 років було вирубано більше, ніж 4 мільйони гектарів лісів, при тому, що відновлено було лише близько 500 тисяч гектарів. Тепер загальна площа лісового фонду складає близько 10,5 мільйонів гектарів. Пожежі, через які за попередні 10 років було знищено ще 200 тисяч гектарів лісу, також завдають значної шкоди навколишньому середовищу. Але найбільшої шкоди лісовим масивам наносять браконьєри. За даними засобів масової інформації, майже 3 мільйони кубічних метрів деревини винищується кожного року зловмисниками, що складає 20 % від загального обсягу всіх її заготовок. Незважаючи на те, що в останні роки науковці активно створюють нові системи для моніторингу лісів, створення нових та вдосконалення уже існуючих залишається актуальним питанням сьогодення.

6. Висновки. На сьогодні існує велика кількість вже реалізованих інформаційних систем для моніторингу лісових угідь, але з часом їх також потрібно вдосконалювати. Було створено програмний продукт, функціонал якого дозволяє отримувати необхідні статистичні дані галузі лісового господарства, аналізувати зміни лісових масивів на основі даних дистанційного зондування Землі та встановлено співвідношення чинників, які впливають на стан лісових насаджень. Для класифікації космічних знімків був обраний класифікатор Байєса, який має простий алгоритм, легко реалізується в програмі та дозволяє отримувати класифіковане зображення земної поверхні. Отримані результати разом з відомими методами моніторингу дозволяють створити ефективне програмне забезпечення для аналізу зміни лісових насаджень та удосконалити існуючі з урахуванням різних вимог до якості.

Перспективи подальших досліджень вбачаються у покращенні системи завдяки додаванню нового функціоналу, а саме впровадження штучного інтелекту, який би сам робив аналіз та оцінку класифікації, а також використання нейронних мереж.

Список використаної літератури

1. Гнатушенко В.В., Шедловська Я.І. Розрахунок властивостей зображення для порівняння супутникових знімків високої просторової роздільної здатності. Сучасні проблеми моделювання. 2017. Вип. 10. С. 51–58.
2. Красиленко В.Г., Яцковська В.Г., Яцковський В.І. Моделювання методів розпізнавання та класифікації фрагментів кольорових зображень земель сільськогосподарського призначення при їх дистанційному моніторингу. Системи обробки інформації, 2017. № 5 (151). С. 55–61.
3. Миронюк В.В., Білоус А.М. Узгодженість оцінок площі лісів за даними глобальної карти змін лісового покриву і мультиспектральних супутникових знімків. Науковий вісник НЛТУ України, 2017. № 27(5). С. 38–42.
4. Kim J., Kim T., Shin D., Kim S. Fast and Robust Geometric Correction for Mosaicking UAV Images with Narrow Overlaps. *International Journal of Remote Sensing*. 2017. Vol 37. No. 8–10. P. 2557–2576.
5. Гнатушенко В.В., Шедловська Я.І. Тематична класифікація супутникових знімків високої просторової роздільної здатності. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2018. Т. 2, №3(66). С. 130–136.
6. Zoka M., Psomiadis E., Dercas N. The complementary use of optical and SAR data in monitoring flood events and their effects. *Proceedings*. 2018. Vol. 2. 644 (8 pages).
7. Dadhich G., Miyazaki H., Babel M. Applications of Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery for floods damage assessment: a case study of Nakhon SI Thammarat, Thailand. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-2/W13. P. 1927–1931.
8. Sabri A., Siham A., Abdellah A. A multiscale based approach for automatic shadow detection and removal in natural images. *Multimedia Tools and Applications*. 2019. Vol.78, Issue 9. P. 11263–11275.
9. Чайковський О.Г., Карабчук Д.Ю., Іванюк А.П. Зміни лісового вкриття Українських Карпат за період 1984–2016 років. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. № 29(2). С. 9–14.
10. Часковський О.Г., Гриник Г.Г. Оцінювання втрат лісового покриву Українських Карпат дистанційними методами за матеріалами відкритих джерел супутникової інформації. Науковий вісник НЛТУ України, 2020. Вип. 30 (1). С. 66–73.
11. Микитчин О., Іванов Є., Маланяк У. Геопросторовий аналіз лісових угідь передгірної і низькогірної частин Українських Карпат (на прикладі Дрогобицького району Львівської області). Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій, 2021. Вип. 1 (12). С. 39–50.
12. Білінський Й.Й., Книш Б.П., Кулик Я.А. Обробка та використання мультиспектральних зображень моніторингу. Наукові праці ВНТУ, 2020. №4. С. 1–11.
13. Барабаш О., Бандурка О., Шпурик В., Свинчук О. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. Сучасні інформаційні системи. № 5(4). 2021. С. 17–25.
14. Valerii Shvaiko, Olena Bandurka, Vadym Shpuryk, Yevhen V. Havrylko. Methods for detecting fires in ecosystems using low-resolution space images. *Informatics, Control, Measurement in economy and Environmental Protection*. Poland, 2021. Vol. 1. P. 15-19.

References

1. Ghnatushenko V.V., Shedlovsjka Ja.I., (2017), "Calculation of image properties for comparison of satellite images of high spatial resolution". *Suchasni problemy modeljuvannja*, 10. P. 51–58.

2. Krasylenko V.Gh., Jackovsjka V.Gh., Jackovsjkyj V.I., (2017), "Modeling of methods of recognition and classification of fragments of color images of agricultural lands at their remote monitoring". *Systemy obrobky informaciji*, 5 (151). S. 55–61.
3. Myronjuk V.V, Bilous A.M., (2017), "Coherence of forest area estimates according to the global map of forest cover changes and multispectral satellite images". *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy*. 27(5). P. 38–42.
4. Kim J., Kim T., Shin D., Kim S., (2017), "Fast and Robust Geometric Correction for Mosaicking UAV Images with Narrow Overlaps". *International Journal of Remote Sensing*, 37 (8–10). P. 2557–2576.
5. Ghnatushenko V. V., Shedlovsjka Ja. I., (2018), "Thematic classification of satellite images of high spatial resolution". *Visnyk Khersonsjkogho nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu*, 2, № 3(66). P. 130–136.
6. Zoka M., Psomiadis E., Dercas N., (2018), "The complementary use of optical and SAR data in monitoring flood events and their effects". *Proceedings*, 2. 644 (8 pages).
7. Dadhich G., Miyazaki H., Babel M., (2019), "Applications of Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery for floods damage assessment: a case study of Nakhon SI Thammarat, Thailand. *The International Archives of the Photogrammetry*". *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13. P. 1927–1931.
8. Sabri A., Siham A., Abdellah A., (2019), "A multiscale based approach for automatic shadow detection and removal in natural images". *Multimedia Tools and Applications*. *Multimedia Tools and Applications*, 78 (9). P. 11263–11275.
9. Chajkovsjkyj O.Gh., Karabchuk D.Ju., Ivanjuk A.P., (2019), "Changes in the forest cover of the Ukrainian Carpathians for the period 1984–2016". *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy*, 29 (2). P. 9–14.
10. Chaskovsjkyj O.Gh., Ghrynyk Gh.Gh., (2020), "Estimation of forest cover losses in the Ukrainian Carpathians by remote sensing methods based on materials from open sources of satellite information". *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy*, 30 (1). P. 66–73.
11. Mykytchyn O., Ivanov Je., Malanjak U., (2021) "Geospatial analysis of forest lands in the foothills and lowlands of the Ukrainian Carpathians (on the example of Drohobych district of Lviv region) ". *Problemy gheomorfologhiji i paleogheoghrafiji Ukrajinjsjkykh Karpat i prylehlykh terytorij*, 1 (12). P. 39–50.
12. Bilynsjkyj J.J., Knysh B.P., Kulyk Ja.A., (2020), "Processing and use of multispectral monitoring images". *Naukovi praci VNTU*, 4. P. 1–11.
13. Barabash O., Bandurka O., Shpuryk V., Svynchuk O., (2021), "Geodata analysis information system for tracking vegetation changes", 5(4) P. 17–25.
14. Valerii Shvaiko, Olena Bandurka, Vadym Shpuryk, Yevhen V. Havrylko, (2021), "Methods for detecting fires in ecosystems using low-resolution space images". *Informatics, Control, Measurement in economy and Environmental Protection*. Poland, 1. P. 15-19.