Інститут агроекології і природокористування
НААН України

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИЯВЛЕННЯ ПОШИРЕННЯ ОСЕРЕДКІВ УСИХАННЯ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВНАСЛІДОК УРАЖЕННЯ ВЕРХІВКОВИМ КОРОЇДОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Київ – 2019

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

Інститут агроекології і природокористування

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИЯВЛЕННЯ ПОШИРЕННЯ ОСЕРЕДКІВ УСИХАННЯ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВНАСЛІДОК УРАЖЕННЯ ВЕРХІВКОВИМ КОРОЇДОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Київ – 2019

УДК 631.95: 632.08

Методичні рекомендації з виявлення поширення осередків усихання лісових насаджень внаслідок ураження верхівковим короїдом за допомогою методів дистанційного зондування – К., 2019. – 16 с.

Для виявлення пошкоджених лісових масивів та осередків всихання сосни звичайної (Pinus sylvestris), зокрема внаслідок ураження верхівковим короїдом, досить ефективно можуть бути застосовані методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Найбільш оптимальним методом моніторингу ушкоджених шкідниками лісових масивів упродовж сезону вегетації є застосування даних супутникової зйомки з середнім та високим просторовим розрізненням, до яких належать знімки супутників Landsat-8 (15-30 м) та Sentinel-2 (10 м). Ці супутникові системи здійснюють великий обсяг мультиспектральної зйомки упродовж року, формуючи багаторазове покриття території дослідження. Розроблено методику автоматизованого дешифрування супутникових знімків для виявлення осередків усихання лісових насаджень сосни звичайної внаслідок ураження верхівковим короїдом на прикладі лісових господарств Житомирського Полісся. Застосування цієї методики дозволяє здійснювати моніторинг стану соснових насаджень, виявляти на ранньому етапі осередки верхівкового короїду, визначати площі ураження та оперативно планувати лісосанітарні заходи. Це дозволєя зменшити втрати соснових насаджень та деревини унаслідок поширення кризових явищ, зокрема верхівкового короїду.

Рекомендації можуть бути використані в навчальному процесі при викладанні навчальних курсів "Радіоекологія в агросфері" та "Радіоекологія в біосфері" студентам освітньо-кваліфікаційних рівнів "Магістр" та "Доктор філософії".

Автори:

В.П. Ландін, д.с.-г.н., с.н.с

Т.Л. Кучма, к.с.-г.н.

І.К. Швиденко, к.с.-г.н.

Л.А. Райчук, к. с.-г. н.

М.С. Уманський

В.В. Гуреля, к.с.-г.н.

М.Ю. Тараріко, к.екон.н.

В.Л. Соломко

В.П. Фещенко

Рецензенти:

О.Г. Тараріко – доктор с.-г. наук, головний науковий співробітник Інституту агроекології і природокористування НААН

О.В. Томченко – к.т.н., науковий співробітник ДУ «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України»

Розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради

Інституту агроекології та природокористування НААН

(протокол № 9 від 28 жовтня 2019 р.)

© 2019 Інститут агроекології і природокористування НААН

Зміст

Вступ……..……...…. 4

1. Обґрунтування оптимального методу дистанційного зондування для моніторингу динаміки усихання лісових насаджень……. 4
2. Створення картографічної основи…….……. 8
3. Завантаження та попередня обробка супутникових знімків…..... 8
4. Аналіз спектральних властивостей пошкоджених ділянок лісу……. 9
5. Формування бази даних еталонів для автоматизованої класифікації знімків…… 10
6. Автоматизована класифікація супутникового зображення для виділення зон усихання сосни…….. 12

Висновки…….……. 14

Список використаних джерел…… 15

Вступ

До основних ознак сучасного погіршення стану лісів України, як і Європи в цілому, належать масове всихання деревостанів, збільшення в лісових насадженнях осередків шкідливих комах і вогнищ грибкових захворювань, послаблення гомеостатичних зв'язків між окремими компонентами лісових ценозів тощо. Площа лісів, які потребують негайних заходів боротьби з хворобами та шкідниками перевищила 370 тис. га (понад 6% земель вкритих лісом).

Масове захворювання сосни звичайної може бути зумовлене складним комплексом факторів. Розвиток вогнищ стовбурових шкідників відбувається на фоні зниження стійкості насаджень під впливом тих чи інших факторів зовнішнього середовища. У насадженнях з порушеною стійкістю стовбурові шкідники, в свою чергу, стають додатковими факторами негативного впливу і часто причиною повного або часткового порушення і загибелі насаджень.

Верхівковий короїд Ips acuminatus (Gyllenhal, 1827: Curculionidae, Scolytinae) є одним із найбільш помітних чинників всихання соснових лісів України в останні роки. Він першим заселяє насадження ослаблені будь-якими чинниками, та розвивається у декількох поколіннях на рік. Заселені цим видом дерева приваблювали менш агресивних шкідників (Борисенко, 2018). Загалом в Україні площа всихання лісів із участю короїдів перевищує 100 тис. га.

У таких умовах надзвичайно актуальною стає розробка методів своєчасного виявлення та моніторингу розвитку кризових явищ, зокрема поширення шкідників і хвороб, та визначення площ ушкодження деревостою за допомогою даних дистанційного зондування.

1. Обґрунтування оптимального методу дистанційного зондування для моніторингу динаміки усихання лісових насаджень

У результаті огляду літератури, відомчих матеріалів та результатів проведених досліджень були проаналізовані особливості фенології та лісопаталогічних процесів лісонасаджень півночі Житомирської області з особливою увагою до причин, факторів та проявів активізації всихання соснових насаджень. Також досліджувався зв’язок між способом життя та життєдіяльністю шкідливих комах, зокрема верхівкового короїду, та фазами вегетації лісових насаджень. Виявлені особливості були враховані при виборі оптимального методу дослідження.

Короїди — перші ксилофаги, що атакують дерево, мають високу репродуктивну здатність, розвиваються швидко, здатні раптово розвивати спалахи, і їм рідко заважають інші ксилофаги, що заселюють дерево пізніше. Весняні спроби заселення

дерев короїдами ефективніші, ніж літні або осінні, тому що в цей час відбувається найбільш інтенсивний ріст дерева, а для виконання захисних функцій залишається менше енергетичних ресурсів. Водночас, фізіологічна шкідливість визначається спроможністю комах заселяти життєздатні дерева, пошкоджувати їх при додатковому живленні та переносити збудників хвороб. Деякі комахи, які завдають незначну шкоду деревам, заселяючи тонкі гілки, водночас посилюють негативну дію, переносячи збудників хвороб при додатковому живленні або при заселенні дерев.

Дослідження Мєшкової В.Л. (2013) вказують на те, що навіть небезпечні види комах завдають шкоди переважно в осередках масового розмноження. Після одночасного ослаблення або пошкодження деревостану пожежею, вітром, а також на межі із суцільними зрубами чисельність шкідливих стовбурових комах швидко зростає, їх потомство розлітається у навколишні насадження, де неспроможне заселити здорові дерева, і через 2-3 роки осередок згасає. А от в умовах хронічного ослаблення або пошкодження деревостану (кореневою губкою, промисловими емісіями тощо) чисельність стовбурових комах порівняно невисока, але залишається майже незмінною протягом тривалого часу.

При вилученні всихаючих дерев і сухостою в осередках масового розмноження стовбурових комах відбувається різке освітлення здорових дерев, нагрівання їх стовбурів. Це призводить до ослаблення дерев, збільшення принадності для шкідливих комах, зменшення стійкості до дії вітру. Цей процес триває, аж поки не виникає необхідність у проведенні суцільної рубки.

Заселення дерев стовбуровими комахами та відмирання цих дерев можуть відбуватися за декількома типами. У випадках ураження дерев кореневими гнилями, пошкодження низовими пожежами, коливання ґрунтових вод, сильного ущільнення ґрунту ослаблення дерев починається з нижньої частини дерева і поширюється вгору, а крони деякий час залишаються живими. Такі дерева заселяють короїд-стенограф, великий сосновий лубоїд, синя соснова златка.

У випадку пошкодження крон дерев комахами-хвоєлистогризами, а також сосновими лубоїдами й вусачами при додатковому живленні, сніголамом, хворобами хвої та гілок заселення й відмирання дерев починається в районі тонкої кори. Такі дерева заселяють жердинниковий смолюх, верхівковий короїд, малий сосновий лубоїд.

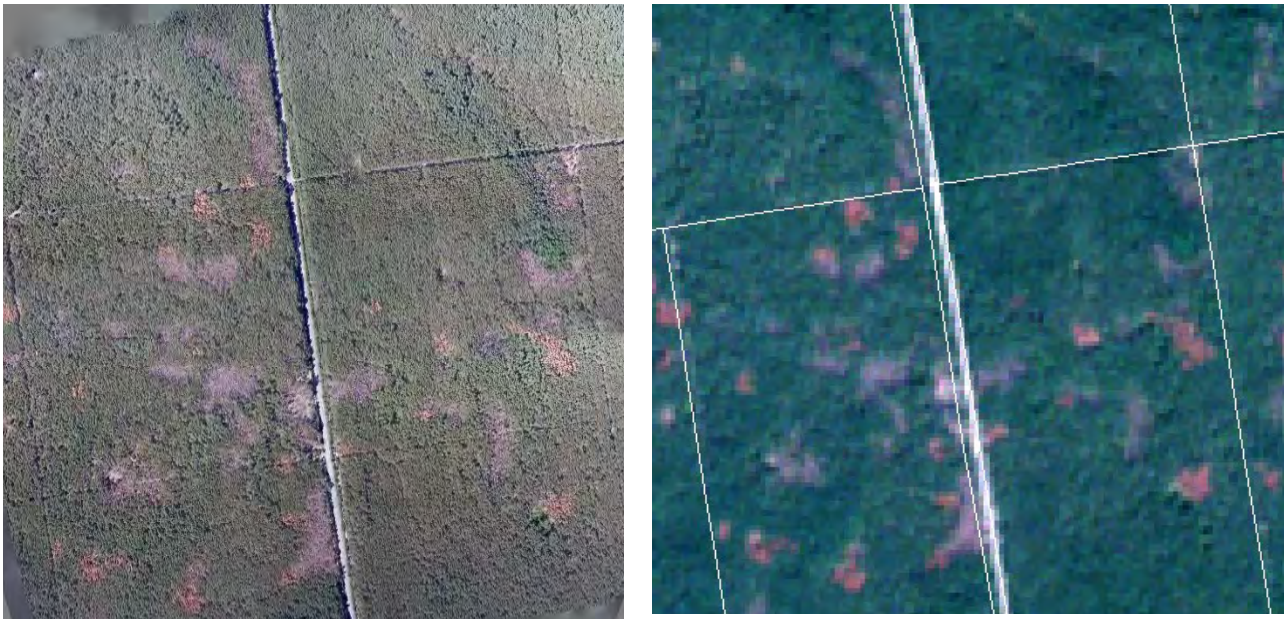
Методи моніторингу поширення шкідників мають бути основані на відомостях про особливості сезонного розвитку найбільш небезпечних видів, а саме щодо термінів можливого заселення ними дерев і вильоту молодого покоління. Відведення у рубку дерев має проводитися після заселення їх стовбуровими комахами, а

вирубання дерев - до вильоту дорослих особин (у випадку заселення короїдами) і до заглиблення личинок у деревину (у випадку заселення вусачами та златками).

Свіжозаселені стовбуровими шкідниками дерева розпізнають за станом крон, за наявністю бурового борошна біля основи стовбурів, за насічками вусачів та за слідами діяльності птахів. Дерева, які всихають із верхівок, розпізнають за матовим відтінком крони й осипанням хвої.

Рис. 1. Виявлення уражених шкідниками дерев при наземному обстеженні

Для виявлення пошкоджених лісових масивів та осередків всихання сосни, зокрема внаслідок ураження верхівковим короїдом, досить ефективно можуть бути застосовані методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Зокрема застосовують такі методи ДЗЗ: авіаційна і космозйомка, аеровізуальне обстеження, лідарна зйомка. На рис. 2 показано приклад порівняння зйомки території квадрокоптером та супутником Sentinel-2 у межах Народицького лісництва Житомирської області.



а б

Рис. 2. Прояв уражених соснових насаджень на аерокомічних зображеннях: а) зйомка квадрокомтером, б) супутникова зйомка Sentinel-2 (сосни, що всихають виділяються у вигляді червоних плям)

На отриманому ортофотоплані та супутниковому зображенні можна побачити сірі та руді плями лісу. «Сірий» ліс – це раніше уражені короїдом дерева, які вже втратили хвою. Як правило це ділянки усихання сосни минулого року. А «рудий» ліс – це дерева, які тільки зазнали ураження однак вже почали всихати, про що свідчить відмерла хвоя з рудим забарвленням.

Для виконання лісотаксаційних робіт найчастіше застосовують аеровізуальне обстеження. Перевагою візуального методу є відносно низька вартість та можливість виявлення навіть окремих уражених дерев (Крилов, 2011; Маслов, 2006). Недоліком є висока трудоємність та ймовірність пропуску пошкоджених ділянок за необхідності обстеження великої території.

Застосування обстеження за допомогою безпілотних літальних апаратів дозволяє суттєво знизити витрати робочого часу, охоплювати великі території одразу та зменшити можливість пропуску певних масивів лісу, однак часто виникають складнощі з визначенням точних площ уражених лісових масивів через складність географічної прив’язки та геометричної корекції матеріалів зйомки.

Дешифрування матеріалів аерофотозйомки, у тому числі лідарної, забезпечує високу точності та деталізацію, однак через високу вартість такого методу низькою є частота обстеження, що не дозволяє ефективно відстежувати виникнення нових осередків шкідників упродовж сезону вегетації.

Застосування супутникової зйомки з надвисоким просторовим розрізненням (краще 1 метра) дозволяє отримати результати з високою точністю дешифрування.

Наприклад, White (2015) використовуючи знімки супутника Ikonos, отримав точність оцінки площ всихання хвойних дерев на рівні 71% у випадку низького рівня ураження шкідниками, та 92% у випадку високого ступеня ураження шкідниками лісового масиву. Однак дані ДЗЗ з надвисоким просторовим розрізненням не можуть забезпечити необхідну оперативність та частоту зйомки через їх технічні особливості та високу вартість. Ще одним суттєвим недоліком цих даних є низьке спектральне розрізнення, що ускладнює завдання автоматизованого дешифрування знімків.

З огляду на викладене вище найбільш оптимальним методом моніторингу ушкоджених шкідниками лісових масивів упродовж сезону вегетації є застосування даних супутникової зйомки з середнім та високим просторовим розрізненням (10-30 метрів). До таких видів зйомки належать знімки супутників Landsat-8 (15-30 м), та Sentinel-2 (10 м). Ці супутникові системи здійснюють великий обсяг мультиспектральної зйомки упродовж року, формуючи багаторазове покриття території дослідження. Ефективність застосування цих знімків для виявлення пошкоджених шкідниками хвойних лісових масивів підтверджується численними науковими дослідженнями (Coggins et al, 2008). Оскільки просторове розрізнення супутникових даних Sentinel-2 є вищим ніж у даних Landsat-8 у якості базових матеріалів для моніторингу доцільно застосовувати дані Sentinel-2.

2. Створення картографічної основи

Для створення картографічної основи території дослідження необхідно виконати збір тематичних картографічних матеріалів. Як базову картографічну основу доцільно використати топографічні карти території дослідження у масштабі не гірше ніж 1:100 000. За наявності у відповідному лісовому господарстві мають бути отримані електронні карти з межами лісництв та квартальною сіткою. Для збереження даних у одному форматі, наявні електроні карти доцільно конвертовати у формат *.shp. У випадку відсутності електронних карт, межі лісництв та кварталів мають бути оцифровані вручну на основі відсканованих та геоприв’язаних парерових карто-схем лісонасаджень та/або карт протипожежного упорядкування у масштабі не гірше ніж 1:50 000 з нанесеними межами лісництв та квартальною сіткою.

3. Завантаження та попередня обробка супутникових знімків

Дані супутникової зйомки Sentinel-2 Європейського космічного агенства, які доцільно використовувати як базові для дистанційного моніторингу стану лісових масивів, доступні для завантаження за допомогою каталогу даних Sentinel Hub EO Browser (https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser). Наразі на орбіті працює два супутника серії Sentinel-2 (Sentinel-2A, який було запущено у червні 2015 року, та

Sentinel-2B, запущений у березні 2017 року), що дозволяє отримувати безхмарне супутникове зображення території дослідження щоп'ять днів, за умови низької хмарності. Для ефективного моніторингу динаміки поширення шкідників доцільно завантажувати серії доступних безхмарних супутникових знімків за сезон вегетації цього та попереднього року.

При завантаженні супутникових знімків Sentinel-2 з каталогу Європейського космічного агенства кожен канал знімку зберігається як окремий растровий файл, тому на першому етапі обробки даних потрібно виконати синтез (злиття) каналів для кожної сцени зйомки з урахування спектральних властивостей пошкоджених ділянок лісу. Далі потірбно зробити обрізку знімків по контурах зони дослідження, атмосферну корекцію та фільтрацію хмар. Попередню обробку даних можна виконувати за допомогою відкритого програмного забезпечення, розробленого Європейським космічним агентством – SNAP ESA (https://step.esa.int/main/toolboxes/snap), або за допомогою програмного коду у середовищі GoogleEarthEngine (https://earthengine.google.com/).

4. Аналіз спектральних властивостей пошкоджених ділянок лісу

Основною перевагою застовування методів дистанційного зондування для виявлення пошкоджених ділянок лісу є те можливість виявлення змін у характері взаємодії наземних об'єктів з електромагнітним випромінюванням на різній довжині хвиль (у різних спектральних діапазонах).

Спектральний коефіцієнт яскравості (СКЯ), що формує значення пікселю супутникового знімку є складною комбінацією відбитого випромінювання від крон дерев, крон 2-го ярусу, підросту, підліску, живого надґрунтового покриву, ґрунту, а також тіні сусідніх дерев. Загалом спектральною особливістю рослинності є відносно невисоке значення відбиття у червоній частині спектру та високе відбиття у ближній інфрачервоній частині спектру. При пошкоджені рослинності та зниження їх фотосинтетичної активності відбиття у червоному каналі збільшується, а в інфрачервоному відповідно знижується. Окрім того значно збільшується відбиття у середньому інфрачервоному каналі, що пов'язано зі зниженням вмісту вологи у пошкоджених деревах. Отже, при пошкоджені дерев, особливо у випадку ураження верхівковим короїдом, змінюється відбиваюча здатність крони сосни, зменшується вклад верхньої крони у спектральний коефіцієнт яскравості та збільшується вплив ґрунту, підросту, підліску та надґрунтового покриву (Крилов, 2011).

При використанні мультиспектральних супутникових даних високого та середного просторового розрізнення, зокрема для моніторингу уражених шкідниками ділянок лісу, необхідно враховувати, що крона окремого дерева займає на таких

знімках менше одного пікселю, що суттєво ускладнює виділення окремих відмерлих дерев.

Варто також відзначити, що окрім відмирання дерев, зміну у спектральній відбиваючій здатності ділянок лісу упродовж вегетаційного періоду спричинює зміна фенологічних фаз, вологість ґрунту, вміст вологи у рослинності та ін. При аналізі набору супутникових даних за один рік було виявлено, що ушкоджені дерева на території дослідження ідентифікуються найкраще за період з липня до серпня та проявляються на знімках до початку грудня. З січня до червня якість дешифрування пошкоджених лісових масивів знижується.

На прикладі території ДП «Народицьке лісове господарство» досліджували зміну спектральних характеристик лісового покриву при пошкоджені шкідниками (рис.3).

Рис. 3 Порівняння СКЯ для здорових та уражених шкідниками ділянок лісу у різних спектральних каналах Sentinel-2

Як видно з рис. 3 найбільша відмінність між інтенсивністю відбиття електромагнітного випромінювання для здорових ділянок лісу та уражених шкідниками фіксується у каналах B4 та B10. Помітна також різния у каналах B5, B7 та B12. Відповідно ці канали супутникового знімку Sentinel-2 мають використовуватися для синтезу та автоматизованого дешифрування пошкоджених шкідниками дерев.

5. Формування бази даних еталонів для автоматизованої класифікації зображень

З метою формування бази даних еталонів для автоматизованого дешифрування супутникових знімків виконується маршрутне обстеження поширення патологічних процесів у лісах. Також можуть бути використані додаткові матеріали, зокрема наявні дані аерофотозйомки лісів чи матеріали зйомки безпілотним літальним апаратом (рис 4). Аерофотозйомка безпілотним літальним апаратом має виконуватися за сприятливих погодних умов: малохмарне небо, видимість – необмежена. Завдяки програмному забезпеченню БЛА до кожного знімку присвоюються геокоординати місцезнаходження БЛА в момент фотофіксації. Фотознімки записуються на цифровий носій у форматі JPEG.

Рис. 4. Результати аерофотозйомки безпілотним літальним апаратом, липень 2018р.

Варто відзначити, що за спектральними характеристиками, ділянки відмерлих дерев є близькими до вирубок, згарищ а також деяких сільськогосподарських культур. Відмежування таких ділянок виконуються шляхом застосування контуру меж кварталів, однак складнощі виникають на суміжних ділянках з незалісненими зонами. Оскільки контур кварталів часто не співпадає з межами пікселів знімку, відбувається змішання спектральних властивостей межуючих ділянок. Ця проблема могла б бути вирішена шляхом виключення граничних пікселів з розрахунків, однак таким чином виникне проблема пропуску багатьох осередків всихання, оскільки

поширення осередків короїду часто спостерігається на граничних ділянках. Тому такі помилки повинні бути виключені на етапі наземної верифікації результатів дешифрування.

6. Автоматизована класифікація супутникового зображення для виділення зон усихання сосни

Застосування методу автоматизованого дешифрування вимагає з одного боку значного часу для підбору необхідного алгоритму та його параметрів та достатньо великої навчальної вибірки і наземної верифікації результатів, однак цей метод має більшу ефективність та стабільність результатів (Крилов, 2011).

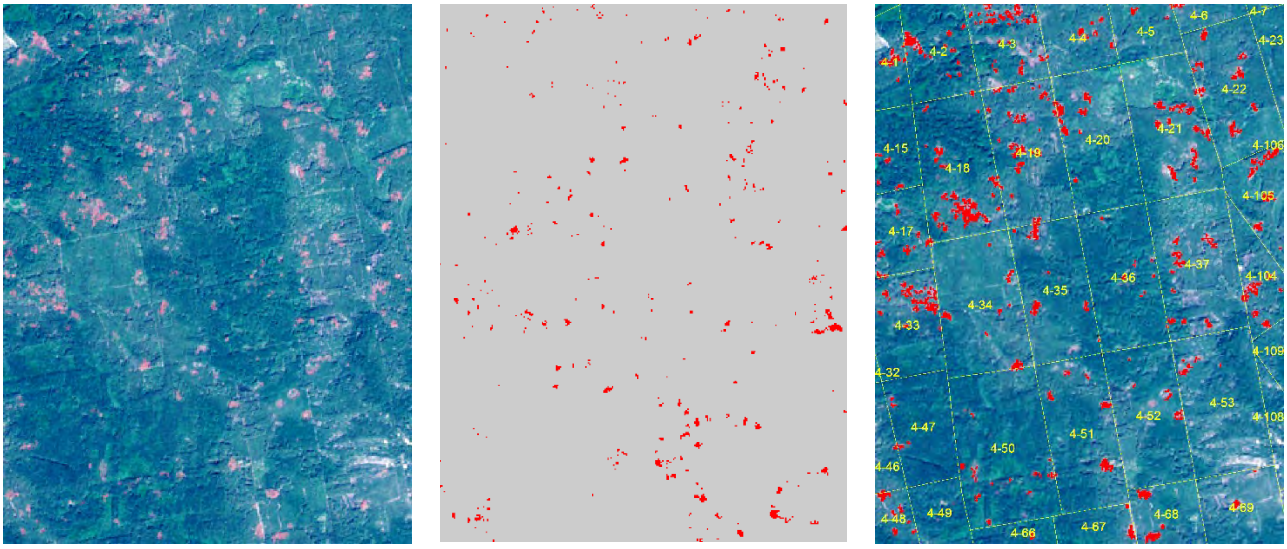
При автоматизованому дешифруванні супутникових зображень застосовують різні алгоритми комп'ютерної класифікації зображень. Для вибору найкращого алгоритму автоматизованого дешифрування знімків Sentinel-2 для території дослідження у межах Народицького лісництва у Житомирській області було протестовано такі найбільш поширені алгоритми класифікації:

- Метод максимальної подібності (Maximum Likelihood Classification)
- Кластерна класифікація без навчання (Iso Cluster Unsupervised Classification)
- Імовірність класу (Class Probability)
- Основний аналіз компонентів (Principal Component Analysis)
- Класифікація Random Forest
- Метод опорних векторів (Support Vector Machine Classifier)

На прикладі території ДП «Народицьке лісове господарство» кожен з цих методів було протестовано для знімків з різною комбінацією каналів, і найвища точність класифікації була отримана при застосуванні методу максимальної подібності з синтезом каналів 2,4,7,11 для супутникових знімків Sentinel-2.

Метод автоматизованої класифікації зображення за максимальної подібності полягає у тому, що спочатку потрібно вибрати еталонні об'єкти, тобто виділити місця, де точно відомо, що там знаходяться уражені шкідниками дерева (отримані у результаті маршрутного обстеження, зйомки БЛА та аерофотознімків), і далі, використовуючи цей набір еталонів, автоматично виділити схожі за спектральними характеристиками ділянки лісу на супутниковому знімку.

Для класифікації використали модуль Напівавтоматична класифікація в QGIS (Semi-Automatic Clssification Plugin for QGIS). У результаті на основі кожного знімку створюється растрове зображення з виділеними всохлими деревами, які автоматично можуть бути конвертовані у векторний формат (рис. 5).



а б в

Рис. 5. Класифікація супутниково знімку Sentinel-2 для виявлення осередків усихання сосни внаслідок ураження короїдом: а) вихідний знімок Sentinel-2 за 30 липня 2017р.; б) растровий файл з результатом класифікації методом найбільшої подібності; в) супутниковий знімок Sentinel-2 з векторним шаром виділених осередків усихання сосни (червоний колір) та квартальною сіткою (жовтий колір).

Отже, для того, щоб легко можна було порахувати площі та кількість уражень у межах лісових кварталів і планувати санітарні заходи, результати дешифрування, що отримані у растровому форматі, конвертуються у векторний формат (*.shp), що являє собою набір полігональних об’єктів з осередками всихання дерев.

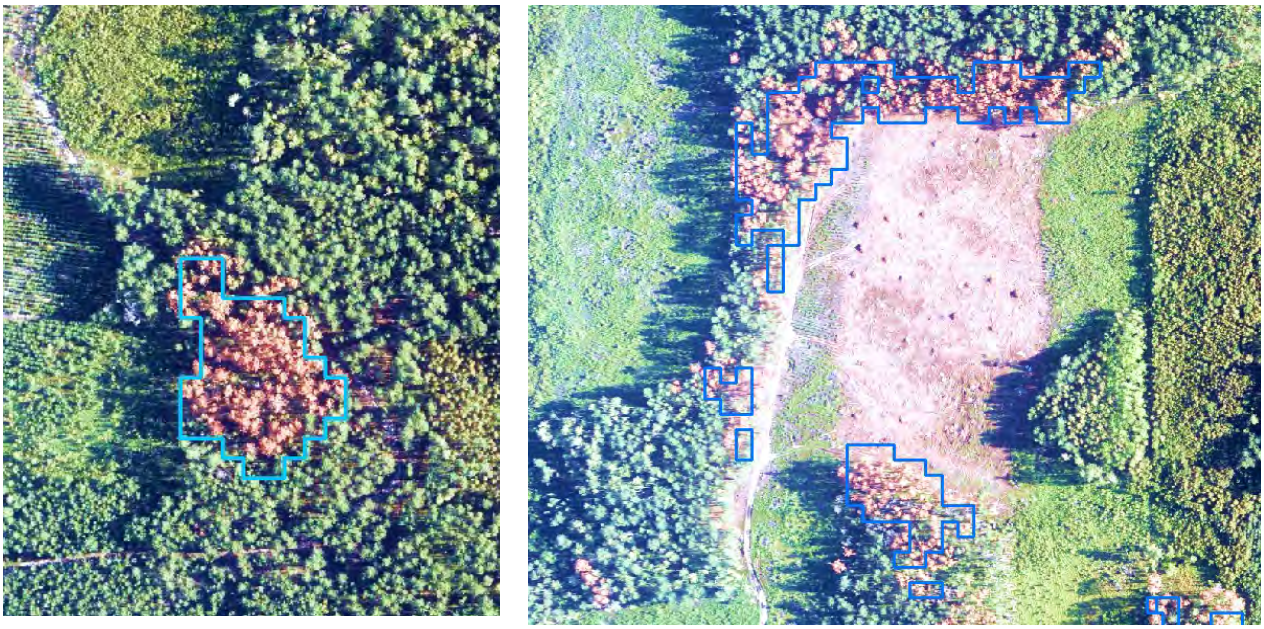


Рис. 6. Порівняння даних аерофотозйомки та результатів автоматизованох класифікації супутникових знімків Sentinel-2 (полігони, виділені синім контуром)

Порівняння даних аерофотозйомки та результатів автоматизованох класифікації супутникових знімків Sentinel-2 (рис. 6) засвідчує досить високу достовірність виявлення осередків всихання сосни на супутниковому знімку, зокрема кількість, розташування, форму та площу осередків всихання дерев, з урахуванням просторового розрізнення супутникових знімків Sentinel-2 (розмір пікселю 10 м).

Висновки

Для виявлення пошкоджених лісових масивів внаслідок ураження верхівковим короїдом та осередків всихання сосни у зоні Полісся, ефективно можуть бути застосовувати дані супутникової зйомки з середнім та високим просторовим розрізненням, зокрема супутникові знімки Landsat-8 (15-30 м), та Sentinel-2 (10 м), зроблені у період з липня до серпня.

Алгоритм автоматизованого дешифрування осередків всихання сосни, пошкоджених шкідникам складається з наступних етапів: створення картографічної основи, маршрутне обстеження для формування бази даних еталонних об’єктів з пошкодженими шкідниками деревами та класифікація зображення з подальшою векторизацією.

Підтверджена висока достовірніть автоматизованої класифікації супутникових зображень для виявлення осередків усихання сосни методом максимальної подібності модуля Напівавтоматична класифікація в QGIS (Semi-Automatic Clssification Plugin for QGIS).

Список використаних джерел

1. Букша И. Ф. Динамика состояния дубрав по данным мониторинга лесов Украины / И. Ф. Букша, О. Н. Радченко // Тез. докл. междун. конф. - 1998. - С. 352-355.
2. Вакулюк П. Г. Лісовідновлення та лісорозведення в Україні / П. Г. Вакулюк, В. І. Самоплавський. ~ Харків : Прапор, 2006. - 384 с.
3. Голубець М. А. Сучасні проблеми лісознавства, лісівництва та лісового господарства / М. А. Голубець // Наукові праці ЛАНУ. - Львів : НУ «Львівська Політехніка», 2003. — Вип. 2. - С. 20-26.
4. Дані Державної екологічної інспекції у Житомирській області [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.dei.zt.ua/dovkillia/
5. Довідник із захисту лісу / під ред. В. П. Краснова. - Київ : Видави, дім «ЕКО-інформ», 2011. — 528 с.
6. Крылов А.М., Владимирова Н.А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки / А.М. Крылов, Н.А. Владимирова // Геоматика. – 2011. - №3. – С. 53-57.
7. Лісове господарство України. ДКЛГ України. - Київ : Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2005. — 48 с.
8. Малиновський А. С. Древлянський природний заповідник, його місце в мережі природно-заповідного фонду України та актуальні завдання наукових досліджень на його території / А. С. Малиновський, О. О. Орлов, І. Г. Грабар // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 1. – С. 19–36.
9. Маурер В. М. Лісовідновлення на засадах екологічно орієнтованого лісівництва як основа біологічної стійкості лісів / В. М. Маурер, Ю. О. Колодій // Науковий вісник НАУ. Захист лісу. — Київ, 2005. — Вип. 83 - С. 52-58.
10. Мешкова В. Л. Офиостомовые грибы, переносимые короедами- корнежилами в сосновых культурах Левобережной Украины / В. Л. Мешкова, Е. В. Давиденко // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — Санкт-Петербург, 2012. — Вып. 200. — С. 106- 113.
11. Мешкова В. Л. Наукові й виробничі проблеми захисту лісу / В. Л. Мешкова // Наук, вісник НУБІП України. Лісове та садово-паркове господарство. — Київ : ЦП «Компринт», 2012. — № 2. — С. 96-114.
12. Молотков П. І. Нові матеріали про всихання рівнинних насаджень / П. І. Молотков // Питання екології гірських лісів Карпат. — Київ Держсільгоспвидав, 1963. — Т. 3. — с. 39-56.
13. Молчанов А. А. Причины ухудшения состояния дубрав / А. А. Молчанов // О мерах по улучшению состояния дубрав в европейской части РСФСР. — Пушкино, 1972. — с. 94-99.
14. Падій М. М. Лісова ентомологія / М. М. Надій — Київ : УСГА, 1993. — 283 с.
15. **Санітарні правила в лісах України (затверджено постановою КМУ від**
1. **27.07.1995 р., № 555). [Електронний ресурс]. Режим доступу:**
2. **http ://zakon2. rada. gov.ua/laws/show/555-95**
16. **Струтинський О. В Сучасний лісопатологічний стан лісових культур Житомирщини / О. В. Струтинський // «Ліси Житомирщини - проблеми і** шляхи вирішення» : матер, наук.-практ. конференції. - Житомир, 2005. - **С.** 49-51.
17. A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using the area-based approach / Joanne C. White, Michael A. Wulder, Andrés Varhola, Mikko Vastaranta, Nicholas C. Coops, Bruce D. Cook, Doug Pitt, Murray Woods // Natural Resources Canada Canadian Forest ServiceCanadian Wood Fibre Centre, 2013. – 50ср.
18. Amlid D. Forest decline in Norway: monitoring results, international links and

hypotheses / D. Amlid, K. Venn, O. Stuanes // Narw. J. Agr. Sci. - 1990. - Suppl. 4.-P. 1-27.
19. Ashmore M. R. Air pollution and forest decline in developing countries / M. R. Ashmore // Dev. Ecol., 15 th Int. Bot. Congr. (Aug.-Sept. 3, 1993). - Yokogama, 1993.-P. 59.
20. Echardt L. G. Pine decline in the south-eastern Unated States and the involvement of bark beetles and ophiostamoid fungi / L. G. Echardt, R. D. Menard // Intern. Workshop "The ophiostamoid fungi: expanding frontiers". - Brisbane, 2006. - P. 7.
21. Forest Healt Monitoring, Field Methods Guide. — USDA Forest Servise, 1995. -
22. **Griffin H. D. The genus *Ceratocystis* in Ontario / H. D. Griffin // Can. J. of Botany. - 1968. - Vol. 46, № 5- P. 689-718.**
23. **Kirisits T. Ecology and pathology of *Ceratocystis* species associated with conifer-infesting bark beetles / T. Kirisits, M. Marin, M. J. Wingfield, P. Krokene // Intern. Workshop "The ophiostamoid** fungi: **expanding frontiers". — Brisbane, 2006.-P. 9.**
24. **Peter Robert L. Effects of global warming on forest / Peter Robert L. // Forest Ecol. and manag. - 1990. - V. 35, № 1-2. -P. 13-33.**
25. **Slippers B. Population genetics of ophiostamoid fungi: complex reproductive systems, anthropogenic and insect spread, and epidemics / B. Slippers, M. J. Wingfield // Intern. Workshop "The ophiostamoid fungi: expanding frontiers". - Brisbane, 2006. -P. 5.**
26. **Wulder, M.A.; Hall, R.J.; Franklin, S.E. (2005). Remote sensing and GIS in forestry. Pages 351-356, Chapter 12 in S. Aronoff, editor. ESRI Press, Redlands, California**