

ОРЕЩЕНКО

Андрій Васильович –
кандидат географічних наук,
старший науковий співробітник
Українського
гідрометеорологічного інституту
ДСНС України та НАН України

ОСАДЧИЙ

Володимир Іванович –
член-кореспондент НАН
України, директор Українського
гідрометеорологічного інституту
ДСНС України та НАН України

САВЕНЕЦЬ

Михайло Валерійович –
кандидат географічних наук,
старший науковий співробітник
Українського
гідрометеорологічного інституту
ДСНС України та НАН України

БАЛАБУХ

Віра Олексіївна –
кандидат географічних наук,
завідувач відділу прикладної
метеорології та кліматології
Українського
гідрометеорологічного інституту
ДСНС України та НАН України

ВИЯВЛЕННЯ І МОНІТОРИНГ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОЖЕЖ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВОГО СКАНУВАННЯ

У дослідженні наведено класифікацію систем виявлення та моніторингу пожеж, зокрема лісових, за способом збору даних про пожежі. В Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України розроблено методику геокодування даних щодо викидів тепла, які надходять зі штучних супутників Землі, з метою отримання відомостей про географічні об'єкти, на території яких зафіксовано ці викиди, а також оригінальну методику виявлення лісових та інших потенційно небезпечних пожеж. На основі цих методик створено картографічно-аналітичну систему моніторингу викидів тепла та виявлення потенційно небезпечних пожеж, яка успішно пройшла випробування і використовується в оперативній діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: викиди тепла, лісові пожежі, Python, система моніторингу пожеж, штучні супутники Землі.

У квітні 2020 р. лісові пожежі охопили значні території в Житомирській і Київській областях, а в липні – в Луганській області. Їх масштаб, а також спричинені ними людські жертви та матеріальні втрати поставили на порядок денний питання щодо наявних проблем у системі запобігання і ліквідації пожеж в Україні. Насамперед це стосується своєчасного виявлення вогнищ займання, моніторингу пожеж і контролю за процесом гасіння, а також інформування населення про небезпечні території.

Наявні в Україні системи виявлення і моніторингу пожеж доцільно класифікувати за способом збору даних про пожежі, оскільки саме збирання даних є найбільш проблематичним.

Класичними і найпоширенішими сьогодні є так звані контактні методи: отримання повідомлень від осіб, які перебувають поблизу пожежі і можуть спостерігати її безпосередньо або поінформувати про явища, які супроводжують горіння. Сучасним різновидом цього методу є збирання даних від сенсорів,

встановлених у межах потенційно небезпечних об'єктів. Зараз це стало можливим завдяки розвитку так званого Інтернету речей [1] і мережі мобільного зв'язку.

Інша, принципово відмінна, група методів збирання інформації ґрунтується на даних дистанційного зондування Землі, яке здійснюється за допомогою безпілотних літальних апаратів (дронів) [2], літаків [3] або штучних супутників Землі [4]. Супутники дистанційного зондування Землі можуть розміщуватися як на геліостаціонарній орбіті (сканують Землю двічі на день [5]), так і на геостаціонарній орбіті, на якій період сканування може становити 2,5 хв, зокрема, як у японського супутника Himawari-8 [6].

Дистанційне зондування Землі можливе також з використанням різних спектрів випромінювання. У статті [3] описано методику мікрохвильового сканування (електромагнітним випромінюванням) з літака для виявлення лісових пожеж на ранніх стадіях. Автори статті [7] за даними спектрального аналізу атмосфери з супутника Sentinel-5P визначали концентрацію в повітрі продуктів горіння лісу: монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та показники аерозольного індексу. В такий спосіб можна виявляти великі лісові пожежі і оцінювати їх масштаб. Найпоширенішим є використання інфрачервоного (теплого) випромінювання, яке безпосередньо вказує на осередки виділення тепла внаслідок горіння [2].

Кім того, є методи прогнозування пожеж [8], оцінювання пожежної небезпеки [9], в тому числі за даними аналізу погодних умов [10, 11], моделювання розвитку пожеж [12]. Відомі також інші, досить популярні способи оцінювання наслідків пожеж, зокрема лісових [13].

Однак найбільш дієвим напрямом є вживання заходів із запобігання пожежам, зокрема лісовим. На жаль, наше ознайомлення з публікаціями за цією тематикою, звітами, національними доповідями про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2011–2018 рр. [14] та іншими відповідними документами не дало змогу скласти цілісне уявлення про ефективність управління і

контролю в наявній в Україні системі запобігання лісовим пожежам.

На сьогодні моніторингом і гасінням лісових пожеж займається насамперед Державне агентство лісових ресурсів України, у підпорядкуванні якого перебуває 73% всіх лісів і яке має службу авіаційного патрулювання. Гасіння великих займань, у тому числі лісових, здійснюють підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України). Ці інстанції отримують інформацію переважно за допомогою телефонних повідомлень від людей, які перебувають у безпосередній близькості від пожежі. З огляду на те, що територія України є досить густо заселеною і освоєною в господарському плані, цей контактний спосіб збирання даних залишається основним і на практиці є відносно надійним. Однак у разі масштабних займань контактні методи не забезпечують достатньої наочності і не дають повної картини розвитку надзвичайної ситуації.

З метою поліпшення системи моніторингу пожеж і контролю за процесом їх гасіння в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України було розроблено інформаційно-аналітичну систему автоматизованого моніторингу викидів тепла і виявлення потенційно небезпечних пожеж на території України. Пропонована система працює на основі даних, зібраних супутниками дистанційного зондування Землі.

Вихідні дані та методика досліджень. Збирання даних про викиди тепла на території України здійснюється за допомогою чотирьох супутників, які належать NASA, а саме: NOAA-20, Suomi NPP, Terra і Aqua. Ці супутники обертаються на геліосинхронній орбіті і двічі на добу сканують майже всю земну поверхню, за винятком невеликої зони непокриття поблизу екватора. На борту супутників встановлено термосканери високої роздільної здатності (1 піксель = 400 м), що дозволяє виявляти температурні аномалії на поверхні Землі, які найчастіше пов'язані з ландшафтними пожежами, а також викидами тепла на промислових підприємствах.

Усі дані, що надходять із супутників, мають просторово-часову прив'язку, тобто в них вказано координати викидів тепла, дату і час їх фіксації, а також низку інших характеристик, таких як назва супутника, який виявив термоточку, потужність викиду, теплова яскравість на сенсорі, ряд і колона в масиві даних тощо.

Отримані дані спочатку обробляються серверами NASA з метою відбракування помилкових спрацювань сенсорів супутника через відблиски сонця, а також для просторової прив'язки даних в системі координат GCS WGS-1984, після чого вони стають доступними на сервері*.

Для прискорення роботи з супутниковими даними нами було створено кілька програмних модулів, написаних мовою програмування Python. Модуль завантаження даних щодня перевіряє наявність на сервері оновлень у даних про викиди тепла на території України. Якщо оновлення є, він завантажує файли у форматі csv (Comma-Separated Values). Якщо немає, реалізує завершення роботи всієї системи моніторингу. У файлах csv міститься інформація про термоточки, зафіксовані під час сканування частини території України одним з чотирьох супутників.

Час фіксації термоточки кодується у форматі GMT. Для перетворення у національний формат до GMT додають 2 або 3 години залежно від встановленого зимового чи літнього часу. З урахуванням зміни часу виправляють також календарне число (день місяця), якщо час фіксації пізніший за 21:00 для літнього часу і 22:00 для зимового.

Одним з головних недоліків наявних систем моніторингу пожеж є відображення викидів тепла лише за допомогою простих умовних позначень, без наведення додаткових відомостей [15, 16]. Причому це характерно навіть для системи моніторингу NASA [17]. Дійсно, викиди тепла в таблиці не супроводжуються інформацією про територію, на якій відбувається викид тепла. Це може бути як металургійний за-

вод, так і охоплений пожежею ліс. Прийнятий на сьогодні підхід не дозволяє відразу визначити точне місце або об'єкт, на якому зафіксовано викид тепла та оцінити ступінь його небезпеки. Для оцінки небезпеки пожеж потрібно отримати інформацію про матеріал горіння і об'єкт, на якому зафіксовано викиди тепла. Також бажано визначити населений пункт, біля якого виявлено викид тепла. І насамкінець, слід розрахувати сумарну потужність викидів тепла, зафіксованих у межах одного просторового об'єкта (яких в Україні десятки тисяч).

У розробленій нами системі всі ці характеристики визначаються геокодуванням за допомогою відповідного файлу геопросторових даних, який можна назвати «картою кластерів території» (рис. 1). Кожен кластер (ділянка) на цій карті містить такі характеристики, як тип землекористування (сільськогосподарські землі, залісені території, луки або степ, чагарники, заболочені землі, водні об'єкти, землі під населеними пунктами, пустирі, землі під промисловими об'єктами — промзони), а також назву населеного пункту, який є найближчим до цього кластера або географічно з ним збігається.

У межах кожного кластера всі характеристики мають конкретне значення, наприклад «пустир» чи «с. Деріївка». Зміна характеристик приводить до появи нового кластера.

Відповідно, вся карта кластерів для геокодування складається з ділянок, обмежених горизонтальними, вертикальними або довільними рамками. Якщо межа кластера збігається з природним контуром, вона проходить по цьому контуру. В іншому разі межі кластерів проходять на рівному віддаленні від найближчих населених пунктів у горизонтальному або вертикальному напрямку. Види кластерів здебільшого збігаються з типами землекористування (landuse/landcover). На легенді карти (рис. 1) їх позначено кольором. Загалом карта геокодування містить 969 066 об'єктів-кластерів і займає 1,57 Гбайтів на диску. Використання вертикальних і горизонтальних ліній дозволяє в кілька разів зменшити розмір карти і збільшити швидкість геокодування.

* https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/#firms-txt

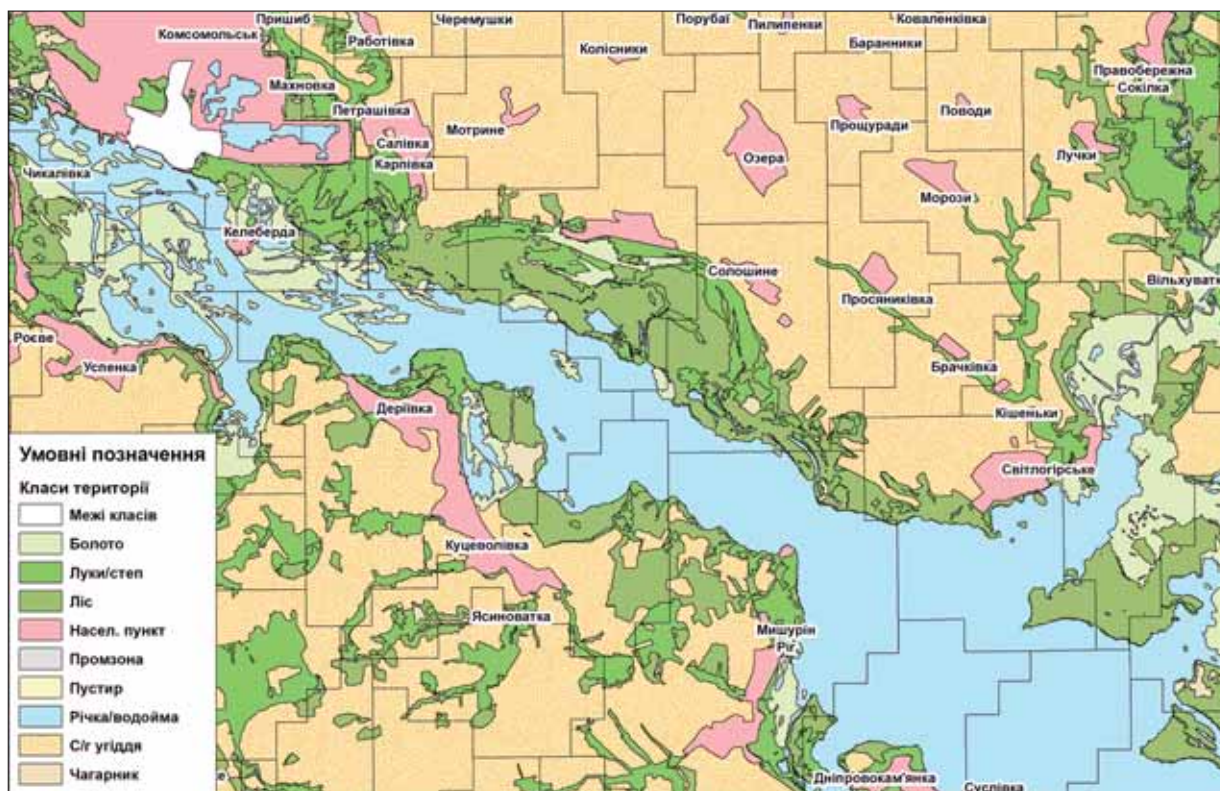


Рис. 1. Кластери території з позначенням класів земель і прив'язкою до населених пунктів для геокодування викидів тепла

Процес геокодування реалізовано так. Спочатку з табличних даних про викиди тепла створюють геопросторовий графічний файл (Shape-файл), який містить не лише координати точок, а й відомості про проекцію, а також окремо зберігає атрибути (тематичну інформацію). Цей файл можна відкрити в усіх геоінформаційних системах (ГІС) на зразок ArcGIS, QGIS, GRASS, Digitals тощо. Це перший етап геокодування.

Щодня на території України за ясної погоди фіксується близько 100 джерел викидів тепла. Їх кількість зростає на порядок і навіть більше за наявності великих пожеж, особливо лісових. Якщо виконувати геокодування для всіх зафіксованих викидів тепла, знадобляться досить великі обчислювальні потужності і процес потрібно буде розподіляти для виконання паралельних обчислень.

Для оптимізації геокодування ми виконуємо процес «навпаки»: не присвоюємо викидам тепла додаткову семантику, а переносимо викиди тепла разом з їхніми характеристиками на карту геокодування. Тобто всі геопросторові процеси геокодування (визначення господарського призначення території, матеріалу горіння, населеного пункту і розрахунок сумарної потужності) виконуються в один етап. При цьому ми втрачаємо в точності в середньому до кількох сотень метрів, але це не перевищує графічної точності карти України і є зрівняним з точністю супутникової системи.

Отже, під час другого етапу геокодування визначають кластери, на які потрапляють термоточки, розраховують для кожного з них сумарну теплову потужність і переносять інші характеристики термоточок. У результаті ми отримуємо лише ті кластери, на які потрапив

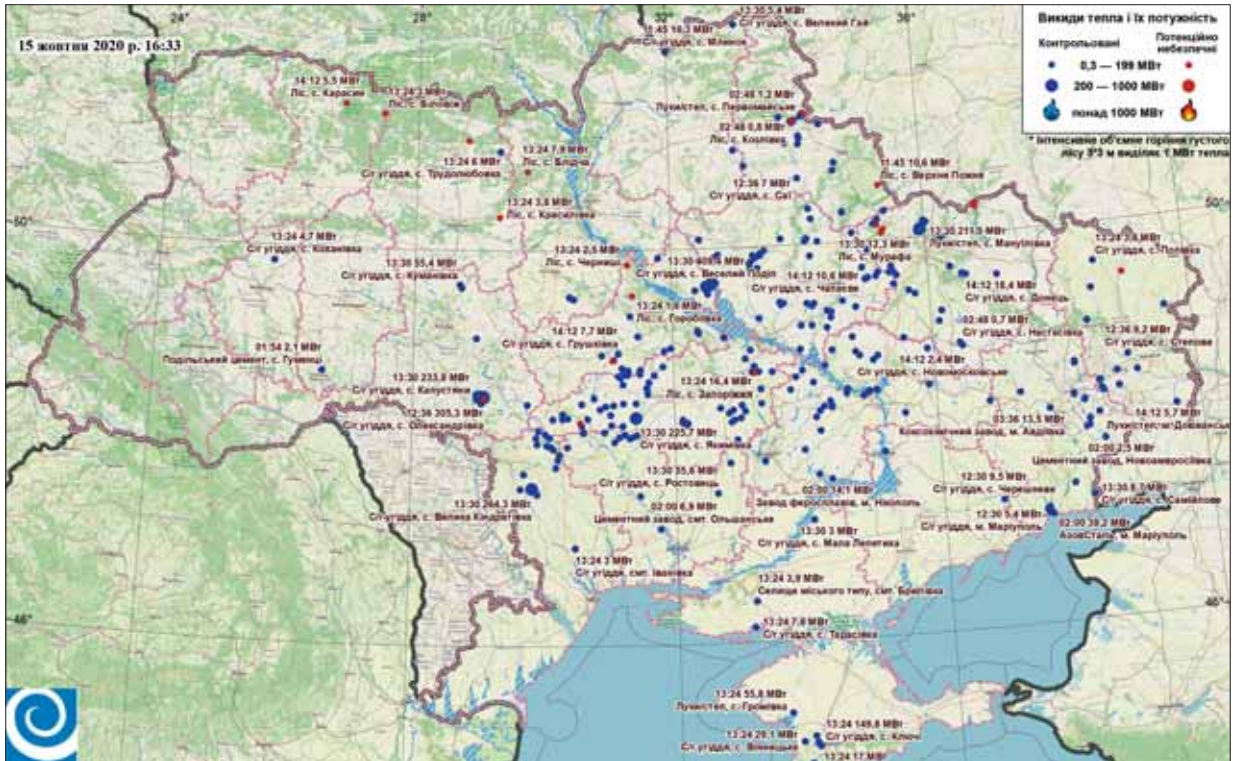


Рис. 2. Карта викидів тепла

хоча б один викид тепла з усіма потрібними характеристиками.

Кластери карти геокодування значно спрощують проведення візуальної оцінки ситуації щодо пожеж на території України, адже для оцінки стану не потрібно укрупнювати зображення, щоб роздивитися об'єкт, на якому сталися викиди тепла. Okремо кольором відображають кластери, які характеризують залісені території. На карті за допомогою умовних позначень крім поділу викидів тепла на контрольовані і потенційно небезпечні (горіння лісу), що відображається кольором, здійснено також їх класифікацію за потужністю. Викидам від 0,3 до 199 МВт відповідає точка невеликого діаметра (2 мм), від 200 до 1000 МВт — більший кружок (6 мм), а ще потужнішим викидам — позначка вогника (рис. 2).

Кластери використовують також для обчислення характеристик потенційно небезпечних пожеж.

Визначення потенційно небезпечних ареалів пожеж. Ареали пожеж є геометричними полігонами, які утворюються агрегуванням викидів тепла, відстань між якими менша за певне прийняте значення (у нашому випадку — 2000 м). Створений ареал проходить по крайніх зовнішніх точках групи викидів тепла. Якщо викидів тепла менше ніж три, ареал не утворюється. Отриманий ареал не містить уточнювальної інформації, тому потрібно визначити характеристики, необхідні для класифікації ареалів пожеж на потенційно небезпечні і такі, що не становлять загрози. Проте їх уже визначено для кластерів: загальна сумарна потужність викидів тепла, які потрапляють на ареал пожежі, матеріал горіння, найближчий населений пункт, площа займання, наявність потужних викидів тепла. Отже, всі ці характеристики визначають так само, як і для кластерів, лише наявність потужних викидів тепла встановлюють фільтрацією викидів тепла по-

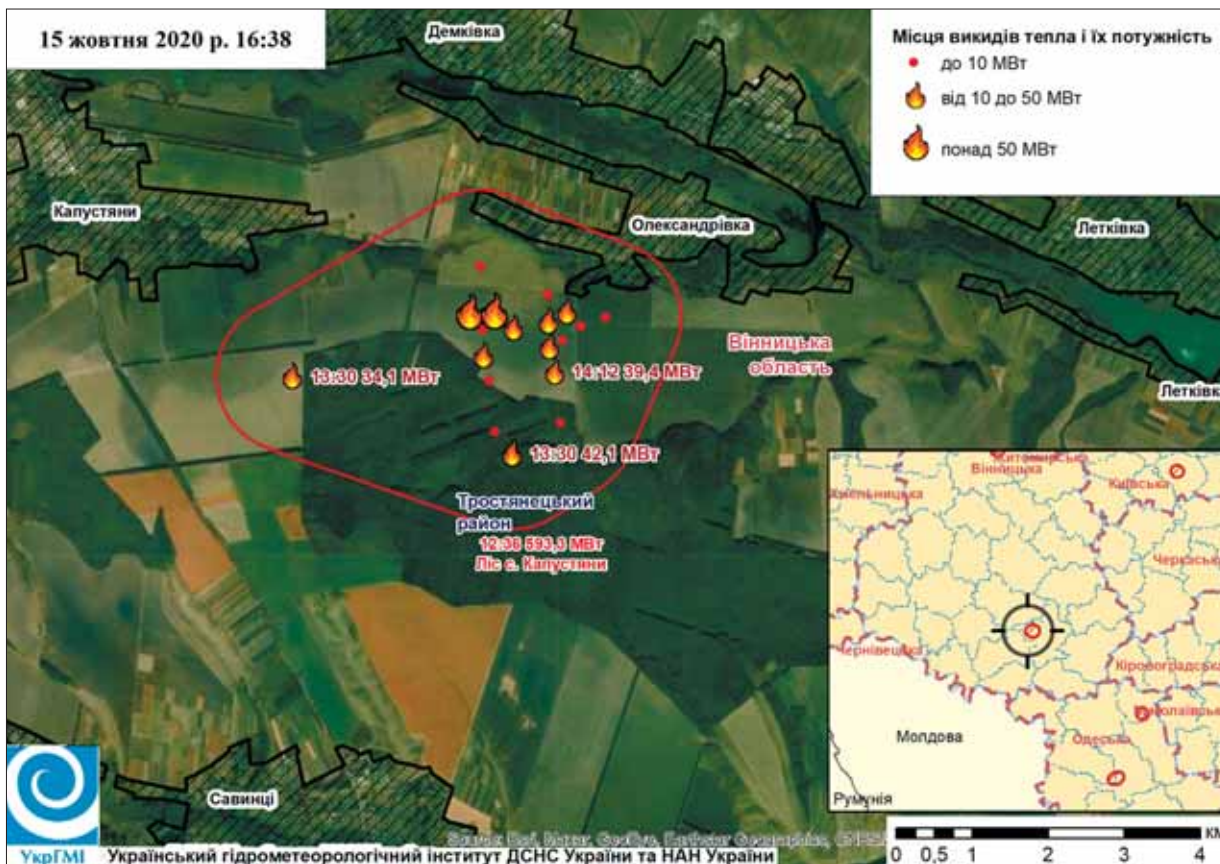


Рис. 3. Космофотокарта потенційно небезпечної пожежі 15 жовтня 2020 р.

тужністю понад 10 МВт і перенесенням одного значення цієї потужності в атрибутивне поле полігону пожежі.

Сам алгоритм визначення потенційно небезпечних пожеж можна подати у вигляді запиту, який застосовується до всіх ареалів пожеж з уже визначеними характеристиками: [Сумарна потужність > 200 МВт OR Викид тепла > 10 МВт OR Площа > 3000 Га OR (Матеріал = Ліс AND Сумарна потужність > 40)] OR [Сумарна потужність > 300 МВт OR Площа > 10000 Га].

Кожну вибрану пожежу для її оцінювання візуалізують окремо на космофотокарті (рис. 3). Спочатку для шаблону карти розраховують екстент (площу картографування) для відображуваної території, який визначають проведенням буфера навколо ареалу розміром 5 км. Цей буфер визначає розміри карти, але на ній не відображається.

Якщо ареали пожеж розміщені поряд і можуть вміститися на одній карті, то нераціонально створювати окремі карти для кожного ареалу. Тому здійснюють пошук близьких ареалів (відстань менша ніж 2 км) для їх об'єднання.

Заздалегідь число створюваних карт невідоме. Відповідно, визначають кількість ареалів і задають цикл створення карти. Сам шаблон карти вже містить усі ареали пожеж і весь зміст карт: викиди тепла, населені пункти, космічний знімок. У циклі тільки змінюється екстент карти і здійснюється її експорт. У результаті отримуємо набір растрових карт з різними назвами. На кожную карту наносять викиди тепла, підписи ареалу пожежі, позначають населені пункти та адміністративні райони.

Отримані карти використовують для візуальної оцінки правильності роботи алгоритму визначення пожеж.



Рис. 4. Спалювання сільськогосподарських відходів біля с. Лозове Донецької області

Отримані результати та їх обговорення.

Було виявлено, що потужні пожежі, які виникають регулярно, переважно є штучними і контрольованими. Найчастіше вони пов'язані зі спалюванням відходів сільськогосподарського виробництва після збирання врожаю (рис. 4). Відповідно, для визначення потенційно небезпечних пожеж слід застосовувати критерій *матеріалу горіння*. Викиди тепла на сільськогосподарських угіддях вважаємо умовно безпечними, як і викиди в межах промислових зон, де вони також відбуваються досить часто.

Однак лісові пожежі правильно ідентифікувати доволі складно. Справа в тому, що лісова пожежа рідко охоплює тільки кластери з лісом. До ареалу пожежі найчастіше потрапляють землі різного призначення. Механічне перенесення матеріалу кластерів на полігон пожежі може спричинити помилку, суть якої полягає в заміні матеріалу пожежі кожним наступним кластером. Наприклад, якщо останнім у переліку буде водний кластер, лісова пожежа може

отримати характеристику матеріалу — «вода», що, звісно, неправильно.

З іншого боку, якщо визначати максимальну площу кластера, яка потрапляє на ареал пожежі, і переносити матеріал цього кластера на полігон пожежі, можна пропустити лісові пожежі на початковій стадії, які виникли через перекидання на ліс займання від спалювання трави. Для таких пожеж площа, зайнята лісом, буде незначною.

Проблема не лише в матеріалі горіння самого полігону пожежі, а й у розташуванні полігону. Інколи потенційно небезпечна пожежа починається поблизу лісового масиву, але не зачіпає його. Як правило, це контрольоване спалювання сільськогосподарських відходів, яке не становить небезпеки. Однак виявлення викидів тепла, нехай і невеликих, у лісовому масиві свідчить про початок небезпечного займання.

Отже, потенційно небезпечною лісовою пожежею слід вважати таку пожежу, яка *має хоча*



Рис. 5. Горіння трави потужністю близько 50 МВт, яке поділено між сусідніми пікселями термозображення

б невелику площу займання під лісом. У результаті для ідентифікації лісових пожеж вирішено було виконувати фінальне перенесення матеріалу горіння лише від лісових кластерів, попередньо зберігши їх у вигляді окремого шару. Для коректної класифікації пожеж усі критерії їх виявлення мають враховуватися одночасно.

Другим таким критерієм є потужність. Викид тепла понад 1 ГВт (1000 МВт) однозначно потребує уваги.

Третім критерієм є площа ареалу пожежі. Емпіричним шляхом встановлено, що пожежу можна вважати потенційно небезпечною, якщо вона охоплює понад 3 тис. га лісової зони або 10 тис. га для інших видів матеріалів горіння.

Четвертим критерієм є потужні осередки, які потрапили на масив лісу. Наприклад, можливий такий випадок: потужне горіння поля, яке ще не досягло лісового масиву. Це пожежа контрольована і небезпеки не становить. Однак супутники можуть показати викиди тепла в лісовому масиві, оскільки роздільна

здатність сенсорного масиву становить 400 м і викиди тепла можуть отримати координати зі зміщенням на 200 м. Для їх фільтрації використовують частину запиту «Викид тепла > 10 МВт», оскільки, як правило, такі «сторонні» викиди мають доволі малу потужність.

Якщо ж пожежа переходить на лісовий масив (рис. 3), потужні викиди тепла і загальна сума горіння лісу понад 40 МВт, яка швидко досягається в умовах лісової пожежі, зумовляють віднесення ареалу до розряду небезпечних.

Так чи інакше, в результаті роботи алгоритму ми отримуємо два набори геопросторових даних у вигляді полігонів з атрибутами, які відповідають потенційно небезпечним лісовим займанням та потужним займанням з інших матеріалів горіння.

Неточності алгоритму виявлення пожеж. Система моніторингу не завжди виявляє всі викиди тепла. По-перше, мінімальна потужність викиду тепла для його фіксації термоска-

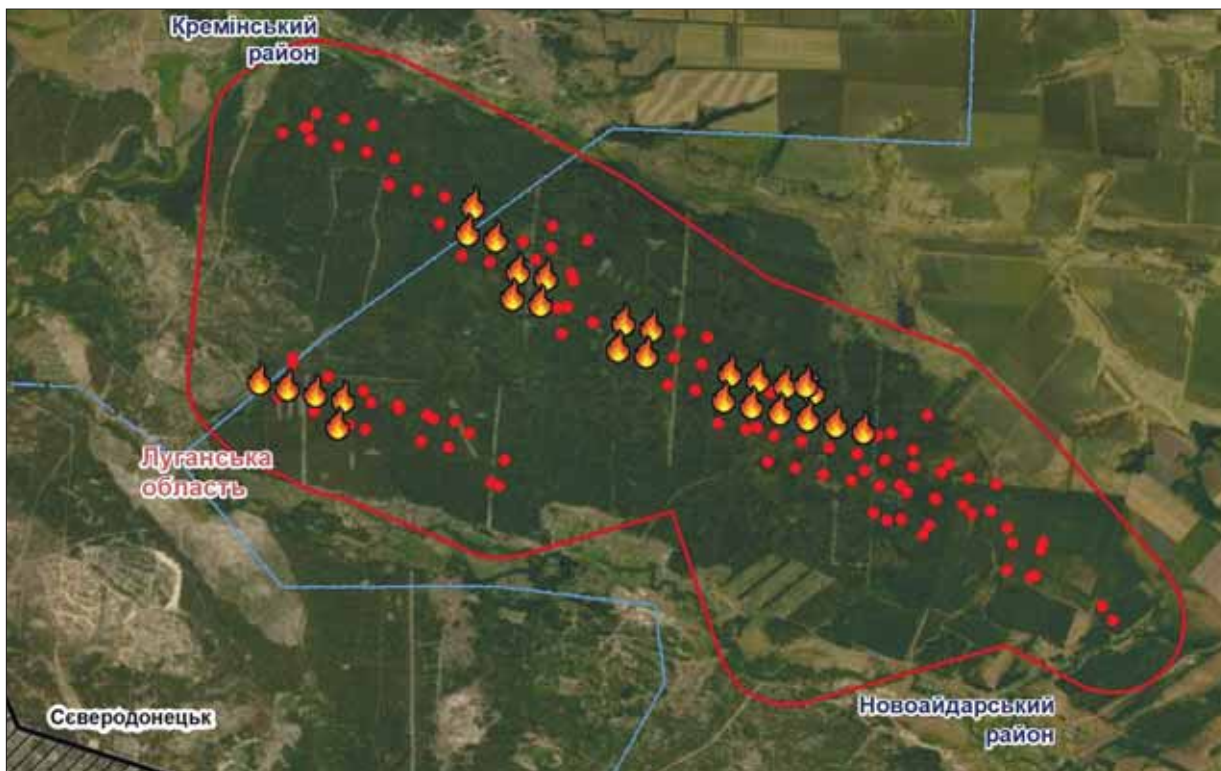


Рис. 6. Розташування викидів тепла по матриці теплового зображення

нером супутника становить 0,2 МВт (200 кВт). Тобто багаття, розведене на полі, система не зафіксує. Оскільки супутник перебуває на значній відстані від поверхні Землі, а інфрачервоне випромінювання має більший ступінь розсіювання в атмосфері, ніж хвилі видимого спектра, розмір пікселя на поверхні Землі становить 400×400 м. Відповідно, багаття, яке потрапить на сенсор, на фоні холодної поверхні, буде нижчим за рівень шуму. Водночас малоінтенсивне горіння трави на великій площі буде зафіксовано. На рис. 5 наведено випадок горіння трави на закинутому сільськогосподарському угідді біля м. Вуглегірськ Донецької області. Одна пожежа потрапила на два пікселі термозображення, і її було зафіксовано як два викиди тепла. Це зумовлено тим, що супутник надсилає лише термоточки, а не суцільне теплове зображення. На рис. 6 показано матрицю пожежі в Луганській області поблизу м. Северодонецьк. Теплові точки, які не збігаються з

комірками матриці, отримані від іншого супутника. Матриця теплового зображення не є перпендикулярною географічній сітці координат.

По-друге, фіксуються лише інфрачервоні хвилі, виділені в напрямку до супутника. Тому тління сміттєзвалищ, торфовищ, териконів, горіння підстилки лісу сенсори супутника фіксують далеко не завжди. Найкраще визначається відкритий вогонь на значній площі. З іншого боку, сенсори можуть сприймати як пожежі викиди тепла від промислових підприємств: цементних, металургійних, коксохімічних заводів (рис. 7). Крім того, хмарний покрив розсіює теплові хвилі, тому тління трави, як на рис. 5, у хмарну погоду не буде зафіксоване. Водночас потужні викиди тепла, навіть за щільного хмарного покриву, системою відображаються, оскільки їм відповідає зростання фоновго випромінювання на великій площі.

По-третє, фіксуються викиди тепла лише в момент прольоту супутника над територією



Рис. 7. Викиди тепла на території металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг»

України. Так, супутник Suomi NPP пролітає о 02:33 і 03:47 вночі та о 12:43 і 14:25 вдень; супутник NOAA-20 — о 03:47 і 13:22; супутник Terra — о 02:35 і 03:30; супутник Aqua — о 02:35, 03:30, 13:05 і 14:45.

Надмірна точність у виявленні пожеж. Критерії для класифікації пожеж як потенційно небезпечних встановлено так, щоб більшість пожеж поруч з лісовими масивами потрапляли в цю категорію і визначалися як потенційно небезпечні. Вважається, що оператор візуально відбракує надмірні повідомлення, тоді як пропущене небезпечне займання на початковій стадії може виявитися критичним.

Неточності у відображенні викидів тепла на карті. Визначення характеристик викидів тепла за допомогою карти геокодування має у своїй основі певну неточність. Розрахунок суми потужностей викидів тепла здійснюють не для всієї площі займання, а для ділянки (кластера). Зазвичай потужне займання охоплює багато кластерів. Навіть за однакового типу землекористування кластери розподі-

ляються за належністю до різних населених пунктів. Відповідно, вся площа займання поділяється на менші площі і відображається на карті викидів тепла як кілька осередків, розміщених поруч або частково накладених один на одного. Наприклад, сильне займання на полі, яке починає перекидатися на лісовий масив, відобразатиметься як невелика лісова пожежа і велика пожежа на сільськогосподарських угіддях, що фактично є достовірним, але не передає небезпечності ситуації, що виникла.

Висновки і перспективи. Розроблену нами методику реалізовано як програмний продукт під назвою «Картографічно-аналітична система моніторингу викидів тепла та виявлення потенційно небезпечних пожеж». За даними зі штучних супутників Землі система в автоматичному режимі формує карти викидів тепла на території України (від 6 до 15 разів на добу) і здійснює пошук потенційно небезпечних пожеж. У разі їх виявлення система формує карти відповідних територій і надсилає їх електронною поштою, а також на спеціально

створений для цього канал одного з популярних месенджерів.

На сьогодні картографічно-аналітична система моніторингу викидів тепла та виявлення потенційно небезпечних пожеж, розроблена в

Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України, вже успішно використовується в оперативній діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Sungheetha A., Sharma R.R. Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones. *Journal of Soft Computing Paradigm*. 2020. 2(3): 168–174. DOI: <https://doi.org/10.36548/jscp.2020.3.004>
2. Burke C., Wich S., Kusun K., McAree O., Harrison M.E., Ripoll B., Ermiasi Y., Mulero-Pazmany M., Longmore S. Thermal-Drones as a Safe and Reliable Method for Detecting Subterranean Peat Fires. *Drones*. 2019. 3(1): 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3010023>
3. Varotsos C.A., Krapivin V.F., Mkrtchyan F.A. A New Passive Microwave Tool for Operational Forest Fires Detection: A Case Study of Siberia in 2019. *Remote Sensing*. 2020. 12(5): 835. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12050835>
4. Bilousov K.G., Svinarenko D.N., Khoroshylov V.S., Mozgovoy D.K., Samsonova Y.I., Khmara D.O. The use of day-time and night-time images of visible and infrared range for forest fires monitoring. *Space Sci. & Technol.* 2018. 24(6): 30–40. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2018.06.030>
[Белюсов К.Г., Сви́наренко Д.Н., Хорошилов В.С. и др. Использование дневных и ночных снимков видимого и инфракрасного диапазонов для мониторинга лесных пожаров. *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 6. С. 30–40.]
5. Yakubailik O., Romas'ko V., Pavlichenko E. Complex for reception and real time processing of remote sensing data. *E3S Web Conf. Regional Problems of Earth Remote Sensing*. 2019. 75: 03003. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/20197503003>
6. NASA Official. Fire Information for Resource Management System. <https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov>
7. Savenets M.V., Osadchyi V.I., Oreshchenko A.V. Forest fires in April 2020 and the resulting changes of air quality in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2020. (5): 80–89. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2020.05.080>
[Савенець М.В., Осадчий В.І., Орещенко А.В. Лісові пожежі квітня 2020 року та зумовлені ними зміни якості атмосферного повітря в Україні. *Вісн. НАН України*. 2020. № 5. С. 80–89.]
8. Yasinskiy F.N., Potemkina O.V., Sidorov S.G., Evseeva A.V. Prognosticating Probability of Fire with Connectionist Algorithm on Multiprocessor Computer. *Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University*. 2011. (2): 1–4. (in Russian).
[Ясинский Ф.Н., Потёмкина О.В., Сидоров С.Г., Евсеева А.В. Прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров с помощью нейросетевого алгоритма на многопроцессорной вычислительной технике. *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2011. Вып. 2. С. 1–4.]
9. Putrenko V.V. Data mining of the risk of natural fires based on geoinformation technologies. *Technology audit and production reserves*. 2016. 4(3): 67–72. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.76154>
[Путренко В.В. Интеллектуальный анализ безопасности возникновения природных пожеж на основе геоинформационных технологий. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. Т. 4, № 3. С. 67–72.]
10. Balabukh V.O. Pyrological and climatic zoning of Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology (Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya)*. 2019. (3): 105–107. (in Ukrainian).
[Балабух В.О. Піролого-кліматичне районування України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 105–107.]
11. Zhang G., Wang M., Liu K. Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2019. 10: 386–403. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>
12. Agranat V., Perminov V. Mathematical modeling of wildland fire initiation and spread. *Environmental Modelling & Software*. 2020. 125: 104640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104640>
13. Jang E., Kang Y., Im J., Lee D.-W., Yoon J., Kim S.-K. Detection and Monitoring of Forest Fires Using Himawari-8 Geostationary Satellite Data in South Korea. *Remote Sensing*. 2019. 11(3): 271. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11030271>

14. National report on the state of environment in Ukraine in 2018. (in Ukrainian). <https://mepr.gov.ua/news/35937.html>
[Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.]
15. Map of fires PRO. <http://pro.fires.ru>
16. Pilot project of an electronic register of logging tickets for timber harvesting. The map. <https://lk.ukrforest.com/map/general>
[Пілотний проєкт електронного реєстру лісорубних квитків на заготівлю деревини. Карта.]
17. Fire Information for Resource Management System. <https://firms2.modaps.eosdis.nasa.gov>

Andrii V. Oreshchenko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8363-6885>

Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine
and National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine

Volodymyr I. Osadchyi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0428-4827>

Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine
and National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine

Mykhailo V. Savenets

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9429-6209>

Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine
and National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine

Vira O. Balabukh

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-7531>

Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine
and National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine

DETECTION AND MONITORING OF POTENTIALLY DANGEROUS FIRES ON THE TERRITORY OF UKRAINE USING THE DATA OF SATELLITE SCANNING

The study presents the classification of systems for fires detection and monitoring including forest fires according to the method of fires data collection. In Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Emergency Service of Ukraine and National Academy of Sciences of Ukraine are developed the methods of heat emissions geocoding from data provided by artificial satellites in order to obtain information about the geographic features in which these emissions are recorded. The original method for detecting forest and other potentially dangerous fires is also developed in the Institute. We created the cartographic and analytical system for monitoring heat emissions and detecting potentially dangerous fires that successfully passed check studies and is used in operations of State Emergency Service of Ukraine.

Keywords: heat emissions, forest fires, Python, fire monitoring system, artificial satellites of the Earth.