

О. І. Бандурка, О. В. Свинчук

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

**Анотація.** Космічні методи стеження за лісовими пожежами допомагають виявляти їх на початковій стадії і забезпечують оперативне прийняття рішень, що сприяє подальшому здійсненню моніторингу та оцінюванню наслідків. Використання космічних даних для моніторингу пожежного стану дозволяє швидко й економічно отримувати об'єктивну і незалежну інформацію, щоб оперативно приймати рішення для боротьби зі стихією. У роботі розроблений метод ідентифікації пожеж з використанням космічних знімків низької роздільної здатності одержаних з супутників TERRA MODIS та NOAA AVHRR. Одним з проблемних аспектів у методі визначення пожеж є маскування хмар та води. Тому для ідентифікації «пожежних» пікселів важливо виключати з аналізу фрагменти знімків, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами. Алгоритм вимагає значного збільшення випромінювання в діапазоні 4 мк, а також відносного спостережуваного випромінювання в діапазоні 11 мк. Алгоритм досліджує кожен піксель сцени, якому в результаті присвоюється один з наступних класів: відсутні дані, хмара, вода, потенційно пожежні або невизначені. Пікселі хмар та водних об'єктів, що визначаються за допомогою методики маскування хмар і водних об'єктів, належать до класів хмар та води відповідно. Алгоритмом виявлення пожежі досліджуються лише ті пікселі земної поверхні, які віднесені до потенційно пожежних або невизначених. Метод був реалізований за допомогою інструменту візуального програмування Power Builder в середовищі системи обробки даних дистанційного зондування Землі Erdas Imaging. У результаті використання методу ідентифікації були виявлені пожежонебезпечні місця в Чорнобильській зоні відчуження. Використання методу супутникової ідентифікації пожеж має важливе значення для оперативного виявлення пожеж для віддалених лісових масивів, які слабо контролюються наземними методами моніторингу.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи космічні знімки, ідентифікація пожеж, «пожежний» піксель.

### Вступ

Пожежі є небезпечним явищем природного або техногенного характеру, які здатні неодноразово повторюватись на певній території. Їх відносять до екзогенних локально-катастрофічних чинників, що знищують природні біогеоценози (вигорання сотень тисяч гектарів лісу, тисячі тон сажі та золи, канцерогенні сполуки, що надходять до атмосфери). Найбільш складними і небезпечними є лісові пожежі, які призводять до катастрофічних наслідків в навколишньому природному середовищі Збільшення кількості й масштабів таких пожеж пов'язане з процесами глобального потепління, що має негативні наслідки для всієї планети. Особливо гостро ця проблема стоїть і в Україні. Щорічно на території країни фіксуються сотні лісових пожеж, внаслідок яких втрачається безцінний заповідний фонд, зникають ендемічні породи дерев, відбувається винищення біоти. Проблема пожеж останніми роками привертає до себе особливу увагу в контексті зростання впливу таких глобальних процесів, як зменшення площ лісів світу, втрата біорізноманіття, глобальні зміни клімату та зміни в землекористуванні. Це пов'язано з комплексністю й неоднозначністю впливу пожеж на ліси, довкілля та громади, що живуть біля лісів. Визначення площі лісу, де пройшла пожежа, є важливою складовою інформаційного забезпечення лісового господарства.

Україна має певний досвід оцінки таких пожеж. Розвиток технічних засобів, висока періодичність, оперативність і доступність матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дозволяють реалізувати задачі без застосування дорогих професійних апаратно-програмних комплексів, зокрема, для отримання

інформації про лісові екосистеми. Одним із способів розв'язання технічної задачі збору і оцінки інформації про лісові пожежі є дистанційне зондування Землі. Це спричинило активне застосування даних методів для отримання інформації про пожежі для вирішення згаданих задач в Україні. Постійний розвиток технічних засобів, висока періодичність надходження інформації, оперативність і доступність матеріалів ДЗЗ дозволяють продовжувати дослідження в цьому напрямку й вирішувати цікаві наукові задачі.

**Постановка завдання.** Космічні методи стеження за лісовими пожежами допомагають виявляти їх на початковій стадії і забезпечують оперативне прийняття рішень, що сприяє подальшому здійсненню моніторингу та оцінці наслідків. Використання космічних даних для моніторингу пожежного стану дозволяє швидко й економічно отримувати об'єктивну і незалежну інформацію, щоб оперативно приймати рішення для боротьби зі стихією. Використання космічних знімків дає можливість не тільки виявляти пожежі на деяких територіях, а й проводити їх первинну класифікацію за площею згорання, а використання багатоспектральних даних у різному поєднанні каналів знімання для спостереження за димовими полями забруднення, оцінювання області розповсюдження продуктів горіння.

Є два головних джерела даних про пожежну активність, які характеризуються специфічними підходами: активні вогнища горіння і пошкоджені пожежами площі територій. Проте підхід до детектування вогнищ характеризується певною кількістю обмежень і не може бути використаний для оцінювання просторового охоплення пошкоджених вогнем територій, зокрема через те, що в момент активного

горіння супутник часто не перебуває у точці, необхідній для детектування, або вона закрита від нього через хмарність. Тому виникає потреба в даних про пошкоджені пожежами території.

Несвоєчасне виявлення лісових пожеж призводить до серйозних наслідків у порушенні природного балансу екосистем. У зв'язку з цим моніторинг потенційно небезпечних ділянок полегшує завдання локалізації та гасіння пожеж на ранніх стадіях. На сучасному етапі досить перспективними є системи дистанційного моніторингу лісових пожеж. Інформація про стан земної поверхні, яка одержується з супутників щодня, широко використовується для оперативного моніторингу природних пожеж. При цьому можливості сучасних ГІС-технологій дозволяють об'єднати з космічними даними велику кількість іншої супутньої інформації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Детальний аналіз останніх досліджень і результатів досліджень вказує на те, що задача визначення пошкоджених пожежами територій за даними ДЗЗ має багато альтернативних методів розв'язання.

Особливий вклад в дану галузь зроблений вітчизняними та зарубіжними вченими, серед яких варто відмітити роботи Чандри А.М., Журавльової І.І., Криука С.Г., Вишнякова В.Ю., Ткачука П.А., Токара О.П., Griffiths P. та ін. [1-6]. Інтелектуальна система прогнозування лісових пожеж, принципи побудови системи та концепція її архітектури розглянута в роботі Берестенькової М.В. [7]. Методика розрахунку параметрів лісових пожеж як динамічних процесів на поверхні Землі з використанням даних космічного моніторингу розглянуті в роботах Коморевського В.С. та Доррера Г.А. [8]. Цікаві технічні рішення методом перерозподілу пропускну здатності на основі удосконаленої розширеної on/off моделі трафіку даних на вході критичної ділянки бездротової мережі передачі даних розглянуто в [9-10]. Також існує багато онлайн-сервісів моніторингу пожеж за даними дистанційного зондування, таких як FIRMS [2].

Для моніторингу територій, вражених пожежами на даний час використовують наступні супутникові системи:

1. Супутники Terra з встановленими спектр радіометрами MODIS;
2. Супутники LANDSAT/TM/ETM +;
3. Супутники NOAA/AVHRR.

Кожну супутникову систему доцільно використовувати для різних цілей. LANDSAT успішно застосовується для виявлення і контролю лісових пожеж, для виявлення впливу на лісові насадження шквалистих вітрів. NOAA і Terra має велике значення у виявленні осередків шкідливих організмів [3-4].

Об'єктивна і своєчасна інформація про наслідки пожеж необхідна для вирішення широкого класу прикладних завдань лісового господарства, включаючи планування охорони і захисту лісів, лісокористування та лісовідновлення, актуалізацію даних про лісові ресурси [11]. Дані про ступінь пошкодження лісів пожежами є невід'ємною складовою інформаційного забезпечення оцінок обсягів прямих і вторинних пірогенних емісій вуглекислого та інших газів

парникового ефекту в атмосферу, виконуваних в рамках зобов'язань країн за умовами Кіотського протоколу, а також наукових досліджень з проблем глобальних змін клімату і біосфери [1].

Останнім часом все частіше застосовуються супутникові зображення, що дозволяють суттєво підвищити повноту виявлення та точність визначення площі насаджень, що усихають, які становлять пожежонебезпеку, особливо в літній період, а також більш ефективно організувати наземну оцінку кількісних характеристик їх стану [12].

Можливість використання супутникових даних для оцінки ступеня пошкодження лісів пожежами відзначалася багатьма дослідниками. Результати досліджень, зокрема, продемонстрували наявність кореляції між показниками ступеня пошкодження і значеннями коефіцієнта відображення в середньому інфрачервоному каналі, нормалізованого різницевого вегетаційного індексу NDVI і ряду інших вегетаційних індексів [13], одержуваних на основі супутникових зображень. Була відзначена також доцільність комбінованого використання різночасових супутникових даних, отриманих до і після пожежі [14]. При цьому більшість досліджень до теперішнього часу носило локальний характер, виконуючись на невеликих територіях, часто обмежених окремими пожежами.

Сучасні автоматичні технології супутникового моніторингу забезпечують фактично безперервне виявлення та оцінку площі ушкодження лісів пожежами на основі комплексного використання даних MODIS і Landsat-TM / ETM + [16]. Застосування супутникових систем стало можливим завдяки використанню апаратів, що вловлюють світлові промені різних спектрів, у тому числі інфрачервоних [17].

Аерокосмічний моніторинг дозволяє отримувати найсвіжішу інформацію, що є важливою для проведення ситуаційного аналізу з метою вироблення оптимального рішення. Ці дані є основою для створення актуальних топографічних і тематичних карт, і, насправді, є первинним джерелом всієї сучасної картографічної інформації. Більш того, сучасні технології аерокосмічного моніторингу, дистанційного зондування та комп'ютерної обробки ДДЗ істотно перевершують можливості традиційних паперових карт як щодо змісту, так і щодо різноманітності методів візуалізації. За оцінками експертів, в найближчому майбутньому ДЗЗ стануть основним джерелом інформації для ГІС, в той час як традиційні карти будуть використовуватися тільки на початковому етапі в якості джерела статичної інформації (рельєф, гідрографія, основні дороги, населені пункти, адміністративний поділ). Можна також додати, що практично весь комп'ютерний географічний аналіз виконується з поданням даних в растровій формі, яка властива ДЗЗ [3].

У даному дослідженні використовувались космічні знімки NOAA-AVHRR, які є затребуваними національними пожежними службами багатьох країн (США, Канада, Бразилія) і вже довгий час використовуються для ідентифікації пожеж та оцінки їх наслідків. Незважаючи на те, що роздільна здатність

цих знімків відносно невелика – 1100 м, слідування за зміною теплового випромінювання від пікселя дозволяє ідентифікувати навіть лісові пожежі невеликої площі (від 3 га) та точкові джерела вогню високої температури. Використання досвіду Інституту природних ресурсів Великобританії та наукових центрів Польщі, Чилі, Нікарагуа, Намібії тощо [17], показало можливість розробки та застосування аналогічних методів. Тому, на сьогоднішній день актуальним науковим завданням є розробка методу оперативного виявлення пожеж на відносно невеликій території.

**Метою дослідження** є розробка методу ідентифікації пожежонебезпечних ділянок з використанням космічних знімків низької роздільної здатності на основі маскування хмар та водних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо існуючі методи виявлення пожеж з використанням космічних знімків низької роздільної здатності. Для визначення потенційно «пожежних» пікселів (PF) існує ряд алгоритмів. Вони базуються на оцінках яскравісної температури в спектральних діапазонах від 3.5-4 до 10.5-11.5 мк. Дані алгоритми поділяють на дві групи – порогові і просторові. Порогові алгоритми чутливі до умов конкретної місцевості, пори року, часу доби, типу рослинності, температури ґрунту, а просторові базуються на порівнянні яскравісної температури потенційно «пожежного» пікселя з яскравісною температурою вільних від хмар оточуючих пікселів. Просторовий алгоритм враховує просторову зміну теплового фону, на відміну від одноканального або багатоканального алгоритму порогового розділення.

Одним з проблемних аспектів при визначенні місця пожежі за допомогою космічних знімків низької роздільної здатності є маскування хмари та води. Тому для ідентифікації пожежних пікселів під час дешифрування важливо виключити фрагменти зображення, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами.

Розділимо методи аналізу на три критерії для:

- денного часу – пікселі вважаються затемненими, якщо виконується одна з умов:

$$\rho_{0.65} + \rho_{0.85} > 0.9, T_{12} < 265K, \quad (1)$$

$$\rho_{0.65} + \rho_{0.85} > 0.7, T_{12} < 285K, \quad (2)$$

де  $T_{12}$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 11-12 мк,  $\rho_{0.65}$  та  $\rho_{0.85}$  – коефіцієнти відбиття, К – температура по Кельвіну;

- нічного часу – пікселі позначають хмари, якщо задовольняється умова

$$T_{12} < 265K. \quad (3)$$

Встановлено, що ці критерії будуть достатніми лише для ідентифікації більших прохолодних хмар, але не враховують невеликі хмари та їх краї.

**Алгоритм виявлення «пожежних» пікселів для знімків TERRA MODIS.** Основою алгоритму виявлення «пожежних» пікселів є ідентифікація пікселів, в яких спостерігається одночасне активне горіння одного або декількох вогнищ пожеж у момент

проходження супутника над земною поверхнею. Аналогічно до більшості інших супутникових алгоритмів виявлення пожежі, даний підхід використовує випромінювання середньо-інфрачервоного та довгохвильового інфрачервоного діапазонів на знімку, що містить «гарячі» субпіксельні об'єкти. Алгоритм вимагає значного збільшення випромінювання в діапазоні 4 мк, а також відносного спостережуваного випромінювання в діапазоні 11 мк. Ця характерна ознака пожежі визначається значною різницею яскравісної температури абсолютно чорного тіла в спектральних діапазонах 4 мк та 11 мк, що виділяється при горінні.

Алгоритм досліджує кожен піксель сцени MODIS, якому в результаті присвоюється один з наступних класів: відсутні дані, хмара, вода, потенційно пожежні або невизначені. Пікселі, в яких відсутні фактичні дані, класифікуються як «відсутні дані» (NULL) та виключаються з подальшого розгляду. Пікселі хмар та водних об'єктів, що визначаються за допомогою методики маскування хмар і водних об'єктів, належать до класів хмар та води відповідно. Дана класифікація використовується для усунення ймовірно «непожежних» пікселів, а решта пікселів враховуються в подальших випробуваннях з метою визначення його приналежності до активної вогняної фази.

Денний піксель ідентифікується як потенційний «пожежний» піксель, якщо виконуються умова:

$$\begin{cases} T_4 > 310K, \\ \Delta T > 10K, \Delta T = T_4 - T_{11}, \\ \rho_{0.86} < 0.3, \end{cases} \quad (4)$$

де  $T_4$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 4 мк,  $T_{11}$  – яскравісна температура в спектральному діапазоні 11 мк,  $\rho_{0.86}$  – коефіцієнт відбиття сонячного проміння.

Для нічних пікселів умова відбиття з системи (4) опускається, а  $T_4$  зменшено до 305 К.

Пікселі, що не відповідають умові (4), класифікуються як «непожежні» пікселі.

Існує два логічні підходи, завдяки яким ідентифікуються «пожежні» пікселі:

- перший – представлений абсолютним пороговим тестом, для якого поріг повинен бути встановлений досить високим, щоб виявити лише однозначні «пожежні» пікселі);

- другий – представлений серією розроблених контекстних умов виявлення більшості активних «пожежних» пікселів, які мають найменшу ймовірність.

Абсолютний пороговий тест – ідентичний оригінальному алгоритму [16], для якого виконуються умови:

-  $T_4 > 360K$  – в денний час;

-  $T_4 > 320K$  – в нічний час.

Незважаючи на високий денний поріг, користність цього тесту залежить від кута відбиття сонячних променів над горизонтом, так як може виникати хибний результат, спричинений відблиском певних об'єктів. Нічні пікселі визначаються як такі, що мають кут відбиття сонячних променів більше  $85^\circ$ .

Наступний етапом даного алгоритму є оцінка радіометричного сигналу потенційного «пожежного» пікселя, яка виконується незалежно від результату абсолютного порогового тесту, та використовує сусідні пікселі. За фонові значення у вікні приймаються дійсні сусідні пікселі, де центральним є піксель, що ідентифікується як потенційно «пожежний». У цьому вікні дійсними вважаються пікселі, які відповідають наступним вимогам: містять корисні спостереження; розташовані на суші; не містять хмари; не є фоновими «пожежними» пікселями.

«Пожежними» ідентифікуються ті пікселі, для яких виконуються умови (4) і (5) при денному та нічному спостереженні відповідно:

$$T_4 > 325K, \Delta T > 20K, \quad (5)$$

$$T_4 > 310K, \Delta T > 10K. \quad (6)$$

Важливим фактором даного алгоритму є розмір вікна. Емпірично доцільним є розмір 21×21 пікселя, при цьому дійсними повинні бути не менше 8 пікселів. Кількість дійсних пікселів у фоновому вікні позначається  $N_v$ . Під час процесу аналізу, визначається кількість відхилених сусідніх пікселів  $N_f$ , а також кількість сусідніх пікселів, виключених як вода  $N_w$ . Якщо ідентифікована достатня кількість дійсних сусідніх пікселів, виконується обчислення кількох статистичних показників:

- $\overline{T_4}, \sigma_4$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $T_4$  для дійсних сусідніх пікселів;
- $\overline{T_{11}}, \sigma_{11}$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $T_{11}$  для дійсних сусідніх пікселів;
- $\overline{\Delta T}, \sigma_{\Delta T}$  – середнє та середнє абсолютне відхилення  $\Delta T$  для дійсних сусідніх пікселів.

Для просторового алгоритму виявлення пожеж як міри дисперсії використовується середнє абсолютне відхилення, а не стандартне відхилення, оскільки воно більш стійке до відхилень.

Це досить принципово, оскільки присутність невизначених хмар, води, продуктів згорання від пожежі та інших джерел у фоновому вікні є явищем, яке досить часто зустрічається.

**Алгоритм для ідентифікація «пожежних» пікселів з використанням знімків NOAA AVHRR.** Просторовий алгоритм, який ідентифікує потенційно «пожежні» пікселі за знімками NOAA AVHRR, складається з двох послідовних випробувань.

Випробування 1 – піксель визначений як PF, якщо виконується умова:

$$\begin{cases} T^B(3) > 311K, \\ T^B(3) - T^B(4) > 8K, \end{cases} \quad (7)$$

де  $T^B(X)$  – яскравісна температура в каналі X: канал 3 – спектральний діапазон 3-4 мк, канал 4 – спектральний діапазон 10-11 мк.

Випробування 2 – піксель визначений як PF, якщо виконується умова:

$$\begin{cases} T^B(3-4)_{PF} - [T^B(3-4)_b + \delta T^B(3-4)_b] > 0, \\ T^B(3)_{PF} - [T^B(3)_b + \delta T^B(3)_b] > 3K, \end{cases} \quad (8)$$

де  $T^B(3)_b$  – середнє значення яскравісної температури фону в каналі 3,  $\delta T^B(3)_b$  – стандартне відхилення яскравісної температури фону в каналі 3,  $T^B(3-4)_b$  – середнє значення різниці яскравісної температури фону в каналах 3 і 4,  $\delta T^B(3-4)_b$  – стандартне відхилення різниці яскравісної температури фону в каналах 3 і 4.

Відібрані таким чином пікселі можна розділити на три групи: однозначно «пожежні», ймовірно «пожежні» та однозначно «непожежні». Подальше визначення однозначно «пожежних» пікселів виконується маскуванням місць, де PF – однозначно «непожежні» (піщані ґрунти, водойми, техногенні об'єкти, що виділяють велику кількість тепла). Наявність чітко визначених територій з високим ступенем пожежної небезпеки (карти лісових кварталів в лісництвах зони відчуження з визначеними характеристиками стану лісів) дає можливість з високою ймовірністю віднести PF до однозначно «пожежних» пікселів.

**Алгоритм методу ідентифікації пожеж.** Метод був реалізований за допомогою інструменту візуального програмування Power Builder в середовищі системи обробки даних ДЗЗ Erdas Imaging на основі знімків TERRA MODIS та NOAA AVHRR. Алгоритм реалізації даного методу приведений на рис. 1.

Моніторинг пожеж виконується за допомогою послідовності операцій в середовищі системи обробки даних ДЗЗ Erdas. Ці послідовності можна розділити на кілька етапів:

- 1) одержання та приведення до робочого формату космічного знімку;
- 2) ідентифікація PF за критеріями (1)-(3);
- 3) геометрична корекція знімку;
- 4) інтеграція знімка з картографічними даними та інтерпретація результатів.

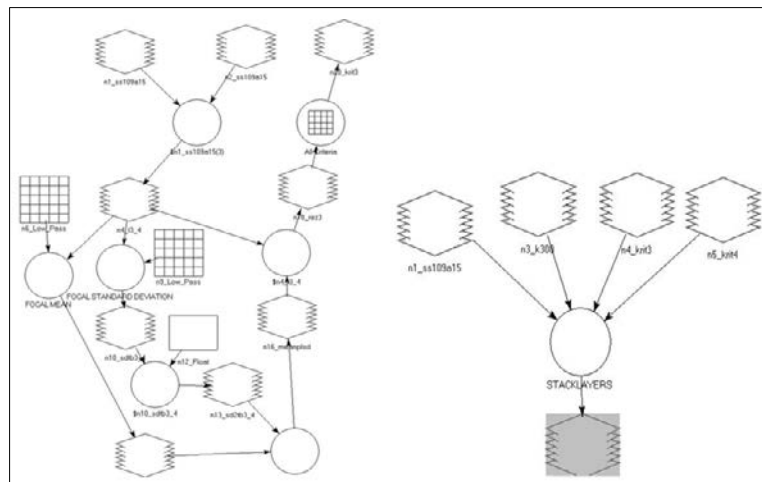


Рис. 1. Алгоритм реалізації методу ідентифікації пожеж

Станції прийому одержують знімки в HRPT форматі. Спеціалізованою програмою SmartTrack знімок конвертується в проміжний Level 1B формат, а модулем Import Erdas Imagine проміжний файл конвертується в робочий формат системи Erdas Imagine. При імпортуванні виконується радіометрична корекція (калібровка даних). Результатом обробки є фрагмент імпортованого знімка, який охоплює територію Чорнобильської зони відчуження та прилягаючі до неї регіони (рис. 2).

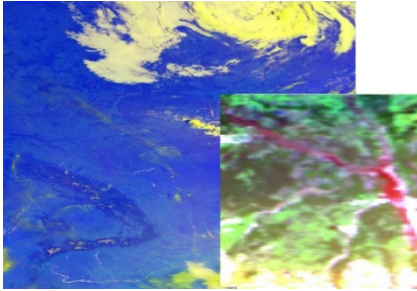


Рис. 2. Одержаний та конвертований космічний знімок Чорнобильської зони відчуження та прилеглих до неї регіонів

Отриманий імпортований знімок надає зручну інформацію про загальну територію Чорнобильської зони завдяки калібровці даних. Знімок подається для подальшої обробки. Для ідентифікації «пожежних» пікселів розроблені моделі (процедури за допомогою пакету Model Maker – модуля Erdas Imagine), що реалізують критерії (1)-(3), а також моделі для маскування (видалення з області аналізу) хмар. Процес виділення «пожежних» пікселів складається з таких етапів:

- 1) відбір пікселів з яскравісною температурою більше 311 K;
- 2) відбір пікселів за різницею температури в 3 і 4 каналі;
- 3) статистична оцінка значення різниці яскравісних температур в 3 та 4 каналі;
- 4) статистична оцінка яскравісної температури в 3 каналі.

Результатом цих етапів будуть знімки, на яких будуть виділені «пожежні» пікселі, які на рис. 3 зафарбовані яскраво-червоним кольором. Рис. 3 показує, що на досліджуваній території є місця, в яких з великою ймовірністю може виникнути пожежа. У результаті ми одержали знімок з ідентифікованими пожежами.

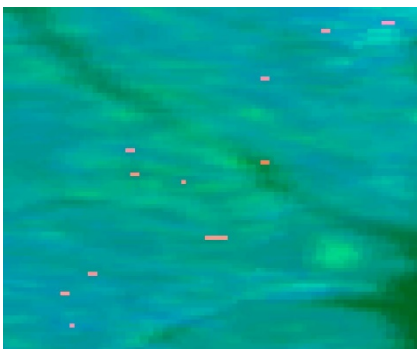


Рис. 3. «Пожежні» пікселі на території Чорнобильської зони відчуження

Після ідентифікації пожеж необхідно визначити точну локалізацію з точністю до лісового кварталу. Для цього знімок повинен бути скорегований (ректифікований) і приведений до картографічної проєкції, в якій знаходяться основні картографічні дані, пов'язані з Чорнобильською зоною відчуження. Цей процес виконується шляхом ідентифікації опорних точок на знімку і співставлення їх з об'єктами на векторній карті. Геометрична корекція виконується методом поліноміального перетворення другого порядку. На рис. 4 зображено досліджувану територію з проведеною геометричною корекцією. Якість корекції видно по суміщенню з векторним шаром водних поверхонь.

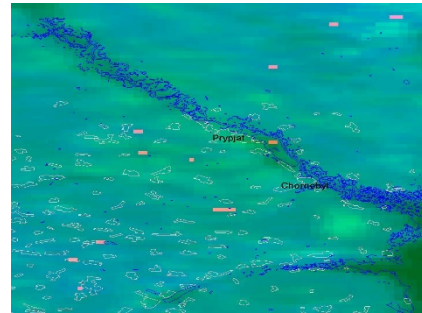


Рис. 4. Ректифікований знімок суміщений з векторним шаром водним для території Чорнобильської зони

**Отримання інформації на основі обробки даних ДЗЗ.** Протягом травня та червня місяців 2021 року дана методика тестувалась на фрагментах знімків зони відчуження. Складений часовий ряд фрагментів знімків. На основі цієї методики в зоні виявлено кілька постійно «гарячих» об'єктів біля річки Уж та на лісових територіях навколо. Вони конвертовані в векторний шар і враховуються при аналізі. У результаті обробки знімку отримано наочне відображення пожежонебезпечних ділянок досліджуваної території, що дозволяє оперативно зреагувати на надзвичайну ситуацію і прийняти правильні управлінські рішення.

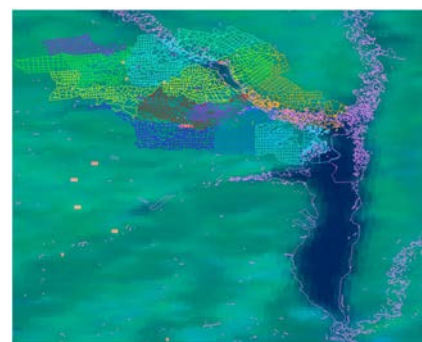


Рис. 5. Ідентифіковані «пожежні» пікселі в районі Чорнобильської зони відчуження та на прилеглих територіях

### Висновки

У роботі розроблені методи ідентифікації пожеж з використанням космічних знімків низької роздільної здатності на прикладі території Чорнобильської зони відчуження та прилеглих. Описано алгоритм виявлення «пожежних» пікселів для знімків TERRA MODIS та NOAA AVHRR. Встановлено, що для

ідентифікації пожежонебезпечних місць важливо при дешифруванні виключити з фрагменти знімків, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами. Практично застосований метод, який базується на комбінації середнього інфрачервоного (3-4 мікрона) з тепловим (10-11 мікрон) космічних знімків, що дозволяє швидко та оперативно визначити пожежі в реальному масштабі часу на субпіксельному рівні. Ідентифікація пікселів, в яких одночасно активно горить одна або кілька пожеж на момент проходження супутника над Землею, є основою алгоритму виявлення «пожежних» пікселів. Алгоритм досліджує кожен піксель сцени, якому в результаті присвоюється один з

наступних класів: відсутні дані, хмара, вода, потенційно пожежні або невизначені. Метод був реалізований за допомогою інструменту візуального програмування PowerBuilder в середовищі системи обробки даних ДЗЗ Erdas Imaging. Оперативне виявлення пожеж дає можливість швидко здійснити гасіння пожеж та збереження лісових ресурсів. Даний метод є універсальним і потребує лише якісних космічних знімків NOAA AVHRR, TERRA MODIS, що є у вільному доступі. Подальшим перспективним шляхом розвитку роботи є застосування експертних систем, які дозволять створити прогнозу модель, надаючи системі більшої гнучкості та універсальності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические инф. системы. М.: Техносфера, 2010. 312 с.
2. Журавлева И. Мониторинг пожаров на природных территориях с помощью сервиса FIRMS. *Географические информационные системы и дистанционное зондирование*. 2010. URL: <http://gis-lab.info/qa/firms.html>.
3. Крицук С.Г. Картирование бореальных лесов по спутниковым данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, № 4. С. 255–264.
4. Вишняков В.Ю., Ткачук А. Особенности методов выявления температурных аномалий за данными ДЗЗ MODIS (TERRA) та AVHRR (NOAA). Оцінки їх якості. *Екологічна безпека та природокористування*. 2012. № 10. С. 81–90.
5. Griffiths P. et al. Forest disturbances, forest recovery, and changes in forest types across the Carpathian ecoregion from 1985 to 2010 based on Landsat image composites. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 151. P. 72–88.
6. Токар О., Король М., Гаврилюк С., Цуняк А. Використання супутникових знімків для оцінювання таксаційних показників лісових насаджень. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2017. № 85. С.84–93.
7. Берестенькова М.В. Интеллектуальная система прогнозирования лесных пожаров. 2012. Т. 30, № 5. С.64–67.
8. Коморовский В.С., Доррер Г.А. Методика расчета параметров лесных пожаров как динамических процессов на поверхности Земли с использованием данных космического мониторинга. *Вестник СГАУ*. 2015. С. 47–50.
9. Kuchuk N. Mozhaev O., Kuchuk N., Mozhaev M. Multiservice network security metric. 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT). 2017. P.133–136.
10. Стругайло В.В. Обзор методов фильтрации цифровых изображений. *Наука и образование*. 2012. № 5. С. 1–12.
11. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Шищенко О.І. Застосування матеріалів дистанційного зондування в завданнях моніторингу лісових пожеж і кількісного оцінювання рослинності. *Наукоємні технології*. 2016. №1. С. 42–47.
12. Миронюк В.В., Георгіян М.І. Застосування стратифікованої вибірки для регіональної оцінки площі лісів України за даними глобальних карт лісового покриву. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 69–74.
13. Бардиш Б., Бурштинська Х. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2015. № 2 (28). С. 82–88.
14. Білинський Й.Й., Книш Б.П., Кулик Я.А. Обробка та використання мультиспектральних зображень моніторингу. *Наукові праці ВНТУ*. 2020. №4. С. 1–11.
15. Morisette J. Giglio L., Csiszar I., Setzer A. Validation of the MODIS active fire detection products derived from two algorithms. *Earth Interactions*. 2015. Vol. 9. P. 1–29.
16. Matson M. Dozier J. Identification of subresolution high temperature sources using a thermal IR sensor. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2016. № 47. P. 1311–1318.
17. Seielstad C., Riddering J., Brown S., Queen L., Hao W. Testing the sensitivity of a MODIS-like daytime active fire detection model in Alaska using NOAA/AVHRR infrared data. *PhERS*. 2016. № 68. P. 831–838.

Received (Надійшла) 22.12.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.01.2022

**Method of identification of space images for forecasting forest fires**

O. Bandurka, O. Svynchuk

**Abstract.** Space forest fire monitoring methods help to detect them at an early stage and provide prompt decision-making, which facilitates further monitoring and evaluation of the consequences. The use of space data to monitor fire conditions allows you to quickly and economically obtain objective and independent information to make quick decisions to deal with the elements. The method of fire identification using low-resolution space images obtained from TERRA MODIS and NOAA AVHRR satellites is developed in the work. One of the problematic aspects in the method of determining fires is the masking of clouds and water. Therefore, in order to identify "fire" pixels, it is important to exclude from the analysis fragments of images that are covered with clouds and occupied by water bodies. The algorithm requires a significant increase in radiation in the range of 4 microns, as well as the relative observed radiation in the range of 11 microns. The algorithm examines each pixel of the scene, which as a result is assigned one of the following classes: missing data, cloud, water, potentially fire or undefined. Pixels of clouds and water bodies, determined by the technique of masking clouds and water bodies, belong to the classes of clouds and water, respectively. The fire detection algorithm examines only those pixels of the earth's surface that are classified as potentially fire or undefined. The method was implemented using the Power Builder visual programming tool in the Erdas Imaging remote sensing system. As a result of using the identification method, fire-hazardous places in the Chernobyl Exclusion Zone were identified. The use of satellite fire identification is important for the rapid detection of fires in remote forests that are poorly controlled by terrestrial monitoring methods.

**Keywords:** remote sensing of the Earth, geographic information systems, space images, fire identification, "fire" pixel.