
МОНІТОРІНГ І ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

А.В. Орещенко

andrey_o@ukr.net

Український гідрометеоро-
логічний інститут
ДСНС України та НАН України

УДК 910.3:77.04:355.4

ОЗНАКИ ПОЖЕЖ, ЯКІ ВИНИКЛИ ВІД БОЙОВИХ ДІЙ, ЗА СУПУТНИКОВИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ

Метою цього дослідження є виявлення дешифрувальних ознак пожеж, які мають альтернативні причини виникнення, ніж господарська та рекреаційна діяльність людини. Щодня впродовж з квітня 2020 р. по вересень 2022 р. проводився аналіз даних супутникового теплового сканування (FIRMS). За результатами аналізу визначено ряд ознак, яким мають відповідати займання негосподарського походження. Це пожежі на нетипових ділянках (міська забудова), які під час військових дій виникають набагато частіше, що мають неправильну форму контурів займань, охоплюють території з різним типом землекористування, занадто потужніші пожежі, що виникають в нетиповий для територій час. З високою ймовірністю господарське походження мають займання на місцях згарищ, які поширилися поступово впродовж кількох діб, пожежі низької та середньої потужності поза зоною бойових дій. Вперше виконано аналіз щодо пожеж за результатами космічної зйомки під час військового конфлікту й виділено дешифрувальні ознаки пожеж від бойових дій.

Ключові слова: дешифрування, пожежі, бойові дії, FIRMS, термоточки, ознаки.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження полягає в розробленні методики класифікації пожеж за походженням (від бойових дій і цивільної діяльності), визначення розміру шкоди довкіллю, завданої пожежами, і протидії піротероризму.

З початку російської агресії проти України внаслідок бойових дій виникла велика кількість пожеж на різних ландшафтах. Ці пожежі, нехай і опосередковано, але з мінімальним узагальненням вказують на небезпечні ділянки для цивільного населення, й також для фахівців ДСНС України, які відповідають за їх ліквідацію. Такі дані мають цінність, тому щоденно надаються відповідним фахівцям. Для покращення якості інформування доречно виконувати класифікацію займань. Оскільки територія навколо пожеж від бойових дій становить загрозу через можливі нерозірвані боєприпаси, ці займання ліквідовуються по-іншому.

15 квітня 2022 р. Державна екологічна інспекція України створила при Оперативному штабі робочу групу, що було затверджено наказом 78/1. Її завданням є розроблення методичних документів щодо порядку визначення шкоди та нарахування збитків, завданих природним ресурсам та навколишньому

природному середовищу внаслідок збройної агресії російської федерації. Військові дії можуть завдавати шкоду різним об'єктам навколишнього середовища: біорізноманіттю, ґрунтам, поверхневим водам тощо, всього понад 7 компонентів. За допомогою оцінки викидів тепла можна прорахувати завдану шкоду для атмосферного повітря, ландшафтів і лісових угідь. Можна перевести потужність горіння в об'єм згорілого матеріалу, відповідно отримати площі спаленої місцевості та об'єм шкідливих речовин, які потрапили в атмосферне повітря.

Ще однією із небезпек у ході військових операцій є піротероризм — загроза лісових пожеж, спричинених підпалами, як майбутня терористична зброя [17]. У цьому випадку лісові пожежі є не наслідком, а "зброєю помсти", призначеною для відплати за програму війну. Це робить дане дослідження більш актуальним. Історія випадків і стратегій знищення навколишнього середовища, розглянута в роботі [20], нараховує десятки подій: від знищення святих місць до перетворення території на непридатну для проживання на десятки років уперед внаслідок використання дефоліантів. До подібних випадків можна віднести також підриг росіянами греблі Каховської ГЕС.

Процесом дешифрування пожеж за результатами супутникових спостережень називатимемо виявлення і визначення їх типу і характеристик (тривалості горіння, контурів осередків пожежі) за конфігурацією, взаємним розміщенням викидів тепла та ряду інших ознак.

На основі статей, які були розглянуті, можна зробити **кілька висновків про стан вивчення даного питання.**

По-перше, моніторингом пожеж займалися чимало вітчизняних організацій та окремих авторів. Це Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського [4], Військовий інститут КНУ імені Тараса Шевченка [13], Національний університет біоресурсів і природокористування України [7], Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України [10–11], а також ряд інших державних установ і приватних компаній [6]. Цьому сприяла загальнодоступність і відкритість даних космічного моніторингу й відносно нескладна технологія їх опрацювання. З кінця 1999 р., коли NASA запустило перший супутник із термосканером, опубліковано кілька десятків вітчизняних і кілька сотень праць зарубіжних авторів. Наприклад, перша стаття в Україні [5] опублікована у 2002 р. Деякі автори узагальнили наукові результати, у цій сфері на даний час [28]. Одною з кращих є праця [15], у якій наведено розгорнуту класифікацію методів виявлення і спостереження за лісовими пожежами: супутникові, оптичні (прямого візуального контакту), опосередковані (виявляють пожежі за їх наслідками — димом, викидами димішок у повітря), дистанційні сенсорні прямого контакту. Усі ці дослідження дають можливість зробити висновок, що централізованої й відкритої системи моніторингу пожеж в Україні немає, оскільки розпорошені зусилля окремих організацій і авторів не привели до створення серйозного багатофункціонального продукту, здатного конкурувати з іноземними і повністю задовольняти вітчизняного користувача. До цієї категорії слід віднести також роботи, які описують суть самих лісових пожеж, причин їх виникнення, що може бути корисним для розуміння даного дослідження. Наприклад, в статті [9] характеризують, окрім методики моніторингу торфовищ, причини виникнення торф'яних пожеж (80–90% спричинених людським фактором, решта 10–15% пожеж можуть виникати від блискавок, проїжджачого транспорту та самозаймання торфу).

По-друге, наявність у відкритому доступі певних довідок про особливості роботи супутників із термосканерами зумовила появу багатьох статей, у яких описується технологія отримання й опрацювання теплових аномалій, зумовлених пожежами, особливості функціонування як супутникової сис-

теми моніторингу пожеж загалом, так і окремих її елементів. Таких праць дуже багато, а вибрані статті становлять цінність для розуміння і оцінки цього дослідження. У праці [13] коротко викладено особливості космічного моніторингу ландшафтних пожеж за допомогою інструмента FIRMS (Fire Information for Resource Management System). У статті [2] дуже детально описані основні характеристики космічного апарату Suomi NPP та його сканерів у порівнянні зі сканерами апаратів NOAA, Aqua и Terra, вказано принцип їх роботи. Є матеріали з просторово-часового аналізу розподілу викидів тепла і пожеж [22, 27]. З іншого боку, автори статті [9] для аналізу пожеж на торфовищах, які мають ризики загоряння, використовували багатоспектральні супутникові дані серії Landsat 7–9 з розрахунками відтвореної температури земної поверхні у тепловому діапазоні. На жаль, періодичність знімання (16 діб) на той час була невисока, тому в поєднанні з не завжди сприятливими погодними умовами використання супутників серії Landsat було недоцільним.

Є роботи, які подібні до цього дослідження не за темою, а швидше за методикою, яка використовується. Методика детектування осередків пожеж і визначення їх потужності та інших характеристик добре викладена у статті [14, 26].

По-третє, більш важливими, але малочисельними є роботи із вивчення кількості пожеж внаслідок військових дій. Зокрема, у роботі [18] описано лісові пожежі в провінції Дерсім в Туреччині і їх залежність від числа бойових дій внаслідок конфлікту між турецькою державою та Робітничою партією Курдистану в 2015 р. Використовується мультидисциплінарний підхід, який поєднує методи якісного аналізу друкованих ЗМІ (газет), обговорення цих подій у соціальних мережах “Твіттер” із кількісними методами: дистанційним зондуванням і просторовим аналізом. Все це дозволяє краще зрозуміти роль конфлікту в потенційному посиленні частоти та серйозності лісових пожеж. Хоча точно визначити причину кожної пожежі надто складно, результати досліджень свідчать про значний зв'язок між пожежами та конфліктом у турецькій провінції Дерсім, вказуючи на те, що частота конфліктів загалом корелює з кількістю пожеж. Також є більш фундаментальні видання [19, 25], у яких детально розглянуто наслідки війни для навколишнього середовища. Метою огляду [23] є розгляд конкретних впливів сучасної війни (тобто з початку 20-го століття) на структуру екосистеми (особливо біорізноманіття та статус популяцій і спільнот) і її функціонування.

Технологія виявлення й оцінювання площ лісових пожеж за згарищами, а також аналіз сукцесійних

процесів на згарищах за даними космічних зніманий розроблена в ЦАКДЗ ІГН НАН України та впроваджена в структурні підрозділи Чорнобильської зони відчуження. Є кілька відповідних публікацій [6, 24].

Крім наукових публікацій, є розширені дослідження [8], створені структурними підрозділами університетів. Загалом структура цієї роботи типова і передбачає виведення пожежних сигналів із сигналів теплових аномалій, обробку рядів супутникових знімків для створення точної карти пожеж, щомісячне картографування пройдених вогнем територій і оцінювання частки лісових пожеж у загальній кількості природних пожеж. У ній детально викладена методика оцінювання площ пожеж. На сторінці 11 цієї роботи показано збільшення кількості пожеж внаслідок бойових дій, а на 13-й — збільшення лісових пожеж. При цьому в ній не наведено приклади класифікації пожеж. Точніше, лише за часовим аспектом — до та після 2014 р. Важливим є алгоритм оцінки площ лісових пожеж за згарищами, а не контурами теплових аномалій, що є більш прогресивною технологією. Також підраховано кількість пожеж — впродовж 2013–2018 рр. на тимчасово окупованих територіях Донецької та Луганської областей. Там сталися 4314 пожеж, із них лісовими є 255 [8, с. 16].

По-четверте, наукових публікацій і тез про пожежі, які виникли в Україні після 24 лютого 2022 р., практично немає, за винятком тез [12]. У таких роботах головну увагу зосереджують на екологічному аспекті без спроби кількісно оцінити їх вплив.

Ще є цілий ряд статей, які можна використати для дослідження, оскільки вони містять важливі дані. Зокрема, це дані про кількість і площу, пройдену пожежами, які відбулися до 2022 р. [7]. Вони становлять “базис” для порівняння із кількістю пожеж, які виникли після 24 лютого на території України.

Однак немає дослідження, яке би дало змогу вирішити актуальну задачу: виявляти пожежі, спричинені бойовими діями, використовуючи супутникові знімки (інші методи збору інформації недоступні через високу інтенсивність бойових дій), на основі чіткого ряду ознак. Останні до сьогодні не сформовані. Відповідно, метою дослідження є виявлення дешифрувальних ознак, характерних саме для пожеж, які виникли внаслідок бойових дій і були зафіксовані термосканерами супутників.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз пожеж за результатами супутникового сканування був розпочатий у квітні 2020 р. (із виникненням лісових пожеж у Зоні відчуження Чорнобильської АЕС). Впродовж 2020 — 2022 рр. було накопичено певний досвід їх опрацювання. З 24 лю-

того 2022 р. щодня пожежі від бойових дій порівнювали із раніше отриманими результатами, включаючи весь період супутникових спостережень із січня 2000 р. Підсумки у дослідженні були підбиті в середині вересня 2022 р.

У цій роботі для визначення осередків горіння та інтенсивності виділення тепла в них під час лісових пожеж у квітні 2020 р. використовували дані спостережень із чотирьох супутників, аналогічні [13]: Terra (запущений у рамках програми NASA Earth Observing System 18.12.1999 р.), Aqua (04.05.2002 р.), Suomi NPP (Suomi National Polarorbiting Partnership, 28.10.2011 р.) і NOAA-20 (JPSS-1, 18.11.2017 р.). Архівні дані про активні пожежі на території України з було отримано на сайті Fire Information for Resource Management System (FIRMS) Національного управління з авіації та дослідження космічного простору (NASA) США (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>). Результати спостережень FIRMS — це термоточки (викиди тепла), розміщені поблизу джерела вогню або гарячої поверхні в межах 0–400 метрів. Ці дані містять географічні координати викиду тепла, час і дату його фіксації, назву супутника, потужність викиду тепла, достовірність даних та деякі інші технічні параметри. Для радіометрів MODIS або VIIRS, встановлених на різних супутниках, ці дані відрізняються, хоча фактично є результатом спостережень однієї тієї ж території. Проте ця різниця невелика.

Для щоденного опрацювання результатів спостережень використовували Систему моніторингу викидів тепла і виявлення потенційно-небезпечних пожеж, яка розроблюється в УкрГМІ, починаючи з 2020 р. [22–27]. Вона є набором скриптів на мові Python, які дозволяють створювати карти викидів тепла і масштабних займань на довільну дату. Важливі займання мають потужність більше 10 МВт для лісового масиву і 200 МВт для інших типів землекористування. Але досліджувалися всі займання, навіть з невисокою потужністю.

Викиди тепла одного супутника об’єднували в один осередок, якщо відстань між ними складала менше 2 км. Це значення взято із наступних міркувань: відстань між сусідніми пікселями спектро-радіометра MODIS, який встановлений на борту супутників NASA Aqua і Terra, складає 1,1 км., у спектро-радіометра VIIRS — це значення менше 375 м. Таким чином, якщо відстань між сусідніми осередками буде до 500 метрів, вони гарантовано потраплять на сусідні пікселі, і відстань між термоточками складатиме 1,1 км, а якщо більше — 700–900 метрів, осередки можуть потрапити на різні пікселі спектро-радіометра і відстань між ними буде 2,2 км. Тому значення від 2,0 км дозволяє однозначно вивести

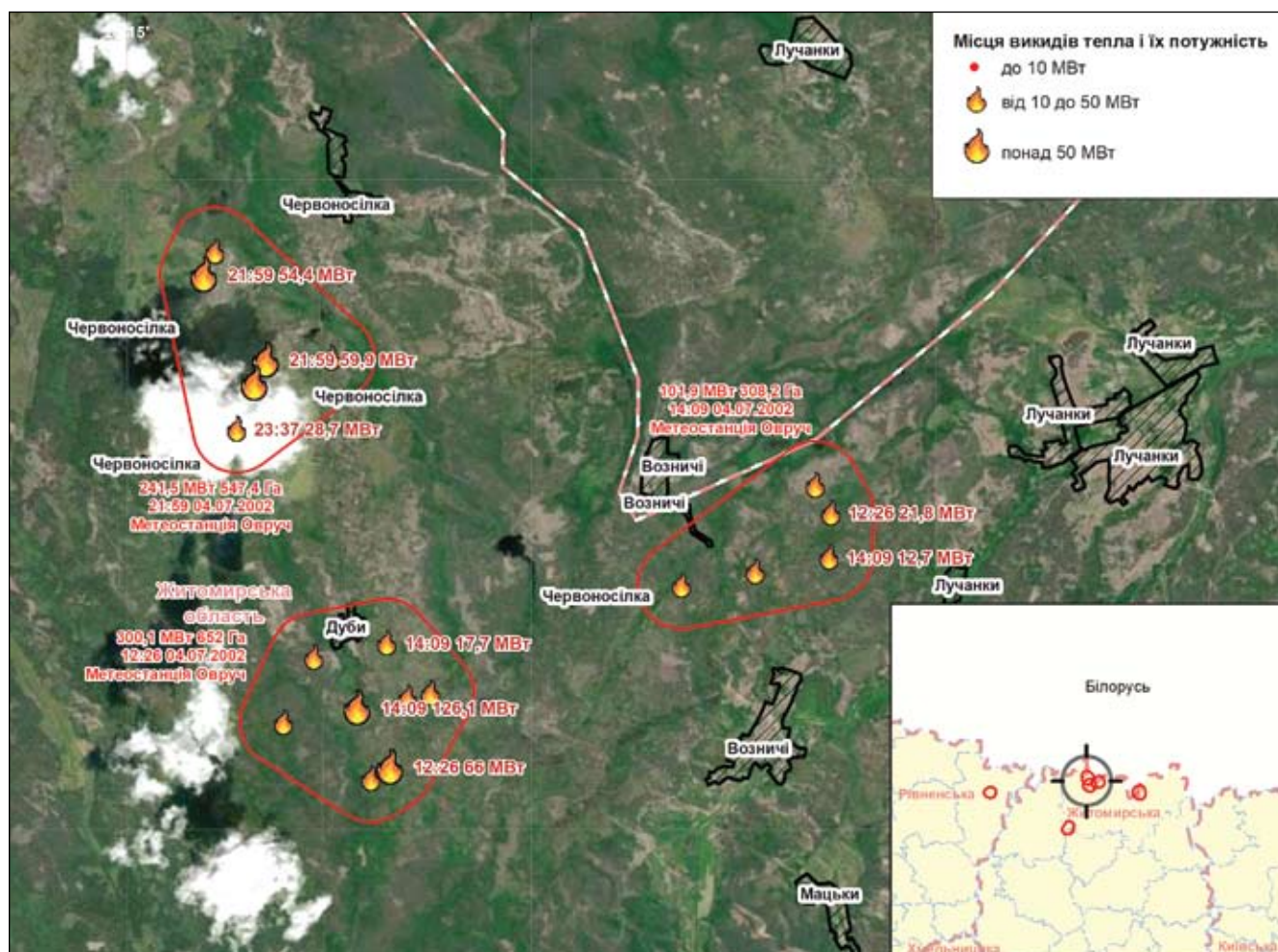


Рис. 1. Одна з перших пожеж у Житомирській області з початку супутникових спостережень. 4 липня 2002 р.

контур цілісного осередку пожежі [1]. Методика визначення відстані між термоточками для утворення осередків пожеж наведена у праці [3]. Контур осередку проводився за крайніми термоточками масиву, для нього підраховувалася сумарна потужність усіх викидів тепла, які потрапляють до нього, а також його площа. Для якісного відображення і зручного сприйняття осередку на картах навколо нього проводився буфер радіусом 1 км, саме він показаний на всіх нижченаведених картах.

Для точного встановлення походження пожеж створені карти співставлялися із інформацією про обстріли територій та займання в результаті цих обстрілів, які публікувалися на інформаційних порталах і в соціальних мережах. Пожежі від бойових дій порівнювалися із розробленим раніше набором карт масштабних лісових пожеж практично на весь період супутникових спостережень, з 2000 по 2020 рр. (рис. 1). Також виконувалося порівняння виявлених осередків із актуальними космічними знімками середньої роздільної здатності, розміщеними на тому ж ресурсі (FIRMS). Це дозволяло

отримувати підтвердження великих осередків за димовим шлейфом.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ З ОБҐРУНТУВАННЯМ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Слід уточнити, що викиди тепла розміщуються не на місці осередків пожежі, а в центрі комірок регулярної віртуальної матриці, повернутої на певний кут, яка виникає під час сканування Земної поверхні, індивідуальної для кожного супутника. Це частково описано у праці [13], однак потребує уточнення. На рис. 2а зображено займання на полі біля с. Семиполки Броварського району Київської області. На ньому займання виникло виключно на сільськогосподарському угідді, однак відображається й на території населеного пункту. Займання є витягнутим вздовж напрямку сканування, можливо має кілька неінтенсивних осередків через невелику кількість горючого матеріалу. Імовірно на полі горять залишки стерні або бур'яни. Викиди тепла на рис. 2б створюють ілюзію їх розміщення на місці найбільших осередків. Однак останні не можуть

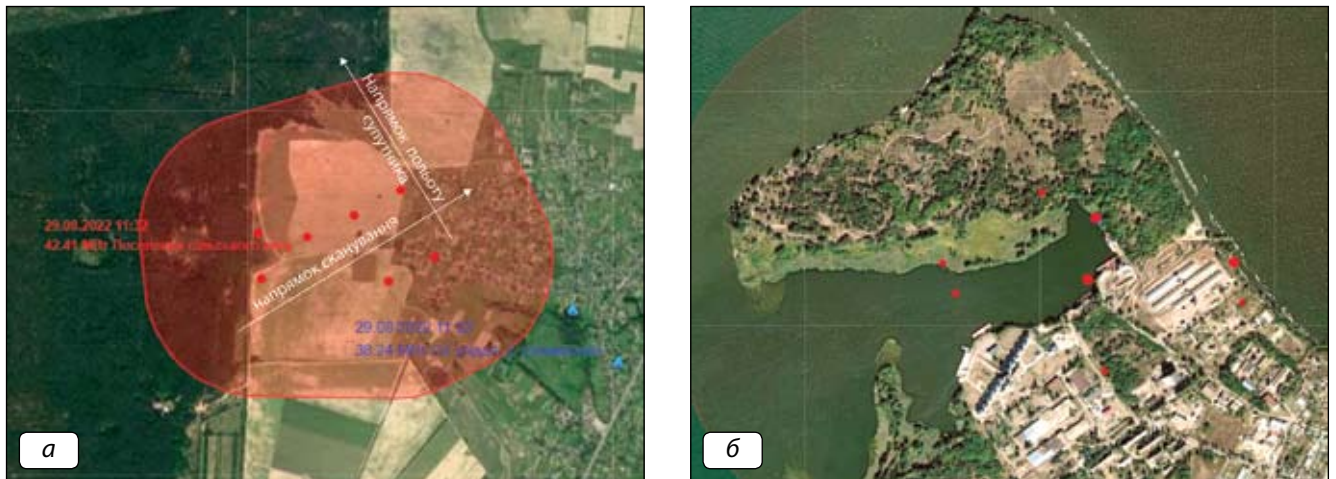


Рис. 2. Особливості розміщення викидів тепла: *а* — чітко вздовж лінії сканування; *б* — накладення викидів тепла від кількох супутників

бути на відкритій воді. Відповідно, до осередку займання, він розміщений північніше і східніше на 20–200 м, на березі.

Далі по тексту наведені *ознаки, за якими виділяються "бойові" пожежі*. Ознаки 7–9 вказують на займання не від військових дій.

Ознака 1. Нетипові ділянки для виникнення пожеж, на яких пожежі не фіксувалися продовж всього часу супутникових спостережень. До таких нале-

жать території населених пунктів, особливо великих і середніх міст. У випадку фіксації багатьох викидів тепла з високою імовірністю можна стверджувати про обстріл населеного пункту. На *рис. 3* більша частина викидів тепла розміщується в центрі м. Бахмут. Незважаючи на те, що один із викидів тепла потрапляє на зруйновану ще до початку бойових дій ТЕЦ, кількість викидів тепла й раптовість їх появи, а також відсутність природних горючих матеріалів

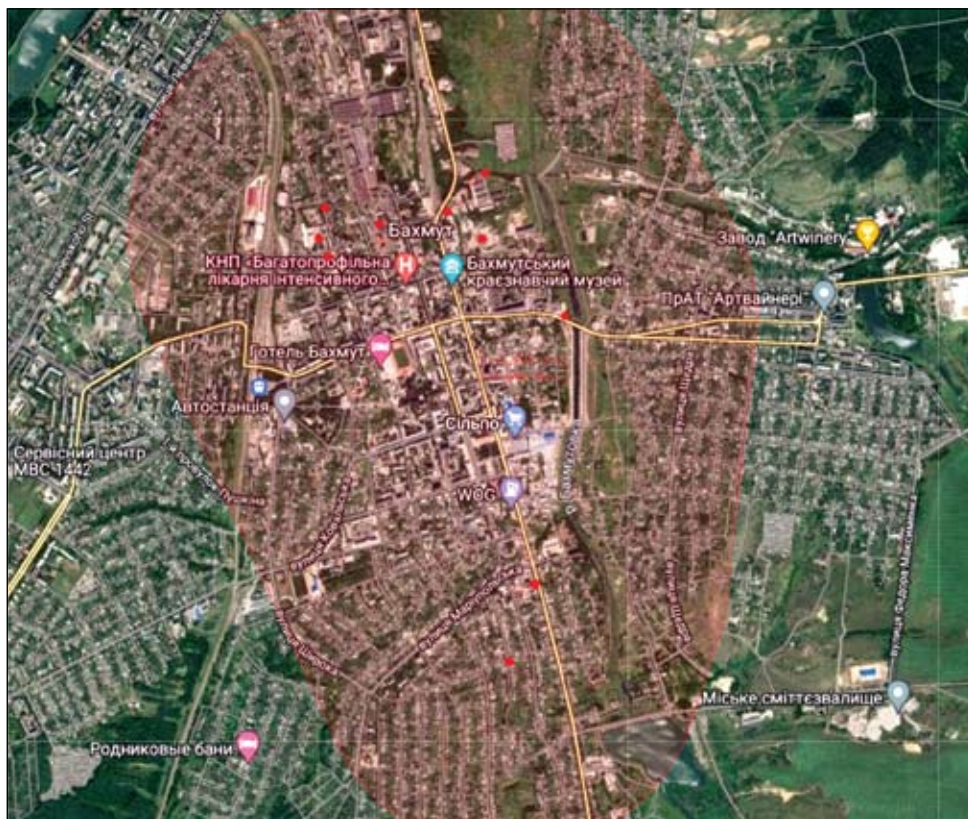


Рис. 3. Викиди тепла у м. Бахмут станом на 31 серпня 2022 р.

і розташування поряд із зоною бойових дій вказує саме на займання від останніх.

Вияток. Є ряд територій, на яких періодично фіксуються викиди тепла: на металургійних, коксохімічних та цементних заводах розігріті поверхні (печі) сприймаються супутниками як невеликі пожежі; рекреаційні й заповідні території (осінь і весна, літо); лісові масиви з вирубанними ділянками (літо, осінь); сміттєзвалища, території біля нафтопереробних заводів, ферм (часто у вихідні дні); сільськогосподарські угіддя, окремі луки і заболочені території — після збору врожаю і під час підготовки до посівної (липень, серпень, жовтень, березень). Як правило, займання на цих територіях не є ознакою бойових дій. Швидше навпаки — відсутність діяльності на територіях заводів може вказувати на бойові дії й пошкодження самих підприємств і комунікацій.

Ознака 2. Займання, які охоплюють території з різним типом землекористування: поєднання сільгоспугідь, лук, забудованих територій і лісів без чіткого домінування якогось типу, як правило, означають наявність певної, досить потужної сили, яка зумовила ці займання, відмінної від господарської діяльності людини. У березні 2022 р. (22, 23, 28 числа) сталися найбільші (по інтенсивності займань) бойові дії біля м. Київ, які охопили різні за призначенням землі (рис. 4). На користь такого походження займань свідчать їх розташування й потужність.

Ознака 3. Неправильна форма контурів займання. Як правило, навіть потужні займання, які походять від природних або цивільних техногенних причин, на початку мають овальну або округлену, тобто правильну форму. Округла форма характерна для пожежі, яка виникла з однієї або кількох близько розміщених точок і поширюється природньо. Вже згодом форма пожеж може змінитися — тривалі природні займання витягуються в напрямку вітру. Прикладом є форми згарищ від квітневих пожеж 2020 року. Займання від обстрілів, у багатьох випадках, відразу після виникнення має лінійну, занадто витягнуту або трикутну форми (рис. 4 і 5). Витягнута форма займання може бути пов'язаною з формою ураженого об'єкту під час його комплексного знищення.

Ознака 4. Занадто потужне займання (рис. 6) або їх велика кількість (рис. 4), що є не характерним для території, яка опинилася під вогнем. Природні пожежі також бувають досить потужними, особливо лісові. При цьому наявні великі кластери з термоточок. Однак важливим для правильної ідентифікації пожежі від бойових дій є її "раптова" поява на місці, на якому впродовж попереднього сканування (4–12 годин тому) її не було виявлено.



Рис. 4. Території з різним типом користування, охоплені займанням в поєднанні з неправильними контурами пожеж та їх кількістю



Рис. 5. Витягнуте вздовж однієї осі займання під час обстрілу м. Донецьк в ніч на 11 серпня 2022 р.

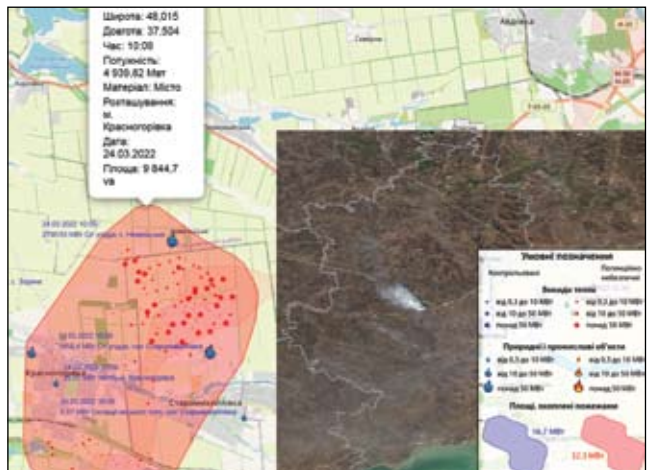


Рис. 6. Потужне займання біля Зони розмежування із тимчасово окупованою Донецькою областю. На вірзці показаний актуальний космічний знімок із димовим шлейфом від пожежі

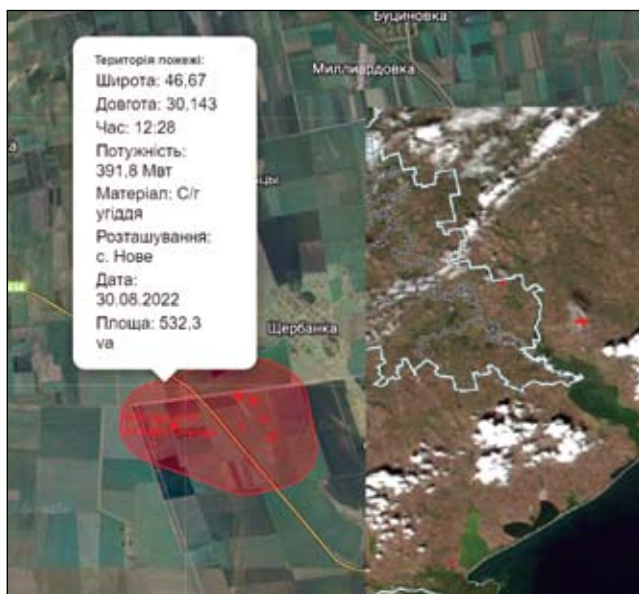


Рис. 7. Займання в Одеській обл. і задимлення від неї на космічному знімку

Пожежі на підприємствах, складах, торговельних центрах (не військового характеру) також можуть підпадати під цю категорію. Однак такі пожежі відбуваються досить нечасто, а масштабна пожежа на незадіяній у господарському відношенні території є явною ознакою бойових дій.

Виняток. Не можна механічно відносити пожежі до тих, які виникли внаслідок бойових дій, а лише із врахуванням логіки й бажано кількох підтверджуючих факторів. Зокрема, пожежа в Одеській області (рис. 7) ймовірно має господарське походження.

Ознака 5. Займання в нетиповий для даної території час, тобто невідповідність часу виникнення займання (особливо для незабудованих територій). Для сільгоспугідь — це весь рік, крім березня, липня і серпня, а також жовтня. Для природних рекреаційних територій — частина року з жовтня по квітень включно.

Ознака 6. Одночасне виникнення займань в кількох населених пунктах (рис. 8). У багатьох про-

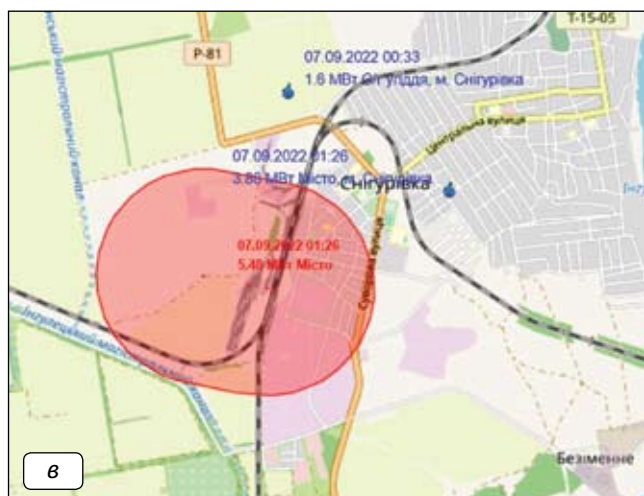
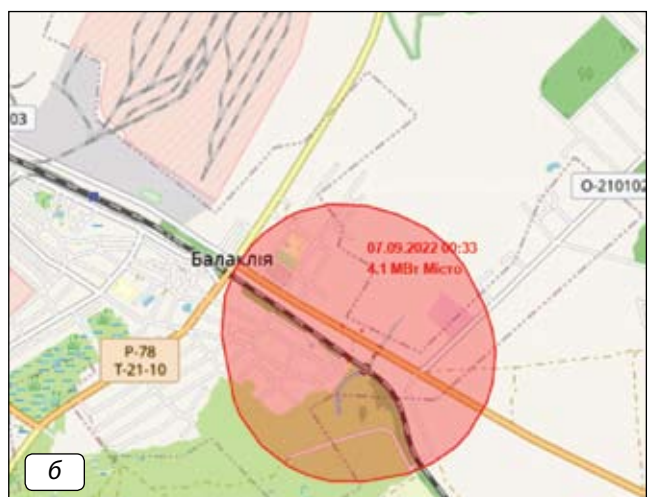
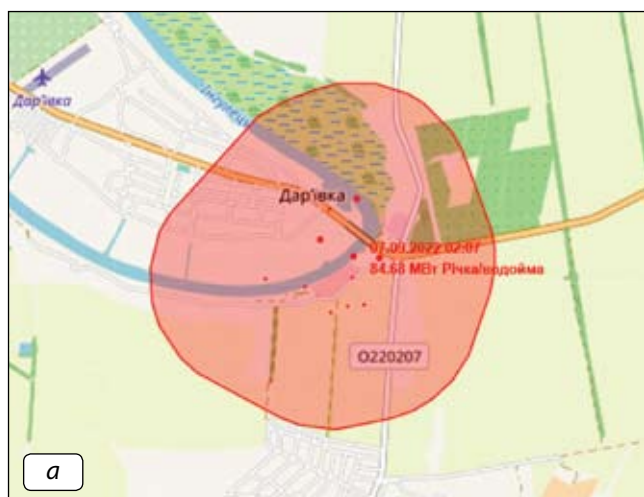


Рис. 8. Одночасне займання в кількох населених пунктах вночі 7 вересня 2022 р.: а — с. Дарівка Херсонського району Херсонської обл.; б — м. Балаклія Харківської обл.; в — м. Снігурівка Баштанського району Миколаївської обл.; з — смт. Шевченкове, Куп'янський район, Харківська обл.

мислових містах, які мають на своїй території великі металургійні, коксохімічні або хімічні підприємства, на зразок Кривого Рогу (Криворіжсталь), Запоріжжя (Запоріжсталь), Макіївка (Макіївський металургійний завод), Алчевськ (Алчевський металургійний комбінат), викиди тепла фіксуються щодоби. Вони не є наслідком військових дій, оскільки мали місце впродовж всієї історії супутникових спостережень. Викиди тепла на території цих міст відбуваються на промислових майданчиках і не зачіпають житлової забудови. Тому поява на забудованих територіях одночасно в кількох населених пунктах груп викидів тепла з високою долею імовірності означає обстріл. Однак самі по собі обстріли рідко приводять до займань, особливо в багатоповерхових спорудах. Займання виникають тільки у випадку пошкодження газопроводів, автозаправних станцій, наявності територій з сухою рослинністю, лісу або дерев'яних будівель.

Слід виділити ряд альтернативних ознак, які вказують на займання від невійськових (антропогенних або стихійних) причин.

Ознака 7. Не можна гарантовано віднести до пожеж, які виникли внаслідок бойових дій, ті займання, які виникають на місцях попередніх досить сильних пожеж. Одною із таких є північна ділянка Зони відчуження біля смт. Вільча, с. Зимовище і с. Шепеличі Іванківського (Вишгородського) району. Потужні поклади торфу та, ймовірно, вирубування лісу один раз на кілька років приводять до масштабних займань. Незважаючи на близьке розташування державного кордону з Республікою Білорусь, ці займання мають господарське походження. Однак це не виключає те, що вони також можуть бути спровоковані військовими діями. Займання в цьому ж місці виникає з тривалого тління і поступового збільшення інтенсивності пожежі. Цю особливість можна віднести до ознаки 8 — поступове, повільне збільшення пожежі впродовж кількох днів.

Ознака 9. Не відносимо до військових пожеж ті займання, які виникли на рекреаційних терито-

ріях поза зоною бойових дій. Не зважаючи на те, що ракетні обстріли можуть відбуватися на великій відстані від зони розмежування сухопутних військ, така пожежа матиме локальне значення. Її не можна порівнювати за масштабом з пожежею, яка виникла від артилерійського площинного обстрілу для покриття значної території.

ВИСНОВКИ

Тому вперше у практиці українських дослідників визначено дешифрувальні ознаки пожеж, які виникли від військових дій, за даними супутникових спостережень в інфрачервоному спектрі. Нетипове розміщення викидів тепла і характеристики пожежі: обриси контуру, час і місце появи, надмірна потужність, велика кількість осередків — все це є ознаками артилерійського або повітряного обстрілу значної площі. Крім цього, пожежі від бойових дій поєднують у собі кілька ознак: неправильність контурів і їх чисельність (обстріл по кількох площах), нетиповий час виникнення, багато осередків і потужність займання (знищення врожаю), охоплення кількох видів землекористувань і відсутність на цих територіях пожеж впродовж часу спостережень. Проте картографічний підхід дозволяє отримати не лише якісні, а й кількісні характеристики пожеж. Критерії ототожнення пожеж від бойових дій за потужністю викидів тепла внаслідок процесів горіння дозволять з більшою точністю класифікувати останні, а також визначити їх числові характеристики (площу, потужність, об'єм згорілої рослинності або будівельних матеріалів). Для цього потрібно розробити методику перерахунку оптичних характеристик відбитого випромінювання у дальньому інфрачервоному спектрі електромагнітних хвиль (радіаційної температури) у значення потужності виділення тепла. Ця методика насамперед дозволить підрахувати обсяги збитків, які завдаються ландшафтам та атмосферному повітрю, як це було визначено у статтях [21, 26].

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бондар О. І., Іваненко І. Б., Шусть В. І., Канцурак В. В., Кохан О. В. Удосконалення екологічного контролю щодо особливо небезпечних територій за допомогою засобів космічного зондування. *Екологічні науки*. 2020. **5** (32). 8. [Bondar O., Ivanenko I., Shust V., Kantsurak V., Kokhan O. (2020). Improving environmental control of particularly dangerous areas with the help of space probing. *Ecological sciences*. **5** (32). 8] [In Ukrainian].
2. Вишняков В.Ю., Нагаєвський В.М., Шелестюк Ю.О. Аналіз та реалізація моделей моніторингу підстильної поверхні за даними Suomi NPP. *Екологічна безпека та природоохористування*. 2015. **2** (18). 87–94.
3. Гаврись А.П., Моренюк Р.Я., Гарасимюк І.М. Метод просторового розміщення пожежонебезпечних ділянок на підставі даних дистанційного зондування землі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. **29**. 8. 36–42.
- [Havrys A. P., Moreniuk R. Ya., Harasymiuk I. M. (2019). Method of fire areas localization on the basis of remote sensing data. *Scientific Bulletin of UNFU*. **29**. 8. 36–42] [In Ukrainian].

4. Гапон С.В., Путренко В.В. Моніторинг пожеж на території об'єднаних територіальних громад засобами геоматики. *Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції* (Київ, 2020). 283–284.
[Hapon S.V., Putrenko V.V. (2020). Fires monitoring proceeded on the territory of united territorial communities by means of geomatics. *Ecology. Man. Society: materials of the XXI International Scientific and Practical Conference* (Kyiv, 2020). 283–284] [In Ukrainian].
5. Дубровський В., Пархісенко Я.В., Петроченко О.Ю., Потапенко Л.С., Рябоконеко О.Д., Штепа Ю.Н. Космічний моніторинг лісових пожеж за знімками NOAA в УЦМЗР. *Космічна наука і технологія*. 2002. **8**. 2–3. С.246–248.
[Dubrovskiy V., Parkhisenko Ya.V., Petrochenko O.Yu., Potapenko L.S., Riabokonenko O.D., Shtepa Yu.N. (2002). Space monitoring of forest fires based on NOAA images at UCMZR. *Space science and technology*. **8**. 2–3. 246–248] [In Ukrainian].
6. Жолобак Г. М. Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України. *Космічна наука і технологія*. 2010. **16**. 3. 46–54.
[Zholobak H. M. (2010). National experience of satellite monitoring of forest areas of Ukraine. *Space science and technology*. **16**. 3. 46–54] [In Ukrainian].
7. Зібцев С.В., Сошенський О.М., Гуменюк В.В., Корень В.А. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2019. **10**. 3. С. 27–40.
[Zibtsev S.V., Soshenskiy O.M., Humeniuk V.V., Koren V.A. (2019). Long term dynamics of forest fires in Ukraine. *Ukr. Journal of Forest and Wood Science*. **10**. 3. 27–40] [In Ukrainian].
8. Зібцев С.В., Миронюк В.В. Аналіз просторово-часових особливостей кількості та площ природних пожеж на території Східної України (окупованих територій) [Електронний ресурс]. Київ : Регіональний Східноєвропейський центр моніторингу пожеж (REEFMC), Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2018. 18 с. Режим доступу: nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/osce_ato_fire_2013-2018_report.pdf.
[Zibtsev, S.V., Myroniuk, V.V. (2018). Analysis of spatial and temporal characteristics of the number and area of natural fires on the territory of Eastern Ukraine (occupied territories) [Electronic resource]. Kyiv: Regional Eastern European Fire Monitoring Center (REEFMC), National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, 18] [In Ukrainian].
9. Ліщенко Л.П., Шевчук Р.М., Філіпович В.Є. Методика супутникового моніторингу торфовищ з метою визначення їх пожежонебезпечного стану та оцінювання ризиків виникнення пожеж на них. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2022. **9** (1). С. 17. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.210>.
[Lishchenko L.P., Shevchuk R.M., Filipovych V.Ye. (2022). Methodology of satellite monitoring of peatlands for the purpose of determining their fire-hazardous state and assessing the risks of fires occurring on them. *Ukrainian Journal of Earth Remote Sensing*. **9** (1). 17] [In Ukrainian].
10. Орещенко А.В., Осадчий, В.І., Савенець, М.В., Балабух В.О. Виявлення і моніторинг потенційно небезпечних пожеж на території України за даними супутникового сканування. *Вісник Національної академії наук України*. 2020. **11**. 33–44.
[Oreshchenko A.V., Osadchyi V.I., Savenets M.V., Balabukh V.O. (2020). Detection and monitoring of potentially dangerous fires on the territory of Ukraine based on satellite scanning data. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*. **11**. 33–44] [In Ukrainian].
11. Орещенко А.В. Проект "Система моніторингу лісових пожеж": як це зроблено? — технології та компетенції. *Українське Полісся: проблеми та тренди сучасного розвитку: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції* (м. Ніжин, 10–11 лютого 2022 року). Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2022. С. 110–114.
[Oreshchenko A. (2022). The project "Forest fire monitoring system": how is it done? — technologies and competencies. *Ukrainian Polissia: problems and trends of modern development: materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (Nizhyn, February 10–11, 2022). Nizhyn: NSU named after Gogol, 110–114] [In Ukrainian]
12. Постова А. Пожежі в екосистемах України через бойові дії. *Проблеми раціонального використання соціально-економічного, еколого-енергетичного, нормативно-правового потенціалу України та її регіонів: тези II Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Луцьк, 1 червня 2022 року). Луцьк: Волиньполіграф, 2022. 65 с.
[Postova A. (2022). Fires in the ecosystems of Ukraine due to hostilities. *Problems of the rational use of the socio-economic, ecological-energy, regulatory and legal potential of Ukraine and its regions: abstracts of the 2nd International Scientific and Practical Conference* (Lutsk, June 1, 2022). Lutsk: Volyn Polygraph, 65.] [In Ukrainian]
13. Савков П., Левінськова Н., Бондарчук Г., Постарниченко Н. Геоінформаційні системи в моніторингу лісових ресурсів. *Військово-спеціальні науки*. 2021. **1** (45). 71–75. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.71-74>.
[Savkov P., Levinskova N., Bondarchuk H., Postarnychenko N. (2021). Geoinformation systems in the monitoring of forest resources. *Military-Special Sciences*. **1** (45). 71–75] [In Ukrainian].
14. Талерко М.М. Застосування величини FRP (Fire Radiative Power) для оцінки емісії радіонуклідів в атмосферу внаслідок лісових пожеж у зоні відчуження у квітні 2020 р. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2020. **4** (19). 66–74. doi.org/10.31717/2311-8253.20.4.8
[Talerko M. (2020). Application of the FRP (Fire Radiative Power) value to estimate the emission of radionuclides into the atmosphere due to forest fires in the exclusion zone in April 2020. *Nuclear power and environment*. **4** (19). 66–74] [In Ukrainian].
15. Ahmad A.A. Alkhatib (2014). A Review on Forest Fire Detection Techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. Article ID 597368, 12 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597368>.
16. Sofiev M., Vankevich R., Lotjonen M. et al. (2009). An operational system for the assimilation of the satellite information on wild-land fires for the needs of air quality modelling and forecasting. *Atmos. Chem. Phys*. **9**. 6833–6847.
17. Baird R.A. (2006). Pyro-Terrorism — The Threat of Arson-Induced Forest Fires as a Future Terrorist Weapon of Mass Destruction. *Studies in Conflict & Terrorism*. **29**. Issue 5. 415–428. <https://doi.org/10.1080/10576100600698477>.
18. Dinc P., Eklund L., Shahpurwala A. et al. (2021). Fighting Insurgency, Ruining the Environment: the Case of Forest Fires in the Dersim Province of Turkey. *Human Ecology*. **49**. 481–493. <https://doi.org/10.1007/s10745-021-00243-y>.
19. Dinc P. (2021). Forest Fires in Dersim and Sirnak. Conflict and Environmental Destruction // Ecological solidarity and the kurdisch freedom movement: Thought, practice, challenges, and opportunities. Lund: Ecological Solidarity and the Kurdisch Freedom Movement, 266 p.

20. Finch F.R. (1996). This Land Is Our Land: The Environmental Threat of Army Operations. *International Law Studies*. **69**. 99–115.
21. Ichoku C.A. Kaufman J.Y. (2005). Method to Derive Smoke Emission Rates from MODIS Fire Radiative Energy Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. **43** (11). 2636–2649.
22. Khoir A.N., Ooi M.C.G., Liew J., Suradi, Kurniawan A., Ni'amillah A. (2021). MODIS-derived fire spatial and temporal distribution during haze season in Southeast Asia using empirical orthogonal function. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 880 012003. doi:10.1088/1755-1315/880/1/012003.
23. Lawrence M.J., Stemberger H.L.J., Zolderdo A.J., Struthers D.P., Cooke S.J. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environmental Reviews*. **23**. 4. 443–460. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0039>.
24. Lishchenko L., Pazynyzh N. (2016). Monitoring of peat bogs areas to identify fire hazards by remote sensing. *Ukrainian journal of remote sensing*. **8**. 29–39.
25. The Environmental Consequences of War: Legal, Economic, and Scientific Perspectives. Jay E. Austin (Ed.), Carl E. Bruch (Ed.). (2007). Cambridge: Cambridge University Press, 712 p.
26. Vadrevu K., Lasko K. (2018). Intercomparison of MODIS AQUA and VIIRS I-Band Fires and Emissions in an Agricultural Landscape — Implications for Air Pollution Research. *Remote Sens*. **10**. 978.
27. Wan C., Roy S.S. (2022). Geospatial characteristics of fire occurrences in southern hemispheric Africa and Madagascar during 2001–2020. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01487-0>.
28. Yuan C., Zhang Y., Liu Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian journal of forest research*. **45**. 783–79. dx.doi.org/10.1139/cjfr-2014-0347.

A.V. Oreshchenko

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

SIGNATURES OF WILDFIRES CAUSED BY HOSTILITIES USING THE RESULTS OF SPACE PHOTOGRAPHY

There are no scientific works to present date, which would reveal the issue of separating fires from atypical causes from others caused by economic and recreational activities, using satellite infrared imaging. The purpose of this study is to establish the special deciphering signatures of atypical fires. Deciphering fires is their classification according to a number of characteristics: area, power, contour configuration, etc. For this research we used the data from FIRMS (Fire Information for Resource Management System) supplied by NASA, USA. Fire monitoring was daily carried out, starting in April 2020 when intense forest fires began in Ukraine, including the period of russian aggression, until September 2022. There are compared the data from

space imagery in the infrared spectrum, visible (mid-resolution daytime space images) and news in mass media. For each fire there are calculated the area using the extreme points of the contour and the total power of the hot spots that fell into this contour. The data were received twice a day for each fly-around of the satellites. A number of criteria were identified which indicate the military origin of fires. These are fires in built-up areas, the irregular shape of fires contours, coverage of territories with different types of land use, too powerful ignitions and fires at an atypical time for the area. We can consider with a high probability that fires which have economic and recreational origin are arisen at the places of previous fires and which spread gradually over several days, and fires of low and medium power outside the collision zone. For the first time, the analysis of fires based on the results of space photography during the military conflict was performed and decipherable signs of fires from combat operations were identified. There are the conclusion that the results of this study may be needed to determine the amount of damage caused by russian aggression.

Keywords: deciphering, fires, combat operations, FIRMS, hot spots, criteria.