

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР гол. наук. співробітник, д. с.-г. наук, професор	С. Зібцев (реферат, вступ, висновки, розд. 1, 3, 4)
Старший наук. співробітник д. с.-г. наук, доцент	В. Миронюк (розд. 2, 3, 5)
Провідний наук. співробітник, д. с.-г. наук, професор	П. Лакида (розд. 1, 2)
Провідний наук. співробітник, д. біол. наук, професор	В. Кашпаров (розд. 2)
Провідний наук. співробітник, д. с.-г. наук, проф.	Р. Василюшин (розд. 2)
Науковий співробітник д. с.-г. наук, професор	П. Яворовський (розд. 1)
Науковий співробітник канд. с.-г. наук	В. Гуменюк (розд. 2)
Науковий співробітник канд. с.-г. наук	О. Сошенський (розд. 2, 3)
Науковий співробітник канд. с.-г. наук	В. Блищик (розд. 3)
Молодший науковий співробітник	Т. Богомоллова (розд. 3, 4)
Молодший науковий співробітник	Т. Ленъ (розд. 1, 2)
Молодший науковий співробітник	Л. Кириленко (розд. 2, 3)
Науковий співробітник, канд. с.-г. наук, доцент	С. Сендонін (розд. 1)
Провідний фахівець	Т. Сошенська (розд. 1)

До виконання окремих робіт в межах науково-дослідної роботи залучалися: В. Балабух, О. Морозюк, Н. Пузріна, М. Сбитна, В. Богомоллов, В. Корень, Б. Дубровець, І. Ретьман, М. Грицишин, В. Бойко, О. Воротинський.

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 256 с., 91 рис., 32 табл., 114 джерел, 4 додатки.

ВЕБДОДАТОК, ГЕОПОРТАЛ, КОМПОЗИТНИЙ ЗНІМОК, ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ЛІСІВ, ПРИРОДНІ ПОЖЕЖІ, ПОЛІССЯ УКРАЇНИ, ЧОРНОБИЛЬСЬКА ЗОНА ВІДЧУЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – екосистеми Полісся України як вразливі до природних пожеж об'єкти.

Предмет дослідження – ландшафти, методи оцінювання ризику та поведінки природних пожеж, динаміка горимості в Українському Поліссі з використанням ГІС та даних ДЗЗ.

Мета роботи – створення вихідних наборів геопросторових даних та моделей, які описують основні параметри рослинного покриву та запасів горючих матеріалів у природних екосистемах Українського Полісся, в тому числі на територіях забруднених радіонуклідами і відображення їх у мережі Інтернет у вигляді геопорталу.

Метод дослідження – експеримент, логічний, статистичний та математичний аналіз даних щодо горимості лісів, накопичення лісових горючих матеріалів, лісового фонду в Поліссі України, вивчення найбільш ефективних технологій розробки і рогортання геопорталів.

Основні результати отримані за час виконання роботи: узагальнено сучасний досвід моделювання динаміки пожеж на ландшафтній основі; вивчено досвід використання геопорталів для управління лісовими пожежами; створено навчальну вибірку для дешифрування даних ДЗЗ за типами земного покриву; опрацьовано алгоритми для класифікації даних ДЗЗ за типами ландшафтів; сформовано базу даних запасів горючих матеріалів; підготовлено геопросторову основу для класифікації типів земного покриву для різних ландшафтів Полісся України; проведено класифікацію сезонних композитних мозаїк; виконано розподіл площі території досліджень за основними типами ландшафтів; проаналізовано можливості картографування зімкнутості деревостанів для моделювання поведінки верхових лісових пожеж; обґрунтовано вибір 10 класів земельного покриву й 8 типів моделей горючих

матеріалів, та створено мапу типів горючих матеріалів; створено набір тематичних шарів, необхідних для моделювання розвитку природних пожеж; оцінено точність тематичних матеріалів про показники ландшафтів; виконано валідацію матеріалів й аналіз ефективності їхнього застосування в завданнях моделювання пожеж і прогнозу їхніх ризиків для різних ландшафтів; створено програмний інтерфейс вебсторінок прототипу геопорталу системи управління природними пожежами; розміщено набори геоданих на створеному прототипі геопорталу; підготовлено посібник користувача геопорталу. За період виконання проекту проєкту: опубліковано 6 наукових статей у фахових виданнях України, 6 статей у наукових виданнях, які внесені до міжнародної наукометричної бази Scopus та Web of Science, 3 монографії українською мовою та 1 англійською мовою, 2 довідники, отримано 6 свідоцтв на авторські твори. Наукові дослідження пройшли апробацію на міжнародних та всеукраїнських конференціях, у матеріалах яких опубліковано 24 тези доповідей. У межах роботи захищено 1 кандидатську та 1 докторську дисертації. Звіт оформлено згідно вимог ДСТУ 3008:2015.

Прототип розробленого геопорталу розташовано за адресою: <http://wildfires.org.ua>.

Результати НДР впроваджено у виробничий процес Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника, Рівненського природного заповідника, національного природного парку «Дермансько-Острозький», відокремленого підрозділу НУБіП України «Боярська ЛДС», а також у навчальний процес Національного університету біоресурсів і природокористування України та Національного лісотехнічного університету України.

Умови одержання звіту за договором: 03041, Київ-41, вул. Героїв Оборони, 15, НУБіП України.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
1 НАУКОВО-МЕТОДОЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ	10
1.1 Методи оцінювання ризиків пожеж на ландшафтній основі	10
1.2 Теоретичні принципи моделювання виникнення і поширення природних пожеж.....	14
1.3 Сучасний зміст інформаційної підтримки систем управління ризиками пожеж на основі web-технологій.....	21
2 ГЕОПРОСТОРОВА ОСНОВА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ	24
2.1 Топографічні показники місцевості	24
2.2 Типи земельного покриву.....	27
2.2.1 Створення безхмарних композитних мозаїк за часовими серіями спутникових знімків Landsat 8 OLI	28
2.2.2 Схема класифікації ландшафтів і характеристика опорної інформації	40
2.2.3 Методика дешифрування супутникових знімків	43
2.2.4 Точність дешифрування вкритих і неvkритих лісовою рослинністю ділянок	56
2.3 Лісові горючі матеріали.....	67
2.3.1 Зімкнутість деревостанів.....	68
2.3.2 Висота намету деревостанів.....	70
2.3.3 Висота початку крони деревостанів.....	72
2.3.4 Щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревостанів	73
3 ПОЖЕЖНІ РЕЖИМИ ТЕРИТОРІЇ	76
3.1 Площа пожеж.....	84
3.2 Погодні умови території.....	93
3.3 Моделі горючих матеріалів.....	101
4 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ГЕОПОРТАЛУ	107

4.1 Програмні компоненти віртуального хостингу	107
4.2 Модулі розширення на мові <i>Python</i>	109
4.2.1 Каркас вебзастосунків <i>Django</i>	110
4.2.2 Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4, GDAL, OGR, OSR.....	110
4.3 Реалізація QGIS-сервера.....	113
4.4 Система управління базами даних	120
4.4.1 Моделі даних	120
4.4.2 Оптимізація запитів	125
4.5 Модель інформаційних потоків односторінкового вебдодатка	127
4.6 Склад вебсторінок геопорталу (результати 2020 р.)	131
4.7 Дизайн вебдодатка (результати 2020 р.)	134
4.7.1 Меню вебдодатка	134
4.7.2 Діалогове вікно «Управління шарами»	137
4.7.3 Діалогове вікно «Завантаження фрагмента <i>LCP</i> »	138
4.7.4 Діалогове вікно «Пожежі»	139
4.7.5 Діалогове вікно «Аналіз даних про пожежі»	140
5 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПОРТАЛУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ (результати 2020 р.).	145
5.1 Завантаження вихідних шарів для моделювання.....	145
5.2 Моделювання розвитку пожежі.....	148
5.3 Імітаційне моделювання ймовірності поширення пожеж у системі FlamMap з метою зниження ризиків великих пожеж.....	155
ВИСНОВКИ.....	160
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	164
ДОДАТКИ.....	177

ВСТУП

Рослинні пожежі у природних ландшафтах України в останні десятиліття стають все більш небезпечним явищем, яке загрожує особистій безпеці населення, яке проживає біля лісів, помешканням та іншій інфраструктурі. Зростання тривалості посушливих періодів та частоти періодів із високою швидкістю вітру зумовлює якісно нові ризики розвитку інтенсивних пожеж на великих площах. Служби охорони лісів та пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України, в умовах що склалися, потребують удосконалення системи попередження охорони природних територій від пожеж. Створення спеціальних інформаційних онлайн платформ регіонального або національного рівня про ризики пожеж можуть бути використані керівниками підприємств, землекористувачів та протипожежних служб для планування та проведення попереджувальних заходів та організації гасіння пожеж.

В Україні функціонує відомча система землекористування та охорони природних ресурсів, що зумовлює недостатню координацію дій із попередження та гасіння ландшафтних рослинних пожеж між лісогосподарськими підприємствами, природоохоронними територіями, агролісгоспами, військовими лісгоспами та іншими лісокористувачами. У підсумку, типовою для України є така послідовність: пожежа розпочинається на землях сільськогосподарського призначення і розвивається у лісову (оскільки землекористувач не гасить її) після перетину меж землекористування між полем та лісом або у торф'яну. Цей проєкт має на меті наукове обґрунтування та розробку геопорталу «Ландшафтні пожежі», який створюють на всіх видах землекористування, де відбуваються пожежі, на території 6 областей Українського Полісся, що буде сприяти кращому розумінню довготривалих та поточних ризиків виникнення та розвитку пожеж і вдосконаленню стратегії попередження пожеж на рівні центральних органів виконавчої влади та місцевому рівні. До початку цього проєкту в Україні відсутній такий інтегральний регіональний продукт у галузі управління природними пожежами.

У США подібний продукт спільно використовують різні відомства – Міністерство сільськогосподарства США, Міністерство внутрішніх справ та

Бюро з управління земельними ресурсами. Користувачами цього інформаційного продукту є не тільки лісові господарства або заповідники, а й муніципалітети, які використовують цей продукт для прогнозування впливу пожеж на якість повітря та ризику для населення.

Зміни клімату, зміни землекористування та погіршення соціально-економічного становища населення в Україні призвели до різкого зростання кількості, площ та інтенсивності природних пожеж, а також збільшення кількості пожеж, які проходять територію декількох землекористувачів. Протягом останніх десятиліть річна кількість лісових пожеж в Україні зросла з 1–1,5 тисяч до 5–7 тисяч, річна площа лісів, пройдена вогнем – з 1,5–2,5 тис. га до 15–20 тис. га. У 2020 році площа тільки найбільших пожеж у Житомирській, Київській, Луганській та Харківській областях перевищила 175 тис. га, що дорівнює середньобогаторічній площі пожеж за 35 років. Згідно з даними дистанційного зондування, щорічно в Україні відбувається 50 тис. і більше пожеж на сільськогосподарських землях. Природні пожежі генерують викиди в атмосферу тисячі тон вуглецю, радіонуклідів та інших забруднювачів, наносять непоправні збитки народному господарству, здоров'ю населення, екосистемам, клімату та довкіллю як в Україні, так і на регіональному та глобальному рівнях, зокрема в країнах Європейського Союзу та Арктиці. Значну частину пожеж не виявляють і не гасять вчасно через міжвідомчі конфлікти між землекористувачами, які відповідальні за охорону територій від пожеж. Отриманий за результатами науково-дослідної роботи продукт дозволить відкрити спільний доступ до даних та прогнозів представникам всіх зацікавлених відомств та землекористувачів.

Проект є першим етапом створення національної інформаційної системи моніторингу та прогнозування природних пожеж, що містить повноцінний базовий набір геопросторових даних, в тому числі щодо горимості, запасів рослинних горючих матеріалів, параметрів чинників пожежного середовища і повністю узгоджується із завданнями проекту Закону України «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних».

Актуальність проекту зумовлена зростанням кількості, площ та інтенсивності природних пожеж, збитків екосистемам та господарству, які вони

наносять. Це зумовлює необхідність створення єдиного національного геопорталу природних пожеж, де будуть розміщені первинні набори геопросторових даних, моделі та кількісна інформація щодо рослинних горючих матеріалів та інших чинників, що визначають поведінку пожеж. Крім того проєктом передбачено розробку відповідного інформаційного забезпечення для прогнозування ризиків пожеж у природних екосистемах. Враховуючи сучасний світовий досвід вирішення цього питання, для моделювання ймовірних сценаріїв розвитку пожеж необхідні параметри природних екосистем у вигляді відповідних наборів геопросторових даних, які можуть бути отримані в результаті класифікації земного покриву за типами ландшафтів і запасами горючих матеріалів. Для лісових територій важливе значення має встановлення окремих показників деревного пологу, зокрема зімкнутості деревостанів. Більшість параметрів природних екосистем, які необхідні для прогнозування розвитку пожеж у ландшафтах України, застарілі або взагалі відсутні. За таких умов необхідно опрацювати методичну основу створення ключових шарів геопросторової інформації та науково-обґрунтованих підходів щодо прогнозування розвитку пожеж за різних кліматичних умов та сценаріїв реагування. Одержана в результаті імітаційного моделювання інформація дозволить визначити необхідні стратегії із зниження ризиків пожеж. Одержані результати досліджень будуть представлені у вигляді загальнодоступного геопорталу даних.

Ще одним аспектом актуальності виконання проєкту пояснюється необхідність впровадження у вітчизняну теорію та практику сучасних методів дослідження пожеж на ландшафтній основі. На результатах імітаційного моделювання і прогнозу розвитку, а також наборах геопросторових даних, розміщених на вебплатформі пожеж, базуються системи прийняття рішень та управління пожежами у розвинутих країнах світу.

1 НАУКОВО-МЕТОДОЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ

1.1 Методи оцінювання ризиків пожеж на ландшафтній основі

Аналіз ризиків відноситься до вимірювання та передачі неочікуваних майбутніх подій екстремальних наслідків. Як правило, аналіз ризику фокусується на подіях з низькою вірогідністю негативних наслідків, які є стохастичними в просторі та часі. Він виконується, коли прогнозовані результати невизначені, однак можливі наслідки можуть бути описані з визначеним рівнем достовірності. Аналіз ризиків дозволяє краще зрозуміти час, місце та потенційні втрати, завдані природними пожежами.

Останніми роками відбувся суттєвий розвиток і вдосконалення інструментів аналізу ризиків природних пожеж. Досягнення в системах оцінки ризиків в основному обумовлені поліпшенням програмного забезпечення, системної інтеграції, доступності даних, ГІС і методів моделювання [14, 12, 39]. Комп'ютерні моделі можуть відтворити поширення пожежі з урахування наявних горючих матеріалів та одержати параметри пожежі в конкретному ландшафті [33]. Сучасні досягнення в питаннях моделювання пожеж сприяли кількісній оцінці ймовірності виникнення пожеж, їхній інтенсивності та ймовірних наслідків у просторово-часовому форматі.

Інтенсивність пожежі представлена низкою показників, охоплюючи інтенсивність вогню, довжину полум'я й умови виникнення верхової пожежі. Оцінки залежать від конкретної моделі поведінки пожежі та припущень щодо ймовірних погодних умов, стану та запасу горючих матеріалів. Наприклад, довжину полум'я можна оцінити шляхом моделювання поведінки пожеж за незмінних погодних умов [12] або шляхом внесення певної варіабельності в діапазоні ймовірних погодних умов, що змінюють швидкість і напрямки поширення вогню [2].

Світова наукова спільнота по-різному застосовувала термін «ризик» у контексті моделювання пожеж, що призводить до плутанини, незважаючи на

зусилля щодо стандартизації цього визначення. Відповідно до визначення товариства з оцінювання ризиків¹: 1) ризик являє собою потенціал для реалізації небажаних, несприятливих наслідків для життя, здоров'я, майна або навколишнього середовища людини; 2) оцінювання ризику засноване на очікуваному значенні умовної ймовірності події, що відбувається під час події, якщо вона сталася. Відповідно до цього, ризик являє собою очікування втрати та містить в собі певну оцінку трьох компонентів ризику: 1) ймовірність події; 2) очікувана інтенсивність і 3) один або кілька наслідків, пов'язаних з очікуваною інтенсивністю. У контексті сучасного розуміння цього питання, під час, скажімо, лісової пожежі можуть бути одержані як негативні, так і як позитивні ефекти.

Небезпека пожежі – це комбінація ймовірності, інтенсивності та наслідків, спричинених пожежею. Висока ймовірність пожежі не обов'язково означає високий ризик пожежі, якщо інтенсивність пожежі занадто низька. Базова задача оцінки ризику пожежі – інтерпретація аналогічних рівнів ризику, що виникають з абсолютно за різних комбінацій компонентів ризику.

Отже, ризик пожежі може бути представлений такими поняттями як ймовірність займання – «*ignition probability*» та ймовірність вигорання – «*burn probability*». Зазвичай вірогідність займання статистично моделюється з використанням даних про випадки пожеж, а ймовірність вигорання оцінюється на основі моделювання. Ці два подання ризиків можуть істотно відрізнятися у просторі та здебільшого використовуватися для різних цілей. Наприклад, оцінку ймовірності займання використовують для визначення точки початку випадкової пожежі під час імітаційного моделювання, а ймовірність вигорання частіше застосовують для управління горючими матеріалами.

Результати оцінювання трьох основних компонентів пожежонебезпеки (ймовірність, інтенсивність і наслідки) та чинників, які їх викликають, необхідні для оцінювання ризику. В окремих випадках достатнім є визначення ймовірності займання (*ignition probability*), тоді як в інших використовують ймовірність вигорання (*burn probability*). Хоча *burn probability* частково залежить від *ignition*

¹ <http://www.sra.org/resources>

probability, визначальним є подальше розповсюдження вогню. Точність моделювання можна оцінити за історичними даними про площу, кількість, а також просторовий розподіл пожеж.

Численні дослідження присвячено оцінюванню ризику лісових пожеж як в контексті їхньої появи (*ignition probability*), так і поширення (*burn probability*). Відповідні статистичні методи застосовують для оцінювання людського чинника, методів управління горючими матеріалами на ймовірності виникнення та поширення пожеж. Встановлено, що ймовірність виникнення пожежі зазвичай корелює з такими чинниками, як рівень ведення сільського господарства, фермерства, близькість поселень, відстань до транспортних маршрутів тощо [42]. У всьому світі людська діяльність спричиняє більшість лісових пожеж. Навіть в країнах Середземномор'я понад 90 % лісових пожеж викликані людьми (ФАО, 2007). Там, де причиною виникнення лісових пожеж є антропогенний чинник, вивчення ймовірності займання може бути особливо цінним для менеджерів, правоохоронних органів і пожежних служб. Наприклад, оцінку ймовірності займання використовують для імітації ефективності початкової атаки [20].

Картографування ризиків базується на моделях поведінки природних пожеж. Моделі прогнозування швидкостей поширення полум'я на поверхні землі та в короні, перехід низової пожежі у верхову та її поширення в кроні використовують окремо або в поєднанні для картографування ризиків. Для цього доступні різні програмні продукти, серед яких канадська система Canadian Forest Fire Danger Rating System, NEXUS, VS-FFE, BehavePlus, FOFEM тощо. Ці інструменти були спочатку розроблені для створення точкових оцінок поведінки пожеж і пов'язаних із ними ефектів, проте для відображення пожеж на великих ландшафтах обов'язковим є використання методів картографування в ГІС. У Канаді інструменти ГІС були інтегровані з системою оцінки пожежної небезпеки з метою зіставлення потенційних характеристик поведінки пожеж, а в США застосування FlamMap значно поліпшило можливість дослідження інтенсивності вогню на великих територія [33].

Нещодавно розроблений підхід для картографування пожежної небезпеки FIREHARM – дозволив удосконалити моделювання ефектів високого просторового розрізнення (100 м) [33]. Цей підхід використовує просторово орієнтовані дані про щоденні історичні показники кліматичних умов, що дозволяє відкоригувати добову вологість горючих матеріалів із урахуванням історичного діапазону мінливості умов погоди. Це відрізняється від багатьох інших підходів, які відображають небезпеку за умови статичних і зазвичай екстремальних погодних умов. FIREHARM використовує щоденні зміни у вологості горючих матеріалів, а також наявні моделі поведінки пожеж і моделювання ймовірностей небезпечних природних пожеж.

Опис ризику пожежі вимагає поєднання ймовірності та небезпеки. Для цього використовують два загальних підходи: розробку рейтингів або індексів ризику і те, що прийнято називати в США, інтегральною моделлю ризику (IRM). Індекс ризику і рейтинговий підхід широко використовують для державних і регіональних оцінок в США. Ці оцінки виконують цілу низку функцій, охоплюючи ідентифікацію районів, які найбільш схильні до дії вогню та можуть бути пом'якшені. Вони також можуть полегшити зв'язок між агентствами під час ліквідації пожеж, або місцевими жителями.

Одним із важливих досягнень у питаннях аналізу ризиків стала можливість моделювати часову динаміку пожежонебезпеки. Більшість досліджень ризику використовували статичні функції, враховуючи тільки безпосередні ефекти пожежі. Однак функції, що описують тільки короточасні пожежні ефекти, можуть недооцінювати ефекти в разі затримки відмирання дерев або завищувати ефекти в разі швидкого відновлення рослинності. Однією зі спроб оцінити стан відновлення деревостану після пожежі в рамках оцінювання ризиків є модель FTM [42]. FTM оцінює ризик пожежі, але також враховує потенціал відновлення деревостану. Моделі відновлення вегетації використовують, щоб врахувати часові зміни компонентів ризику. Наприклад, Finney et al [12], використовували версію симулятора лісової рослинності FVS-FFE для вивчення кількох різних сценаріїв управління горючими матеріалами на ймовірність пожежі для трьох

західних областей США. Сценарії містили випадкове і оптимальне розміщення горючих матеріалів [12] з різними розмірами одиниць, де виконували заходи зі зменшення запасів горючих матеріалів.

1.2 Теоретичні принципи моделювання виникнення і поширення природних пожеж

Система *BehavePlus* – це вдосконалена версія *BEHAVE*, що використовує ті ж математичні моделі. Як вхідні параметри застосовують температуру, відносну вологість повітря, швидкість і напрям вітру, ухил місцевості, моделі горючих матеріалів, їхню вологість за класами розмірів. Такий набір параметрів дозволяє повністю відтворювати умови пожежі. У *BehavePlus* використовують 13 оригінальних моделей горючих матеріалів за Андерсеном (fuel model (FM)), та динамічні моделі за Scott & Burgan (2005) [45]. На основі моделі Р. Ротермела (1972) [40] в системі *BehavePlus* передбачено обчислення 189 вхідних змінних і вихідних параметрів пожежі, які упорядковані в 13 груп: 1) швидкість поширення та інтенсивність низової пожежі; 2) поверхневі горючі матеріали; 3) вологість поверхневого шару горючих матеріалів; 4) швидкість і напрям вітру; 5) ухил місцевості; 6) параметри верхової пожежі; 7) розмір безпечної зони; 8) розмір та форма полум'я; 9) тактика зупинки вогню; 10) вимірювання відстані; 11) висота факела полум'я; 12) деревне відмирання; 13) ймовірність загоряння. Моделювання пожеж переважно базується на експертному оцінюванні можливого сценарію їхнього розвитку, а перелічені показники є критеріями, за якими визначають відповідність прогнозних параметрів пожежі реальним умовам. У зв'язку з цим, варто зупинитися на основних поняттях більш детально.

Швидкість поширення та інтенсивність низової пожежі

Швидкість поширення (Surface Rate of Spread) – це швидкість вогню на поверхні, під час якого згорають поверхневі матеріали. Вони мають у своєму складі трав'янисті рослини, кущі, іншу відмерлу та живу рослинність в межах приблизно 6 футів над землею.

Довжина полум'я (Flame Length) – стосується низової пожежі, що розповсюджується в межах вогняного фронту, вимірюється з середньої точки в активній зоні горіння до середнього кінця вогню (рис. 1.1). Довжина полум'я пов'язана з інтенсивністю вогню, у зв'язку з цим є функцією швидкості розповсюдження та температури пожежі на одиницю площі.

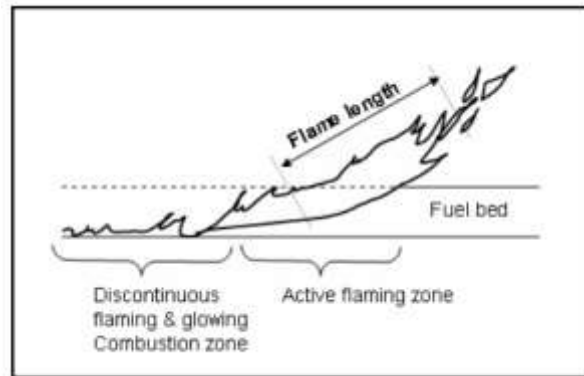


Рисунок 1.1 – Моделювання низової пожежі: довжина полум'я

Інтенсивність вогню (Fireline Intensity) – це теплова енергія, що виділяється в результаті згорання горючих матеріалів у смужі завширшки 1 м (1 фут) між фронтом і задньою кромкою вогню (рис. 1.2). У фізичному розумінні – це функція швидкості розповсюдження та температури на одиницю площі, що безпосередньо пов'язана з довжиною полум'я.

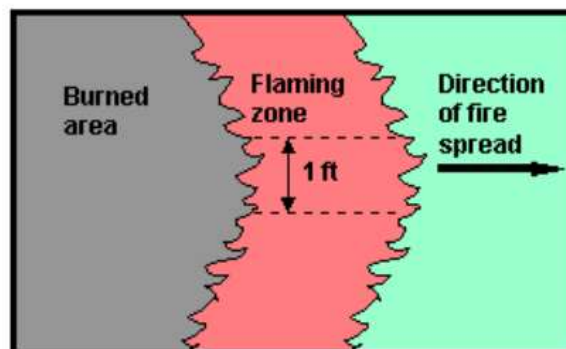


Рисунок 1.2 – Моделювання низової пожежі: інтенсивність вогню

Тепло на одиницю площі (Heat per Unit Area) – виділення теплової енергії на одиницю площі (1 фут² або 1 м²) всередині палаючого фронту поверхневих горючих матеріалів. На цей показник не впливає вітер, ухил місцевості або напрям вітру, він залежить лише від горючих матеріалів.

Інтенсивність реакції (Reaction Intensity) – це швидкість викиду енергії на одиницю площі (1 фут² або 1 м²) в межах фронту полум'я.

Напрямок максимального поширення (Direction of Maximum Spread) – розраховують на підставі ухилу місцевості, швидкості та напрямку вітру.

Діаграма характеристик вогню (Fire Characteristics Chart) – відображає чотири основні характеристики вогню: швидкість поширення, температуру на одиниці площі, довжину полум'я та інтенсивність пожежі (рис. 1.3). За цим графіком можна підібрати найбільш коректні вхідні параметри для моделювання низової пожежі.

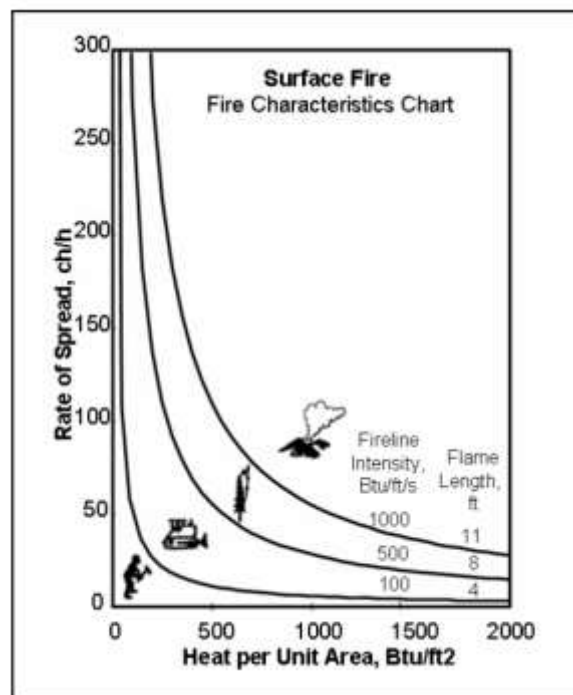


Рисунок 1.3 – Моделювання низової пожежі: діаграма характеристик ВОГНЮ

Поверхневі горючі матеріали

Моделі горючих матеріалів (Fuel Model) – це сукупність чисельних значень, що описують витрати горючих матеріалів для математичної моделі Ротермеля, яка прогнозує поширення пожежі на поверхні. Існує 53 стандартних моделі горючих матеріалів, охоплюючи 13 оригінальних, які були описані Андерсоном (Anderson, 1982), а також 40 динамічних, які були додатково визначені в роботі Scott & Burgan (2005) [45].

Тип моделі горючих матеріалів (*Fuel Model Type*) – розділяють статичний (S) або динамічний (D) типи моделей горючих матеріалів. Динамічні моделі враховують компонент живого трав'янистого покриву, частина якого переноситься в запаси горючих матеріалів відмерлої рослинності під час горіння. Цей процес залежить від вмісту вологи: чим нижчий вміст вологи, тим більша частка живих компонентів трав'яної рослинності переходить у відмерлі (рис. 1.4).

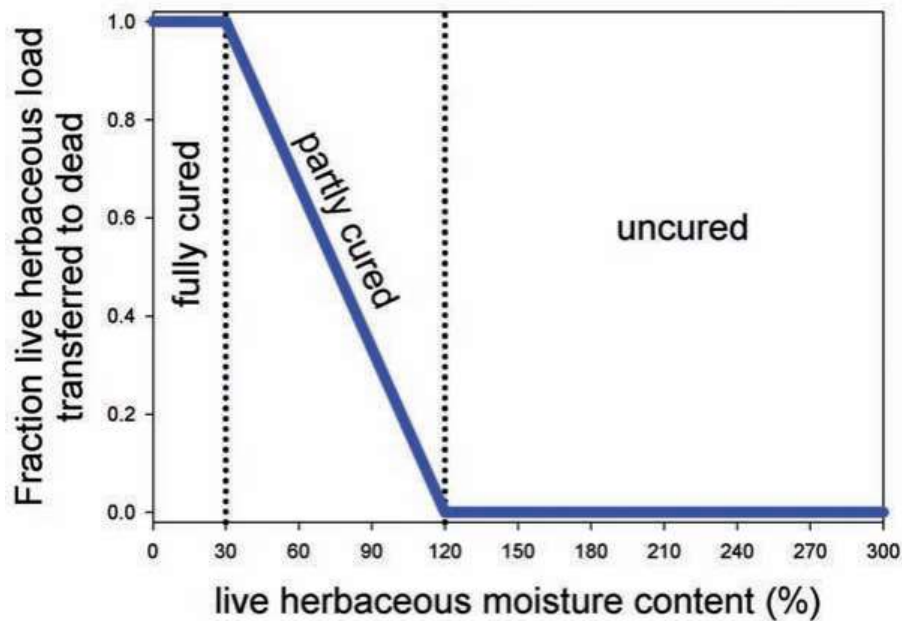


Рисунок 1.4 – Графічне відображення динамічних моделей горючих матеріалів

Товщина шару горючих матеріалів (Fuel Bed Depth) – визначає запас горючих матеріалів на поверхні.

Вологість відмерлих горючих матеріалів (Dead Fuel Moisture of Extinction) – визначає вміст вологи відмерлих решток.

Вологість живих горючих матеріалів (Live Fuel Moisture of Extinction) – визначає внесок участі живих компонентів рослинності в процес горіння відповідно до динамічних моделей горючих матеріалів.

Клас розміру горючих матеріалів – швидкість зміни вмісту вологи залежить від розміру дерев'янистих часток горючих матеріалів. Традиційно в завданнях моделювання пожеж такі горючі матеріали прийнято поділяти на класи розмірів за часовим лагом. *Клас розміру 1-h* – це запас відмерлих горючих

матеріалів на одиницю площі, що містить в собі горючі матеріали від 0 до 0,25 дюйма (0,64 см) в діаметрі (хвоя, листя, трав'янисті рослини і тонкі відмерлі стебла рослин). *Клас розміру 10-h* – ця категорія містить дерев'янисті рештки діаметром від 0,25 до 1,0 дюйма (0,64 до 2,54 см). *Клас розміру 100-h* – охоплює деревну ламань від 1 до 3 дюймів (2,54 до 7,62 см). Горючі матеріали, що перевищують цю категорію (1000-h), не сприяють зростанню швидкості розповсюдження, яку розраховують за моделлю розповсюдження пожежі на поверхні Ротермеля.

Запас трав'яних відмерлих горючих матеріалів (Dead Herbaceous Fuel Load) – запас цього класу горючих матеріалів на одиницю площі та є змістовною змінною тільки для динамічних моделей горючих матеріалів, в яких частина живих трав'яних горючих матеріалів переноситься в категорію відмерлих, що підтримують горіння. Вміст вологи цієї категорії приймається рівним вологості горючих матеріалів класу розміру 1-h.

Запас трав'янистих живих горючих матеріалів (Live Herbaceous Fuel Load) – живими трав'яними горючими матеріалами є однорічні або багаторічні трави. Якщо модель горючих матеріалів є динамічною, то початковий запас живих горючих матеріалів визначають моделлю. Під час горіння частина живих трав'яних горючих матеріалів переноситься в категорію відмерлих відповідно до рис. 1.4, а початковий вміст вологи задає користувач.

Живі трав'янисті залишки горючих матеріалів (Live Herbaceous Fuel Load Remainder) – запас живих компонентів трав'янистих рослин, який залишається після того, як частина запасу переноситься до класу відмерлих. Ця змінна має значення тільки для динамічних моделей.

Запас живих горючих матеріалів (Live Woody Fuel Load) – цей клас є параметром моделі горючих матеріалів. Він містить в собі листя і дуже тонкі стебла живих чагарників.

Загальний запас відмерлих горючих матеріалів (Total Dead Fuel Load) – сумарний запас усіх класів горючих матеріалів. Для всіх моделей охоплює класи розміру 1-h, 10-h, 100-h. Ця змінна має найбільше значення для динамічних моделей горючих матеріалів.

Загальний запас живих горючих матеріалів (Total Live Fuel Load) – сума запасів всіх класів живих горючих матеріалів. Розрахунок проводять для динамічних моделей горючих матеріалів після того, як відбувся перехід запасу живих горючих матеріалів до відмерлих.

Для розрахунку показників, що визначають умови переходу низової пожежі у верхову використовують наступні показники (рис. 1.5).

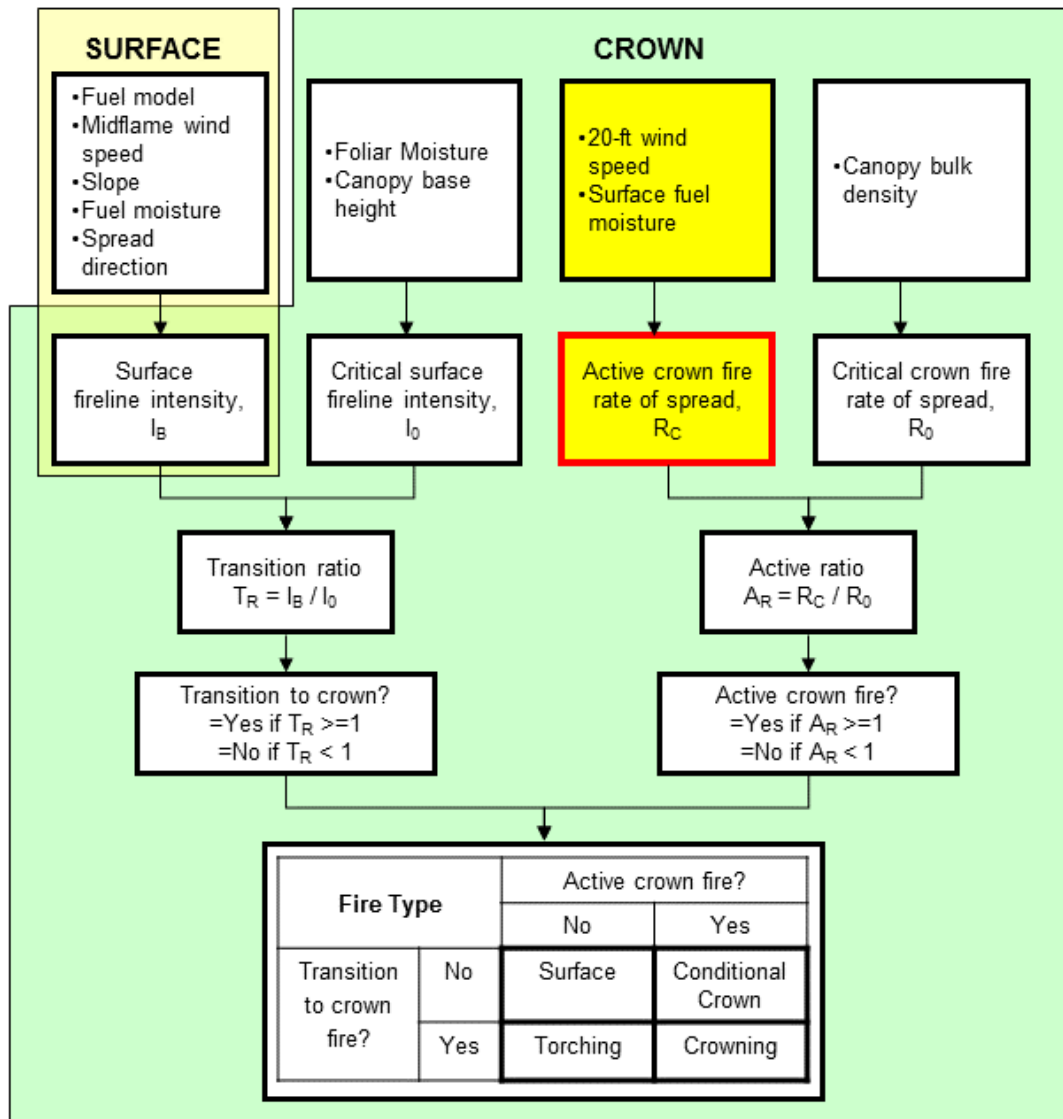


Рисунок 1.5 – Методика моделювання верхової лісової пожежі в системі

Вологість поверхневих горючих матеріалів (Surface Fuel Moisture)

Індекс вологості горючих матеріалів є інструментом, який широко використовують для розуміння потенціалу поширення вогню. Вміст вологи горючих матеріалів залежить від умов навколишнього середовища (таких як

погода, місцева топографія) та характеристик рослинності. Якщо вологість горючих матеріалів висока, пожежа не може швидко поширюватися, або взагалі не виникає. За низького вмісту вологи загорання викликають пожежі, а вогонь поширюється швидко.

Якщо вміст вологи горючих матеріалів менше 30 %, вони, по суті, вважаються відмерлими рештками. Відмерлі горючі матеріали реагують виключно на поточні умови середовища та є критичними для визначення потенціалу пожежі. Вологість таких горючих матеріалів (10-h, 100-h або 1000-h), яка називається часовим лагом, базується на часі, протягом якого вологість 2/3 відмерлих горючих матеріалів почне відповідати атмосферній. Невеликі рештки, такі як трави, листя та підстилка, швидше реагують на зміну атмосферної вологості (наприклад, клас розміру 1-h, 10-h).

Швидкість і напрям вітру

Швидкість вітру над рослинністю (20-Ft Wind Speed) – визначає швидкість вітру на висоті 20 футів над рослинністю.

Швидкість вітру на поверхні (Midflame Wind Speed) – це швидкість вітру над шаром поверхневих горючих матеріалів, що впливає на поширення пожежі на відкритих просторах та в лісі.

Ухил місцевості (Slope)

Експозиція (Aspect) – використовується, щоб розглянути сукупний вплив вітру і схилу на поширення пожежі.

Горизонтальна відстань на схилі (Slope Horizontal Distance) – це відстань між двома точками на місцевості вздовж по схилу, яка є більшою, ніж горизонтальна проекція. Важлива для розрахунку шляху, який пройшов фронт вогню.

Крутизна схилу (Slope Steepness) – виражається в процентах або градусах залежно від прийнятого стандарту моделювання.

Верхова пожежа (Crown Fire)

Вміст вологи листя (Foliar Moisture) – для хвойних деревних видів вказується вологість хвої. Використовується разом з інтенсивністю наземного

вогню та висотою початку крони для оцінки можливості переходу низової пожежі у верхову.

Висота початку крони (Canopy Base Height) – висота деревостану, при якій накопичується достатня щільність горючих матеріалів для верхової пожежі.

Щільність горючих матеріалів у кроні (Canopy Bulk Density) – це щільність загального запасу горючих матеріалів у кронах деревостану ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$).

Тип пожежі (Fire Type) – у моделюванні виділяють чотири типи пожежі: поверхнева, перехідна у крону, умовна верхова та верхова.

1.3 Сучасний зміст інформаційної підтримки систем управління ризиками пожеж на основі web-технологій

Пожежі є одним із ключових видів порушень, які впливають на стан екосистем. У зв'язку з цим ефективно управління природними пожежами потребує належної інформаційної підтримки, яку забезпечують сучасні геопросторові бази атрибутивних даних про ключові параметри ландшафтів. Нині в багатьох країнах розроблено та активно використовують багато інформаційних ресурсів, завданнями яким є підтримка прийняття рішень щодо управління пожежними режимами територій.

Однією з найвідоміших програм такого роду є міжвідомчий геопортал США *LANDFIRE – Landscape Fire and Resource Planning Tools*². Він надає вільний доступ до різноманітних наборів просторових даних, що описують існуючі типи рослинного покриву, видову структуру рослинності, пожежні режими для всієї території країни. У сучасних умовах *LANDFIRE* застосовується в численних дослідженнях, пов'язаних із оцінкою та управлінням природними ресурсами, моделюванням ризиків, спричинених пожежами. Для цієї мети в порталі призначено низку тематичних шарів, що характеризують просторовий розподіл і типи горючих матеріалів. Детальний опис параметрів ландшафтів у форматі ГІС дозволяє аналізувати різноманітні стратегії з управління пожежами, оцінювати ймовірні ризики пожеж, вивчати вплив зовнішніх чинників на просторовий розподіл, кількість та площу пожеж. Одним із прикладів

² <https://www.landfire.gov/>

застосування геопорталу є інтеграція даних в інші ресурси з оцінки впливу пожеж на довкілля, зокрема моніторинг викидів вуглецю.

Для підтримки *LANDFIRE* використовують багато джерел інформації, охоплюючи географічно прив'язані пробні площі, відбитки історичних порушень екосистем (контури пожеж), супутникові дані *Landsat*, цифрові моделі рельєфу території та відповідні похідні шари (ухили, експозиція схилів). Станом на 2013 рік портал містив понад 800 тис. пробних площ із показниками стану рослинного покриву та запасів горючих матеріалів. Більшість із них одержано на основі угод про спільне використання даних із програмою національної інвентаризації лісів *FIA*, неприбутковими та приватними компаніями, що володіють інформацією про параметри природних ландшафтів на регіональному та локальному рівнях.

Повне покриття території США та детальність геопросторових даних створюють можливості для моделювання природних пожеж. Оцінювання ризиків здійснюють на основі аналізу ймовірності виникнення пожеж – *burn probability* – растрової карти з прогнозованими рівнями небезпеки. З цією метою розроблено деякі спеціальні продукти, що дозволяють виконувати імітаційне моделювання пожеж на ландшафтному рівні. Серед них треба відзначити такі програмні продукти, як *FARSITE*, *FlamMap* тощо.

Міністерство природних ресурсів Канади наразі оперує відразу двома національними інформаційними системами для управління лісовими пожежами: канадська інформаційна система з лісових пожеж (*Canadian Wildland Fire Information System – CWFIS*) і система моделювання, моніторингу та картування пожеж (*Fire M3*). Вони засновані на компонентах канадського підходу щодо оцінювання лісової пожежної небезпеки (*Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS*) і використовують ресурси системи просторового управління пожежами (*Spatial Fire Management System – sFMS*) для отримання, управління, моделювання, аналізу та презентації інформації.

Канадську методику використовують в деяких інших країнах, зокрема, Новій Зеландії, Аргентині, Мексиці, Індонезії, Малайзії. Систему було успішно використано також в Фінляндії та Швеції [47]. Канадську методику

прогнозування лісової пожежної небезпеки побудовано з урахуванням аналізу великої кількості статистичних даних і вона досить точно прогнозує пожежну небезпеку [31]. Метеорологічні параметри одержують з точкових джерел вимірювань (мережа Канади і північної частини США налічує близько 900 метеорологічних станцій), інтерполюються для отримання просторової деталізації осередків загорань із просторовим розрізненням 1 км.

В Австралії найбільш поширеними є дві системи, які використовують в охороні лісу від пожеж: показник лісопожежної небезпеки (*Forest Fire Danger Index – FFDI*) Мак Артура, який використовують в східній частині Австралії, і таблиці динаміки лісових пожеж (*Forest Fire Behaviour Tables – FFBT*), які використовують в Західній Австралії [31]. Дослідження, [36] проведені в період з кінця 1950-х років до початку 1960-х, призвели до розробки показника лісопожежної небезпеки (*Forest Fire Danger Index – FFDI*) і показника лугової пожежної небезпеки (*Grassland Fire Danger Index – GFDI*). Вони були розроблені та апробовані в Південно-Східній Австралії. Запропонований метод оцінювання пожежної небезпеки, як і канадський, заснований на статистичному аналізі великих обсягів експериментальних даних. Експерименти, проведені на луговій рослинності і в евкالیптових лісах, полягали в контрольованому підпалі горючих матеріалів і спостереженні за пожежею протягом 15–60 хв. *FFDI* дозволяє прогнозувати ймовірність виникнення пожежі, швидкість розповсюдження, інтенсивність і складність ліквідації. На основі індексу *FFDI* дослідницька група *CSIRO* із лісових пожеж розробила комп'ютерну систему *SiroFire* (2004) – спеціальний додаток для підтримки прийняття рішень на базі персонального комп'ютера.

Слід відзначити італійську систему *CHARADE*, спрямовану на підтримку прийняття рішень під час гасіння лісової пожежі [14]. Підтримка прийняття рішень полягає в оцінюванні ситуації під час пожежі й побудові оперативного плану гасіння та заснована на прецедентному підході (*CBR – case-based reasoning*). Система спрямована на вирішення двох основних завдань: складання плану гасіння в разі лісової пожежі й тренування персоналу, який бере участь в гасінні лісових пожеж.

2 ГЕОПРОСТОРОВА ОСНОВА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

2.1 Топографічні показники місцевості

У північній частині розташована Поліська низовина. Її висоти не перевищують 200 м за винятком Словечансько-Овруцького кряжу, що піднімається трохи більше, ніж 300 м над рівнем моря. У долинах Дніпра, Прип'яті та Десни місцевість понижується до 100–120 м. У геологічному відношенні Поліська низовина розташовується на різних тектонічних структурах. Її основу формує Український щит, який на заході змінюється Волино-Подільською плитою, а на сході – Дніпрово-Донецькою западиною. Територія неглибоко порізана достатньо густою річковою сіткою та має загальний нахил у напрямі русел річок Прип'яті та Дніпра. Південніше Поліської низовини на лівобережжі розташовується Придніпровська низовина з висотами 90–170 м. Вона повністю лежить на Дніпрово-Донецькій западині та нахилена в бік Дніпра. Територія, прилегла до Дніпра, має практично плоску поверхню (рис. 2.1).

Цифрова модель рельєфу – DEM (Digital Elevation Model) має важливе значення для багатьох задач комп'ютерного моделювання, зокрема симуляції природних пожеж у ГІС. Джерелом даних для створення таких моделей за сучасних умов є, переважно, дистанційне зондування Землі. Враховуючи завдання досліджень, доречними будуть глобальні моделі рельєфу, які знаходяться у відкритому доступі (наприклад, SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, 90 м).

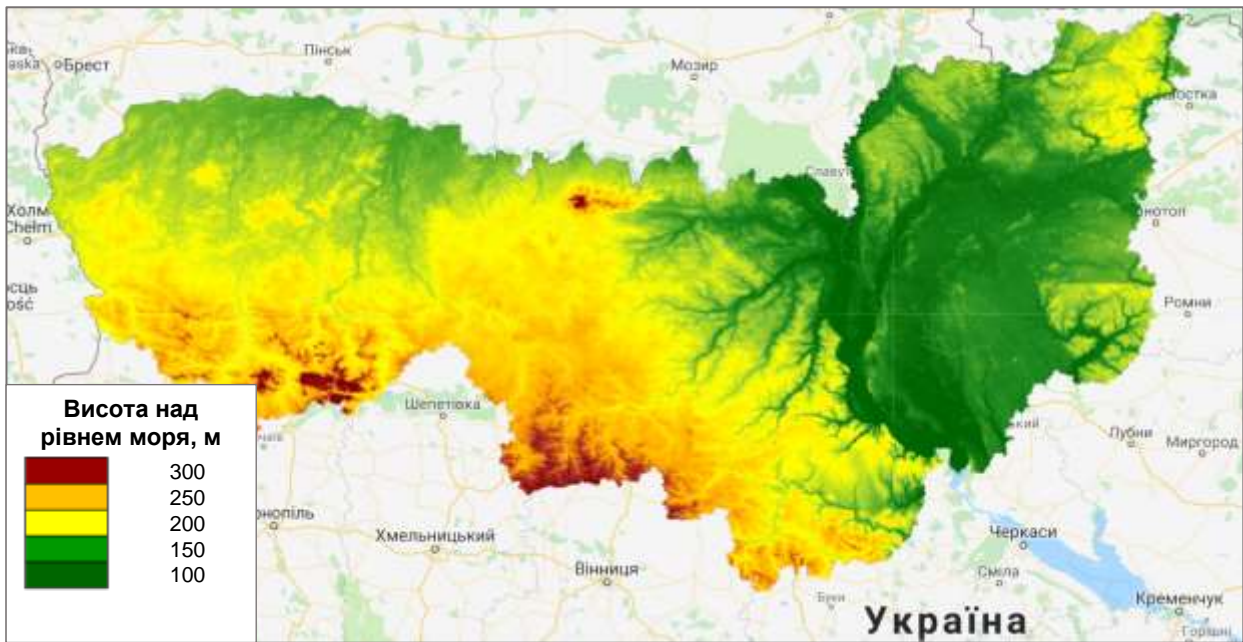


Рисунок 2.1 – Рельєф території досліджень за даними *SRTM* (*Shuttle radar topographic mission*)

Одним із важливих топографічних показників місцевості, який істотно впливає на умови поширення пожеж, є ухил місцевості. Цей параметр має особливе значення для гірських регіонів, у зв'язку з чим його застосовують у ключових моделях динаміки пожеж США. Певне уявлення про перевищення території досліджень створює карта затіненого рельєфу, на якій виділяється кілька локальних територій із найбільшим коливанням висот (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Затінений рельєф території досліджень

У цілому треба визнати не принципову роль топографічних параметрів території досліджень на методичні принципи моделювання природних пожеж. Відповідно до рис. 2.3 регіони Полісся України характеризуються відносно мінімальними значеннями крутизни схилів.

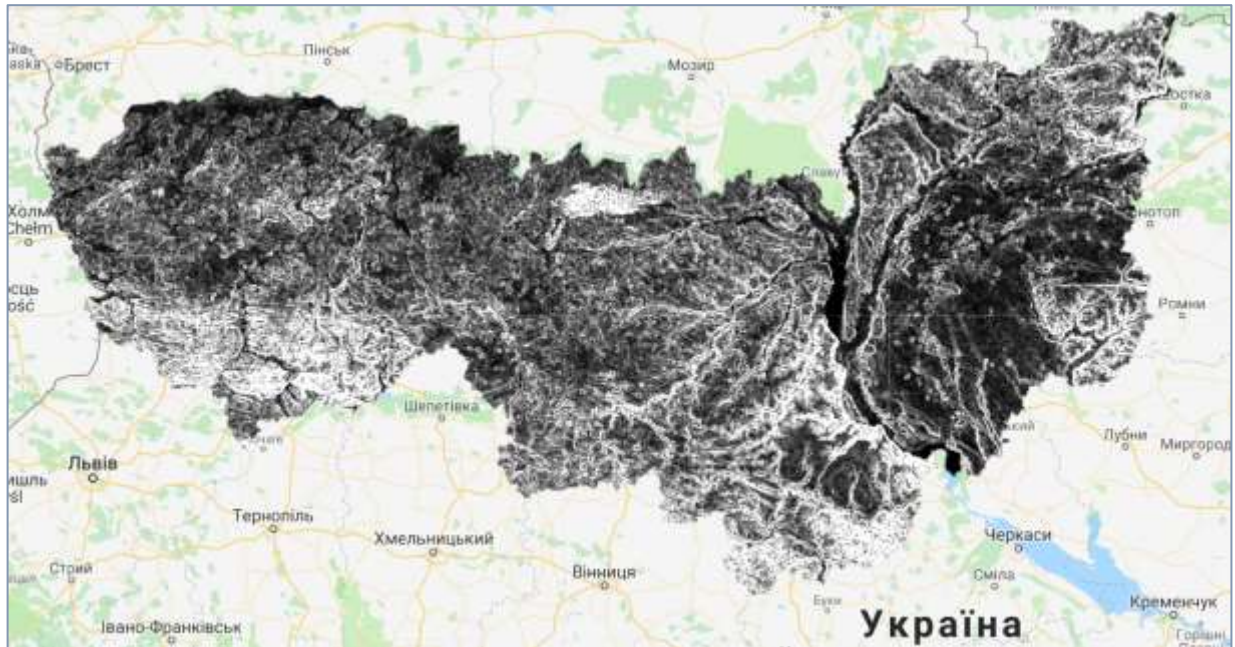


Рисунок 2.3 – Карта ухилів території Полісся України (крутизна схилів)

Загальний нахил місцевості на північ та північний схід визначив особливості експозиції схилів. Так, на більшій території досліджень переважають схили з крутизною до 2° , направлені в бік понижених ділянок (рис. 2.4).

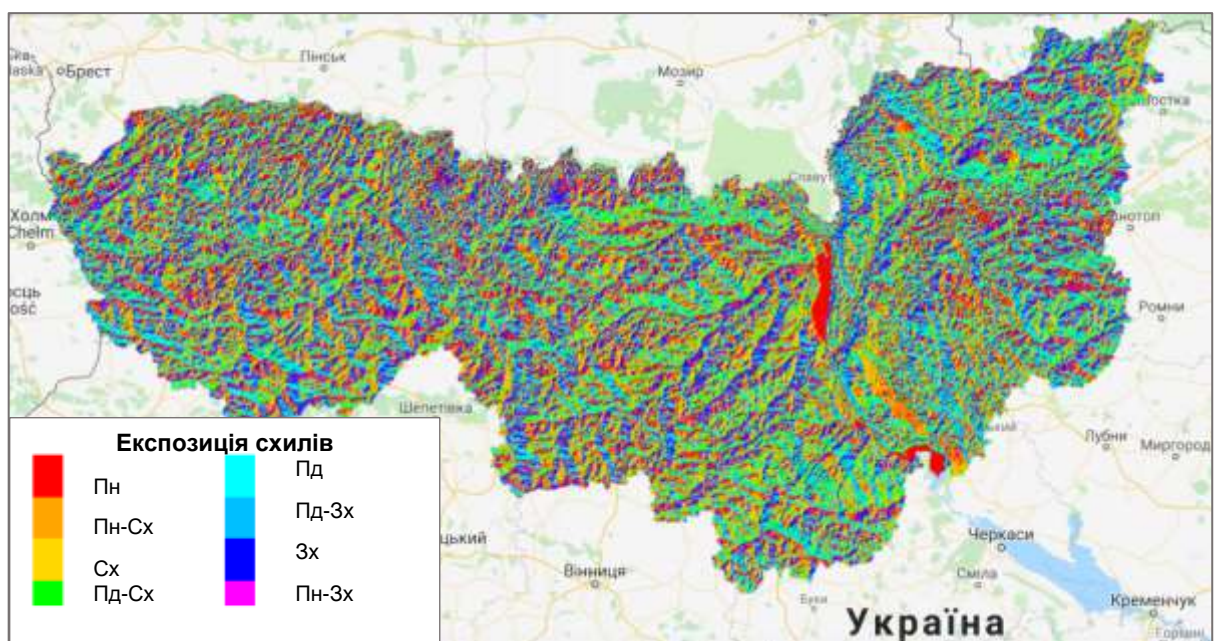


Рисунок 2.4 – Експозиція схилів території досліджень

Растри висоти над рівнем моря (*elevation*), ухилів (*slope*), експозиції схилів (*aspect*) є обов'язковими тематичними шарами, так званого, файлу ландшафтів (*lcp-file*), який створюють за допомогою програми *FlamMap* і він лежить у основі імітаційного моделювання. Незважаючи на те, що топографія дослідної території здебільшого не визначає поширення пожежі, наявність зазначених шарів є обов'язковою.

2.2 Типи земельного покриття

Поряд із топографічними показниками в моделюванні природних пожеж за методикою Лісової Служби США використовують набір показників про біофізичні параметри території. Загалом основу для моделювання формують типи земного покриття з властивими їм характеристиками, що описують моделі горючих матеріалів [52]. Усі ці дані поєднують у спеціальному файлі формату *.lcp* (*landscape file*), який складається з таких шарів:

1. *Elevation* – висота над рівнем моря.
2. *Slope* – ухил або ступінь зміни перевищень ділянки місцевості.
3. *Aspect* – експозиція або азимут вздовж схилу ділянки місцевості.
4. *Fuel Models* – тип моделі горючих матеріалів.
5. *Canopy cover* – зімкнутість намету деревної рослинності.
6. *Canopy height* – висота намету деревної рослинності.
7. *Canopy base height* – базова висота намету деревної рослинності.
8. *Canopy bulk density* – щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревної рослинності.

Перші три топографічні показники не відіграють суттєвої ролі в моделюванні пожеж в умовах рівнинної території Полісся України і вже були одержані під час першого етапу виконання НДР. У зв'язку з цим у поточному році ключову роль відведено характеристиці запасів наземних горючих матеріалів та параметрам горючих матеріалів у наметі деревної рослинності. За наявності повного покриття території геопросторовими базами даних встановлення цих показників не викликає особливих труднощів, а за відсутності

– зумовлює пошук альтернативних підходів. Найбільш обґрунтованим за сучасних умов виступає підхід із застосуванням даних дистанційного зондування Землі, зокрема супутникових знімків *Landsat* та глобальних продуктів земного покриву.

2.2.1 Створення безхмарних композитних мозаїк за часовими серіями супутникових знімків *Landsat 8 OLI*

Найбільші складності під час оброблення знімків *Landsat*, як і для всіх інших даних ДЗЗ оптичного діапазону, зумовлює хмарність території на момент зйомки. За окремими винятками існує можливість відбору супутникових знімків для області інтересу без хмар, хоча це істотно обмежує дослідників у виборі необхідних дат зйомки [34]. Задля зменшення впливу атмосферних ефектів на результати класифікації відбирали дані з хмарністю не більше 30 %, а всього в дослідженні використано 536 знімків *Landsat 8 OLI*. (табл. 2.1). У зв'язку з великою кількістю днів зі щільним хмарним покривом в осінній період (зокрема для періоду квітень–жовтень) цей поріг було знижено до 20 %.

Таблиця 2.1 – Характеристика супутникових знімків *Landsat 8 OLI*, використаних для створення безхмарних сезонних мозаїк

Композитна мозаїка для періоду року	Початкова дата	Кінцева дата	Хмарність території, %	Кількість знімків
Рік	01.01.2016	31.12.2018	30	536
Літо	01.06.2016	31.08.2016	30	206
	01.06.2017	31.08.2017		
	01.06.2018	31.08.2018		
Осінь	01.09.2016	30.11.2016	20	113
	01.09.2017	30.11.2017		
	01.09.2018	30.11.2018		
Квітень–жовтень	01.04.2016	31.10.2016	20	350
	01.04.2017	31.10.2017		
	01.04.2018	31.10.2018		

У просторовому відношенні територію дослідження представляє 23 сцени (відбитка) супутникових знімків *Landsat 8 OLI*, які за координатною сіткою *Worldwide Reference System-2 (WRS-2)* розташовуються в діапазоні: шлях: 179–187, ряд: 23–26. Сітка *WRS-2* являє собою набір полігонів, кожен із яких відповідає розмірам сцени супутникового знімка *Landsat* 185×185 км. Вона дозволяє відбирати супутникові дані для будь-якої частини земної поверхні, задавши відповідний ідентифікатор полігону – шлях (PATH) та ряд (ROW). Ряд вказує на центр сцени за широтою, тоді як шлях виступає ідентифікатором центра знімка за довготою. Загалом упродовж 16-денного періоду система проходить 233 шляхи, зміщуючись зі сходу на захід та забезпечуючи часткове перекриття суміжних знімків. Покриття знімками території Поліського регіону в межах п'яти адміністративних областей України (Волинська, Рівненська, Житомирська, Київська, Чернігівська) відображено на рис. 2.5.

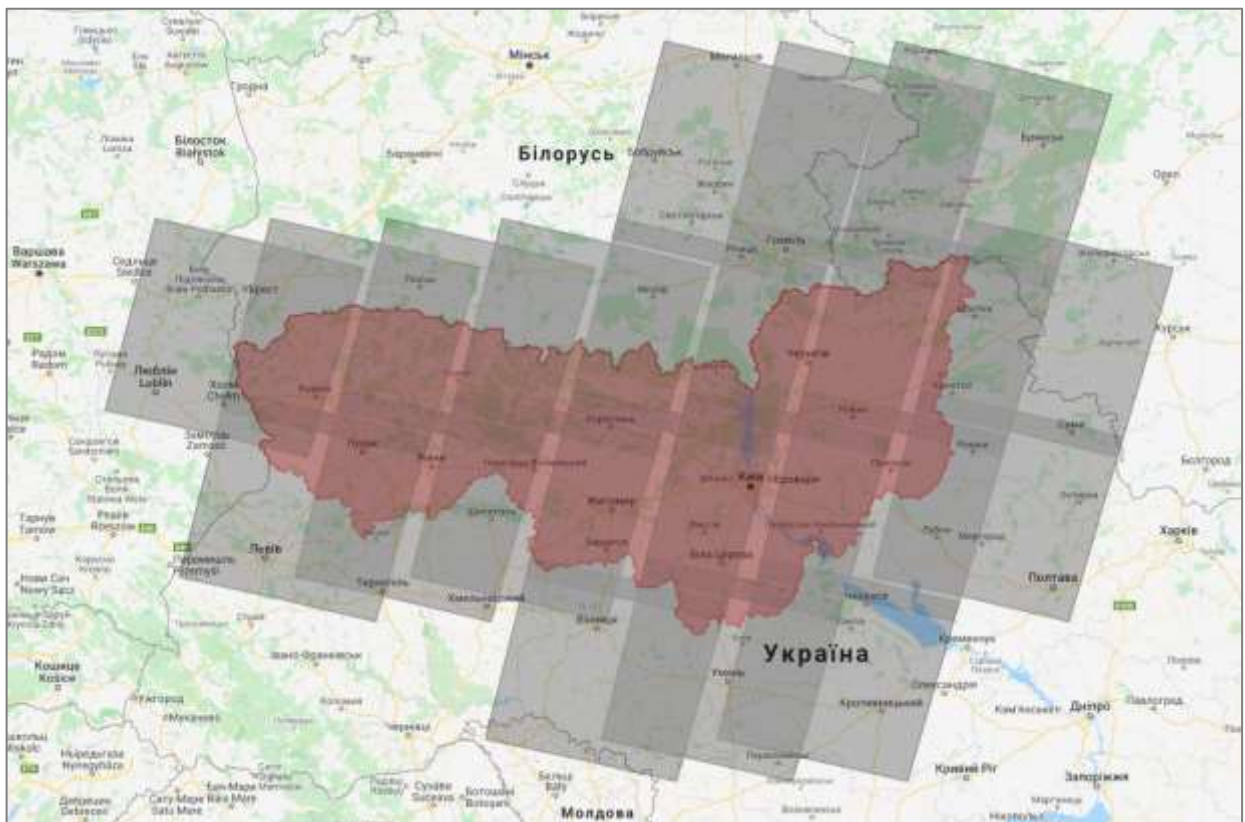


Рисунок 2.5 – Схема покриття території досліджень супутниковими знімками *Landsat 8 OLI*

Відображений на рис.2.5 просторовий розподіл кількості супутникових знімків для періоду 2016–2018 рр. наведено в табл. 2.2. Відповідно до нього, для окремої комбінації шлях / ряд у середньому відбирали від 20 до 25 сцен *Landsat 8 OLI*. Крім цього, за даними таблиці простежували явний тренд до збільшення їхньої кількості в напрямі з Зх. на Сх. Це вказує на різний ступінь покриття небосхилу хмарами в західних і східних регіонах Полісся України, що впливає на якість даних ДЗЗ.

Таблиця 2.2 – Розподіл кількості супутникових знімків за глобальною координатною сіткою WRS-2

Ряд	Шлях									Разом
	187	186	185	184	183	182	181	180	179	
23	–	–	–	–	–	23	24	24	–	71
24	1	24	20	20	22	23	27	28	28	193
25	–	25	22	26	23	22	26	27	29	200
26	–	–	–	–	–	20	27	25	–	72
Разом	1	49	42	46	45	88	104	104	57	536

Найбільшу кількість супутникових знімків із хмарністю менше 30 % відібрано впродовж 2016 року, дещо менше – протягом 2017 року. Відповідно до даних табл. 2.3 простежується, що в 2016 році небосхил частіше вкривався хмарами, у зв'язку з чим кількість знімків істотно поступається попереднім рокам. Майже половину супутникових знімків (253), використаних у дослідженнях природно-територіальних комплексів Поліського регіону України, одержано практично за повної відсутності хмар. Це сприяло створенню якісних безхмарних композитних мозаїк для чотирьох сезонів: рік, літо, осінь, квітень–жовтень.

Таблиця 2.3 – Розподіл кількості супутникових знімків Landsat 8 OLI за роками зйомки та хмарністю

Рік зйомки	Хмарність території, %						Разом
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	
2016	102	31	31	14	13	12	203
2017	96	24	23	14	12	13	182
2018	55	21	19	22	20	14	151
Разом	253	76	73	50	45	39	536

Детальніший аналіз за місяцями зйомки (табл. 2.4) закономірно вказує, що найменшу кількість супутникових знімків можна завантажити впродовж листопада та зимових місяців, для яких характерним є суттєвий хмарний покрив. Найбільша кількість даних Landsat з низьким рівнем хмарності (0–5 %) припадає на період вегетації рослинного покриву, що покращить якість сезонних мозаїк для періоду квітень–жовтень і літніх місяців. Важливо наголосити також на тому, що обмеження часового періоду для осінньої мозаїки жовтнем, виявилось доречним, оскільки в листопаді кількість практично безхмарних супутникових знімків істотно зменшується.

Таблиця 2.4 – Розподіл кількості супутникових знімків Landsat 8 OLI періоду 2016–2018 рр. за місяцями зйомки та хмарністю

Місяць зйомки	Хмарність території, %						Разом
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	
Січень	11	4	2	3		3	23
Лютий	3	4	8	1	4	3	23
Березень	25	4	4	5	2	1	41
Квітень	25	11	3	4	2	4	49
Травень	12	10	12	7	5	3	49
Червень	23	4	7	11	8	10	63
Липень	32	6	16	4	8	5	71
Серпень	41	9	8	6	7	3	74
Вересень	37	9	6	3	2	4	61
Жовтень	33	7	4	4	3	2	53
Листопад	6	4	–	–	2	–	12
Грудень	5	4	3	2	2	1	17
Разом	253	76	73	50	45	39	536

Незважаючи на застосовані умови відбору супутникових знімків із незначним рівнем хмарності, повне очищення зображень від хмар та їхніх тіней виступає важливим етапом створення якісних сезонних мозаїк і дешифрування типів земного покриву. Проблемам видалення хмарності та покращанню якості супутникових знімків присвячено багато досліджень. Найчастіше для фільтрації хмар застосовують алгоритми порогової класифікації зображень на основі певних комбінацій яскравості та температури пікселів. Процедура маскуванню хмар зазвичай складається з двох етапів: видалення густої хмарності та перистих

хмар (димки). Для знімків *Landsat OLI* щільну хмарність ідентифікують шляхом пошуку відповідних порогових значень пікселів у інфрачервоному каналі *Band 9* (*Cirrus*, хвилі завдовжки 1,36–1,38 мкм) та тепловому каналі *Band 10* (хвилі завдовжки 10,60–11,19 мкм). Спектральний діапазон зазначеного інфрачервоного каналу характеризується інтенсивним поглинанням променів водяною парою, яка концентрується в нижніх шарах атмосфери. Вода та кристали льоду блокують проходження сонячного випромінювання до земної поверхні та безпосередньо відбивають його назад у космос. Після реєстрації такої інформації сенсором найбільші значення пікселів припадуть на ділянки знімка під хмарами. При цьому в термальному діапазоні вони матимуть істотно менші значення (температуру) порівняно з фоновими пікселями. Димку ідентифікують на основі додаткової інформації з блакитного каналу *Band 1* (*Coastal Aerosol*, хвилі завдовжки 0,433–0,453 мкм). Частина сонячного випромінювання проникає крізь такі хмари, у зв'язку з цим відповідні ділянки знімка характеризуються невисокими значеннями відбиття в каналі *Band 9*. Все ж, порівняно з іншими об'єктами, димка яскравіша в каналі *Band 1*, та холодніша – в каналі *Band 10*.

У підсумку описану методику можна представити у вигляді табл. 2.5. Аналіз експериментальних даних показує, що тіні зміщуються відносно хмар не більше, ніж на 200 пікселів. Отже, їх вдається ідентифікувати в буферній зоні навколо хмар за низькими значеннями в ближньому інфрачервоному діапазоні (*Band 6*).

Таблиця 2.5 – Порогові правила маскування хмар

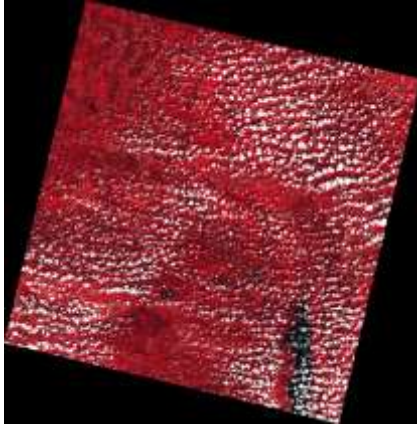
Тип хмар	Умова для класифікації
Шарувато-купчасті, купчасті та інші густі хмари	Дані <i>Band 9</i> перевищують порогове значення & дані <i>Band 10</i> менші порогового значення
Перисті хмари (димка)	Дані <i>Band 1</i> перевищують порогове значення & дані <i>Band 9</i> менші порогового значення & дані <i>Band 10</i> менші порогового значення

Для методики притаманні щонайменше два недоліки: 1) алгоритм складно піддається автоматизації, оскільки навіть після радіометричної корекції порогові

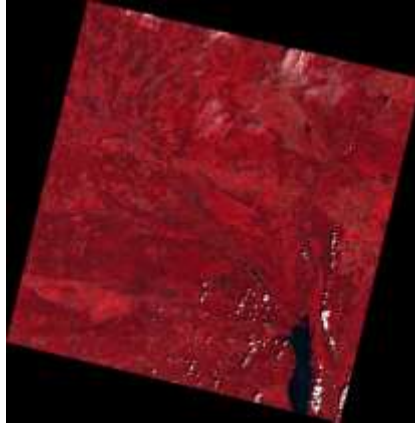
значення пікселів окремих знімків будуть відрізнятися; 2) не дозволяє створити якісну маску тіней від хмар, які залишаються на знімку. У зв'язку з цим, загальноживаним за сучасних умов став об'єктно орієнтований алгоритм *FMask*, версія 1.6 якого спочатку стосувалася тільки знімків *Landsat 4–7* [59], а версію 3.2 адаптовано до сенсорів *Landsat 8* та *Sentinel 2* [58]. Після збою в роботі сенсора *Landsat 8*, що реєструє термальне випромінювання, ці алгоритми зазнали змін і наразі їх можна застосовувати як до даних із термальним *TIRS*, так і без нього. За новим алгоритмом *CFMask* до кожної сцени *Landsat* створюють додатковий 8-бітний канал якості пікселів (*QA – Quality Assessment Band*), за яким ідентифікують хмари та тіні від них [24]. У зазначеному каналі описують якість кожного пікселя, на яку може впливати стан земної поверхні, сенсора чи атмосфери. Врешті-решт, інформація про параметри пікселя допомагає користувачу визначитися в доцільності їхнього використання в дослідженні. На цій основі застосовують фільтри для вибору «чистих» від хмар та тіней частин супутникового знімка, використовуючи побітові оператори порівняння.

Задля зменшення впливу атмосферних ефектів на якість продуктів ДЗЗ у 1986 році в дослідженнях [32] розроблено алгоритм створення семиденних композитних зображень зі знімків *NOAA AVHRR*. Його ідея полягає в тому, що з часової серії знімків відбирають лише пікселі з найбільшим значенням вегетаційного індексу *NDVI* (звідси: *MVC – Maximum-Value Composite*). При цьому вирішується не тільки проблема маскування хмар, а й тіней від них. Пізніше запропоновану техніку почали застосовувати для знімків *MODIS*, зокрема для створення 16-денних композитних зображень. Після зміни в 2008 році [57] політики доступу до багатомільйонного архіву знімків Геологічної служби США (*USGS*), аналогічні підходи були адаптовані для підготовки щотижневих, щомісячних, сезонних і щорічних композитних зображень *Landsat-7 ETM+* [50]. На рис. 2.6 зображено три етапи створення безхмарної мозаїки на прикладі однієї сцени *Landsat*, одержаної для комбінації шлях 182 / ряд 24. З метою створення безхмарних мозаїк для всієї території досліджень подібну процедуру необхідно повторити з усіма супутниковими знімками (див. рис. 2.5, табл. 2.2).

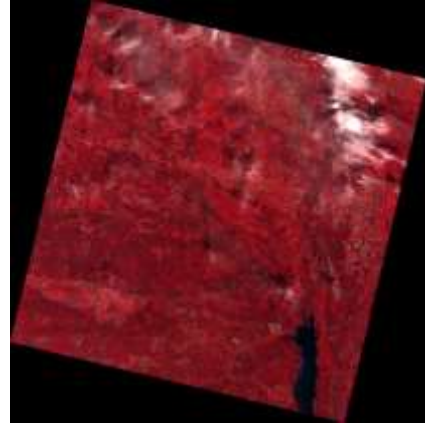
а)



LC81820242016154LGN00
Дата зйомки: 2016-06-02
Хмарність: 18,36 %

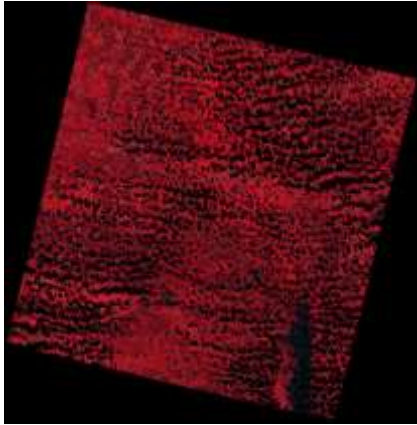


LC81820242016218LGN00
Дата зйомки: 2016-08-05
Хмарність: 1,35 %

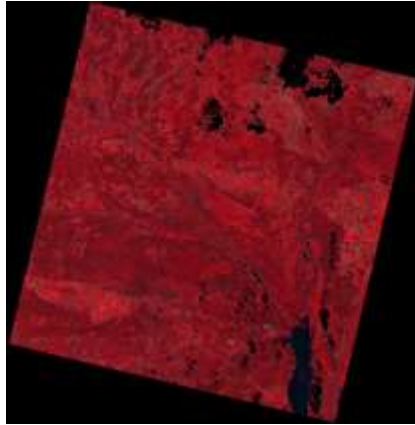


LC81820242016234LGN00
Дата зйомки: 2016-08-21
Хмарність: 8,37 %

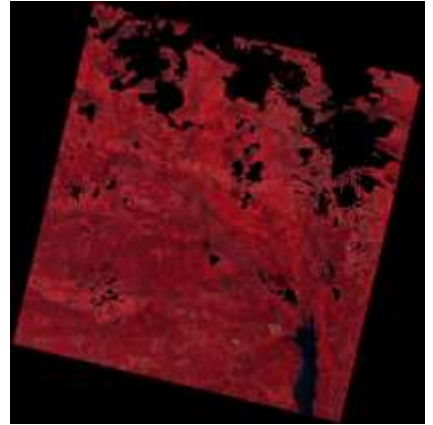
б)



LC81820242016154LGN00
з накладеною маскою хмар

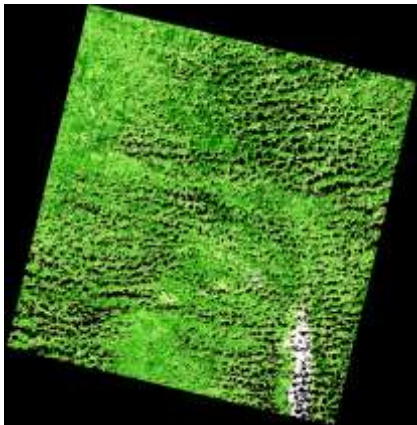


LC81820242016218LGN00
з накладеною маскою хмар

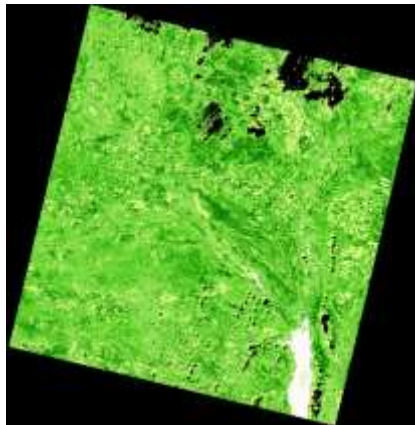


LC81820242016234LGN00
з накладеною маскою хмар

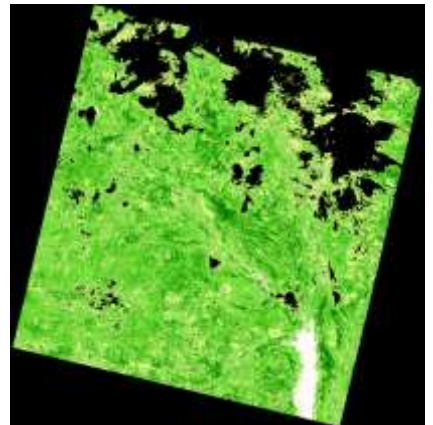
в)



NDVI зображення
LC81820242016154LGN00
з накладеною маскою хмар



NDVI зображення
LC81820242016218LGN00
з накладеною маскою хмар



NDVI зображення
LC81820242016234LGN00
з накладеною маскою хмар

Рисунок 2.6 – Візуалізація методики створення безхмарної мозаїки за часової серії знімків Landsat 8 OLI: а) вихідні знімки; б) знімки з маскою хмар; в) зображення NDVI з маскою хмар

Переваги композитних зображень MVC полягають у тому, що вони представляють усереднену характеристику спектральних показників земної поверхні та містять меншу кількість пропусків даних. Проте необхідно пам'ятати про очевидні недоліки MVC: оскільки в часовій серії простежуватиметься більший вплив тих знімків, на яких активніша вегетація, зменшується контраст між трав'яною та деревною рослинністю. У зв'язку з цим методика доречна для періодів без значних коливань значень *NDVI*. Крім цього, композитні мозаїки можна створювати на основі центральної тенденції – значень медіани пікселів для кожного спектрального каналу [23, 56].

Завдяки розвитку «хмарних» технологій, зокрема, появі ресурсу Google Earth Engine (GEE) API, складні алгоритми попередньої обробки та покращання якості супутникових знімків почали широко застосовувати в прикладних дослідженнях [28]. Платформа GEE забезпечує доступ до власного архіву супутникових даних і є одночасно середовищем для їхньої обробки за допомогою JavaScript чи *Python*. Так, видалення хмар на знімках Landsat стала стандартною процедурою GEE, яку виконують спеціальні функції.

Зведене зображення, одержане на основі злиття трьох сцен супутникових знімків, відображено на рис. 2.7. Як стає зрозуміло, знімків виявилось недостатньо, щоб одержати композитну мозаїку без пропусків інформації (відображено в верхній частині знімка чорним кольором). Подібна ситуація вимагає залучення додаткових даних, які можуть бути представлені знімками інших років для обраного сезону. Судячи з табл. 2.2, в межах окремого поєднання шляху та ряду системи WRS-2 налічується від 20 до 29 знімків Landsat, що забезпечує достатні передумови для створення якісних безхмарних мозаїк. Наявність лише однієї сцени за шляхом 187 та рядом 24 принципово не позначиться на мозаїках західної частини території досліджень, адже недостатню кількість інформації в цій частині можна компенсувати за рахунок суміжних супутникових знімків.

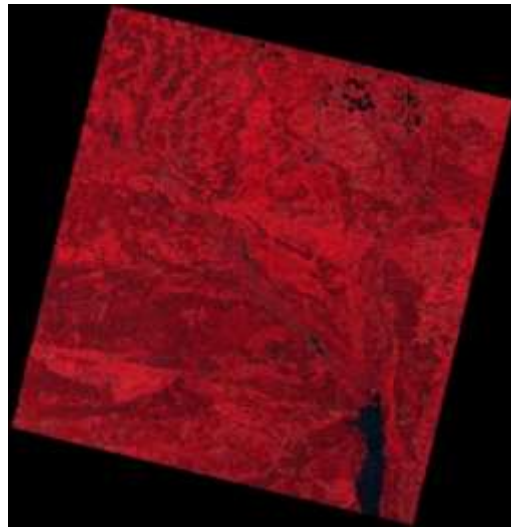


Рисунок 2.7 – Сезонна літня композитна мозаїка зі знімків Landsat 8 OLI

Маскування хмар та компонування знімків виконували в GEE API за методикою MVC на основі колекції знімків LANDSAT/LC8_L1T_TOA, які пройшли попередню радіометричну корекцію з приведенням значень пікселів до відбиття на сенсорі TOA. Алгоритм дозволив одержати для території досліджень безхмарні сезонні композитні мозаїки Landsat 8 OLI, в яких поєднуються спектральні канали та їхні відношення. Річну безхмарну мозаїку території досліджень зображено на рис. 2.8.

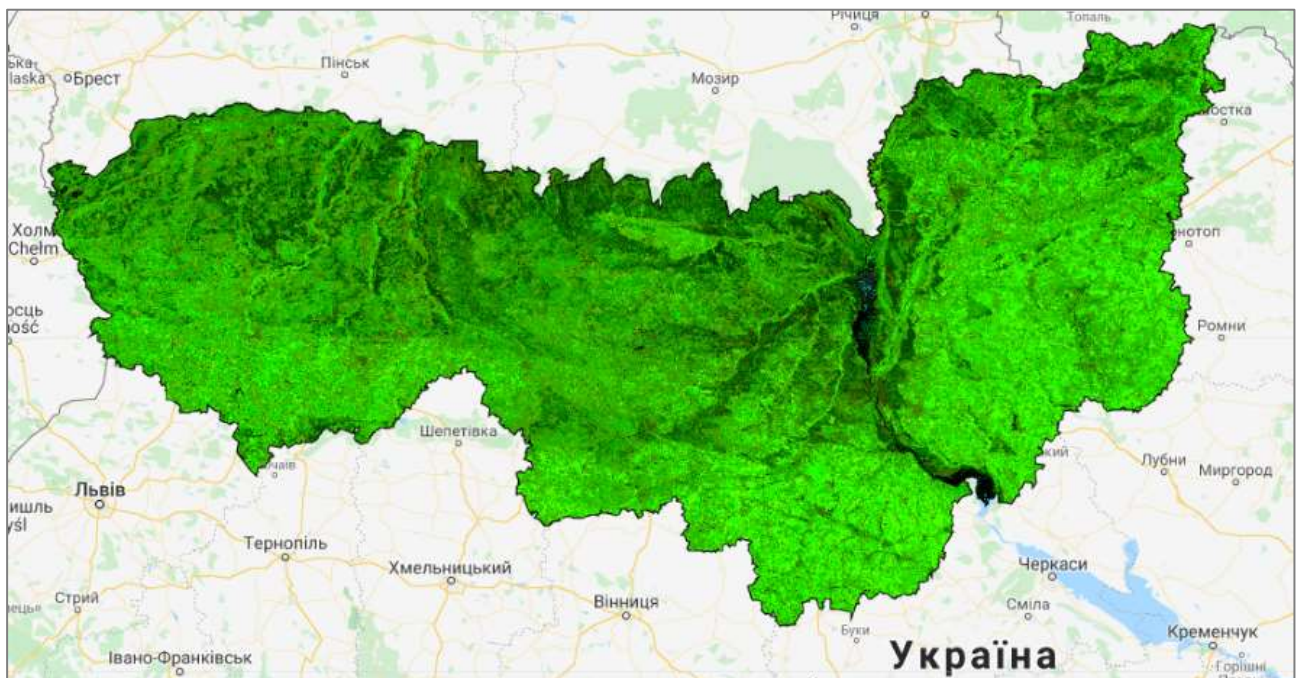


Рисунок 2.8 – Річна безхмарна MVC мозаїка зі знімків Landsat (комбінація каналів: 6–5–4)

Враховуючи принципи вибору пікселів для їхнього поєднання у вигляді композитної мозаїки, рис. 2.8 відображає період максимальної вегетації рослинного покриву, який характеризується більшими значеннями вегетаційного індексу *NDVI*. Завдяки цьому принципівих відмінностей між річною та літньою мозаїкою не спостерігається (рис. 2.9). Остаточний висновок про доцільність залучення спектральних показників з річної мозаїки можна буде виконати під час класифікації, оцінюючи їхній внесок у загальну точність дешифрування типів земного покриву.

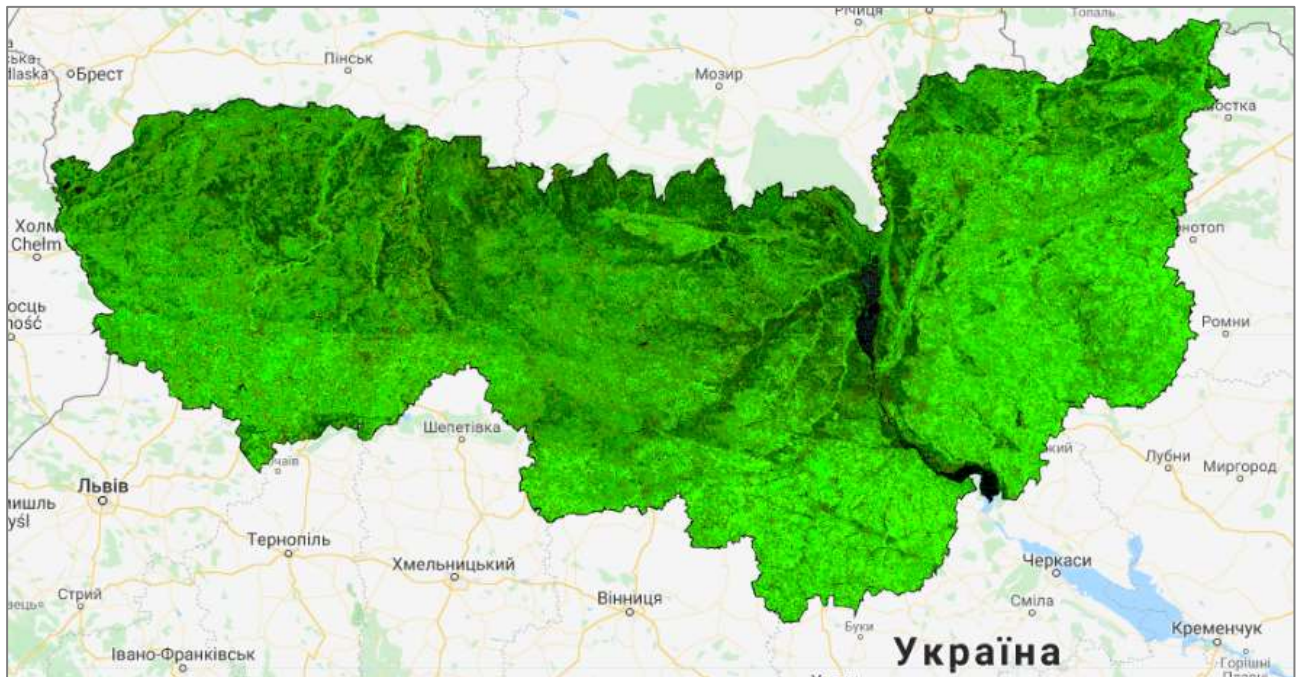


Рисунок 2.9 – Літня безхмарна MVC мозаїка зі знімків Landsat (комбінація каналів: 6–5–4)

Найбільші сезонні варіації стану земного покриву впродовж року відображаються на мозаїці для періоду квітень–жовтень (рис. 2.10 а). Заданий період дозволив використати дещо інший підхід для її створення. Замість описаного методу відбору найбільш «зелених» спостережень тут застосовували статистичні правила: відбір мінімальних і максимальних значень пікселів, 1-го та 3-го квантилів, медіани. На основі цих статистичних показників можна відслідкувати сезонну динаміку фенологічних фаз рослинного покриву. Наприклад, мінімальні та максимальні значення характеризують початок і

завершення вегетаційного періоду, коли рослинність знаходиться в безлистому стані. Використані 25-й та 75-й перцентилі відображають, відповідно, стан рослинності на стадії входження та завершення активної вегетації. Значенням медіани відповідає період, коли в рослинах накопичується максимальна кількість зеленої біомаси. Враховуючи особливості фенологічних фаз розвитку деревної та іншої рослинності, а також лісових насаджень різного складу, з'являються кращі можливості для їхнього розпізнавання за даними ДЗЗ.

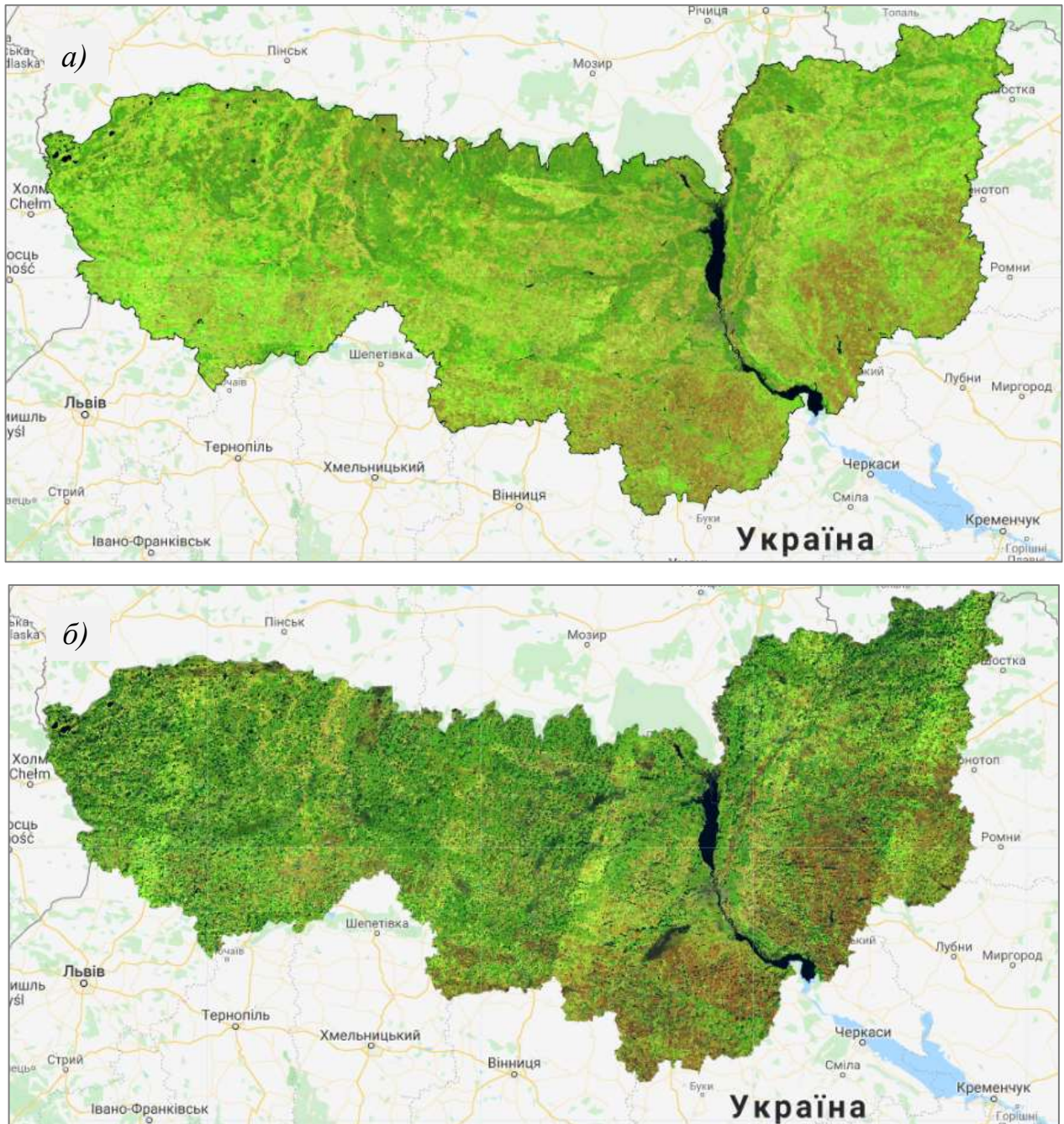


Рисунок 2.10 – Безхмарна мозаїка зі знімків Landsat для періоду квітень–жовтень (комбінація каналів: 6–5–4): а) 1-й квантилі; б) мінімальні значення

Не зважаючи на попередній досвід подібного підходу в минулому [29], в дослідженні встановлено, що залучати для розробки класифікаційної моделі мінімальних і максимальних значень з часового ряду супутникових спостережень недоречно. Як видно з рис. 2.10 (б), мінімальні значення переважно відображають затінені ділянки, а максимальні – шуми, що залишаються на знімку після фільтрування хмар.

Осіньна мозаїка доповнює часовий ряд спостережень і підкреслює завершальну стадію вегетації рослинності. Особливе значення мають знімки, зроблені впродовж вересня–жовтня для розмежування сільськогосподарських угідь від природних травостоїв, що видно з рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Осіння безхмарна MVC мозаїка зі знімків Landsat (комбінація каналів: 6–5–4)

Описані методичні підходи щодо попередньої обробки супутникових знімків успішно апробовані для створення маски рівнинних лісів України [89, 88], яку буде використано для параметризації моделей горючих матеріалів лісових насаджень. Наступним завданням проєкту передбачено виконати детальнішу класифікацію земельного покриття з виділенням більшої кількості тематичних класів.

2.2.2 Схеми класифікації ландшафтів і характеристика опорної інформації

Математичне моделювання ризиків природних пожеж за методикою Лісової Служби США здійснюють на ландшафтній основі. У зв'язку з цим картографування типів земельного покриву відіграє ключову роль для визначення просторового розподілу кількісних і якісних показників запасу горючих матеріалів, який впливає на умови виникнення та поширення пожеж. Для характеристики горимості ландшафтів прийнято застосовувати 13 стандартних і 40 динамічних моделей горючих матеріалів [52, 3], що відповідають певному типу земельного покриву.

Для класифікації території досліджень опрацьовано дворівневу схему класифікації, за якої існує вісім класів земельного покриву першого рівня. Кожен із них поділяють на певну кількість підкласів другого рівня:

1. Водойми.
2. Водно-болотні угіддя.
3. Населені пункти.
4. Інші непродуктивні землі.
5. Сільськогосподарські угіддя.
6. Травостої.
7. Чагарники.
8. Лісовий покрив.

Враховуючи просторове розрізнення супутникових знімків *Landsat 8 OLI* 30×30 м, деталізацію класифікації для вкритих лісовою рослинністю ділянок можна виконати тільки з розподілом останніх на три категорії: хвойні, листяні та мішані деревостани.

Загалом у дослідженні використано два незалежних набори опорної інформації, які застосовували для дешифрування сезонних мозаїк *Landsat* та оцінювання точності тематичних карт. Їх створено на основі випадкової стратифікованої вибірки, запроєктованої на підставі глобальної карти *Global Forest Change* – для класифікації, та розробленої тематичної карти земного

покриву – валідації результатів. У зв'язку з цим у першому випадку для стратифікації використано чотири тематичних класи карти *Global Forest Change* (постійний лісовий покрив, постійний нелісовий покрив, втрати лісу, лісовідновлення), а в другому – вісім запропонованих тематичних класів. Розподіл кількості вибірових одиниць опорний наборів даних наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Розподіл кількості вибірових одиниць за типами земельного покриву, використаних для класифікації супутникових знімків [89]

№ з/п	Адміністративна область	Категорія земель								Усього
		ліс	чагарники	травостої	с.-г. угіддя	населені пункти	водно-болотні угіддя	водойми	інші непродуктивні	
1	Вінницька	77	1	12	120	6	1	5	0	222
2	Волинська	132	0	17	77	7	2	1	0	236
3	Дніпропетровська	60	4	24	95	13	4	11	4	215
4	Донецька	52	19	10	112	13	1	4	11	222
5	Житомирська	106	4	48	62	10	7	2	0	239
6	Запорізька	33	6	21	124	18	9	8	0	219
7	Київська	68	12	31	88	15	5	6	2	227
8	Кіровоградська	30	2	63	103	9	1	4	0	212
9	Луганська	72	12	28	88	11	2	2	7	222
10	Львівська	83	14	69	44	18	1	3	0	232
11	Миколаївська	32	5	40	112	9	7	6	2	213
12	Одеська	47	12	32	103	15	7	1	3	220
13	Полтавська	73	0	27	101	10	5	5	0	221
14	Рівненська	103	7	55	51	11	9	1	0	237
15	Сумська	61	14	35	91	14	3	4	2	224
16	Тернопільська	58	4	23	124	8	2	0	0	219
17	Харківська	51	7	35	114	6	3	8	2	226
18	Херсонська	30	0	48	99	5	3	20	0	205
19	Хмельницька	52	18	33	109	8	3	2	3	228
20	Черкаська	59	0	33	107	7	3	9	0	218
21	Чернігівська	72	4	73	72	7	4	1	0	233
Разом		1351	145	757	1996	220	82	103	36	4690

Як уже зазначалося, класифікацію земельного покриву території досліджень виконували під час розробки маски рівнинних лісів України [89], у зв'язку з цим навчальну вибірку формували на основі дешифрування вибірових одиниць за схемою, запроєктованою для 21 області України. Наведений у таблиці розподіл одержано після візуального дешифрування кожної вибіркової одиниці, використовуючи безкоштовні супутникові знімки Google. Обсяг вибірки проєктували таким чином, щоб забезпечити помилку оцінювання загальної точності класифікації земельного покриву не більше 2 %. Оскільки два тематичні класи карти Global Forest Change, що відображають динаміку лісів, становлять порівняно незначну частку площі, мінімальний обсяг вибірки для кожної страти проєктували не менше 25 одиниць. Обсяг валідаційного набору даних розраховували за аналогічним принципом. Утім, завдяки більшій кількості тематичних класів, для кожної адміністративної області одержано понад 400 вибірових одиниць (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Розподіл кількості вибірових одиниць за типами земельного покриву, використаних для валідації тематичних карт

№ з/п	Адміністративна область	Категорія земель								Разом
		ліс	чагарники	травостої	с.-г. угіддя	населені	водно-болотні	водойми	інші непродуктивні	Усього
1	Волинська	109	25	70	111	25	25	25	25	415
2	Житомирська	113	25	73	103	25	25	25	25	414
3	Київська	87	25	68	163	25	25	25	25	443
4	Рівненська	114	25	78	99	25	25	25	25	416
5	Чернігівська	76	25	77	135	25	25	25	25	413
Разом		499	125	366	611	125	125	125	125	2101

Загалом набір даних для валідації одержано в більшому обсязі, що створює підстави для достовірного оцінювання точності тематичних карт і обчислення площі тематичних класів.

2.2.3 Методика дешифрування супутникових знімків

У дослідженні використано 536 супутникових знімків, які було скомпоновано у вигляді безхмарних сезонних мозаїк та використано для дослідження спектральних властивостей земного покриву [91]. Як вже зазначалося раніше, знімки скомпоновано у вигляді чотирьох сезонних безхмарних мозаїк на основі алгоритму, який максимізує вплив пікселів із найбільшими значеннями індексу *NDVI* та дозволяє відібрати «кращі» спостереження [30]. Відповідно до нього з серії спостережень для кожного спектрального каналу відбирають лише ті пікселі, що не потрапили на хмари. Якщо цей критерій для *i*-того пікселя задовольняють відразу кілька знімків, надається перевага спостереженням із найбільшим значенням *NDVI*. Також за цим принципом до мозаїк додано канали, створені на основі розрахунку індексу *NDVI* та ортогонального перетворення супутникових знімків типу «ковпак з кистю» (ТСТ). Для цього використано коефіцієнти, одержані емпіричним шляхом у роботі [4]. У просторовому відношенні територію дослідження представляє 59 сцен за глобальною сіткою WRS-2 (див. табл. 2.2).

Для мозаїки сезону квітень–жовтень створено додаткові канали, до яких пікселі відбирали на основі певних статистичних правил: медіана, 1-й і 3-й квартилі, а також мінімальні та максимальні значення періоду квітень–жовтень 2016–2018 рр. (табл. 2.8). На нашу думку, це допомагає виявити сезонну мінливість спектральних показників різних категорій земного покриву, зокрема покращує розпізнавання груп хвойних, листяних і мішаних лісових насаджень. Також запропонована методика дозволяє покращити диференціацію сільськогосподарських угідь та травостоїв.

Таблиця 2.8 – Спектральні показники сезонних композитних мозаїк *Landsat 8 OLI* [89]

Спектральні змінні для мозаїк сезонів літо, осінь, рік	Показники, визначені для мозаїки сезону квітень–жовтень
ТОА відбиття в каналах: Band 4, Band 5, Band 6, Band 7, Band 10	Мінімальне та максимальне значення відбиття для: Band 4, Band 5, Band 6, Band 7 та <i>NDVI</i>
Відношення каналів: Band 4 / Band 5, Band 4 / Band 7, Band 5 / Band 7	25-й та 75-й перцентилі відбиття для: Band 4, Band 5, Band 6, Band 7 та <i>NDVI</i>
Вегетаційний індекс <i>NDVI</i>	Медіана відбиття для: Band 4, Band 5, Band 6, Band 7 та <i>NDVI</i>
Канали перетворення ТСТ	

Враховуючи висновки, одержані в результаті дослідження динаміки спектральних показників різних типів земного покриття [91], для трьох сезонних мозаїк *Landsat* (рік, літо, осінь) навчальну вибірку сформовано за даними таких каналів: Band 4, Band 5, Band 6, Band 7, Band 10; співвідношення каналів Band 4 / Band 5, Band 4 / Band 7, Band 5 / Band 7, індекс *NDVI*; канали спектрального перетворення ТСТ. Для мозаїки періоду квітень–жовтень за трирічний період спостережень використовували такі статистичні показники: медіана, 1-й та 3-й квартилі каналів Band 4, Band 5, Band 6, Band 7, *NDVI*. Також вибірку для всіх сезонних мозаїк доповнювали значення географічної довготи і широти центра вибіркової одиниці (табл. 2.9).

У зв'язку з великою кількістю незалежних (предикативних) змінних розглядали суто непараметричні методи класифікації супутникових знімків. Протягом останнього часу широко відомим став алгоритм машинного навчання *Random Forest* [5]. Класифікацію методом RF здійснювали за допомогою голосування класифікаторів (окремих дерев). Відомо, що точність ансамблів класифікаторів суттєво залежить від того, наскільки пов'язані між собою їхні рішення, тобто ймовірність точної класифікації буде більшою за умови меншої

кореляції. У методі RF рішення класифікаційних дерев слабо корельовані внаслідок подвійної реалізації випадкового процесу: на стадії формування підвбірок та відбору незалежних змінних для розгалуження. Все ж, оптимізація навчальної вибірки за великої кількості незалежних змінних має важливе значення для покращання поведінки моделі [35].

Таблиця 2.9 – Спектральні змінні для класифікації сезонних мозаїк Landsat 8 OLI [89]

Тип змінної (спектральний канал)	Умовні позначення незалежних змінних для сезонних мозаїк			
	рік	літо	осінь	квітень-осінь
Band 4	B4_An	B4_Su	B4_Au	B4_ApOc_p75 B4_ApOc_median B4_ApOc_p25
Band 5	B5_An	B5_Su	B5_Au	B5_ApOc_p25 B5_ApOc_median B5_ApOc_p75
Band 6	B6_An	B6_Su	B6_Au	B6_ApOc_p25 B6_ApOc_median B6_ApOc_p75
Band 7	B7_An	B7_Su	B7_Au	B7_ApOc_p25 B7_ApOc_median B7_ApOc_p75
Band 10	B10_An	B10_Su	B10_Au	–
Band 4 / Band 5	B4/B5_An	B4/B5_Su	B4/B5_Au	–
Band 4 / Band 7	B4/B7_An	B4/B7_Su	B4/B7_Au	–
Band 5 / Band 7	B5/B7_An	B5/B7_Su	B5/B7_Au	–
<i>NDVI</i>	NDVI_An	NDVI_Su	NDVI_Au	NDVI_ApOc_p25 NDVI_ApOc_median NDVI_ApOc_p75
TCT	Brightness_An Greenness_An Wetness_An	Brightness_Su Greenness_Su Wetness_Su	Brightness_Au Greenness_Au Wetness_Au	–

Загальноживаним показником оцінювання відносного впливу кожної предикативної змінної на точність моделі RF є відносне збільшення середнього квадратичного відхилення (% IncMSE). Цей показник вказує на скільки відсотків зросте середньоквадратична помилка класифікації в разі виключення відповідної змінної з моделі. Треба зазначити, що % IncMSE є найпоширенішим критерієм для інтерпретації точності класифікаційних моделей RF [9, 25]. Кількісне

оцінювання, яке забезпечує зазначений показник, важливе також для глибшого розуміння досліджуваної наукової проблеми під час класифікації.

Дослідження вказують на те, що за умови вибору більшої кількості класифікаційних дерев (*n_{tree}*) оцінки за моделями RF стають стійкішими, а зі збільшенням кількості змінних, які беруть участь під час побудови розгалуження *i*-того класифікаційного дерева (*m_{try}*) – зростає диференціація незалежних змінних за величиною %IncMSE [24]. У зв'язку з цим, щоб обрати оптимальні значення параметрів моделей RF, використано функцію `tuneRF` зі статистичного пакета `randomForest` для системи R. Якщо кількість змінних на певному етапі була меншою від розрахованої, використовували стандартні налаштування алгоритму. Відповідно до них розрахунок параметра *m_{try}* здійснюють за формулою:

$$m_{try} = \sqrt{p}, \quad (2.1)$$

де *p* – кількість незалежних змінних у вибірці.

Величину відносного впливу незалежних змінних на точність класифікації оцінено за середнім арифметичним значенням помилки, обчисленої у результаті 50 повторних запусків алгоритму `randomForest` на основі невідібраних для побудови ансамблю класифікаційних дерев даних (звідси помилка OOB – Out of Bag). Після цього кожній змінній приписували ранг у порядку спадання %IncMSE. Всі розрахунки виконували за алгоритмами в системі R v. 3.5.1.

На першому етапі дослідження проаналізовано наскільки відрізняється точність класифікації окремих сезонних мозаїк (табл. 2.10). Найменшу помилку забезпечила класифікація повного набору незалежних змінних, сформованого на основі чотирьох сезонних мозаїк (OOB = 25,4 %). Деяко поступається перед нею в точності класифікація знімків, одержаних протягом сезону квітень–жовтень (OOB = 25,7 %). Для решти сезонних мозаїк виникають набагато більші помилки. Також виявлено важливу роль географічних координат, які суттєво зменшують помилку класифікації для всіх представлених мозаїк.

Таблиця 2.10 – Точність моделей класифікації сезонних мозаїк
Landsat 8 OLI [89]

Навчальна вибірка для періоду	<i>mtry</i>	Спектральні дані		Спектральні дані та географічні координати	
		кількість змінних	помилка класифікації, %	кількість змінних	помилка класифікації, %
Рік	6	12	36,5	14	33,8
Квітень–жовтень	8	15	26,7	17	25,7
Літо	6	12	36,8	14	34,6
Осінь	6	12	33,0	14	31,6
Рік, квітень– жовтень, літо, осінь	14	51	25,6	53	25,4

Завдання оптимізації вихідного набору змінних можна розглядати з двох позицій: визначити змінні, які виявляють найбільший вплив на відгук і вилучити всі зайві; визначитися з найменшим обсягом змінних, достатнім для виконання прогнозу. В дослідженні використано останній принцип [90, 87]. Для того, щоб зробити висновок про внесок відповідного показника в загальну точність класифікації, створено ряд поступового зменшення значень % IncMSE, а змінним присвоєно відповідні ранги (рис. 2.12). Характерно, що для частини показників величина % IncMSE набуває від’ємних значень і свідчить про необхідність виключення їх із розрахунків.

Ідея зменшення розмірності класифікаційної моделі полягає в тому, що серед представленого на рис. 2.12 списку змінних існує певний мінімальний піднабір, який забезпечує найвищу точність класифікації. Визначитися з переліком показників можна, проаналізувавши як змінюється помилка класифікації у разі поступового збільшення кількості незалежних змінних. Для вирішення зазначеної проблеми використано результати ранжування змінних за величиною їхнього внеску в точність класифікації.

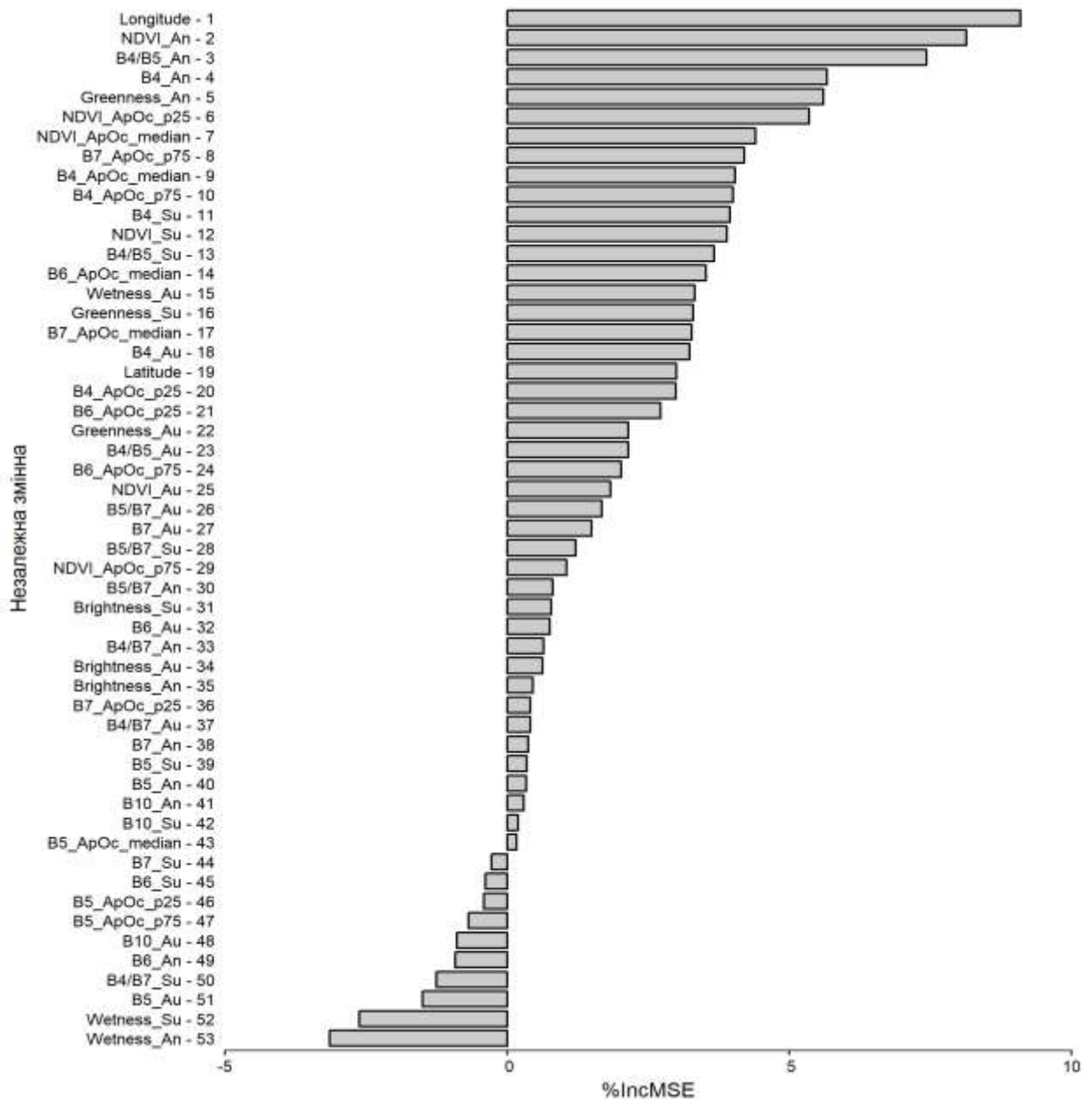


Рисунок 2.12 – Розподіл незалежних змінних за величиною відносного впливу на точність дешифрування типів земного покриття

Спочатку було опрацьовано модель, яка враховує тільки два найважливіших показники (Longitude та NDVI_An). На кожному наступному етапі до моделі додавали наступний за рангом показник. На рис. 2.13 наведено як змінюється середнє арифметичне значення помилки класифікації, обчисленої за даними 50 запусків алгоритму RF, у разі збільшення кількості змінних від 2 до 53. Дані свідчать, що найістотніше точність класифікаційної моделі зростає після збільшення кількості предикативних змінних від 2 до 10. Після цього помилка спадає менш стрімко.

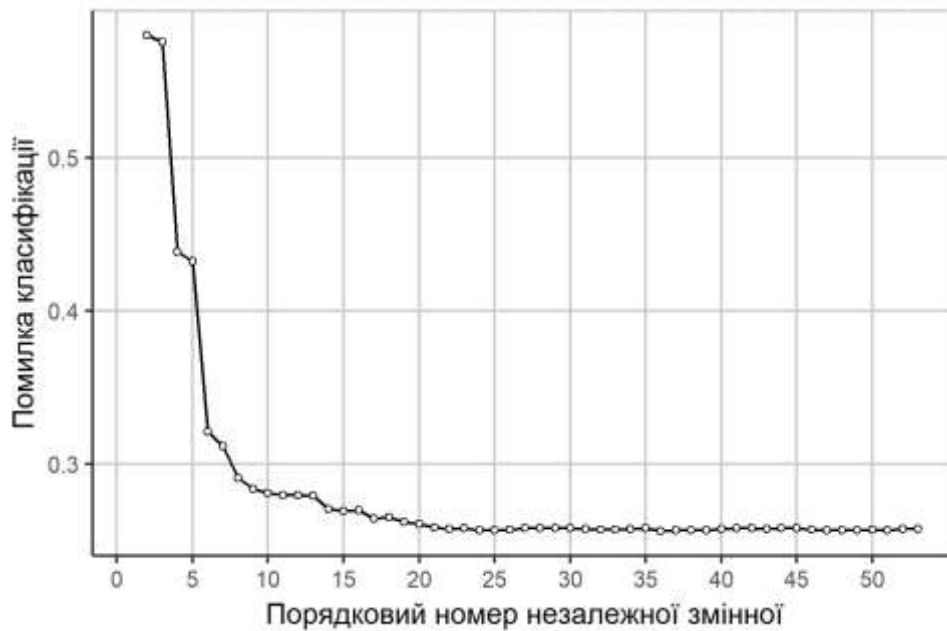


Рисунок 2.13 – Залежність помилки класифікації типів земного покриття від кількості незалежних змінних

Найбільшу точність забезпечують перші 36 незалежних змінних, після чого вона вже не підвищується. Приблизно третину з них одержано з сезонних мозаїк для періоду квітень–жовтень, що підтверджує важливість інформації про фенологічний стан рослинності для покращання точності класифікації ландшафтів. Проведені дослідження вказують також на відносно незначний вплив даних термальних каналів, зокрема каналу Band 10 системи Landsat 8 OLI, на точність дешифрування типів земного покриття.

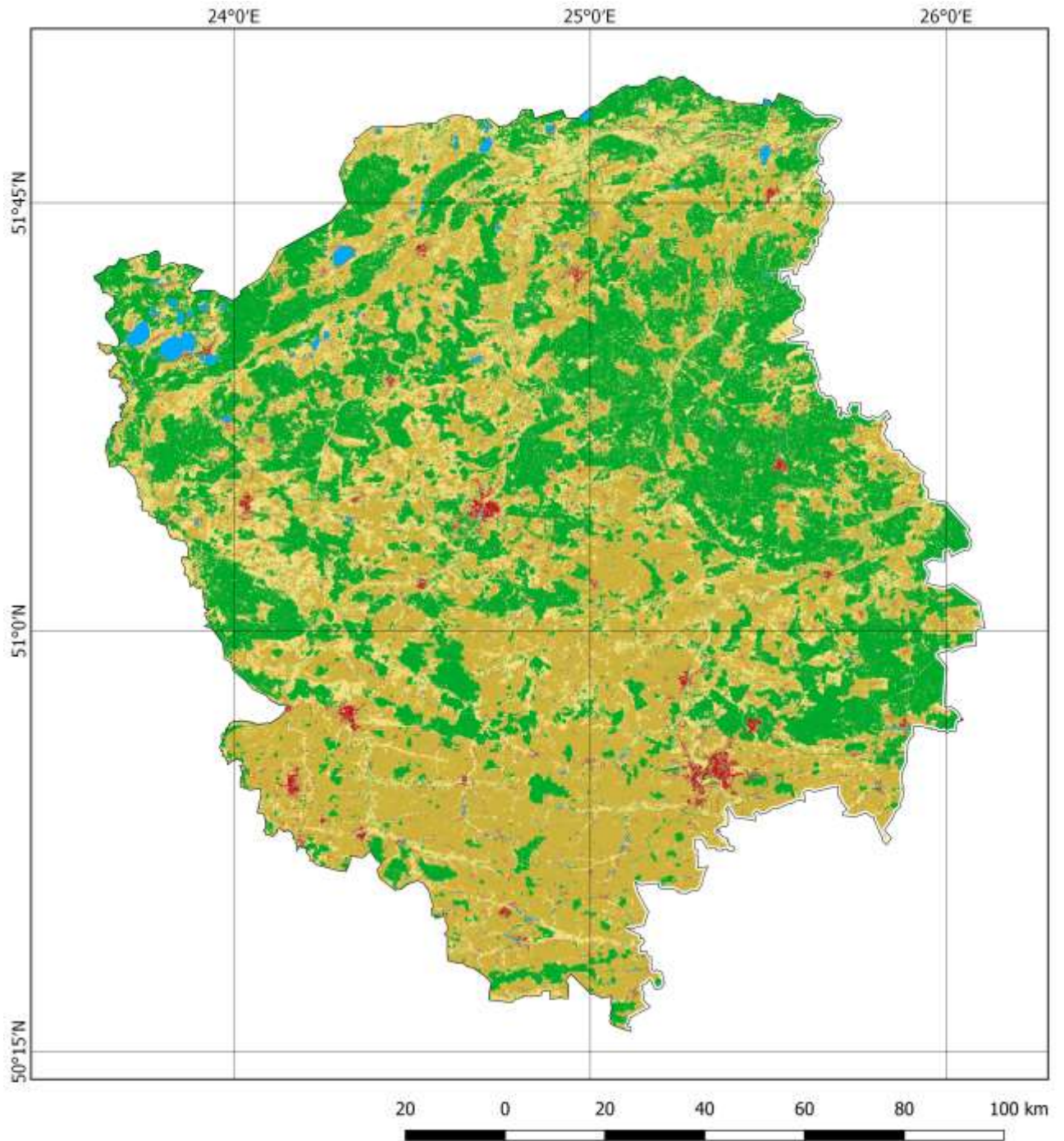
Аналогічну перевірку також застосовано для окремих сезонних мозаїк. Це дозволило зробити більш змістовні висновки про вплив різних показників на точність класифікації супутникових знімків. Одержані результати створюють об'єктивне підґрунтя для опрацювання карти земного покриття території Полісся України, використовуючи модель класифікації багатосезонного набору даних, що містить 36 найважливіших показників.

За схожим принципом проаналізовано точність класифікації лісових насаджень залежно від їхнього видового складу. Одержані висновки щодо класифікації супутникових знімків за типами земного покриття дозволили зупинитися на аналізі тільки багатосезонного набору даних. Як і для попередньої

моделі треба констатувати великий внесок географічних координат у загальну точність класифікації видового складу лісових насаджень. На противагу цьому, термальний канал Band 10 для всіх сезонів знову виявився найменш важливим.

Реалізація опрацьованої методики класифікації супутникових знімків Landsat 8 OLI для території досліджень на персональному комп'ютері – надзвичайно складна задача, адже навіть підготовчий етап роботи зі створення сезонних мозаїк потребує великих витрат часу й ресурсів. У зв'язку з цим алгоритм обробки знімків від самого початку розробляли на платформі GEE API, а розрахунки виконували віддалено в хмарному кластері Google. У результаті досліджень для території Полісся України створено дві тематичні карти. Першою з них є карта земного покриву станом на 2016–2018 рр., що охоплює 8 тематичних класів. По суті, це найважливіший результат картографування, який слугує як основа для дешифрування в межах класу вкритих лісовою рослинністю ділянок додаткових трьох категорій деревостанів: хвойні, листяні та мішані.

Тематичні карти, одержані на основі дешифрування супутникових знімків Landsat, наведено на рис. 2.14–2.18. Для створення файлу з параметрами ландшафтів просторове розрізнення цих карт було агреговане до 90 м, після чого виконано перекодування пікселів за типами моделей горючих матеріалів. Достовірність моделювання природних пожеж насамперед залежить від точності розроблених карт земного покриву. Враховуючи це, оцінювання їхньої точності має важливе значення для виявлення потенційних невизначеностей у прогнозуванні ризиків природних пожеж, використовуючи розроблену геоінформаційну основу.

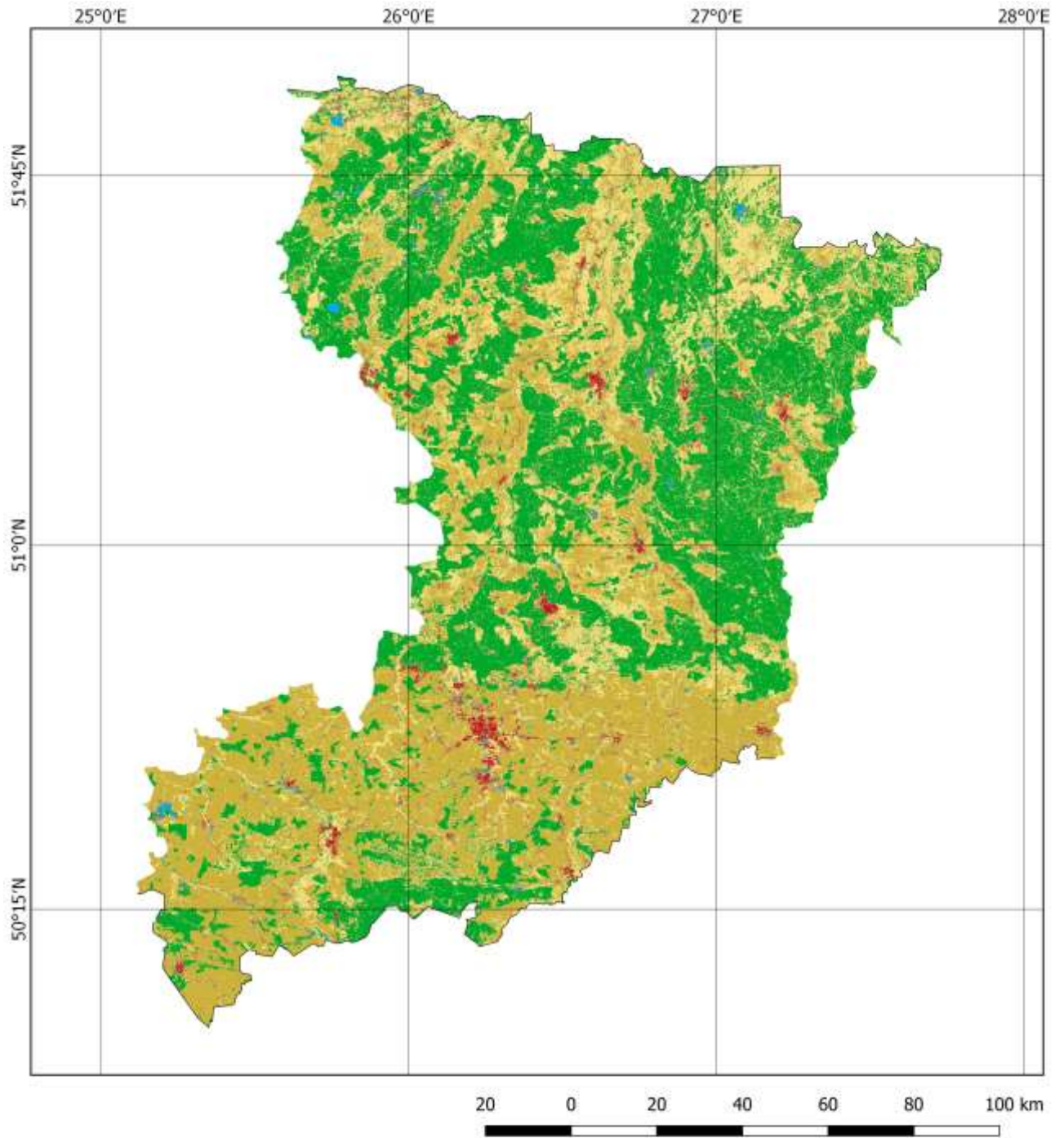


Умовні позначення

- Водойми
- Водно-болотні угіддя
- Населені пункти
- Інші непродуктивні землі
- С.-г. угіддя
- Травостої
- Чагарники
- Вкриті лісовою рослинністю ділянки



Рисунок 2.14 – Типи земельного покриття Волинської області

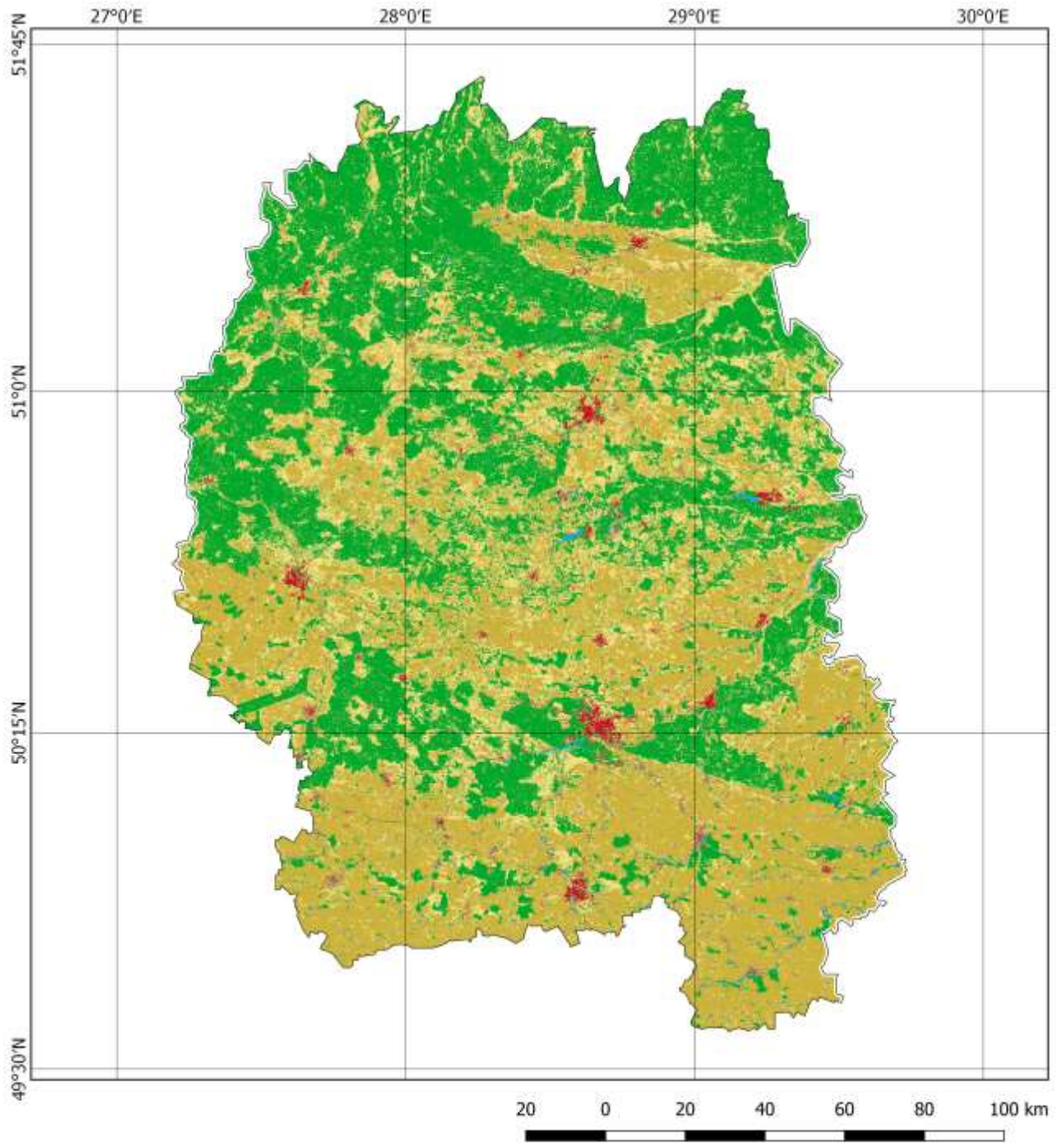


Умовні позначення

- Водойми
- Водно-болотні угіддя
- Населені пункти
- Інші непродуктивні землі
- С.-г. угіддя
- Травостої
- Чагарники
- Вкриті лісовою рослинністю ділянки



Рисунок 2.15 – Типи земельного покриття Рівненської області

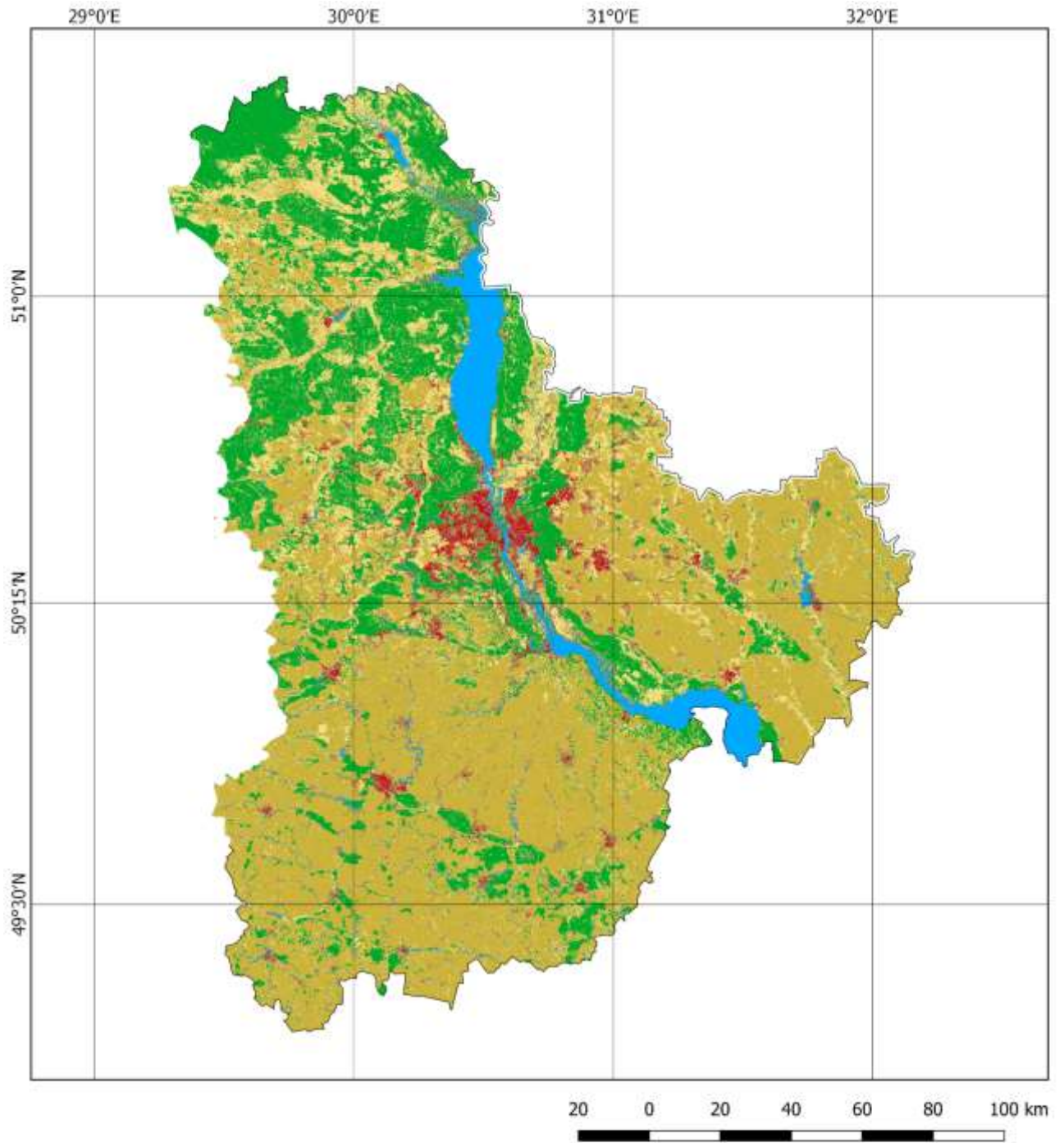


Умовні позначення

- Водойми
- Водно-болотні угіддя
- Населені пункти
- Інші непродуктивні землі
- С.-г. угіддя
- Травостої
- Чагарники
- Вкриті лісовою рослинністю ділянки



Рисунок 2.16 – Типи земельного покриття Житомирської області



Умовні позначення

- Водойми
- Водно-болотні угіддя
- Населені пункти
- Інші непродуктивні землі
- С.-г. угіддя
- Травостої
- Чагарники
- Вкриті лісовою рослинністю ділянки

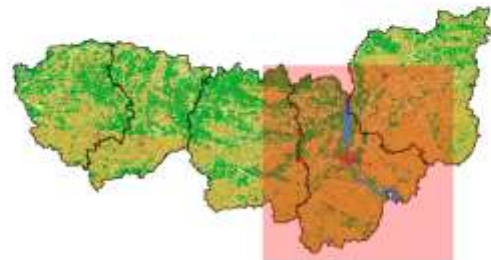
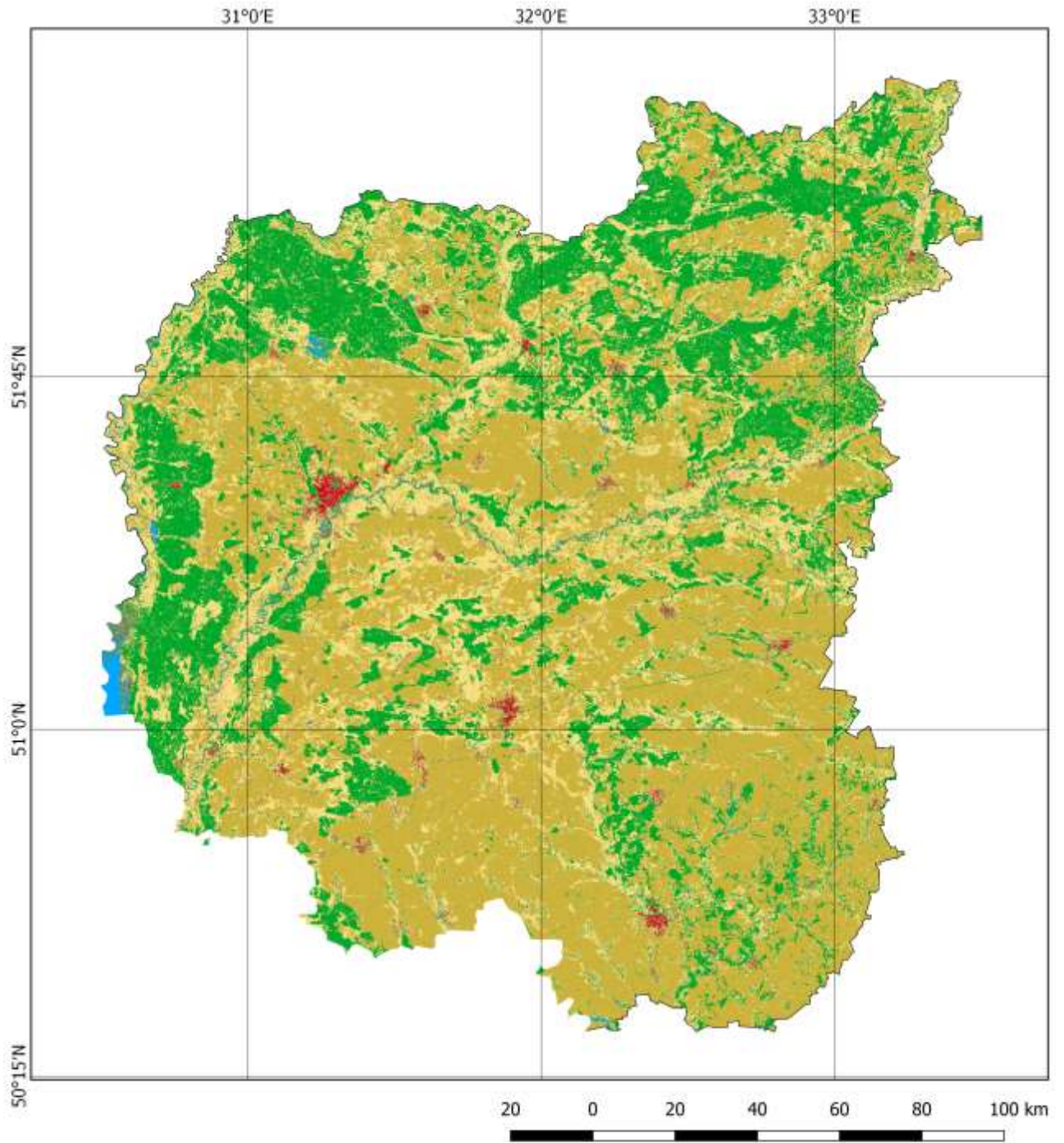


Рисунок 2.17 – Типи земельного покриття Київської області



Умовні позначення

- Водойми
- Водно-болотні угіддя
- Населені пункти
- Інші непродуктивні землі
- С.-г. угіддя
- Травостої
- Чагарники
- Вкриті лісовою рослинністю ділянки



Рисунок 2.18 – Типи земельного покриття Чернігівської області

2.2.4 Точність дешифрування вкритих і неvkритих лісовою рослинністю ділянок

Оцінювання точності тематичних карт можна здійснювати двома способами: 1) із урахуванням взаємного розташування тематичних і фактичних класів земного покриву і 2) без врахування цього чинника [10]. В останньому випадку результати дослідження можуть мати більший ступінь невизначеності, оскільки під час перевірки порівнюють загальні площі відповідних тематичних класів із наявною офіційною інформацією, що виступає своєрідним критерієм контролю. У зв'язку з цим для виявлення помилок картографічних матеріалів прийнято застосовувати перший підхід, в основі якого покладено дослідження відповідності в просторі тематичних класів і співставної їм опорної інформації. Для цього застосовують систему вибіркової одиниць із чітко визначеним набором необхідних атрибутів, а порівняння виконують у вигляді матриці помилок.

Матриця помилок являє собою перехресну таблицю, в якій за головною діагоналлю розташовують кількість коректно класифікованих даних, а інші елементи вказують на помилки пропуску / включення класифікації. Рядки цієї матриці представляють класи тематичної карти, а стовпці – реальні категорії земного покриву. Кожен елемент матриці характеризує частоту (n_{ij}) генеральної сукупності (ГС), який відповідає i -тому класу тематичної карти та j -тому класу опорних даних.

Матриці помилок класифікації супутникових знімків для п'яти адміністративних областей території досліджень наведено в табл. 2.11–2.15. Відповідно до представленої інформації, всім тематичним класам притаманний певний рівень невизначеності. За аналізом розподілу вибіркової одиниць за головною діагоналлю матриці помилок, а також за стовпцями та рядками, в класифікації присутні як помилки включення, так і пропуску. Найточніше ідентифікують водойми, лісовий покрив та сільськогосподарські угіддя, решті типам земного покриву властиво більше помилок.

Таблиця 2.11 – Матриця помилок класифікації земного покриття Волинської області за сезонними мозаїками Landsat 8 OLI

Тематичний клас	Опорні дані								Разом
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	
Водойми	22	3	0	0	0	0	0	0	25
Водно-болотні угіддя	3	15	0	0	1	0	2	4	25
Населені пункти	1	0	18	0	1	3	0	2	25
Інші непродуктивні землі	0	0	21	4	0	0	0	0	25
С.-г. угіддя	0	1	0	0	94	14	1	1	111
Травостої	0	7	2	0	7	47	3	4	70
Чагарники	0	1	1	0	1	5	13	4	25
Ліс	0	4	0	0	0	1	2	102	109
Разом	26	31	42	4	104	70	21	117	415

Таблиця 2.12 – Матриця помилок класифікації земного покриття Рівненської області за сезонними мозаїками Landsat 8 OLI

Тематичний клас	Опорні дані								Разом
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	
Водойми	22	2	1	0	0	0	0	0	25
Водно-болотні угіддя	0	23	0	0	0	0	0	2	25
Населені пункти	0	0	23	0	1	0	1	0	25
Інші непродуктивні землі	0	1	9	13	0	0	0	2	25
С.-г. угіддя	0	1	1	0	86	10	1	0	99
Травостої	0	8	1	0	9	49	4	7	78
Чагарники	0	3	1	0	2	7	7	5	25
Ліс	0	1	0	0	0	5	4	104	114
Разом	22	39	36	13	98	71	17	120	416

Таблиця 2.13 – Матриця помилок класифікації земного покриття Житомирської області за сезонними мозаїками Landsat 8 OLI

Тематичний клас	Опорні дані								Разом
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	
Водойми	23	2	0	0	0	0	0	0	25
Водно-болотні угіддя	1	17	0	0	0	1	2	4	25
Населені пункти	0	0	21	1	2	1	0	0	25
Інші непродуктивні землі	0	0	8	17	0	0	0	0	25
С.-г. угіддя	0	0	0	0	101	2	0	0	103
Травостої	0	4	0	1	7	51	4	6	73
Чагарники	0	3	0	0	2	2	15	3	25
Ліс	0	2	0	0	0	1	0	110	113
Разом	24	28	29	19	112	58	21	123	414

Таблиця 2.14 – Матриця помилок класифікації земного покриття Київської області за сезонними мозаїками Landsat 8 OLI

Тематичний клас	Опорні дані								Разом
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	
Водойми	24	1	0	0	0	0	0	0	25
Водно-болотні угіддя	1	23	0	0	0	0	1	0	25
Населені пункти	0	0	24	0	1	0	0	0	25
Інші непродуктивні землі	0	0	21	4	0	0	0	0	25
С.-г. угіддя	0	0	0	0	149	10	2	2	163
Травостої	0	0	0	0	9	49	2	8	68
Чагарники	0	1	3	0	4	5	6	6	25
Ліс	0	2	0	0	0	0	1	84	87
Разом	25	27	48	4	163	64	12	100	443

Таблиця 2.15 – Матриця помилок класифікації земного покриву Чернігівської області за сезонними мозаїками Landsat 8 OLI

Тематичний клас	Опорні дані								Разом
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	
Водойми	25	0	0	0	0	0	0	0	25
Водно-болотні угіддя	2	17	0	0	0	0	2	4	25
Населені пункти	0	0	20	0	1	0	2	2	25
Інші непродуктивні землі	0	0	24	1	0	0	0	0	25
С.-г. угіддя	0	3	1	0	120	11	0	0	135
Травостої	0	4	0	0	9	45	17	2	77
Чагарники	0	1	1	0	0	6	15	2	25
Ліс	0	0	1	0	0	1	2	72	76
Разом	27	25	47	1	130	63	38	82	413

Наведені матриці помилок являють собою окремі випадки розподілу вибірових одиниць, на основі якого не можна оцінити показники точності класифікації на рівні ГС. З цією метою здійснюють перехід від кількості вибірових одиниць до частки площі ГС, якій вони відповідають на карті (табл. 2.16–2.20). Матрицю помилок трансформують до такого вигляду за формулою (2.2), враховуючи вагу відповідної страти:

$$\hat{p}_{ij} = W_i \cdot \frac{n_{ij}}{n_i}, \quad (2.2)$$

де W_i – частка від загальної площі і-того класу; n_{ij} – кількість вибірових одиниць, які потрапили до і-того тематичного та j-того опорного класів; n_i – кількість одиниць вибірки в і-тому тематичному класі.

Наприклад, використовуючи частку площі (вагу) класу «ліс» для Волинської області $W_i = 0,359$, згідно з даними табл. 2.11 встановлюємо, що цей

клас забезпечує 33,6 % коректно класифікованої інформації для всієї тематичної карти області:

$$\hat{p}_{ij} = W_i \cdot \frac{n_{ij}}{n_i} = 0,359 \cdot \frac{102}{109} = 0,336.$$

Після перетворення матриць помилок в абсолютних показниках до аналогічних таблиць, виражених у частках площі, можна обчислити показники точності дешифрування типів земного покриття, а також виконати інтервальне оцінювання площі тематичних класів. Основними показниками точності, які одержують з матриці помилок, що містить q класів, є:

- загальна точність класифікації (overall accuracy):

$$\hat{O} = \sum_{j=1}^q \hat{p}_{ij}, \quad (2.3)$$

- точність користувача (user's accuracy):

$$\hat{U}_i = \hat{p}_{ij} / \hat{p}_{i \cdot}, \quad (2.4)$$

- точність виробника (producer's accuracy):

$$\hat{P}_j = \hat{p}_{ij} / \hat{p}_{\cdot j}, \quad (2.5)$$

де \hat{p}_{ij} – частка площі ГС, яка віднесена до i -того тематичного та j -того опорного класів; $\hat{p}_{i \cdot}$ – частка площі ГС i -того тематичного класу; $\hat{p}_{\cdot j}$ – частка площі ГС j -того опорного класу; q – кількість тематичних класів.

Враховуючи відповідні вагові коефіцієнти та частки коректно класифікованих даних, виражені в одиницях площі, можна одержати оцінку точності користувача для кожного тематичного класу. На основі рівняння (2.4) та наведених розрахунків точність користувача для вкритих лісовою рослинністю для Волинської області становить приблизно 80 %:

$$\hat{U}_i = \hat{p}_{ij} / \hat{p}_{i \cdot} = \frac{0,336}{0,359} = 0,936,$$

де

$$\hat{p}_i = \sum_{j=1}^q \hat{p}_{ij}.$$

В обчисленні показника точності виробника для цієї категорії бере участь скоригована частка площі, яку представляють вибіркові одиниці опорного набору даних:

$$\begin{aligned} \hat{p}_i = \sum_{j=1}^q W_j \cdot \frac{n_{ij}}{n_i} &= 0,006 \cdot \frac{4}{25} + 0,025 \cdot \frac{2}{25} + 0,369 \cdot \frac{1}{111} + \\ &+ 0,228 \cdot \frac{4}{70} + 0,359 \cdot \frac{102}{109} = 0,356. \end{aligned}$$

Таким чином, відповідно до наведеної матриці помилок, точність лісової маски за показником точності виробника оцінюють на рівні 94 %:

$$\hat{p}_j = \hat{p}_{ij} / \hat{p}_i = \frac{0,336}{0,356} = 0,943.$$

Розрахунок довірчих інтервалів для оцінювання показників точності класифікації виявляється суттєво складнішим, а з деталями розрахунків можна познайомитись у відповідних публікаціях [10, 42, 42].

Іншим важливим етапом є обчислення довірчих інтервалів для оцінювання скоригованої площі тематичних класів, яку одержують після врахування помилок пропуску класифікації. Дійсна площа класу k (\hat{A}_k) і стандартна помилка цього оцінювання ($S(\hat{A}_k)$), обчислюються за формулами:

$$\hat{A}_k = A \cdot \hat{p}_k, \quad (2.6)$$

$$S(\hat{A}_k) = A \cdot S(\hat{p}_k), \quad (2.7)$$

де A – загальна площа території досліджень.

Довірчий інтервал оцінювання площі за ймовірності 0,95 одержують із співвідношення $\hat{A}_k \pm 1,96 \cdot S(\hat{A}_k)$. Результати оцінювання тематичної точності розроблених карт земельного покриття наведено в табл. 2.16–2.20.

Таблиця 2.16 – Оцінювання показників точності карти земного покриття
Волинської області (довірча ймовірність $p = 0,95$)

Тематичний клас	Опорні дані (частка від загальної площі)									Площа класу, тис. га	Частка площі класу
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	разом одиниць вибірки		
Водойми	0,007	0,001	0	0	0	0	0	0	25	16,1	0,008
Водно-болотні угіддя	0,001	0,003	0	0	0,000	0	0,000	0,001	25	11,4	0,006
Населені пункти	0,001	0	0,018	0	0,001	0,003	0	0,002	25	50,0	0,025
Інші непродуктивні землі	0	0	0,000	0,000	0	0	0	0	25	0,1	0,000
С.-г. угіддя	0	0,003	0	0	0,312	0,046	0,003	0,003	111	743,2	0,369
Травостої	0	0,023	0,007	0	0,023	0,153	0,01	0,013	70	460,1	0,228
Чагарники	0	0,000	0,000	0	0,000	0,001	0,003	0,001	25	12,2	0,006
Ліс	0	0,013	0	0	0	0,003	0,007	0,336	109	723,2	0,359

Продовження таблиці 2.16

Тематичний клас	Скоригована частка площі класу	Довірчий інтервал для частки площі класу	Скоригована площа класу, тис. га	Довірчий інтервал для площі класу, тис. га	Показники точності класифікації					
					Точність користувача (\hat{U}_i)	Довірчий інтервал для \hat{U}_i	Точність виробника (\hat{P}_j)	Довірчий інтервал для \hat{P}_j	Загальна точність (\hat{O})	Довірчий інтервал для \hat{O}
Водойми	0,009	0,002	18,1	4,7	0,880	0,130	0,807	0,195	0,832	0,039
Водно-болотні угіддя	0,044	0,022	88,7	43,6	0,600	0,196	0,077	0,045	–	–
Населені пункти	0,025	0,010	50,4	20,2	0,720	0,180	0,725	0,269	–	–
Інші непродуктивні землі	0,000	0,000	0,0	0,0	0,160	0,147	1,000	0,000	–	–
С.-г. угіддя	0,336	0,030	677,4	59,8	0,847	0,067	0,928	0,045	–	–
Травостої	0,207	0,035	417,3	70,3	0,671	0,111	0,74	0,091	–	–
Кущова рослинність	0,023	0,016	46,4	31,6	0,520	0,200	0,135	0,101	–	–
Ліс	0,356	0,022	717,8	44,3	0,936	0,046	0,943	0,038	–	–

Таблиця 2.17 – Оцінювання показників точності карти земного покриття Рівненської області (довірча ймовірність $p = 0,95$)

Тематичний клас	Опорні дані (частка від загальної площі)									Площа класу, тис. га	Частка площі класу
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	разом одиниць вибірки		
Водойми	0,005	0,000	0,000	0	0	0	0	0	25	11,7	0,006
Водно-болотні угіддя	0	0,006	0	0	0	0	0	0,001	25	12,9	0,006
Населені пункти	0	0	0,028	0	0,001	0	0,001	0	25	60,2	0,030
Інші непродуктивні землі	0	0,000	0,000	0,000	0	0	0	0,000	25	0,3	0,000
С.-г. угіддя	0	0,003	0,003	0	0,282	0,033	0,003	0	99	650,7	0,325
Травостої	0	0,026	0,003	0	0,030	0,161	0,013	0,023	78	513,3	0,256
Чагарники	0	0,000	0,000	0	0,000	0,001	0,001	0,001	25	7,7	0,004
Ліс	0	0,003	0	0	0	0,016	0,013	0,340	114	748,3	0,373

Продовження таблиці 2.17

Тематичний клас	Скоригована частка площі класу	Довірчий інтервал для частки площі класу	Скоригована площа класу, тис. га	Довірчий інтервал для площі класу, тис. га	Показники точності класифікації					
					Точність користувача (\hat{U}_i)	Довірчий інтервал для \hat{U}_i	Точність виробника (\hat{P}_j)	Довірчий інтервал для \hat{P}_j	Загальна точність (\hat{O})	Довірчий інтервал для \hat{O}
Водойми	0,005	0,001	10,0	1,5	0,880	0,130	1,000	0,000	0,823	0,040
Водно-болотні угіддя	0,040	0,020	80,2	39,3	0,920	0,109	0,149	0,075	–	–
Населені пункти	0,035	0,010	70,2	19,4	0,920	0,109	0,798	0,211	–	–
Інші непродуктивні землі	0,000	0,000	0,0	0,1	0,520	0,200	1,000	0,000	–	–
С.-г. угіддя	0,313	0,028	627,6	57,1	0,869	0,067	0,901	0,053	–	–
Травостої	0,211	0,037	423,1	73,3	0,628	0,108	0,762	0,092	–	–
Кущова рослинність	0,032	0,019	64,2	38,4	0,280	0,180	0,034	0,029	–	–
Ліс	0,365	0,025	731,8	51,0	0,912	0,052	0,933	0,042	–	–

Таблиця 2.18 – Оцінювання показників точності карти земного покриття
Житомирської області (довірча ймовірність $p = 0,95$)

Тематичний клас	Опорні дані (частка від загальної площі)									Площа класу, тис. га	Частка площі класу
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	разом одиниць вибірки		
Водойми	0,005	0,000	0	0	0	0	0	0	25	15,1	0,005
Водно-болотні угіддя	0,000	0,003	0	0	0	0,000	0,000	0,001	25	11,1	0,004
Населені пункти	0	0	0,023	0,001	0,002	0,001	0	0	25	82,8	0,028
Інші непродуктивні землі	0	0	0,000	0,000	0	0	0	0	25	0,8	0,000
С.-г. угіддя	0	0	0	0	0,337	0,007	0	0	103	1024,3	0,343
Травостої	0	0,013	0	0,003	0,023	0,169	0,013	0,020	73	723,6	0,242
Чагарники	0	0,000	0	0	0,000	0,000	0,001	0,000	25	7,1	0,002
Ліс	0	0,007	0	0	0	0,003	0	0,365	113	1119,5	0,375

Продовження таблиці 2.18

Тематичний клас	Скоригована частка площі класу	Довірчий інтервал для частки площі класу	Скоригована площа класу, тис. га	Довірчий інтервал для площі класу, тис. га	Показники точності класифікації					
					Точність користувача (\hat{U}_i)	Довірчий інтервал для \hat{U}_i	Точність виробника (\hat{P}_j)	Довірчий інтервал для \hat{P}_j	Загальна точність (\hat{O})	Довірчий інтервал для \hat{O}
Водойми	0,005	0,001	14,9	1,9	0,920	0,109	0,969	0,059	0,903	0,030
Водно-болотні угіддя	0,023	0,016	68,6	46,9	0,680	0,187	0,109	0,079	–	–
Населені пункти	0,023	0,004	68,6	12,1	0,840	0,147	0,997	0,002	–	–
Інші непродуктивні землі	0,005	0,007	14,9	20,5	0,680	0,187	0,037	0,056	–	–
С.-г. угіддя	0,362	0,019	1080,3	57,1	0,981	0,027	0,929	0,043	–	–
Травостої	0,181	0,028	540,1	84,0	0,699	0,106	0,937	0,060	–	–
Кущова рослинність	0,015	0,013	44,8	38,1	0,600	0,196	0,096	0,086	–	–
Ліс	0,386	0,019	1151,9	56,8	0,973	0,030	0,946	0,038	–	–

Таблиця 2.19 – Оцінювання показників точності карти земного покриття
Київської області (довірча ймовірність $p = 0,95$)

Тематичний клас	Опорні дані (частка від загальної площі)									Площа класу, тис. га	Частка площі класу
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	разом одиниць вибірки		
Водойми	0,043	0,002	0	0	0	0	0	0	25	129,6	0,045
Водно-болотні угіддя	0,000	0,009	0	0	0	0	0,000	0	25	28,8	0,010
Населені пункти	0	0	0,045	0	0,002	0	0	0	25	136,0	0,047
Інші непродуктивні землі	0	0	0,000	0,000	0	0	0	0	25	1,0	0,000
С.-г. угіддя	0	0	0	0	0,424	0,028	0,006	0,006	163	1345,8	0,464
Травостої	0	0	0	0	0,025	0,136	0,006	0,022	68	545,8	0,188
Чагарники	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	25	5,0	0,002
Ліс	0	0,006	0	0	0	0	0,003	0,236	87	707,2	0,244

Продовження таблиці 2.19

Тематичний клас	Скоригована частка площі класу	Довірчий інтервал для частки площі класу	Скоригована площа класу, тис. га	Довірчий інтервал для площі класу, тис. га	Показники точності класифікації					
					Точність користувача (\hat{U}_i)	Довірчий інтервал для \hat{U}_i	Точність виробника (\hat{P}_j)	Довірчий інтервал для \hat{P}_j	Загальна точність (\hat{O})	Довірчий інтервал для \hat{O}
Водойми	0,043	0,004	124,7	10,4	0,960	0,078	0,991	0,018	0,893	0,030
Водно-болотні угіддя	0,017	0,009	49,3	24,8	0,920	0,109	0,550	0,283	–	–
Населені пункти	0,046	0,004	133,4	10,7	0,960	0,078	0,989	0,005	–	–
Інші непродуктивні землі	0,000	0,000	0,0	0,2	0,160	0,147	1,000	0,000	–	–
С.-г. угіддя	0,451	0,025	1307,5	73,8	0,914	0,043	0,940	0,033	–	–
Травостої	0,164	0,027	475,5	76,9	0,721	0,107	0,825	0,089	–	–
Кущова рослинність	0,015	0,012	43,5	35,6	0,240	0,171	0,028	0,030	–	–
Ліс	0,264	0,019	765,4	55,1	0,966	0,039	0,893	0,056	–	–

Таблиця 2.20 – Оцінювання показників точності карти земного покриття
Чернігівської області (довірча ймовірність $p = 0,95$)

Тематичний клас	Опорні дані (частка від загальної площі)									Площа класу, тис. га	Частка площі класу
	водойми	водно-болотні угіддя	населені пункти	інші непродуктивні землі	с.-г. угіддя	травостої	чагарники	ліс	разом одиниць вибірки		
Водойми	0,008	0	0	0	0	0	0	0	25	26,1	0,008
Водно-болотні угіддя	0,001	0,005	0	0	0	0	0,001	0,001	25	24,2	0,008
Населені пункти	0	0	0,014	0	0,001	0	0,001	0,001	25	55,3	0,017
Інші непродуктивні землі	0	0	0	0,000	0,000	0	0	0	25	0,2	0,000
С.-г. угіддя	0	0,010	0,003	0	0,403	0,037	0	0	135	1450,0	0,453
Травостої	0	0,013	0	0	0,030	0,150	0,057	0,007	77	823,8	0,257
Чагарники	0	0,000	0,000	0	0	0,000	0,001	0,000	25	4,3	0,001
Ліс	0	0	0,003	0	0	0,003	0,007	0,242	76	817,9	0,255

Продовження таблиці 2.20

Тематичний клас	Скоригована частка площі класу	Довірчий інтервал для частки площі класу	Скоригована площа класу, тис. га	Довірчий інтервал для площі класу, тис. га	Показники точності класифікації					
					Точність користувача (\hat{U}_i)	Довірчий інтервал для \hat{U}_i	Точність виробника (\hat{P}_j)	Довірчий інтервал для \hat{P}_j	Загальна точність (\hat{O})	Довірчий інтервал для \hat{O}
Водойми	0,009	0,001	28,8	2,6	1,000	0,000	0,931	0,087	0,823	0,040
Водно-болотні угіддя	0,029	0,017	92,8	54,9	0,680	0,187	0,179	0,115	–	–
Населені пункти	0,021	0,010	67,2	31,1	0,800	0,160	0,669	0,305	–	–
Інші непродуктивні землі	0,000	0,000	0,0	0,0	0,040	0,078	1,000	0,000	–	–
С.-г. угіддя	0,433	0,030	1386,3	97,5	0,889	0,053	0,929	0,040	–	–
Травостої	0,191	0,036	611,5	115,3	0,584	0,111	0,787	0,096	–	–
Кущова рослинність	0,066	0,026	211,3	82,6	0,600	0,196	0,012	0,006	–	–
Ліс	0,251	0,016	803,6	51,2	0,947	0,051	0,963	0,036	–	–

За даними наведених таблиць загальна точність класифікації коливається в діапазоні 82–90 %. Точність користувача дешифрування сільськогосподарських угідь і вкритих лісовою рослинністю ділянок, які разом займають більше 60 % площі території досліджень, за адміністративними областями перевищує 85 %. Точність виробника за цими категоріями земного покриву навіть дещо більша (понад 90 %). Одержані результати свідчать про високу достовірність дешифрування основних типів природно-територіальних комплексів території досліджень на основі часових рядів супутникових знімків Landsat 8 OLI. Найбільші помилки класифікації виникають для класу «інші непродуктивні землі» (піски, кам'яні розсипи, кар'єри). Проте пов'язані з цим помилки принципово не відображаються на загальній точності класифікації, оскільки такі категорії займають відносно незначну частку площі території досліджень. Їх частіше приписують до категорії населених пунктів, тобто територій зі штучним покриттям, які під час моделювання природних пожеж все-одно будуть представлені як негорючі класи земельного покриву. Загалом треба прийняти достатню для поставлених завдань тематичну точність картографічних продуктів навіть за просторового розрізнення 30 м. Під час агрегації даних до прийнятого в проєкті просторового розрізнення 90 м подібні недоліки розроблених карт будуть меншими.

2.3 Лісові горючі матеріали

Параметризація алгоритмів моделювання лісових пожеж залежить від даних про запаси горючих матеріалів у кронах дерев та показників вертикальної структури вкритих лісовою рослинністю ділянок. Серед них виділяють дві характеристики намету: 1) середня висота деревостанів; 2) середня висота від поверхні землі до початку крон дерев у наметі деревостанів. Остання характеристика має більше значення, оскільки бере участь в алгоритмі, який розраховує умови переходу низової лісової поверхні у верхову.

2.3.1 Зімкнутість деревостанів

Опрацьовані тематичні карти слугують основою для опрацювання просторової основи для моделювання наземних пожеж у відкритих ландшафтах. Проте одним із важливих елементів оцінювання ризиків пожеж на територіях, зайнятих вкритими лісовою рослинністю ділянками, виступає зімкнутість деревостанів. Найточніше оцінювання цього показника можна одержати на підставі обробки наземних даних та матеріалів супутникової зйомки, а за їх відсутності найбільш доцільним є використання глобальних продуктів для отримання інформації про зімкнутість деревостанів. Нині доступні кілька карт, які забезпечують суцільне покриття території України з просторовим розрізненням 30 м. Глобальна карта змін лісового покриву Global Forest Change (GFC), розроблена в університеті штату Меріленд Карта – найпоширеніша серед них [30]. В основу цього продукту потрапили знімки Landsat 5 TM та Landsat 7 ETM+ для 2000 року, які після радіометричної корекції були очищені від хмар, тіней та водних об'єктів. Обробку знімків виконували у вигляді попиксельних композитних мозаїк, що дозволило створити серію фенологічних метрик для класифікації. Моделювання зімкнутості деревостанів для кожного пікселя розміром 30×30 м проведено за регресійними рівняннями. Їх розробляли з використанням даних про фактичну зімкнутість деревостанів, одержаних на основі супутникових знімків надвисокого просторового розрізнення. Карту GFC відрізняє наявність додаткових шарів, які відображають втрати лісів і лісовідновлення, що теоретично дозволяє актуалізувати карту на обраний період часу.

Глобальна карта GFC відображає динаміку лісового покриву, починаючи з 2000 року [30]. Як критерій для визначення змін, тобто перетворення вкритих лісовою рослинністю ділянок на неvkриті та навпаки, використано порогові значення висоти (5 м) і зімкнутості деревостанів (25 %). Нині карта є відкритим ресурсом та постійно оновлюється завдяки обробці знімків поточних місій Landsat. На зразок своїх попередників – неперервних полів рослинності MOD44B, дані GFC надають попиксельну оцінку лісового покриву у відсотках

від 0 до 100 %. За розміру пікселя 30×30 м такі значення більше стосуються зімкнутості деревостанів, а не лісистості територій, що забезпечували продукти систем *MODIS* чи *AVHRR*.

Карта *GFC* складається з фрагментів (тайлів), розділених сіткою розміром $10 \times 10^\circ$: *treecover2000* – зімкнутість деревостанів заввишки понад 5 м станом на 2000 рік у формі неперервного зображення зі значеннями вихідного растру від 0 до 100; *loss* – втрати лісів, тобто будь-яка форма перетворення вкритих лісовою рослинністю ділянок на непокриті (закодована як 1 – є втрати, 0 – втрати відсутні); *gain* – аналогічна інформація про загальне збільшення площі лісів (1 – є відновлення, 0 – відновлення відсутнє); *lossyear* – щорічна втрата лісів (0 – втрати відсутні, значення 1–14 – щорічні втрати лісів протягом зазначеного періоду); *datamask* – три значення, що представляють такі площі: 0 – інформація відсутня, 1 – земна поверхня, 2 – водні об'єкти.

Система GEE забезпечує незалежний доступ до різних версій карти *GFC*. З метою гармонізації в часовому інтервалі показників зімкнутості деревостанів та розробленої карти земельного покриття використано версію продукту «*UMD/hansen/global_forest_change_2015_v1_3*». Для актуалізації карти станом на 2015 рік від шару зімкнутості деревостанів *treecover2000* віднімали всі втрати лісів, що сталися до 2015 р. (тобто перекодували пікселі, для яких значення *loss* дорівнювало одиниці) та приплюсували дані з шару *gain* про лісовідновлення, приписавши останнім значення зімкнутості 40 %. Вибір такого значення показника зімкнутості є умовним, утім саме його було рекомендовано для відокремлення вкритих і непокритих лісової рослинністю ділянок для території полісся України [82]. Результати обробки глобальної карти *GFC* відображено на рис. 2.19.



Рисунок 2.19 – Зімкнутість деревостанів території Полісся України відповідно до даних глобальної карти *GFC* за 2015 рік

2.3.2 Висота намету деревостанів

Дані про запаси горючих матеріалів у кроні дерев, які формують деревний намет насадження, необхідні для достовірного прогнозування поведінки верхових лісових пожеж. Утім, показники вертикальної структури лісових насаджень залишаються недостатньо охарактеризовані в Україні. Найповнішу інформацію про висоту деревостанів містить атрибутивна база даних лісового фонду ВО «Укрдержліспроєкт», яка складена переважно для лісів, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України. При цьому значна площа де-факто вкритих лісовою рослинністю ділянок, які ідентифікують за супутниковими знімками і не внесені до зазначеної бази даних, не мають такої інформації. Іншими двома важливими показниками, що використовують в алгоритмах моделювання лісових пожеж, виступає базова висота намету деревостанів (*canopy base height*) та щільність запасів горючих матеріалів у кроні

дерев (*canopy bulk density*), оскільки визначають умови переходу низової пожежі у верхову. Дані про цей показник взагалі не фіксують в наявних атрибутивних базах даних.

За таких обставин єдиним доцільним способом охарактеризувати вертикальну структуру лісових насаджень залишаються окремі глобальні продукти. Серед доступних нині покриттів із інформацією про висоту деревостанів є карта, розроблена на основі супутникового лазерного сканування системою *GLAS (Geoscience Laser Altimeter System)* [54]. Показники оцінювання висоти деревостанів *GLAS RH100* достатньо наближені, оскільки представлені за просторового розрізнення 1×1 км. Усе ж, після перетворення карти до просторового розрізнення 90 м і врахування фактичних типів земного покриття за розробленою на основі супутникових знімків *Landsat 8 OLI* картою, її можна використати для попередніх досліджень умов виникнення та розвитку верхових лісових пожеж (рис. 2.20).

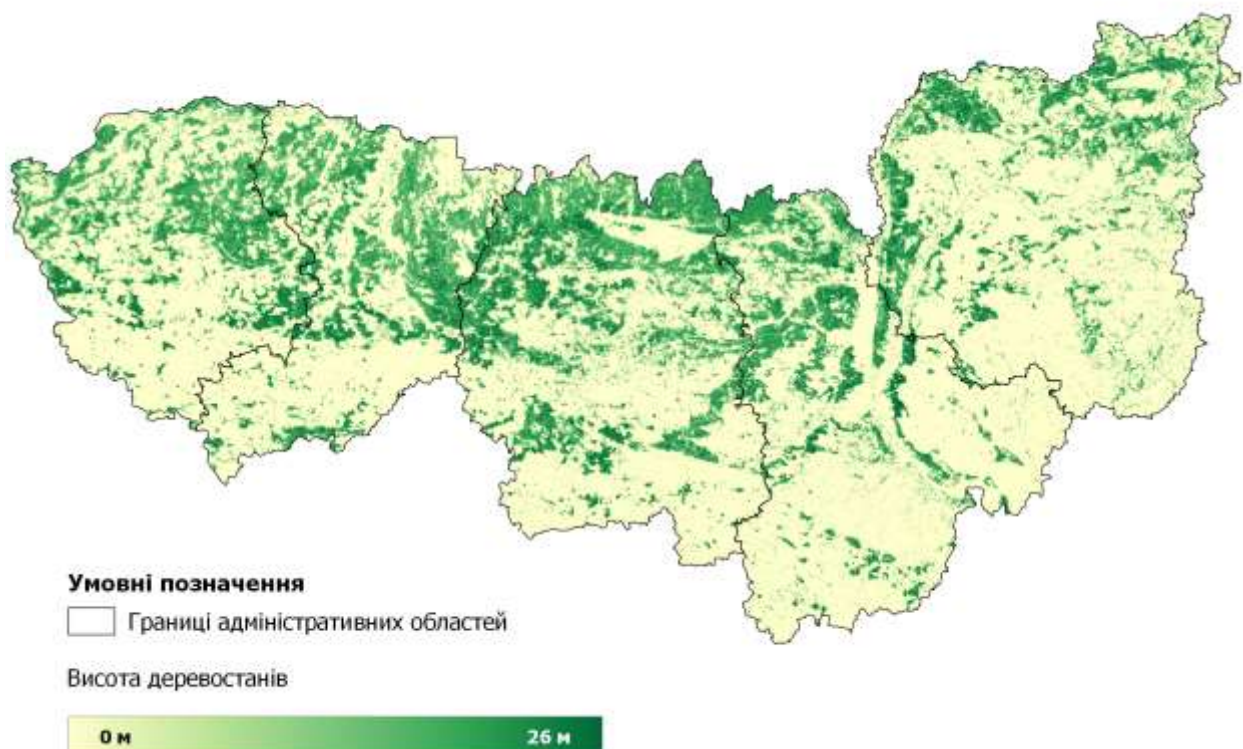


Рисунок 2.20 – Висота деревостанів території Полісся України відповідно до даних глобального покриття *GLAS RH100* за 2005 рік

Гармонізацію картографічних матеріалів з метою одержання растрового покриття території досліджень із висотою деревостанів виконано таким чином, щоб зберегти показники оцінювання висоти тільки для тих пікселів, які на карті земельного покриття віднесені до вкритих лісовою рослинністю ділянок або чагарників. Решті типам земного покриття приписано значення 0 м. Загалом висота деревостанів згідно з глобальною картою *GLAS RH100* коливається в діапазоні від 0 до 26 м. Враховуючи просторове розрізнення 90 м, за якого виконуватимуть моделювання природних пожеж оцінювання максимальної висоти треба визнати достатньо реалістичними.

2.3.3 Висота початку крони деревостанів

Значення висоти від земної поверхні до початку крони під час виробничої таксації лісу в Україні не оцінюють. Проте цей показник є важливим критерієм для прогнозування умов переходу низових пожеж у верхові, або переходу пожеж у відкритих ландшафтах на лісові. За відсутності достовірних наземних даних для створення растру базової висоти використано наявні безхмарні мозаїки супутникових знімків *Landsat 8 OLI*, оцінки цього показника для лісових насаджень Чорнобильської зони відчуження за алгоритмами Лісової Служби США [1] та методи машинного навчання, зокрема алгоритм *Random Forest* [5]. Моделювання виконувалося на базі платформи *GEE API*, а як набір предикативних змінних використано такі показники:

1) канали ортогонального перетворення супутникових знімків типу «*Tasseled Cap Transformation*» (яскравість, вологість, зеленість) для літньої та осінньої сезонної мозаїк;

2) 1-й, 3-й квартилі та медіану значень нормалізованого різницевого вегетаційного індексу *NDVI* для сезонної мозаїки періоду квітень–жовтень;

3) значення зімкнутості, висоти (див. рис. 2.19–2.20) та код групи деревних порід (1 – хвойні, 2 – листяні, 3 – мішані), одержані із описаних раніше тематичних карт.

Алгоритм Random Forest використано в режимі регресії за базових налаштувань (кількість дерев рішень $n_{tree} = 500$, кількість показників для прийняття рішень $m_{try} = \sqrt{p}$). Прогнозування значень базової висоти намету деревостанів виконували в границях лісової маски, тобто на основі розробленої карти земного покриву для тематичного класу 8 – вкриті лісовою рослинністю ділянки (2.10–2.14). Після цього попиксельні оцінки досліджуваного показника були агреговані до просторового розрізнення 90 м, використовуючи інтерполяцію за методом найближчого сусіда. Згідно з виконаним моделюванням базова висота лісових насаджень коливається в діапазоні від 0 до 13 м (рис. 2.21).

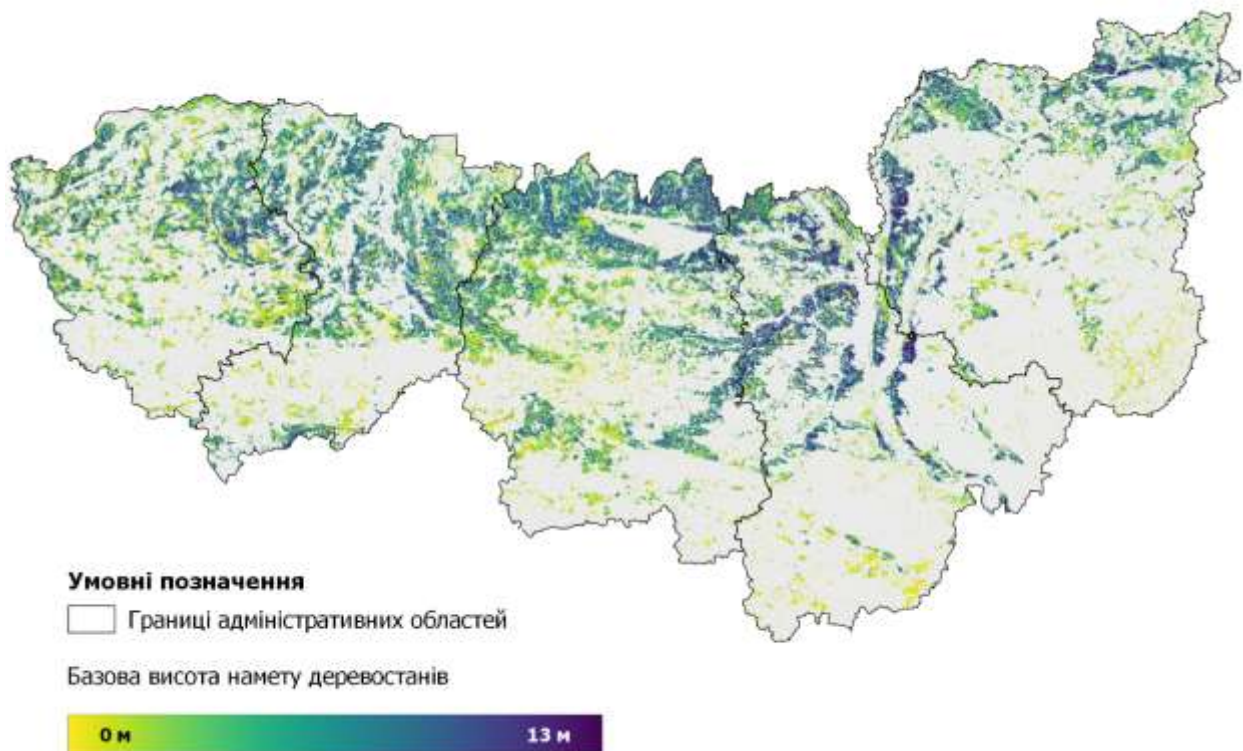


Рисунок 2.21 – Базова висота намету деревостанів території Полісся України, одержана на основі даних ДЗЗ

2.3.4 Щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревостанів

Оцінювання запасів горючих матеріалів необхідно для ефективного моделювання розвитку верхових пожеж. Залежно від щільності запасів горючих

матеріалів можуть виникати пасивні (*torching*) або активні (*crowning*) верхові пожежі. Для моделювання просторового розподілу горючих матеріалів у наметі деревостанів використано аналогічний до прогнозування базової висоти підхід. Навчальну вибірку сформовано на підставі результатів оцінювання щільності запасу горючих матеріалів для лісових насаджень Чорнобильської зони відчуження за алгоритмами Лісової Служби США. Попіксельні оцінки зазначеного показника для території досліджень за алгоритмом Random Forest наведено на рис. 2.22. Відповідно до них середня щільність запасу горючих матеріалів у кроні деревостанів на території Полісся України (за просторового розрізнення 90 м) може досягати $0,135 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

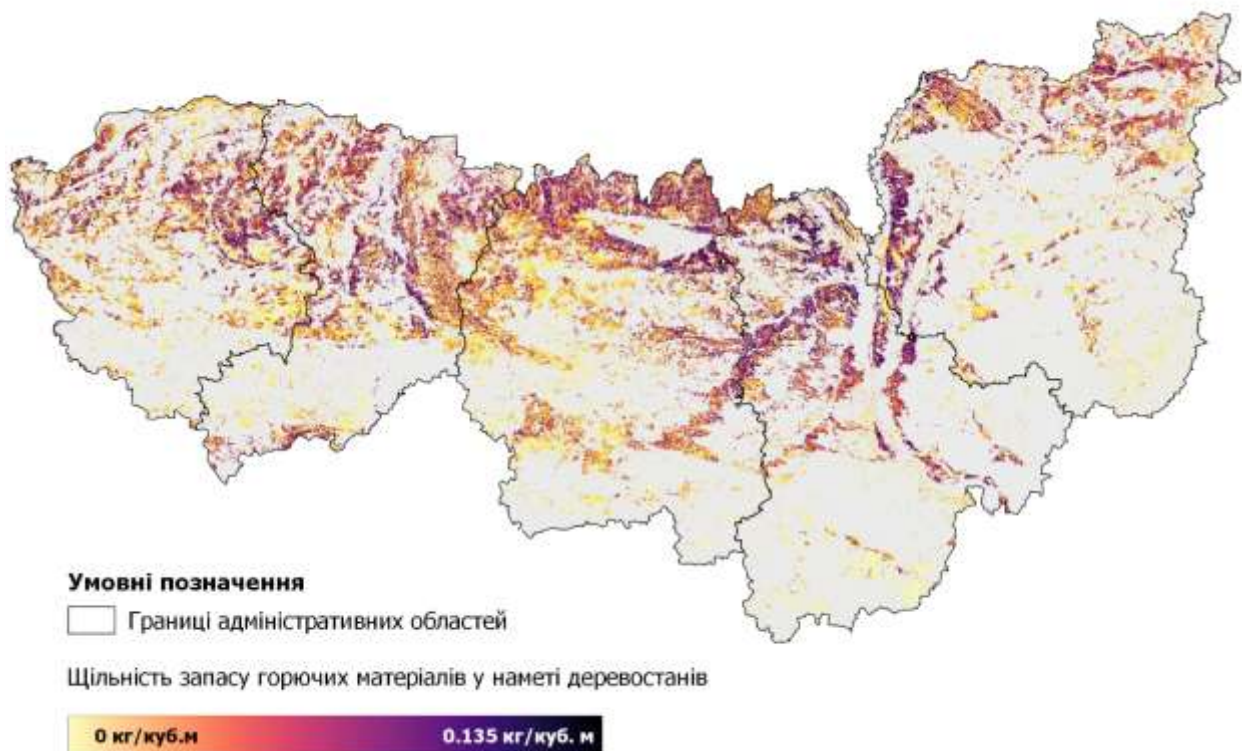


Рисунок 2.22 – Щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревостанів території Полісся України, одержана на основі даних ДЗЗ

Оцінюючи можливості реалізації методики прогнозування ризиків пожеж у природних ландшафтах Полісся України, варто наголосити на найбільш слабких її сторонах. Насамперед зазначене стосується відсутності в Україні суцільного покриття території просторовими шарами з необхідними

біофізичними показниками ландшафтів. Незважаючи, що розроблені методи картографування земельного покриття за даними супутникових знімків загалом вирішують проблему його відображення на картах, детальні показники ландшафтів залишаються невизначеними. Найскладнішою виявляється задача оцінювання запасів горючих матеріалів у наметі деревостанів, адже для створення карти висот необхідно залучати недоступні досі в Україні дані лазерного сканування лісів. Прогнозування щільності запасів в наметі можливе також завдяки ширшому застосуванню матеріалів активного дистанційного зондування, зокрема радарної зйомки. Порушені проблеми створюють певний орієнтир досліджень на майбутнє, а використані в проекті підходи оцінювання запасів горючих матеріалів у наметі деревостанів є орієнтовними, проте дозволяють виконувати моделювання пожеж за просторового розрізнення 90 м (3×3 пікселя знімків *Landsat*).

3 ПОЖЕЖНІ РЕЖИМИ ТЕРИТОРІЇ

3.1 Просторово-часовий розподіл та ймовірність виникнення пожеж

Сучасні алгоритми імітаційного моделювання появи та розвитку пожеж на ландшафтному рівні базуються на ймовірнісній основі, враховуючи існуючий режим конкретної території. У зв'язку з цим, відтворення просторового розподілу історичних природних пожеж відіграє важливу роль для кращого розуміння причин їхньої появи, а також використовується для прогностичного моделювання ризиків, які можуть виникати у майбутнього.

За умов відсутності достовірних географічно орієнтованих даних про пожежі єдиним доступним джерелом інформації залишаються дані ДЗЗ. Наявні системи дистанційного моніторингу кілька разів на добу ведуть зйомку поверхні Землі з метою виявлення термальних аномалій і виявлення активних пожеж. При цьому визначають координати загорання, фіксується дата та час, коли зроблено супутниковий знімок. Така інформація відіграє неабияку роль у відтворенні просторового розподілу історичних пожеж, розрахунку ймовірності їхньої появи в майбутньому.

Використовуючи дані про термальні аномалії, для території досліджень одержано інформацію про випадки пожеж, які були зафіксовані сенсорами *MODIS* протягом 2001–2016 рр. Кожне спрацювання системи відповідно до алгоритму *MODIS MOD14/MYD14 Fire and Thermal Anomalies* являє собою, так звану, «гарячу точку» (hotspot), яка відображає координати центра пікселя 1 x 1 км, де зафіксовано загорання. Щоправда, площа пожежі може бути набагато меншою розміру пікселя. У зв'язку з цим ймовірність виявлення активної пожежі залежить від низки чинників, серед яких визначальними є температура горіння та положення супутника. Розробники цього алгоритму гарантують, що знімальна система *MODIS* з ймовірністю 0,5 може виявити активну пожежу площею 100 м², або тліючу розміром 1000–2000 м². Як наслідок, достовірність ідентифікації пожеж коливається від 0 до 100 %, а кожній «гарячій точці» присвоюється один

із трьох рівнів достовірності: низька (менше 30 %), середня (30–80 %), висока (понад 80 %).

У ході виконання НДР до бази даних відібрано гарячі точки, імовірність пожежі для яких перевищувала 30 %. Щоб одержати достовірну інформацію про випадки пожеж, було застосовано додаткові прийоми обробки даних про термальні аномалії. Особливість цього етапу полягала в тому, що велику пожежу може характеризувати відразу кілька «гарячих точок», які необхідно було групувати в одну пожежу. Обробку даних здійснювали в програмному середовищі *Google Earth Engine (GEE)*, яке забезпечує прямий доступ до даних, а також являє собою один із найпотужніших обчислювальних хмарних ресурсів. Обробку даних виконували за користувацькими *Java*-скриптами, приклад якого для виявлення пожеж наведено нижче:

```
var Adm_Reg =
ee.FeatureCollection('ft:1ecaIfplbnIF_T6S3bEXBLwo_dP56wmVu8OV8n1DK')
.filter(ee.Filter.or(
  ee.Filter.metadata('Назва', 'equals', 'Волинська'),
  ee.Filter.metadata('Назва', 'equals', 'Рівненська'),
  ee.Filter.metadata('Назва', 'equals', 'Житомирська'),
  ee.Filter.metadata('Назва', 'equals', 'Чернігівська'),
  ee.Filter.metadata('Назва', 'equals', 'Київська')
));
var palette = ['#E799A3', 'maroon'];
var vizPar = {'min':1, 'max':3, 'palette': palette};

// Filtering FIRMS dataset
var FIRMS = ee.ImageCollection('FIRMS')
.filter(
  ee.Filter.calendarRange(2001, 2016, 'year'))
.filterBounds(Adm_Reg);

// Функція для виділення гарячих точок
var FIRMS_select_fire_fn = function(image){
  var fires = image.reproject({'crs':'EPSG:32635', scale:1000});
  fires = fires.select('confidence').gte(30);
  return fires.updateMask(fires).clip(Adm_Reg);
};
// Щоденний перебір даних
var FIRMS_fires = FIRMS.map(FIRMS_select_fire_fn);
// Підрахунок кількості загорань в одному пікселі
var FIRMS_fires_reduced = FIRMS_fires.reduce({
  reducer: ee.Reducer.count()
}).clip(Adm_Reg);
// Перетворення гарячих точок у вектор (виділяє контури пожеж)
var FIRMS_fires_vect = FIRMS_fires_reduced.gte(0)
.reduceToVectors({'scale: 500, crs:'EPSG:32636', geometry: Adm_Reg,
  maxPixels: 10E8});
// Функція, що створює центроїди - точки загорання для кожної пожежі
var centroids_fn = function(feature){
  return feature.centroid(100);
};
```

```

// Функція, що створює центроїди для кожного дня
var vect_daily_fn = function(image){
  var fire = FIRMS_select_fire_fn(image);
  fire = fire.reduceToVectors({scale: 500, crs:'EPSG:32635', geometry: Adm_Reg,
    maxPixels: 10E8});
  fire = fire.map(centroids_fn);
  return fire;
};
var FIRMS_fires_vect_daily = FIRMS.map(vect_daily_fn);

Map.addLayer(FIRMS_fires_reduced, vizPar, 'FIRMS count');
Map.addLayer(FIRMS_fires, {palette: 'red'}, 'FIRMS fires', false);

Export.table(ee.FeatureCollection(FIRMS_fires_vect_daily.flatten()),
  'Ignitions', {
    fileFormat: 'KML',
    driveFolder: 'NDR_110_9-pr-2018'
  });

```

Аналіз даних за цим алгоритмом для періоду 2001–2016 рр. виконано системою *GEE* протягом відносно нетривалого проміжку часу (не більше 1 години). При цьому алгоритму необхідно відповідним чином проаналізувати близько 6000 тематичних шарів, що надзвичайно складно виконати засобами персонального комп'ютера.

Просторовий розподіл загорань відповідно до даних ДЗЗ відображено на рис. 3.1. Відповідно до нього кількість пожеж на території досліджень розподіляється нерівномірно. Найбільше їх виникає на території Волинської області, найбільше – в південних частинах Київської та Чернігівської областей. Пожежі часто пов'язані з певними локальними ділянками території досліджень, де їх виникає більше. Така особливість з одного боку пояснюється природними особливостями ландшафтів, а з іншого – співпадає з розташуванням населених пунктів.

Представлений просторовий розподіл пожеж на території досліджень слугував основою для побудови одного із ключових просторових шарів майбутнього геопорталу – карти ймовірності загорань (*burn probability grid*). Ця карта має просторове розрізнення 100 x 100 м. По суті, вона відображає щільність гарячих точок у ковзальному вікні розміром 15000 x 15000 м. Для завдань моделювання представлена на рис. 3.1 інформація визначає геометричну ймовірність повторного виникнення пожеж на території досліджень.

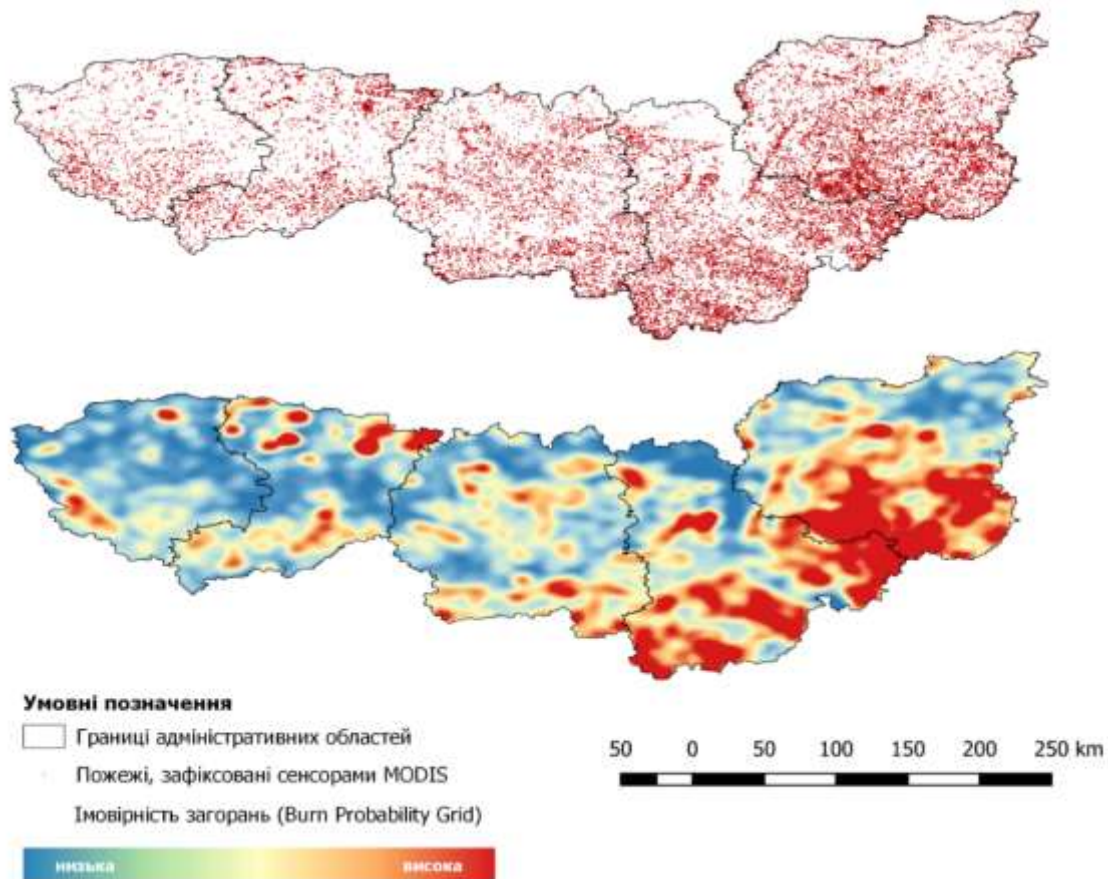


Рисунок 3.1 – Просторовий розподіл пожеж та карта ймовірності загорань на території досліджень

Застосування дистанційних технологій розширює уявлення про умови виникнення пожеж, а представлення даних у вигляді векторних шарів спрощує їх статистичний аналіз. Більш ґрунтовний аналіз інформації про термальні аномалії виконано для Рівненської області за 2015 рік, який в плані пожежної ситуації за останні роки виявився найбільш аномальним.

У 2015 році на території Рівненської області зареєстровано 2305 спрацювань системи *MODIS*. На рис. 3.2 відображено детальну характеристику розподілу пожеж за місяцями та адміністративними районами області. Кількість активних пожеж, зареєстрованих сенсором *MODIS* окремо за місяцями, можна також прослідкувати на гістограмі, яка наведена нижче (рис. 3.3). Відповідно до цього найбільша кількість спрацювань системи відбулась у серпні – 1255, вересні – 583 та березні – 160.

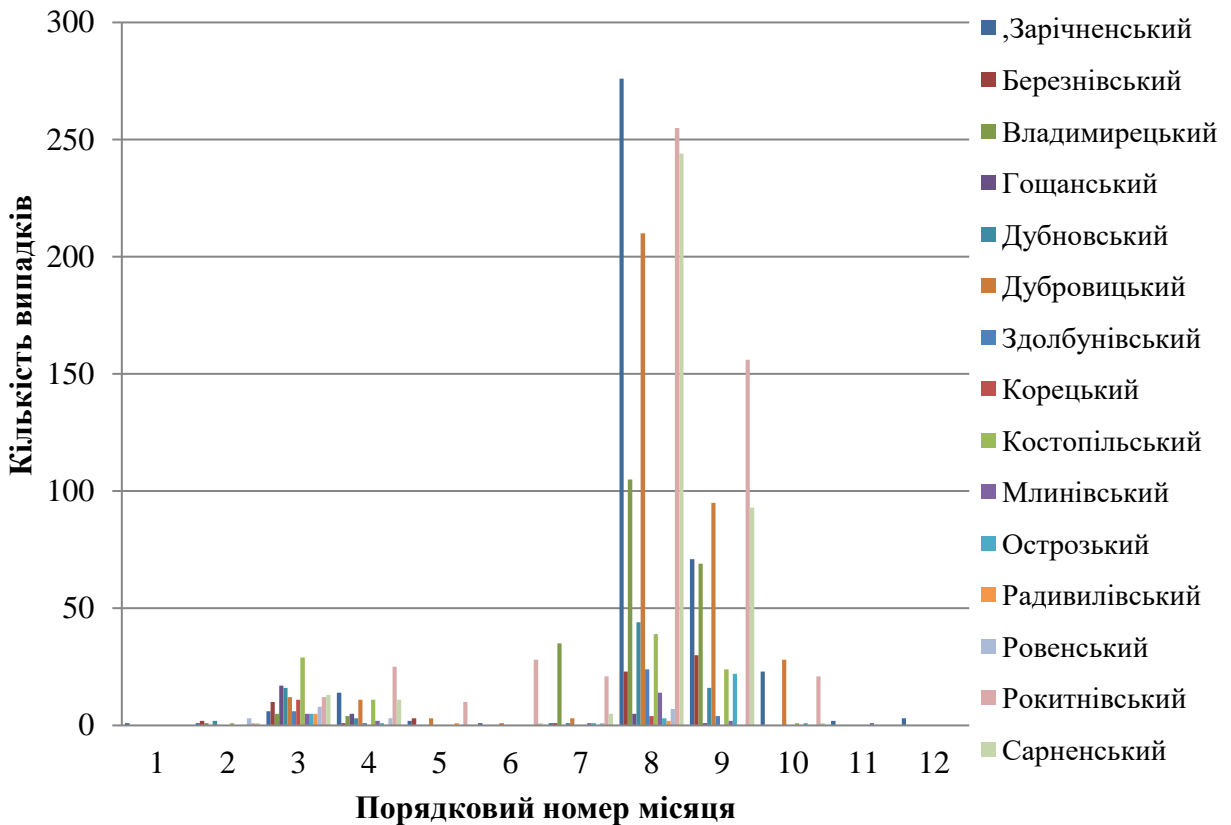


Рисунок 3.2 – Кількість спрацювань системи *MODIS* за місяцями 2015 року та районами Рівненської області

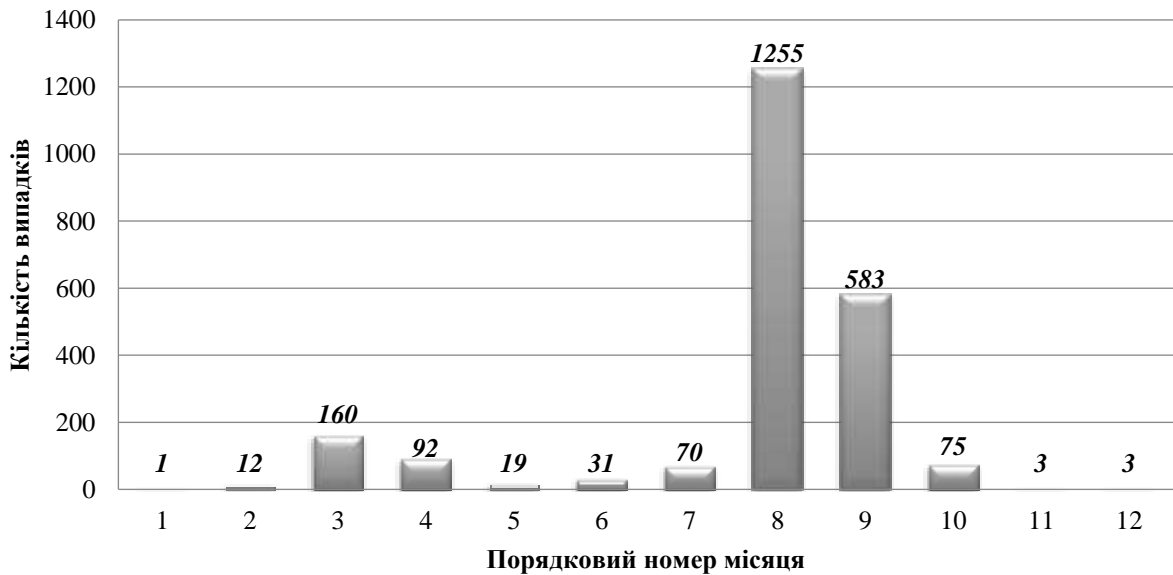


Рисунок 3.3 – Кількість спрацювань системи *MODIS* на території Рівненської області за місяцями 2015 року

Кількість активних пожеж, зареєстрованих сенсором *MODIS*, окремо за районами області відображено на рис. 3.4. Це дозволяє виявити певні територіальні відмінності у розподілі пожеж. Найбільша кількість спрацювань

системи відбулась на території Рокитнівського, Зарічненського, Сарненського та Дубровицького районів (відповідно 529, 401, 369 та 363). Треба також відзначити закономірність, що найбільше пожеж відбулося в районах, які мають найбільшу лісистість.

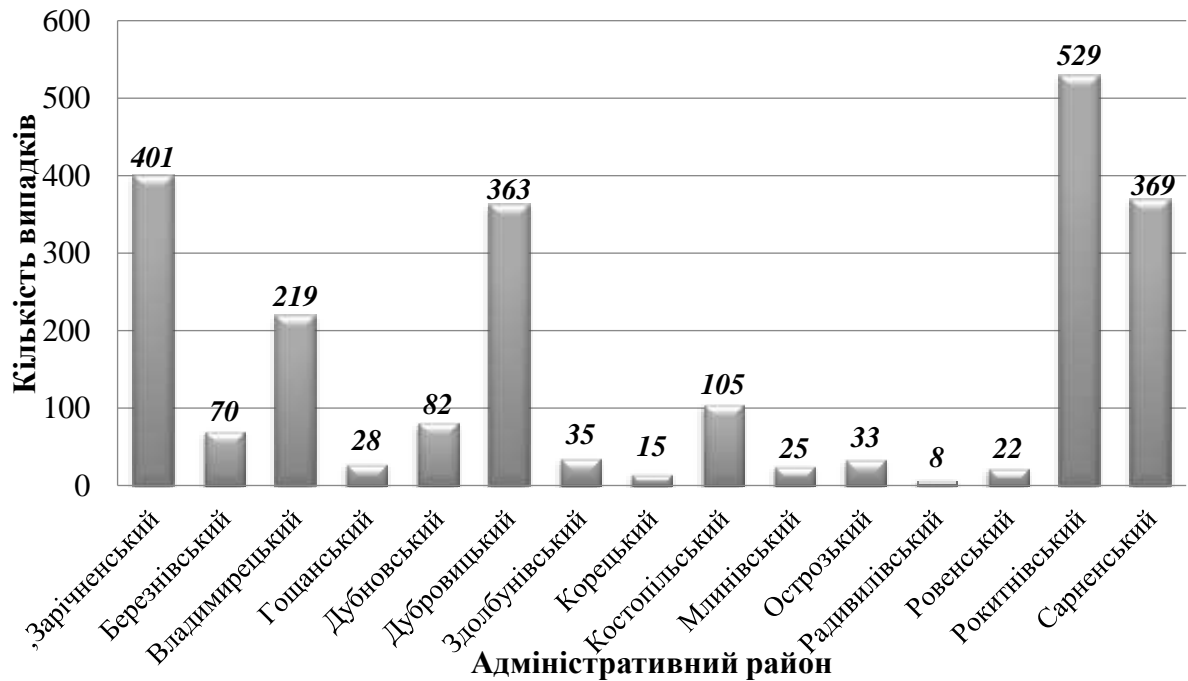


Рисунок 3.4 – Кількість спрацювань системи *MODIS* по районах

Одноразове спрацювання спектро радіометра *MODIS* не є окремою пожежею. Це – точка з аномальним підвищенням температури поверхні. Так, система може зареєструвати декілька десятків активних пожеж, а в дійсності це буде одна пожежа. Тому за допомогою платформи *Google Earth Engine* всі спрацювання системи були згруповані в окремі пожежі, а також пораховано їхню кількість (рис. 3.5). По суті, алгоритм полягає в щоденному переборі растрів *MOD/MYD 14* для території досліджень та визначення пікселів, де зафіксовано термальну аномалію. Якщо протягом одного дня зареєстровано кілька пікселів, що доторкаються один до одного, вважається, що вони представляють один випадок пожежі й об'єднуються. Недоліком такого алгоритму є ігнорування тривалих пожеж, які відбуваються на одній ділянці протягом кількох днів. Проте ця особливість не суттєво позначається на точності, оскільки довготривалі пожежі трапляються на території досліджень не часто.



Рисунок 3.5 – Використання платформи *GEE* для дешифрування пожеж на території Рівненської області (вересень 2015 р.): 1 – вибір дати; 2 – кількість виявлених пожеж (63); 3 – орієнтовні контури пожеж

Отже, протягом 2015 року на території області зафіксовано 308 пожеж (проти 2305 спрацювань системи). На рис. 4.6 відображено розподіл кількості пожеж, що відбулися на території Рівненської області окремо за місяцями. Істотного перерозподілу кількості пожеж в часі стосовно аналізу термальних аномалій не відбулося. Треба констатувати, що більшість пожеж відбулося протягом березня, серпня та вересня (відповідно 75, 67 та 63).

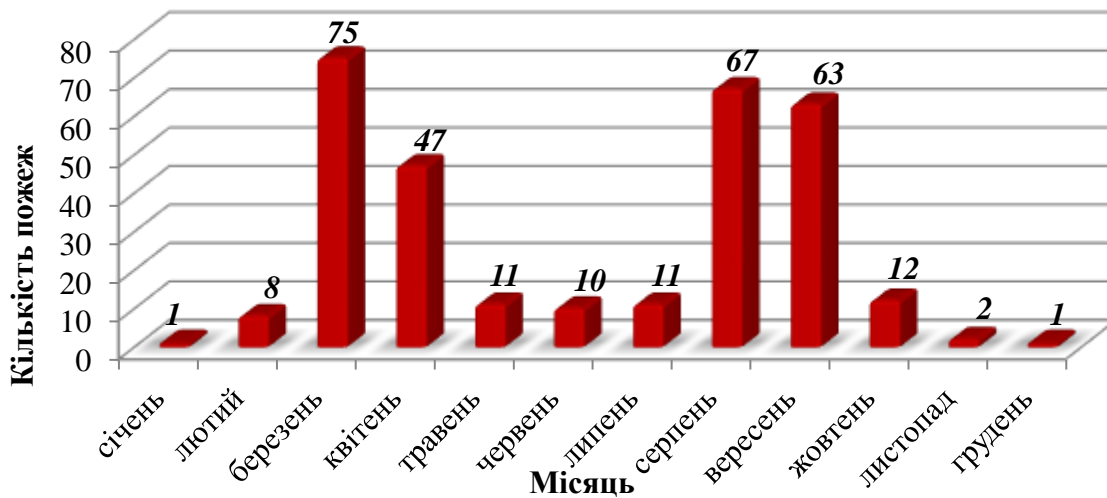


Рисунок 3.6 – Розподіл пожеж, що відбулися протягом 2015 року на території Рівненщини, за місяцями

У зв'язку із сезонністю виникнення пожеж існують весняний і літньо-осінній сезонні піки. Весняний пік пов'язаний із накопиченням великої кількості горючих матеріалів за попередній рік (відмерлий, живий надґрунтовий покрив) та їх швидким всиханням у разі збільшення температури повітря. Певний вплив здійснює ранній початок (середина березня) пожежонебезпечного періоду порівняно зі встановленою законодавчою датою (1 квітня). Літньо-осінній пік пояснюється посушливими умовами, які традиційно формуються у липні-серпні (висока температура повітря, низька вологість, велика тривалість вегетаційного періоду).

Основною причиною виникнення лісових пожеж вважається антропогенний чинник. Висока температура повітря та невелика кількість опадів лише підвищили ймовірність загоряння та вплинули на швидкість розповсюдження пожеж у 2015 році.

Відповідно до метеорологічних спостережень, березень 2015 року на переважній території України видався вологим та аномально теплим, а квітень та травень відзначались нестійким температурним режимом та нерівномірним розподілом опадів як по території країни, так і в часі. Перший літній місяць також характеризувався нестійким температурним режимом та вкрай нерівномірним розподілом опадів по території країни, липень видався жарким та посушливим. Вересень того ж року став найспекотнішим за всю історію спостережень. Жовтень видався переважно сухим, а листопад – теплим, але з надмірною кількістю опадів на значній території країни. Важливо зазначити, що саме в березні 2015 року більшість пожеж були нелісовими – випалювання сухої трави на землях сільськогосподарського призначення. Загорання сухої трави та очерету, яке розповсюдилося окремими осередками призвело до великої кількості низових лісових пожеж, а також до загоряння та тління торфовищ на значній території.

Після обробки даних про термальні аномалії не відбулося суттєвого перерозподілу кількості пожеж за адміністративними районами Рівненщини (рис. 3.7). Найбільше їх відбулося на території Рокитнівського, Сарненського та

Дубровицького районів (відповідно 22, 21 та 20 пожеж). Проаналізувавши гістограму розподілу пожеж на території Рівненської області, можна зробити висновок, що найбільше постраждали райони, які мають високу лісистість.

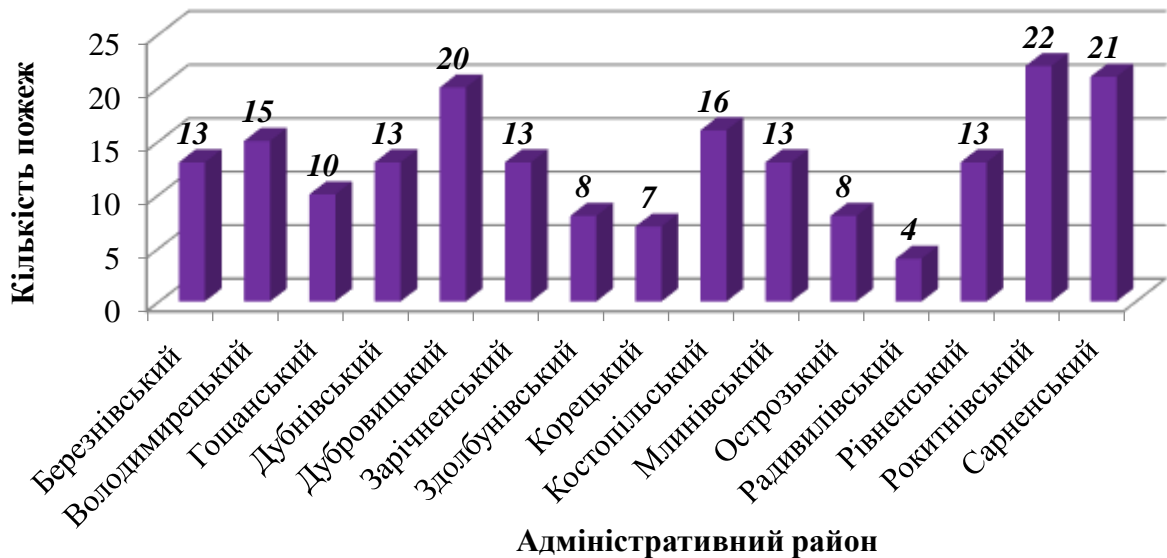


Рисунок 3.7 – Розподіл пожеж, що відбулися протягом 2015 року на території Рівненщини по районах

3.1 Площа пожеж

Доступність даних супутникових спостережень, одержаних сенсорами MODIS, сприяло розробці різнопланових продуктів тематичної обробки, що задовольняють вимоги глобального моніторингу поверхні Землі, дослідження стану атмосфери та океанографічних досліджень. Серед них, *MCD45A1* та *MCD64A1* є продуктами вигорівших територій, на яких картографовано просторовий охват і орієнтовну дату пожеж із просторовим розрізненням 500 м. Щодо свого раннього аналога, алгоритм картографування згарищ *MCD64A1* зазнав істотного вдосконалення [27].

MCD45A1 вперше став загальнодоступним в середині 2008 року як частина шостої колекції даних MODIS. Алгоритм картографування згарищ побудований на аналізі щільної (щоденної) часової серії супутникових знімків, на основі якої визначають дату різкої зміни відбиття земної поверхні, зумовленої пожежею. Валідація цих даних вказує на те, що продукт реєструє приблизно $\frac{3}{4}$ від загальної

площі згарищ. У версії колекції 5.1 (C5.1), яка з'явилася в середині 2013 року, алгоритм картографування був дещо покращений.

MCD64A1 п'ятої колекції став доступним наприкінці 2009 року одночасно з третьою версією глобального продукту викидів від пожеж *GFED*. У версії C5.1 цього продукту було частково зменшено вплив малих пожеж на сільськогосподарських землях. На відміну від *MCD45A1*, алгоритм *MCD64A1* є гібридним, який поєднує щоденні дані відбиття земної поверхні зі щоденними даними про активні пожежі. Розробники алгоритмів відзначають деякі особливості цих продуктів: 1) неспроможність закартографувати малі (до 100 га) пожежі; 2) пропуски малих пожеж є особливо відчутними на сільськогосподарських землях; 3) пропуски є більш характерними для алгоритму *MCD45A1*, який більш чутливий до пропуску даних через хмарність атмосфери.

Алгоритм виявлення згарищ шостої колекції (C6) *MCD64A1* використовує відповідні продукти відбиття сенсорів Terra та Aqua (*MOD09GHK* та *MYD09GHK*), які мають просторове розрізнення 500 м, два продукти цих супутників *MOD14A1* та *MYD14A1* із просторовим розрізненням 1 км, а також щорічну карту земного покриву *MCD12Q1* з розміром пікселя 500 x 500 м. Врешті-решт, всі дані обробляють з просторовим розрізненням 500 м в синусоїдальній проекції для гранул розміром 1100 x 1100 км. Алгоритм проходить кілька етапів (рис. 3.8), метою якого є відрізнити зміни в структурі земного покриву, викликані пожежами та іншими чинниками. Це дозволяє визначити ймовірнісний поріг для класифікації відповідного пікселя як згарище. Хоча алгоритм здатний картографувати пожежі для будь-якого періоду, дані зводяться на помісячній основі, однак, зберігаючи інформацію про дату пожежі.

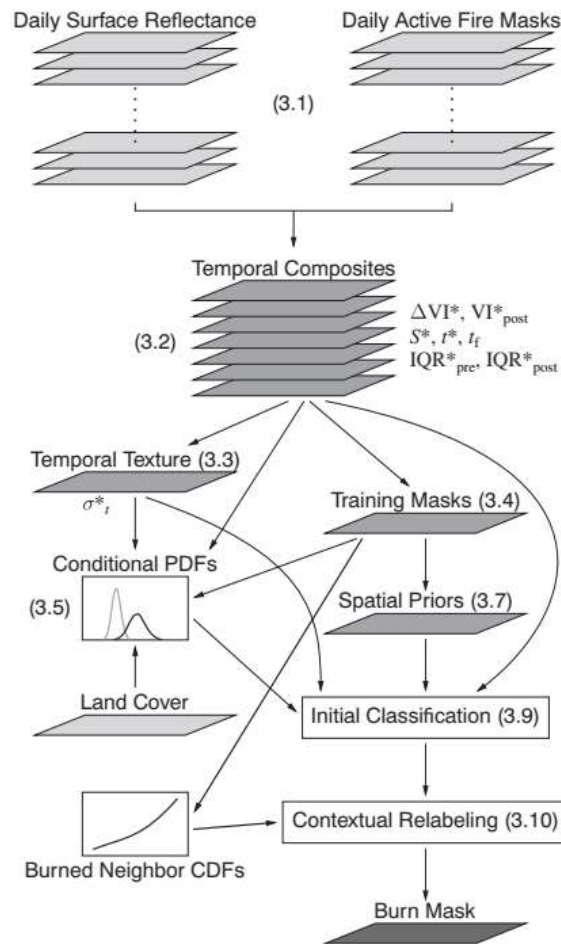


Рисунок 3.8 – Блок-схема картографування згаріщ за алгоритмом *MCD64A1* колекції С6 (Giglio et al., 2018)[26]

Із метою відтворення історичного розподілу згаріщ на території досліджень використано шосту колекцію продукту *MCD64A1*. Оскільки дані є відкритими та доступними в платформі *GEE*, їхню обробку здійснено на основі алгоритму, що наведено нижче. Його загальний зміст полягає у відборі з колекції гранул, які покривають територію досліджень, та подальшому аналізі за місяцями для періоду 2001–2016 рр. у розрізі областей, місяців.


```

var crs = 'EPSG:32635'
var distr =
ee.FeatureCollection('ft:1ecaIfplbnIF_T6S3bEXBLwo_dP56wmVu8OV8n1DK');
var obl_names = ['Lutsk', 'Rivne', 'Zhytomyr', 'Kyiv', 'Chernihiv', 'Sumy'];
var month_list = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12];
var year_list = [2001, 2002, 2003, 2004, 2005,
                 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011,
                 2012, 2013, 2014, 2015, 2016];
// Export Burned Areas Footprints =====
var BurnedAreaMaps = ee.ImageCollection(obl_names.map(function(obl) {
  var aoi = distr.filterMetadata('Capital', 'equals', obl);
  var yearly = ee.Image(year_list.map(function(yr) {
    var monthly = ee.ImageCollection(month_list.map(function(mth) {
      var mcd = ee.ImageCollection('MODIS/006/MCD64A1')
        .filterBounds(aoi)
        .filter(ee.Filter.calendarRange(yr, yr, 'year'))
        .filter(ee.Filter.calendarRange(mth, mth, 'month'));

      mcd = mcd.map(function(img) {
        var bd = img.select('BurnDate').reproject({crs: crs, scale:500});
        bd = bd.gt(1).and(bd.lt(366));
        return bd.clip(aoi.geometry()).updateMask(bd);
      });
      mcd = mcd.reduce(ee.Reducer.anyHinZero());
      var name = ee.Algorithms.String(obl + '_' + yr + '_' + mth);
      mcd = mcd.select(['BurnDate_any'], [name]);
      return mcd;
    }));
  });
  var yearlystack = ee.Image().select();
  yearlystack = ee.Image(monthly.iterate(function(image, result) {
    return ee.Image(result).addBands(image);
  }, yearlystack));
  var exp_name = ee.Algorithms.String(obl + '_' + yr +
                                     '_MCD64_BurnScars');
  Export.image(yearlystack, exp_name.getInfo(), {
    crs: 'EPSG:32635',
    scale: 500,
    driveFolder: 'OpenBurnings-UA',
    maxPixels: 1e13,
    region: aoi.geometry()
  });
  return yearlystack;
}));
return yearly;
}));

```

Результатом роботи алгоритму є серія 12-канальних растрів, в яких у бінарному форматі заковано згарища для кожного календарного місяця зазначеного часового періоду (рис. 3.9). За своїм призначенням одержані растри слугують основою для валідації точності імітаційного моделювання пожеж, а тому є доцільними для розміщення у вигляді окремого тематичного ресурсу на геопорталі. Це, по суті, найбільш повна інформація про великі історичні пожежі на території Полісся України, яка до цього часу не була систематизована.

Представлення даних у помісячному форматі дозволяє прослідкувати динаміку площі пожеж за окремими місяцями, а також встановити розподіл площі окремих пожеж, що також є елементом контролю якості моделювання.

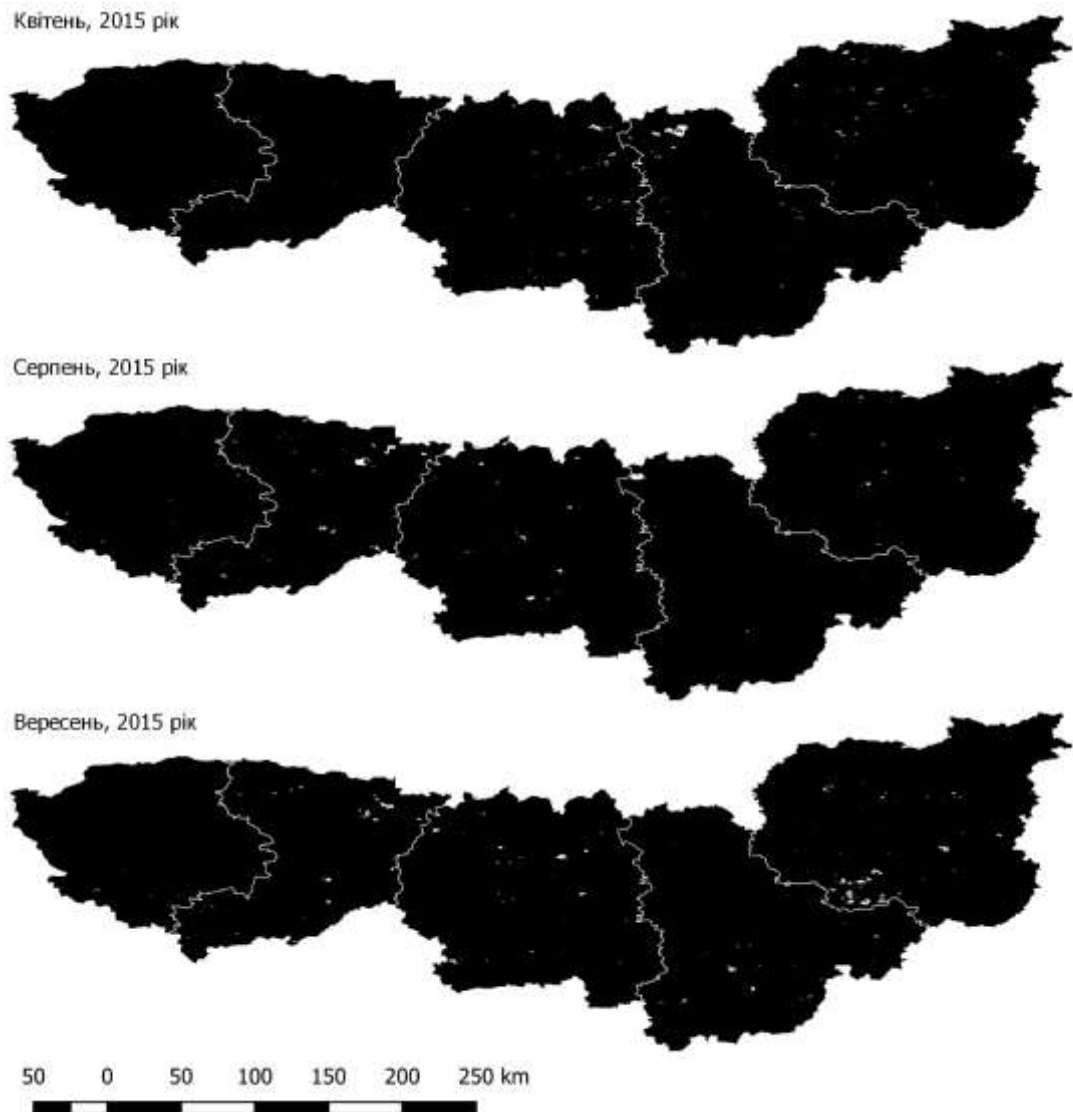


Рисунок 3.9 – Просторово-часовий розподіл великих пожеж для окремих місяців 2015 року

У контексті моделювання сценаріїв розвитку пожеж подібна інформація має важливе значення для калібрування алгоритмів. Зокрема, контури згарищ від найбільших пожеж використовують для того, щоб оцінити на скільки точно імітаційне моделювання відтворює реальні параметри пожеж. Крім суто фізичних параметрів згарищ важливе значення має історичний розподіл кількості пожеж у часі. У зв'язку з цим, поряд із представленою картографічною

інформацією було одержано оцінки площ пожеж, що сталися на території областей території досліджень протягом обраного часового періоду (додаток А).

Вихідний алгоритм при цьому зазнав певних змін:

```

var crs = 'EPSG:32635'
var distr =
ee.FeatureCollection('ft:1ecaIfplbnIF_T6S3bEXBLwo_dP56wmVu8OV8n1DK');
var obl_names = ['Lutsk', 'Rivne', 'Zhytomyr', 'Kyiv', 'Chernihiv', 'Sumy'];

var month_list = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12];
var year_list = [2001, 2002, 2003, 2004, 2005,
                2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011,
                2012, 2013, 2014, 2015, 2016];

// Export Burned Area as Dictionary =====
var BurnedAreaDict = ee.FeatureCollection(obl_names.map(function(obl) {
  var aoi = distr.filterMetadata('Capital', 'equals', obl);

  var yearly = ee.FeatureCollection(year_list.map(function(yr) {

    var monthly = ee.FeatureCollection(month_list.map(function(mth) {
      var mcd = ee.ImageCollection('MODIS/006/MCD64A1')
        .filterBounds(aoi)
        .filter(ee.Filter.calendarRange(yr, yr, 'year'))
        .filter(ee.Filter.calendarRange(mth, mth, 'month'));

      mcd = mcd.map(function(img) {
        var bd = img.select('BurnDate').reproject({crs: crs, scale:500});
        bd = bd.gt(1).and(bd.lt(366));
        return bd.clip(aoi.geometry()).updateMask(bd);
      });
      mcd = mcd.reduce(ee.Reducer.anyHinZero());

      var BurnedArea = mcd.multiply(ee.Image.pixelArea()).reduceRegion({
        reducer: ee.Reducer.sum(),
        geometry: aoi.geometry(),
        maxPixels: 1e13,
        scale: 500
      });

      BurnedArea = BurnedArea.set('Month', mth);
      BurnedArea = ee.Dictionary(BurnedArea).rename(['BurnDate_any',
                                                    ['BurnedArea_sqm']]);

      return ee.Feature(null, BurnedArea);
    }));
    monthly = monthly.map(function(ft) {
      return ft.set('Year', yr));
      return monthly;
    })).flatten();

    yearly = yearly.map(function(ft) {
      return ft.set('Region', obl));
      return yearly;
    })).flatten();

print(BurnedAreaDict)
Export.table(BurnedAreaDict, 'OpenBurnings_UKR_2001-2016', {
  fileFormat: 'csv',
  driveFolder: 'OpenBurnings-UA'
});

```

Отримана інформація (наведена у додатку А) дозволяє детальніше проаналізувати динаміку пожеж на території досліджень за багаторічний період. Із цією метою було виконано порівняння динаміки площі пожеж за адміністративними областями в межах регіону досліджень (рис. 3.10).

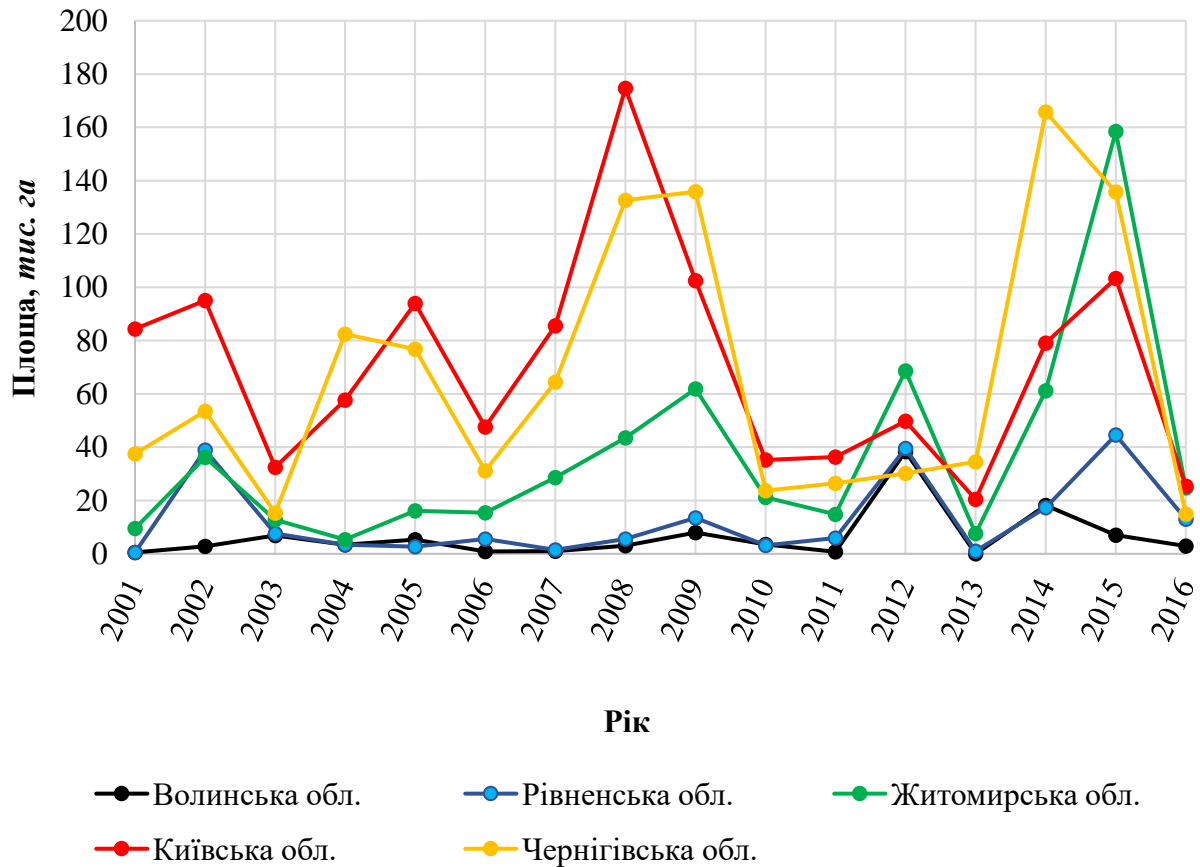


Рисунок 3.10 – Динаміка площі пожеж за адміністративними областями в межах регіону досліджень за період 2001–2016 рр.

Аналіз даних показав, що за період 2001–2016 рр. найбільше за площею пожеж відбулося на територіях Київської та Чернігівської областей, а також у 2015 році на території Житомирської області. Також на рис. 3.10 можна спостерігати, що роки пожежних максимумів зазвичай співпадають у різних адміністративних областях регіону дослідження. Для аналізу сезонної динаміки пожеж за адміністративними областями було побудовано графік (рис. 3.11), який відображає сумарну площу пожеж, за період 2001–2016 рр. у відсотках за місяцями.

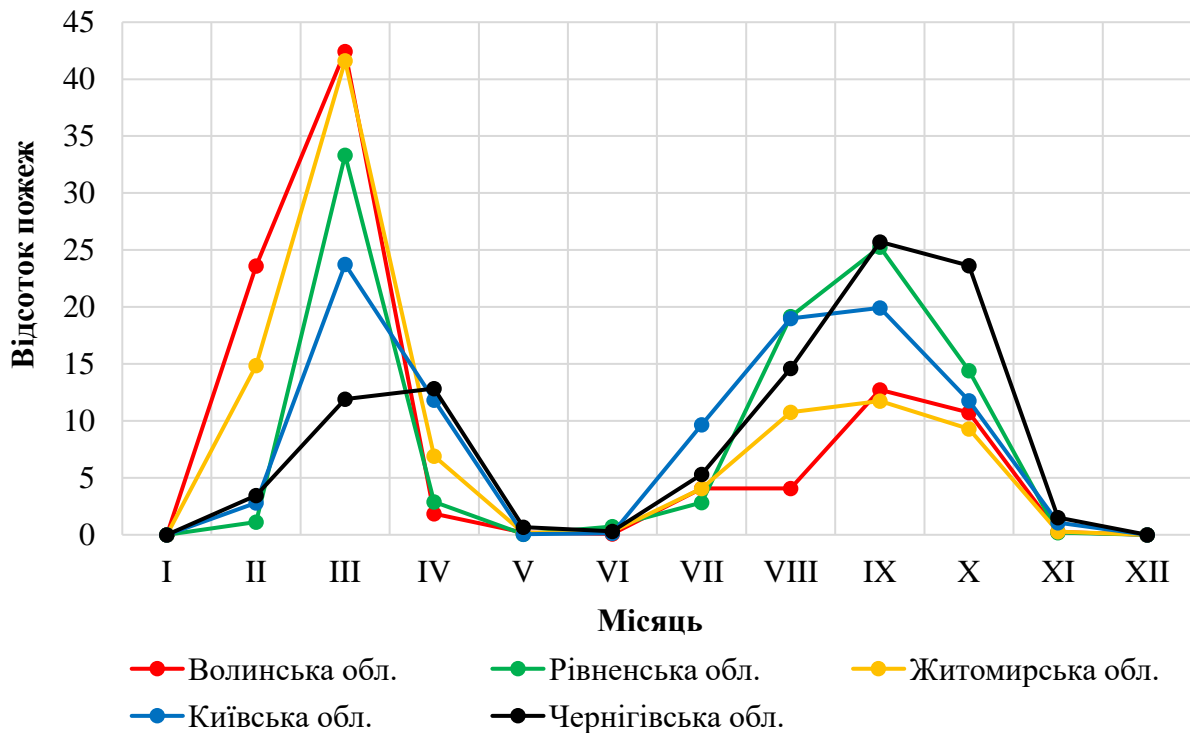


Рисунок 3.11 – Сезонна динаміка площі пожеж за адміністративними областями (сумарна площа за період 2001–2016 рр., виражена у відсотках)

На основі даних зображених на рис. 3.11 можна із високою точністю виділити місяці пожежних максимумів, а саме весняний період (найбільше у березні) та осінній період (найбільше у вересні), при чому спостерігається подібна ситуація в усіх адміністративних областях регіону досліджень. Така ситуація пояснюється перш за все діяльністю людини – паління сухої трави після сходження снігового покриву, та масовий відпочинок у лісах після зимового періоду, а також сільськогосподарські пали в осінній період.

Також було проаналізовано на скільки співвідносяться між собою розподіли кількості та площі пожеж. На рис. 3.12 представлено багаторічну динаміку площі та кількості пожеж на території досліджень, яку вдалося відтворити на підставі даних *MODIS*. Треба відзначити, що ці показники, виражені у відносних величинах значно корелюють між собою. Протягом обраного періоду спостерігається кілька пікових років, коли відбулася найбільша кількість пожеж. У цих же роках система зафіксувала і найбільші площі згарищ. Найбільш критичним у цьому порівнянні виявився 2015 рік.

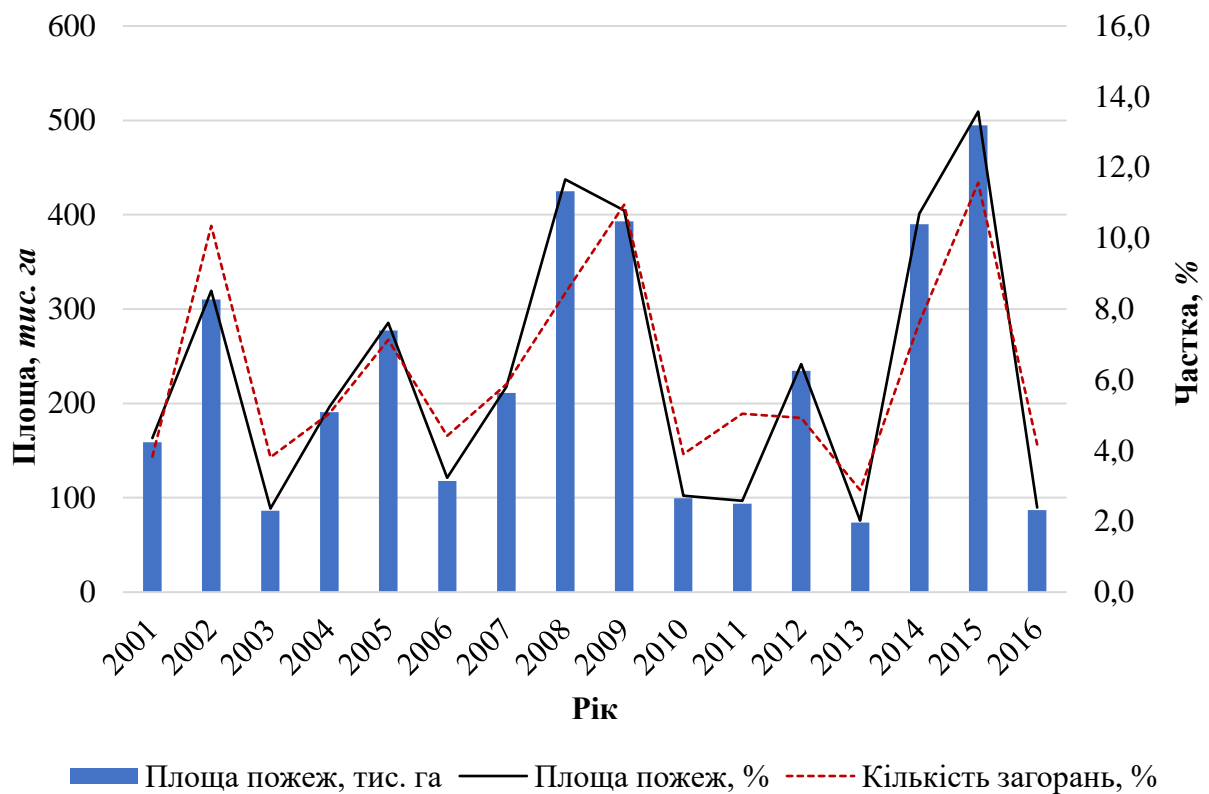


Рисунок 3.12 – Річний розподіл кількості та площі пожеж на території досліджень відповідно до даних супутникової зйомки

У часовому порівнянні також відзначається бімодальний розподіл за місяцями календарного року (рис. 3.13). Найбільше їх відбувається протягом березня, а також наприкінці літнього і на початку осіннього періоду. Все це пов'язано з сезонністю сільськогосподарських робіт, а саме особливостями обробітку ґрунту на початку посівної кампанії та після збору врожаю. Незаперечним залишається той факт, що значна частина біомаси випалюється на полях.

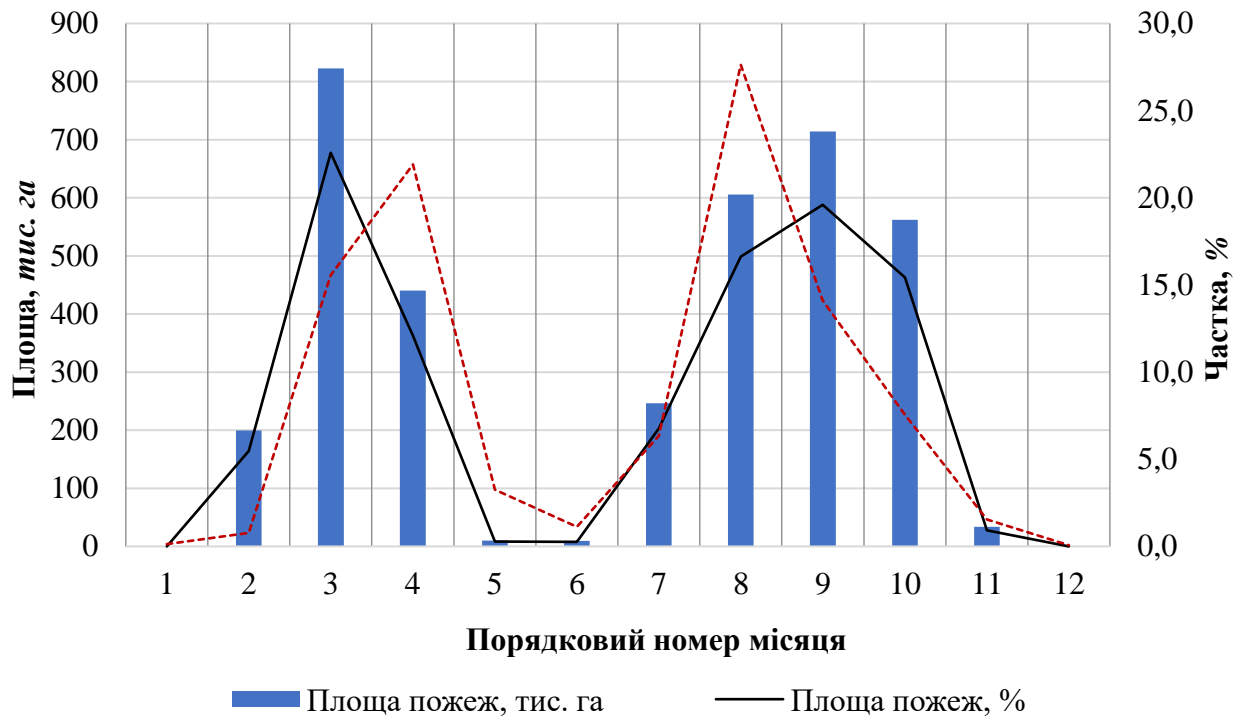


Рисунок 3.13 – Помісячний розподіл кількості та площі пожеж на території досліджень відповідно до даних супутникової зйомки

Представлена динаміка пожеж формує необхідну статистичну основу для контролю якості імітаційного моделювання ризиків, зумовлених природними пожежами. Крім того, вона має важливе пізнавальне значення та може прислужитися під час розробки систем прийняття рішень.

3.2 Погодні умови території

Із метою формування файлу погодних умов, на основі якого визначають найімовірніші сценарії розвитку пожежі, для території досліджень одержано інформацію про ключові показники руху атмосфери, зафіксовані з 2004 по 2010 рр. низкою метеостанцій (до 2013 року – для м. Сновськ та м. Семенівка). До них насамперед відносять щоденні записи про середню та максимальну швидкість вітру. Щоправда, для прогнозу найімовірнішого напрямку поширення пожежі необхідно мати інформацію про напрям вітру. У зв'язку з мінливістю цього показника навіть протягом добового періоду визначити панівний напрям вітру не вдалося.

Із аналізу табл. 3.1 можна зробити висновок про відсутність екстремальних регіонів з огляду наявності різючих відмінностей у показниках стану атмосфери. Числові спостереження вказують на існування незначного широтного градієнта в розподілі середньодобової температури повітря, а також швидкості вітру.

Таблиця 3.1 – Багаторічні метеорологічні показники території досліджень

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Світязь			
Квітень	9,1	2	15
Травень	13,9	2	17
Червень	17,5	2	15
Липень	20,2	2	15
Серпень	18,9	2	15
Вересень	13,9	2	15
Жовтень	8,6	2	15
За 2004–2010 рр.	14,6	2	17
Метеостанція: Володимир-Волинський			
Квітень	9,3	2	13
Травень	13,8	2	12
Червень	17,4	2	13
Липень	19,9	2	12
Серпень	18,7	2	11
Вересень	13,6	2	12
Жовтень	8,6	2	8
За 2004–2010 рр.	14,5	2	13
Метеостанція: Ковель			
Квітень	9,3	2	8
Травень	13,9	2	10
Червень	17,5	2	7
Липень	20,0	1	10
Серпень	18,8	1	8
Вересень	13,6	1	7
Жовтень	8,3	2	9
За 2004–2010 рр.	14,5	2	10

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Луцьк			
Квітень	9,3	3	10
Травень	14,0	3	11
Червень	17,6	2	10
Липень	20,0	2	13
Серпень	19,0	2	10
Вересень	13,9	2	11
Жовтень	8,5	2	10
За 2004–2010 рр.	14,6	2	13
Метеостанція: Любешів			
Квітень	9,3	2	10
Травень	13,8	2	10
Червень	17,4	2	12
Липень	19,9	2	12
Серпень	18,7	2	10
Вересень	13,6	2	10
Жовтень	8,3	2	10
За 2004–2010 рр.	14,4	2	12
Метеостанція: Маневичі			
Квітень	8,7	2	8
Травень	13,5	2	10
Червень	17,2	2	7
Липень	19,7	2	7
Серпень	18,5	2	7
Вересень	13,5	2	6
Жовтень	8,0	2	7
За 2004–2010 рр.	14,2	2	10
Метеостанція: Дубно			
Квітень	9,4	2	13
Травень	14,2	2	13
Червень	17,6	1	10

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Дубно			
Липень	19,9	1	15
Серпень	18,8	1	12
Вересень	13,6	1	15
Жовтень	8,6	1	11
За 2004–2010 рр.	14,6	1	15
Метеостанція: Рівне			
Квітень	9,1	4	15
Травень	14,0	4	12
Червень	17,4	3	12
Липень	19,9	3	14
Серпень	18,9	3	12
Вересень	13,7	3	13
Жовтень	8,2	4	11
За 2004–2010 рр.	14,5	3	15
Метеостанція: Сарни			
Квітень	9,2	1	13
Травень	14,2	2	11
Червень	17,9	1	10
Липень	20,2	1	13
Серпень	19,1	1	12
Вересень	13,8	1	10
Жовтень	8,2	1	11
За 2004–2010 рр.	14,7	1	13
Метеостанція: Олевськ			
Квітень	8,7	3	12
Травень	14,0	3	10
Червень	17,5	2	7
Липень	19,8	2	11
Серпень	18,7	2	10
Вересень	13,3	2	7

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Олевськ			
Жовтень	7,9	2	9
За 2004–2010 рр.	14,3	2	12
Метеостанція: Новоград-Волинський			
Квітень	9,3	2	10
Травень	14,4	2	8
Червень	18,0	2	6
Липень	20,1	1	8
Серпень	19,2	1	6
Вересень	13,8	1	8
Жовтень	8,3	2	6
За 2004–2010 рр.	14,7	2	10
Метеостанція: Житомир			
Квітень	9,4	2	12
Травень	14,8	2	9
Червень	18,3	2	8
Липень	20,6	1	7
Серпень	19,6	1	15
Вересень	14,1	1	7
Жовтень	8,6	2	10
За 2004–2010 рр.	15,1	2	15
Метеостанція: Коростень			
Квітень	9,0	3	13
Травень	14,4	3	11
Червень	17,9	2	9
Липень	20,1	2	14
Серпень	19,3	2	13
Вересень	13,8	2	10
Жовтень	8,2	3	11
За 2004–2010 рр.	14,7	2	14

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Овруч			
Квітень	8,7	1	7
Травень	14,2	1	8
Червень	17,7	1	7
Липень	19,9	1	7
Серпень	19,0	1	8
Вересень	13,6	1	9
Жовтень	7,8	1	6
За 2004–2010 рр.	14,4	1	9
Метеостанція: Тетерів			
Квітень	9,0	1	7
Травень	14,9	1	7
Червень	18,6	1	7
Липень	20,8	1	6
Серпень	20,0	1	6
Вересень	14,1	1	7
Жовтень	8,2	1	8
За 2004–2010 рр.	15,1	1	8
Метеостанція: Чорнобиль			
Квітень	9,1	2	7
Травень	14,7	2	6
Червень	18,2	1	5
Липень	20,4	1	6
Серпень	19,6	1	6
Вересень	14,0	1	4
Жовтень	8,2	2	5
За 2004–2010 рр.	14,9	1	7
Метеостанція: Київ			
Квітень	10,0	3	8
Травень	15,6	3	8
Червень	19,3	2	8

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Київ			
Липень	21,6	2	9
Серпень	21,0	2	7
Вересень	15,2	2	7
Жовтень	9,1	2	8
За 2004–2010 рр.	16,0	2	9
Метеостанція: Остер			
Квітень	9,1	2	11
Травень	15,1	2	10
Червень	18,8	2	8
Липень	21,0	2	12
Серпень	20,3	2	10
Вересень	14,3	2	6
Жовтень	8,3	2	10
За 2004–2010 рр.	15,3	2	12
Метеостанція: Чернігів			
Квітень	8,9	3	12
Травень	14,8	3	12
Червень	18,4	3	9
Липень	20,8	2	15
Серпень	20,1	3	12
Вересень	14,2	3	9
Жовтень	8,0	3	9
За 2004–2010 рр.	15,1	3	15
Метеостанція: Ніжин			
Квітень	9,0	2	7
Травень	14,9	2	9
Червень	18,6	2	7
Липень	20,6	2	9
Серпень	20,0	2	8
Вересень	14,0	2	8

Продовження таблиці 3.1

Місяць	Середня добова температура повітря, С°	Швидкість вітру, м·с ⁻¹	
		середня	максимальна
Метеостанція: Ніжин			
Жовтень	8,0	2	8
За 2004–2010 рр.	15,0	2	9
Метеостанція: Сновськ			
Квітень	11,9	2	9
Травень	12,3	2	8
Червень	11,6	2	6
Липень	11,9	2	6
Серпень	10,6	2	8
Вересень	12,4	2	7
Жовтень	10,9	2	7
За 2004–2013 рр.	11,7	2	9
Метеостанція: Семенівка			
Квітень	11,4	2	11
Травень	11,8	2	10
Червень	11,2	2	9
Липень	11,4	2	9
Серпень	10,1	2	9
Вересень	11,9	2	9
Жовтень	10,4	2	8
За 2004–2013 рр.	11,2	2	11
Метеостанція: Покошичі			
Квітень	8,1	2	16
Травень	14,2	2	14
Червень	17,7	2	14
Липень	20,0	1	12
Серпень	19,5	1	14
Вересень	13,5	1	12
Жовтень	7,5	2	14
За 2004–2010 рр.	14,4	1	16

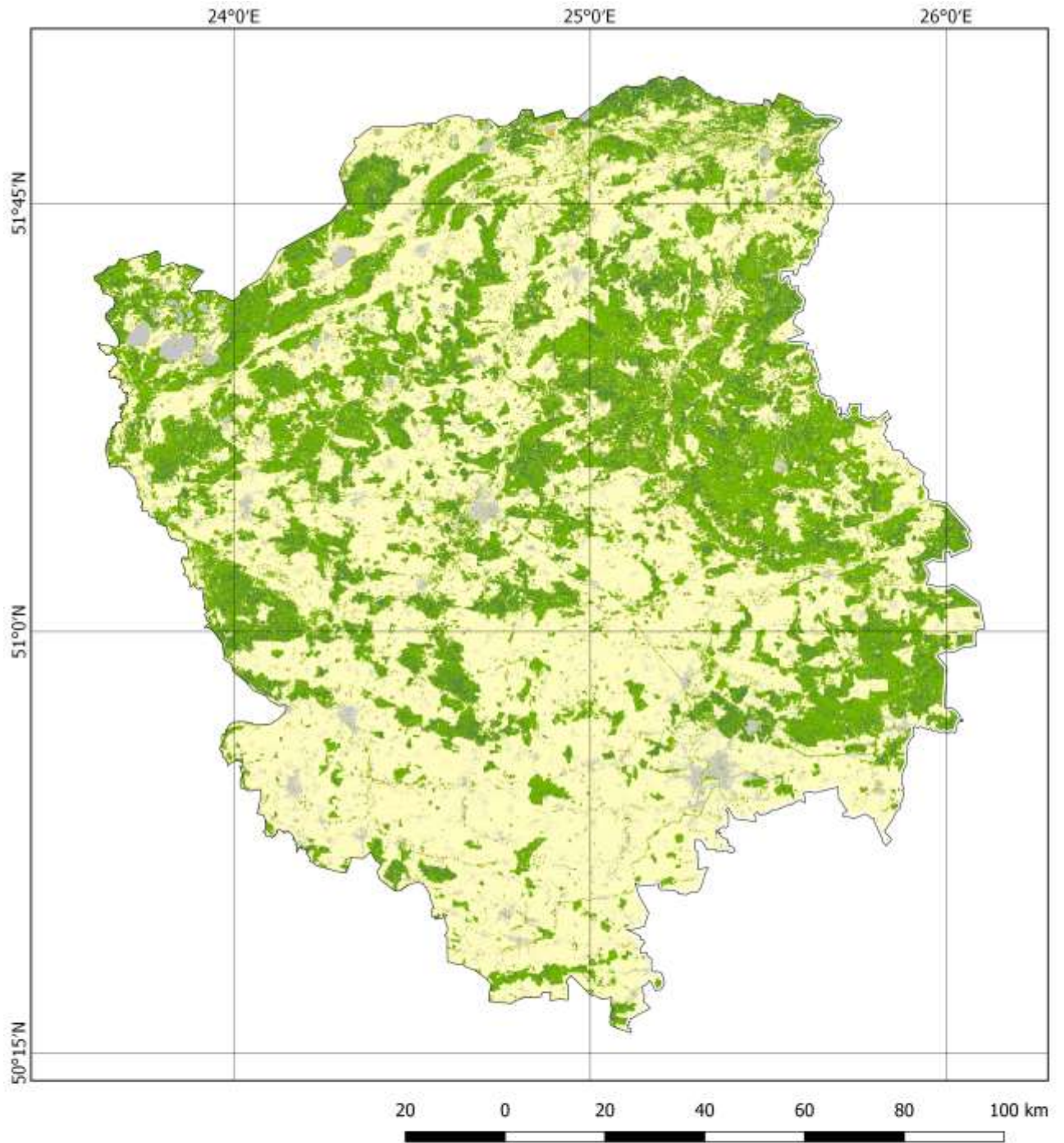
Для моделювання природних пожеж найбільше значення має максимальна швидкість вітру, яка для території досліджень на перевищує 15–16 м·с⁻¹. Істотно менші значення цього показника (до 10 м·с⁻¹) зафіксовані метеостанціями Овруча, Тетерева, Києва та Ніжина. Проте для них відзначено дещо вище середнє значення добової температури повітря. У часовому порівнянні закономірностей розподілу швидкості за місяцями не виявлено.

3.3 Моделі горючих матеріалів

З метою перетворення карти земного покриття в растрове покриття моделями горючих матеріалів [52] застосовано обґрунтовану раніше схему класифікації (табл. 3.2), яку застосовано для перекодування карт землекористування в карти моделей горючих матеріалів (рис. 3.14–3.18).

Таблиця 3.2 – Відповідність між типами земного покриття та моделями горючих матеріалів

Код класу	Характеристика класу	Номер моделі горючих матеріалів	Код моделі горючих матеріалів	Тип моделі горючих матеріалів
1	Водойми	98	NB8	Негорючі території
2	Водно-болотні угіддя	121	GS1	Трав'янисто-чагарникова рослинність
3	Населені пункти	91	NB1	Негорючі території
4	Інші непродуктивні землі	99	NB9	Негорючі території
5	С.-г. угіддя	101	GR1	Трав'яниста рослинність
6	Травостої	102	GR2	Трав'яниста рослинність
7	Чагарники	142	SH2	Чагарникова рослинність
100	Хвойний ліс	188	TL8	Деревний опад
200	Листяний ліс	182	TL2	Деревний опад
300	Мішаний ліс	161	TU1	Піднаметова рослинність

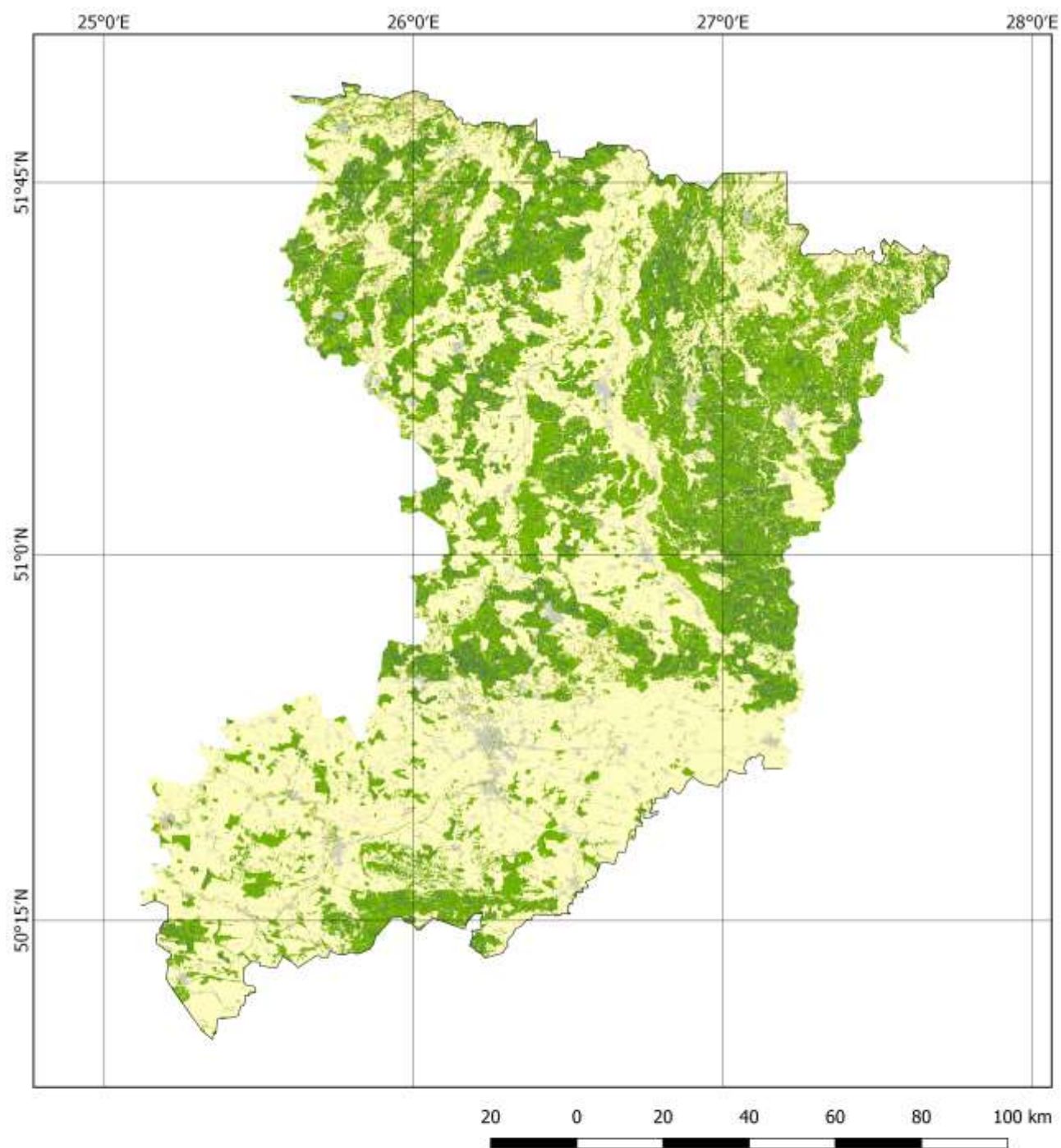


Група моделей горючих матеріалів:

- Негорючі території
- Трав'яниста рослинність
- Трав'янисто-чагарникова рослинність
- Чагарникова рослинність
- Піднаметова рослинність
- Деревний опад



Рисунок 3.14 – Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Волинської області



Група моделей горючих матеріалів:







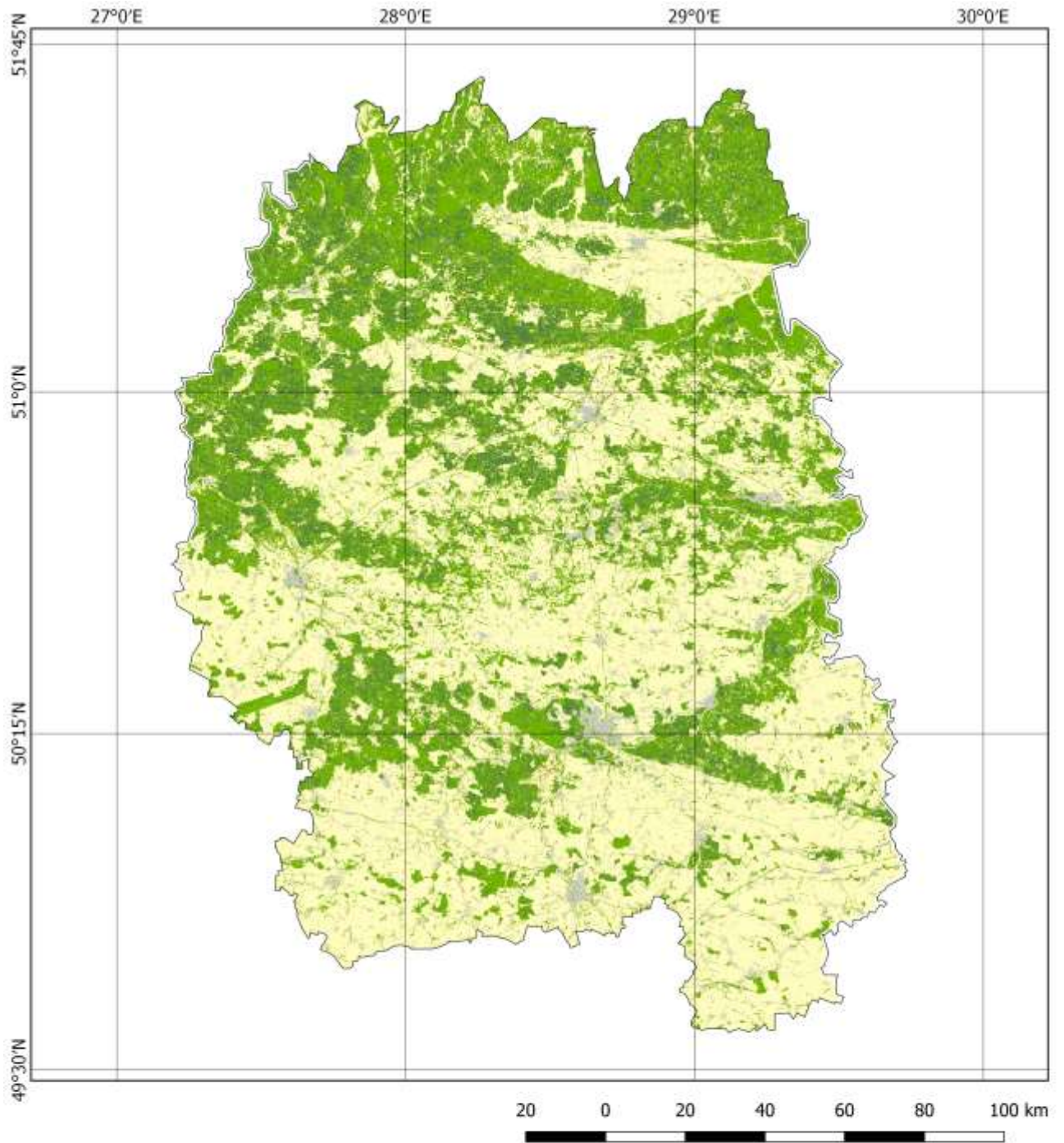
-  Негорючі території
-  Трав'яниста рослинність
-  Трав'янисто-чагарникова рослинність
-  Чагарникова рослинність
-  Піднаметова рослинність
-  Деревний опад



Рисунок 3.15 – Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Рівненської області



Група моделей горючих матеріалів:

- Негорючі території
- Трав'яниста рослинність
- Трав'янисто-чагарникова рослинність
- Чагарникова рослинність
- Піднаметова рослинність
- Деревний опад



Рисунок 3.16 – Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Житомирської області

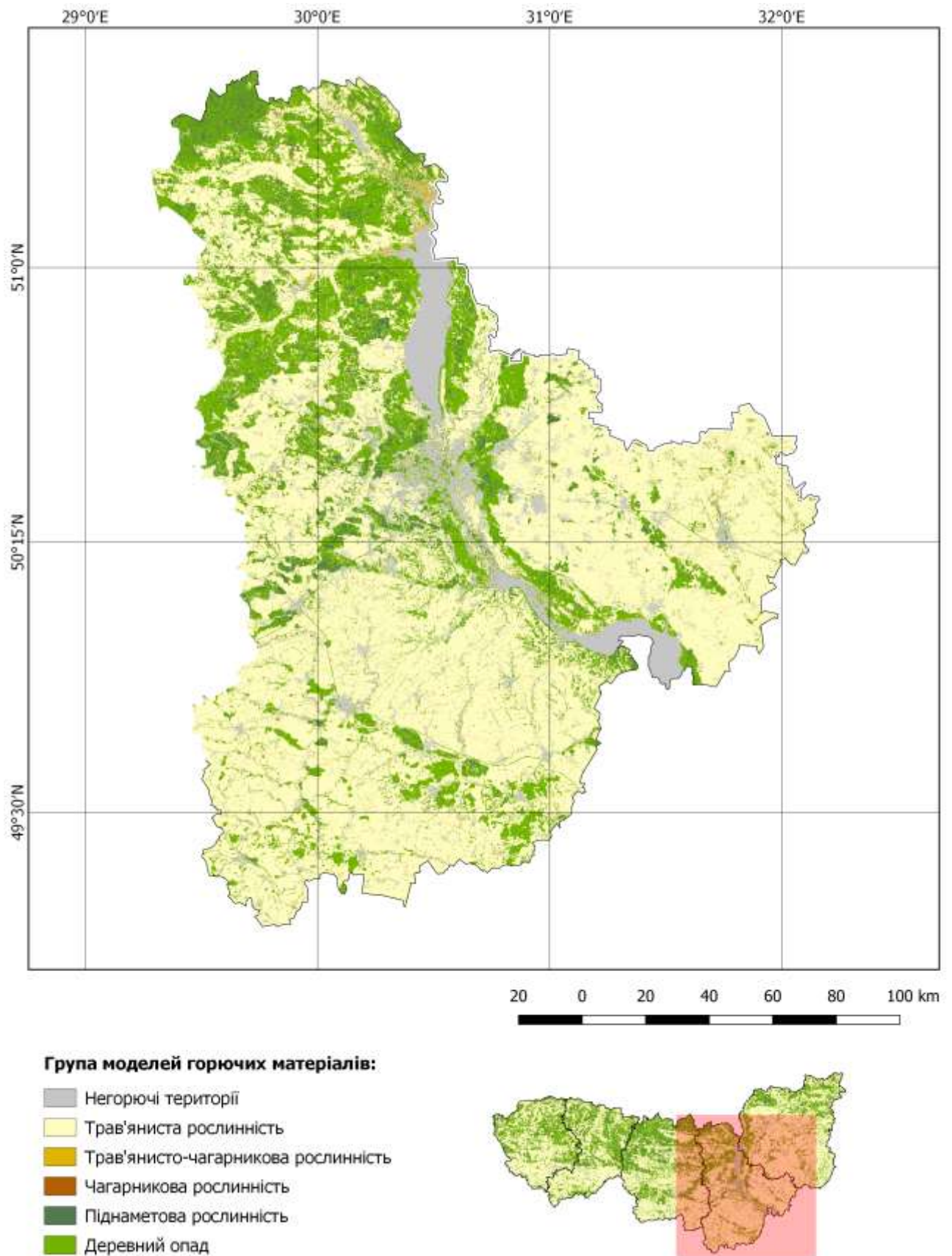
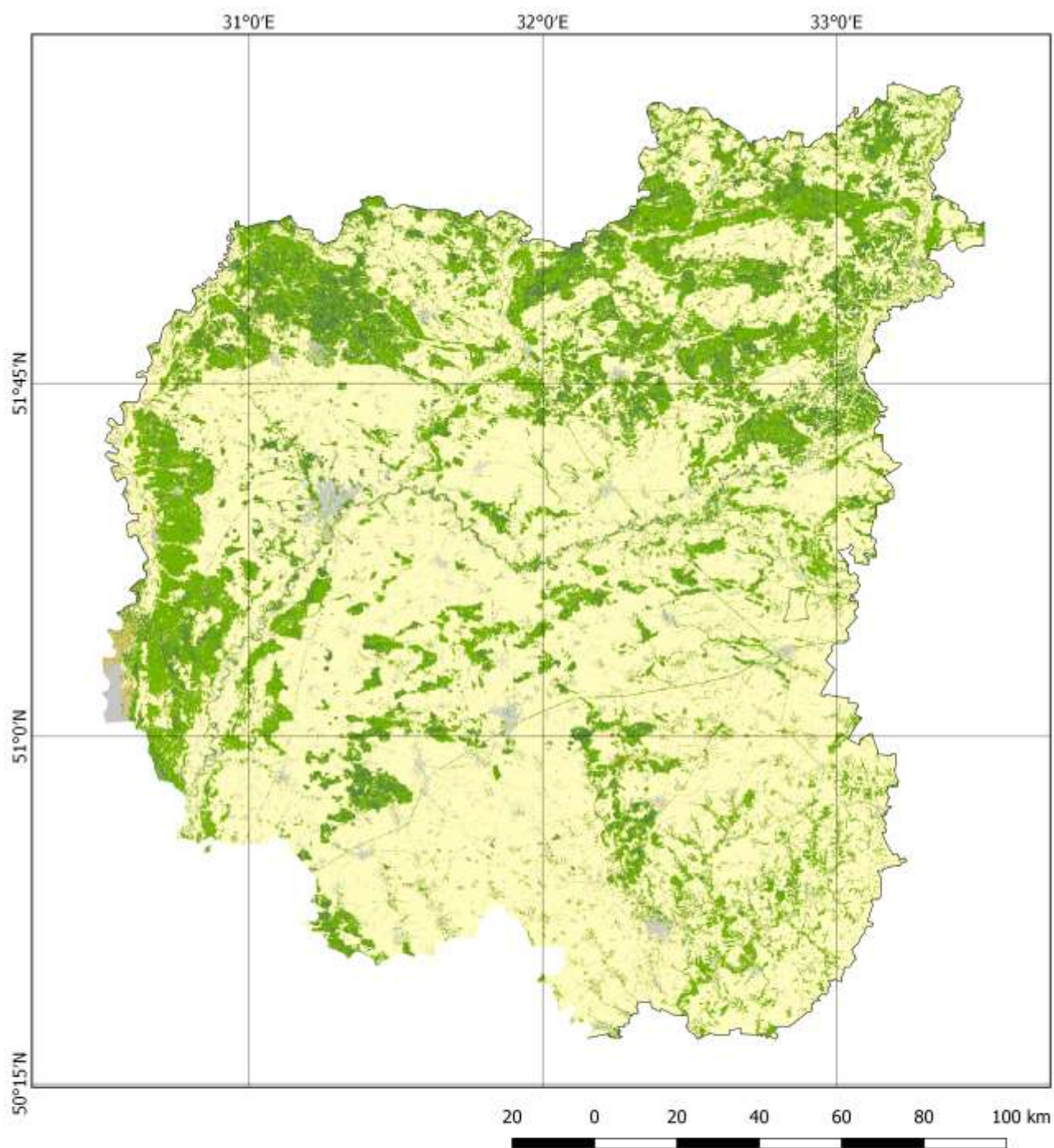


Рисунок 3.17 – Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Київської області



Група моделей горючих матеріалів:

- Негорючі території
- Трав'яниста рослинність
- Трав'янисто-чагарникова рослинність
- Чагарникова рослинність
- Піднаметова рослинність
- Деревний опад



Рисунок 3.18 – Типи горючих матеріалів на території Чернігівської області

4 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ГЕОПОРТАЛУ

Виклик домашньої сторінки геопорталу «Ландшафтні пожежі» здійснюють введенням в адресній строчці будь-якого веббраузера адреси <http://wildfires.org.ua>. Нижче наведено вигляд домашньої сторінки геопорталу в браузері *Firefox* (рис. 4.1).

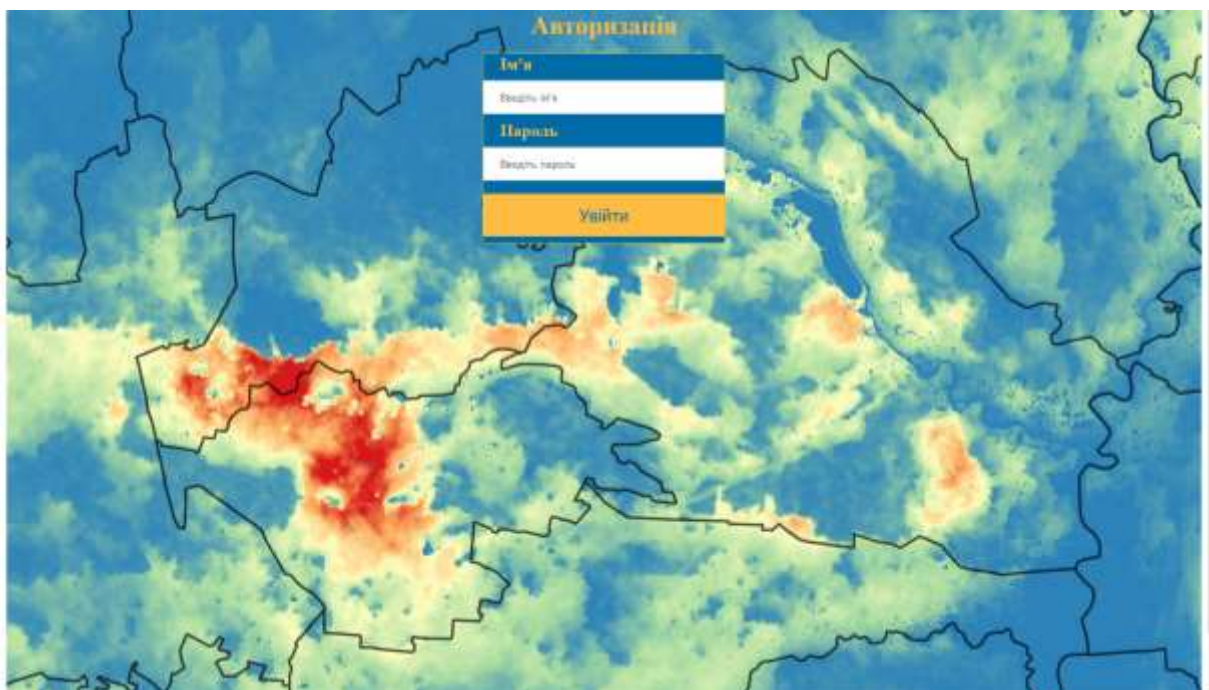


Рисунок 4.1 – Домашня сторінка геопорталу «Ландшафтні пожежі»

Доменне ім'я wildfires.org.ua асоційовано з певною IP-адресою, яка може бути змінена у разі необхідності (наприклад, під час зміни фірми, яка надає послуги віртуального хостингу).

4.1 Програмні компоненти віртуального хостингу

Розгортання геопорталу «Ландшафтні пожежі» було виконано на віртуальному серверу із операційною системою Ubuntu 18.04 з наперед установленим інтерпретатором Python 3.6.9.

Додатково було встановлено і в деяких випадках компільовано:

1. *HTTP*-сервер *Apache* версії 2.4.2.
2. *mod_wsgi* – модуль для вебсервера *Apache* версії 4.5.17, який надає *WSGI*-сумісний інтерфейс для роботи з web-додатками, написаними на

мові програмування Python.

3. *Postgresql 9.6* – об'єктно-реляційна безкоштовна система управління базами даних (СУБД) (<http://apt.postgresql.org/pub/repos/apt/>).

4. *QGIS* сервер – серверний додаток для публікації в мережі *Internet* проєктів, створених в *QGIS Desktop*, через сервіси, сумісні з *OGC*-стандартами (*WMS, WFS*) <http://qgis.org/debian/>.

Загалом архітектура програмних компонентів на віртуальному сервері виглядає як показано на рис. 4.2. Користувач (віддалений клієнт) геопорталу шляхом взаємодії з його вебсторінками надсилає запити до вебсервера. Вебсервер перенаправляє запити або до *qgis*-сервера, або через компоненти Python до бази даних *Postgresql*. У відповідь формуються дані у різних форматах, які складають зміст вебсторінок. *Qgis*-сервер реагує на запити шляхом формування картографічного зображення у певному діапазоні координат та певному масштабі. При цьому вихідні картографічні шари фізично можуть міститись як у вигляді файлів певних GIS-форматів так і у вигляді значень геометричних полів бази даних *Postgresql* з розширенням *Postgis*.

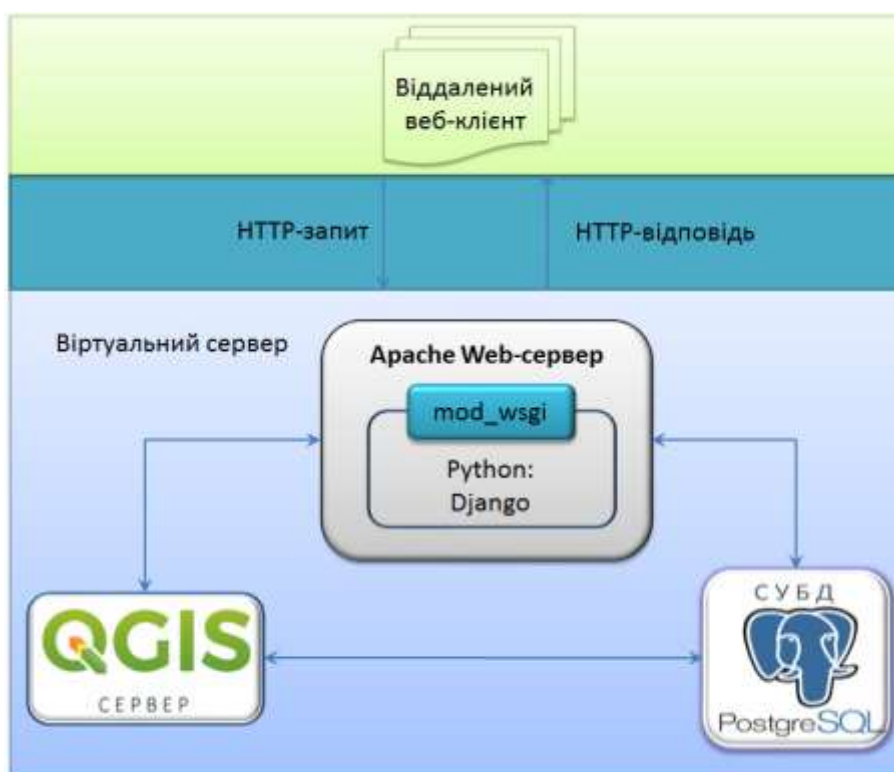


Рисунок 4.2 – Архітектура програмних компонентів на віртуальному сервері Вебклієнт потрібно разом на рисунку

4.2 Модулі розширення на мові *Python*

Значну частину функцій геопорталу реалізовано на стороні сервера шляхом використання функцій модулів розширення (*site packages*), а саме: *Django*, *NumPy* та інших (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристика розширень *Python*

№ з/п	Назва модуля	Призначення	Розробник	Ліцензія
1	Django	Високорівневий відкритий Python-фреймворк для розробки вебдодатків	Django Software Foundation	3-clause BSD
2	NumPy	Розширення Python, що додає підтримку великих багатовимірних масивів і матриць, разом із великою бібліотекою високорівневих математичних функцій для операцій з цими масивами	Проект спільноти	BSD
3	SciPy	Розширення Python для виконання чисельного інтегрування, інтерполяції, оптимізації, лінійної алгебри та статистики	Проект спільноти	BSD
4	netCDF4	Розширення Python для доступу до даних у форматі NetCDF 4 і NetCDF 3	Джеффри Уитакер	
5	GDAL, OGR, OSR	Розширення Python для читання і запису растрових і векторних геопросторових форматів даних	Open Source Geospatial Foundation	MIT
6	Psycopg2	Найпопулярніший адаптер бази даних PostgreSQL для мови програмування Python.	The Psycopg Team	psycopg2 and the LGPL
7	Jenkspy	Для обчислення так званих “природних розривів” (за алгоритмом Фішера-Дженкса) у наборі числових даних	Matthieu Viry	MIT
8	django-compressor	Архівація коду із статичних файлів CSS і Javascript в один кеш-файл	Jannis Leidel	django-compressor
9	django-crispy-forms	Надає можливість розробляти прості html-форми практично за допомогою python без використання HTML і CSS	Community django-crispy-forms	MIT

4.2.1 Каркас вебзастосунків *Django*

Django характеризується як відкритий вебфреймворк на основі мови Python, який відповідає архітектурній схемі модель–шаблон–вид (MTV). Після інсталяції цього модуля маємо:

- систему автентифікації;
- маршрутизацію URL-адрес;
- механізм роботи з шаблонами;
- систему формування змісту вебсторінок через види (view);
- об'єктно-реляційний відображувач (ORM).

Крім того, у складі *Django* присутній власний вебсервер для розробки. Сервер автоматично визначає зміни в файлах вихідного коду проєкту і перезапускається, що прискорює процес розробки на Python. Але при цьому він працює в однопоточному режимі і придатний тільки для процесу розробки і налагодження програми.

4.2.2 Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4, GDAL, OGR, OSR

Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4 використовують для згущення ґрідів та візуалізації полів метеорологічних показників. Припустимо, нам потрібно вивести приземну температуру з файлу чисельного прогнозу погоди на 12 годину 3 грудня 2019 р у вигляді ґрідів з розміром комірки 500 м з використанням інтерполяції методом кубічного сплайну. Для цього викликаємо метод `MakeSourceData` з параметрами TH, 12, 500, cubic.

```
from netCDF4 import Dataset
import numpy as np
from scipy.interpolate import griddata

self.cdfDs = Dataset(file_name, 'r')

def MakeSourceData(self, indicator, timeindex, cellsize, method_name):
    nxny = self.nx * self.ny
    xx, yy = np.meshgrid(np.arange(self.nx) * self.dx + self.x0,
np.arange(self.ny) * self.dy + self.y0)

    sxx = np.zeros((nxny))
    syy = np.zeros((nxny))
    szz = np.zeros((nxny))
    me = meteo_engine.MeteoEngine()

    counter = 0;
    for i1 in range(self.ny):
```

```

for i2 in range(self.nx):
    indVal = float(self.cdfDs.variables[indicator][timeindex, i1, i2])
    x, y = xx[i1][i2], yy[i1][i2]
    sxx[counter] = x
    syy[counter] = y
    szz[counter] = indVal
    counter += 1;
width, height = self.nx * self.dx, self.ny * self.dy
dnx = int(round(width / cellsize))
dny = int(round(height / cellsize))
dxx, dyy = np.meshgrid(np.arange(dnx) * cellsize + self.x0, np.arange(dny) *
cellsize + self.y0)
dzz = griddata((sxx, syy), szz, (dxx, dyy), method=method_name) # possible
method cubic, linear, near
self.cellsize = cellsize
self.ncols = dnx
self.nrows = dny
return dzz

```

Цей метод використовує об'єкт *cdfDs*, який містить у собі структуровані дані метеопрогнозу, отримані за допомогою функцій розширення *netcdf4*. Спочатку формуємо вихідний ґрид з даними температури. Далі, використовуючи можливості розширення *NumPy*, формуємо матрицю з кроком 500 м (метод *meshgrid*). Після цього, викликаємо метод *griddata* з розширення *SciPy*, який і виконує інтерполяцію даних температури з початкового ґриду. У результаті отримуємо ґрид, який відображається у вигляді карти температур (рис. 4.3).

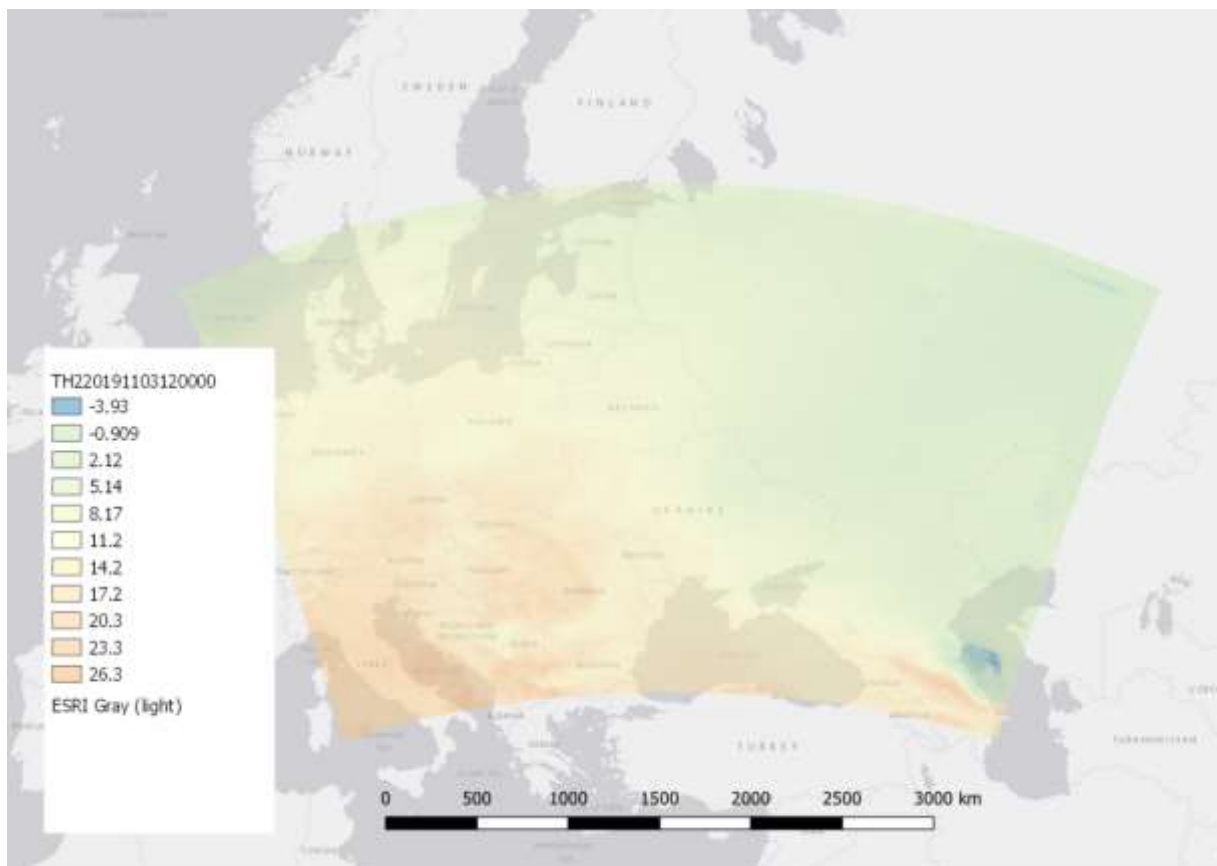


Рисунок 4.3 – Ґрид температур на 12 год. 00 хв. 3 грудня 2019 р.

Далі за допомогою функцій розширень GDAL, OGR, OSR виконують функцію *Polygonize* щодо формування полігонів із однаковими температурами.

```
import gdal
import osr
import ogr

def Polygonize(self, rasterTemp, outShp):
    sourceRaster = gdal.Open(rasterTemp)
    band = sourceRaster.GetRasterBand(1)
    driver = ogr.GetDriverByName("ESRI Shapefile")
    # If shapefile already exist, delete it
    if os.path.exists(outShp):
        driver.DeleteDataSource(outShp)
    outDatasource = driver.CreateDataSource(outShp)
    # get proj from raster
    srs = osr.SpatialReference()
    srs.ImportFromWkt(sourceRaster.GetProjectionRef())
    # create layer with proj
    outLayer = outDatasource.CreateLayer(outShp, srs)
    # Add class column (1,2...) to shapefile
    newField = ogr.FieldDefn('DN', ogr.OFTInteger)
    outLayer.CreateField(newField)
    gdal.Polygonize(band, None, outLayer, 0, [], callback=None)
```

У результаті виконання цього методу отримуємо *shape*-файл, який відображений згідно із стандартною шкалою температур (рис. 4.4).

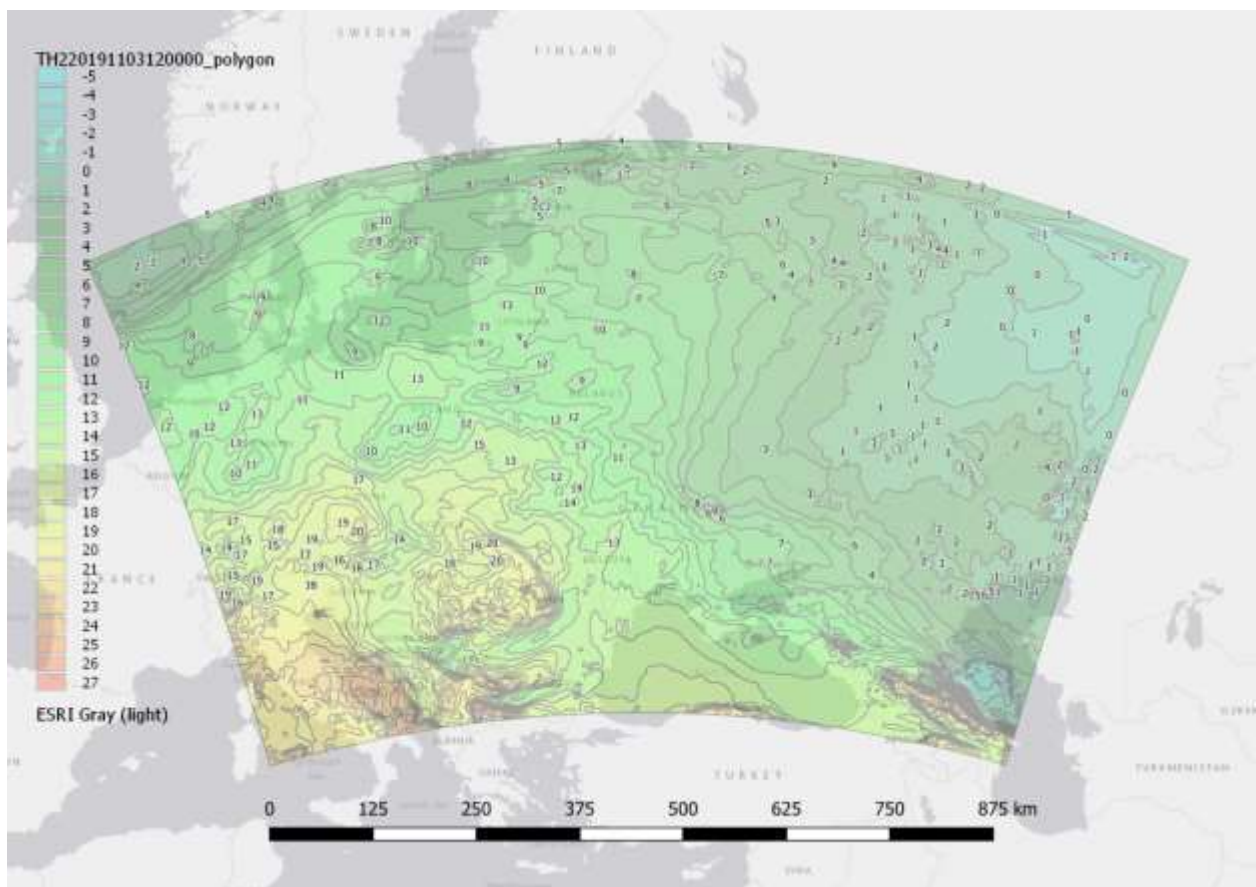


Рисунок 4.4 – Карта полігонів температур на 12 год. 00 хв. 3 грудня 2019 р.

4.3 Реалізація QGIS-сервера

На віртуальному сервері було розгорнуто QGIS-сервер, який виступає постачальником даних за протоколом WMS (*web-map-service*). Цей протокол слугує для видачі географічно прив'язаних зображень через інтернет. Фактично географічні дані стають доступними завдяки публікації шарів проєкту QGIS через URL посилання у вигляді: http://{ip_адреса_хостингу}/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi.

Перевірку працездатності сервісу здійснюють за посиланням:

http://{ip_адреса_хостингу}/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi?request=getcapabilities&service=WMS&version=1.3.0

Фактично це запит, результат якого показує можливості сервісу. Першу сторінку результату запиту показано на рисунку 4.5.

```

-<Service>
  <Name>WMS</Name>
  <!-- Human-readable title for pick lists -->
  <Title>QGIS mapserver</Title>
  <!--
    Narrative description providing additional information
  -->
  <Abstract>A WMS service with QGIS mapserver</Abstract>
-<KeywordList>
  <Keyword>QGIS mapserver</Keyword>
</KeywordList>
-<!--
  Top-level web address of service or service provider.  See also OnlineResource
  elements under <DCPType>.
-->
  <OnlineResource xlink:type="simple" xlink:href="http://www.sourcepole.ch/">
  <!-- Contact information -->
-<ContactInformation>
  -<ContactPersonPrimary>
    <ContactPerson>Sergiy Zibtsev</ContactPerson>
    <ContactOrganization>Boyarskaya forest experimental station</ContactOrganization>
  </ContactPersonPrimary>
  -<ContactAddress>
    <AddressType>postal</AddressType>
    <Address>Lisodoslidna st., 12</Address>
    <City>Boyarka</City>
    <StateOrProvince>Kiyvska oblast</StateOrProvince>
    <PostCode>08150</PostCode>
    <Country>UKRAINE</Country>
  </ContactAddress>
  <ContactVoiceTelephone/>
  <ContactElectronicMailAddress>sergiy.zibtsev@nubip.edu.ua</ContactElectronicMailAddress>
</ContactInformation>

```

Рисунок 4.5 – Результат запиту getcapabilities до WMS QGIS сервера

Управління шарами і призначення стилів їх відображення здійснюють засобами додатка QGIS версії не нижче за 2.18, який може бути встановлено на комп'ютері під керуванням операційних систем *Window*, *macOS* і *Linux* (рис. 4.6).

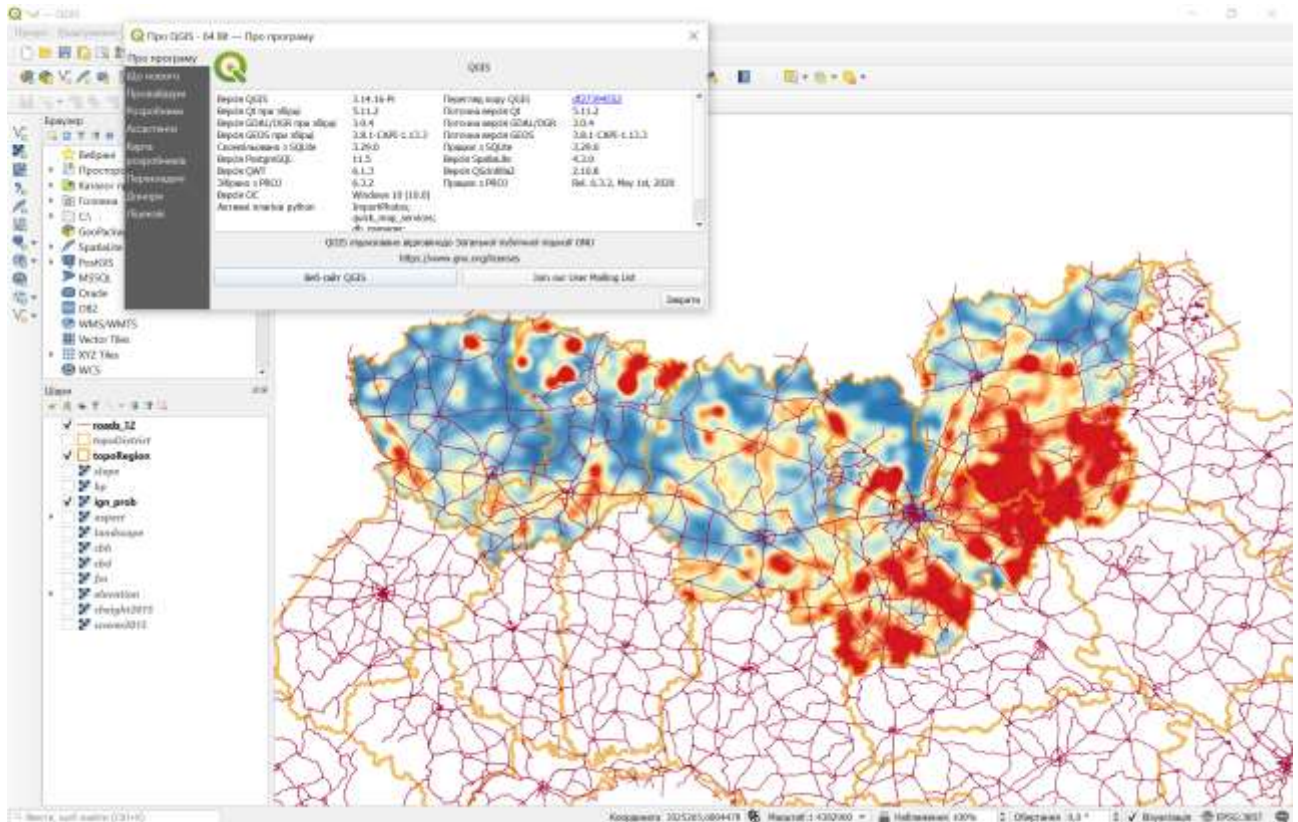


Рисунок 4.6 – Настроювання шарів у проєкті *wf.qgs*, як джерела сервісу *WMS* за допомогою *QGIS* версії 3.14 на комп'ютері з операційною системою *Windows 10*

Перелік шарів, що наведено у лівій нижній панелі, можна вибирати за допомогою вебінтерфейсу, що реалізовано на лівій панелі геопорталу (рис. 4.7). У таблиці 4.2 встановлено відповідність назви шару в проєкті *wf.qgs* і на геопорталі.

Таблиця 4.2 – Відповідність назв шарів у проєкті *QGIS*, що відображуються за посиланням *WMS* і на сторінці геопорталу

№ з.п.	Назва шару в проєкті wf.qgs	Назва шару на сторінці геопорталу
1.	Elevation	Висота над рівнем моря
2.	Slope	Ухил схилу
3.	aspect	Експозиція схилу
4.	Fm	Модель горючих матеріалів
5.	ccover2015	Зімкнутість деревостану
6.	cheight2015	Висота деревостану
7.	Cbh	Висота початку крони
8.	Cbd	Щільн. гор. мат. у кроні
9.	landscape	Земельний покрив
10.	ign_prob	Імовірн. виникнення пожеж
11.	Vp	Імовірн. поширення пожеж

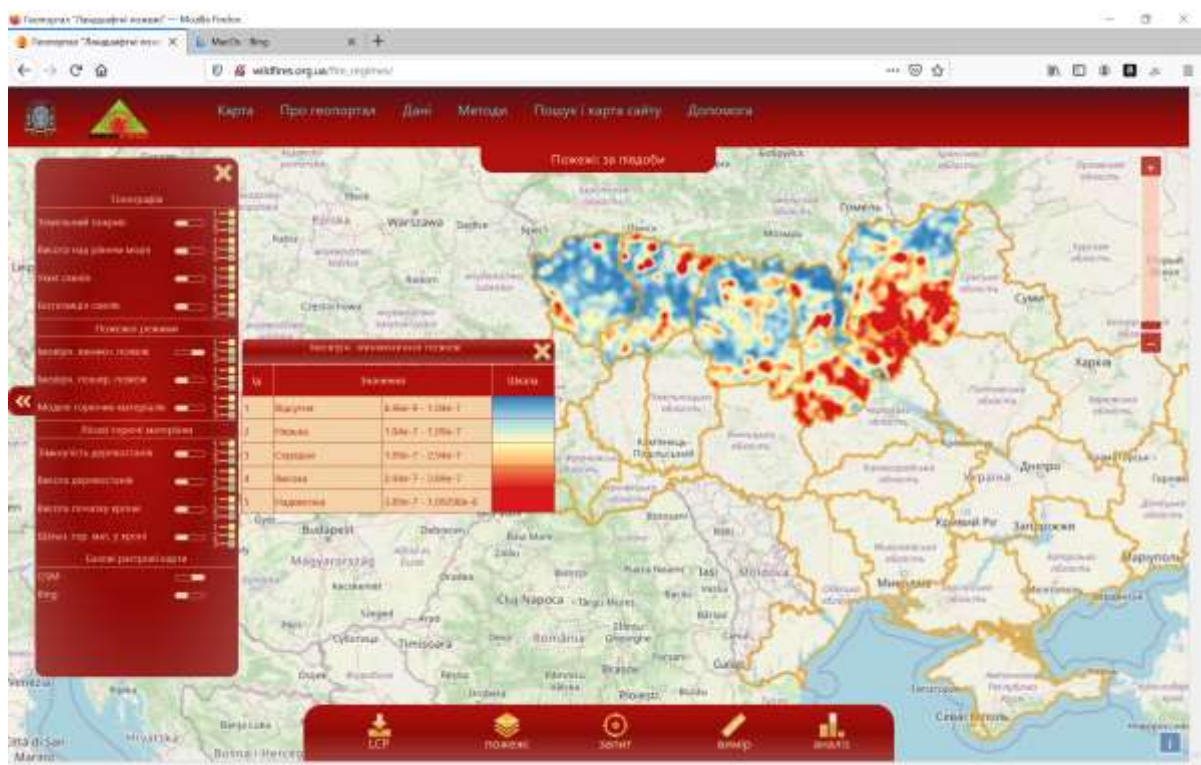















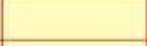









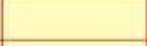









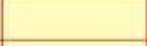





























Рисунок 4.7– Управління шарами на геопорталі (шар ландшафту на фоні знімків *Bing Satellite*)























































Слід також зазначити, що вихідні дані для одинадцяти растрових шарів, що перелічено у таблиці 4.2, було представлено у форматі *GeoTIFF* з файлом умовних позначень у форматі *qml*. Для ефективного відтворення цих растрів на геопорталі було виконано їх перетворення у формат *mbtiles* від 8-го до 15-го рівнів зуму (масштабу). Шкали кольорів наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Кольорові шкали до растрових шарів

№ з.п.	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд		
1.	Висота над рівнем моря	Ід.	Значення	Шкала
			90 м	
		1	166.75 м	
		2	243.5 м	
		3	320.25 м	
		4	397 м	
2.	Ухил схилу	Ід.	Значення	Шкала
			0 °	
		1	2.5 °	
		2	5 °	
		3	7.5 °	
		4	10 °	
		5	23 °	

№ з.п.	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																																	
3.	Експозиція схилу	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 434 756 524">Ід.</th> <th data-bbox="756 434 1267 524">Значення</th> <th data-bbox="1267 434 1414 524">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>89 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>179 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>269 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>360 °</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала		0 °		1	89 °		2	179 °		3	269 °		4	360 °																
Ід.	Значення	Шкала																																	
	0 °																																		
1	89 °																																		
2	179 °																																		
3	269 °																																		
4	360 °																																		
4.	Модель горючих матеріалів	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 920 756 972">Ід.</th> <th data-bbox="756 920 1267 972">Значення</th> <th data-bbox="1267 920 1414 972">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>91</td> <td>NB1-Негорючі території</td> <td></td> </tr> <tr> <td>98</td> <td>NB8-Негорючі території</td> <td></td> </tr> <tr> <td>99</td> <td>NB8-Негорючі території</td> <td></td> </tr> <tr> <td>101</td> <td>GR1-Трав'яниста рослинність</td> <td></td> </tr> <tr> <td>102</td> <td>GR2-Трав'яниста рослинність</td> <td></td> </tr> <tr> <td>121</td> <td>GS1-Трав'янисто-чагарникова рослинність</td> <td></td> </tr> <tr> <td>142</td> <td>SH2-Чагарникова рослинність</td> <td></td> </tr> <tr> <td>161</td> <td>TU1-Піднаметова рослинність</td> <td></td> </tr> <tr> <td>182</td> <td>TL2-Деревний опад</td> <td></td> </tr> <tr> <td>188</td> <td>TL8-Деревний опад</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала	91	NB1-Негорючі території		98	NB8-Негорючі території		99	NB8-Негорючі території		101	GR1-Трав'яниста рослинність		102	GR2-Трав'яниста рослинність		121	GS1-Трав'янисто-чагарникова рослинність		142	SH2-Чагарникова рослинність		161	TU1-Піднаметова рослинність		182	TL2-Деревний опад		188	TL8-Деревний опад	
Ід.	Значення	Шкала																																	
91	NB1-Негорючі території																																		
98	NB8-Негорючі території																																		
99	NB8-Негорючі території																																		
101	GR1-Трав'яниста рослинність																																		
102	GR2-Трав'яниста рослинність																																		
121	GS1-Трав'янисто-чагарникова рослинність																																		
142	SH2-Чагарникова рослинність																																		
161	TU1-Піднаметова рослинність																																		
182	TL2-Деревний опад																																		
188	TL8-Деревний опад																																		
5.	Зімкнутість деревостану	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="715 1469 788 1559">Ід.</th> <th data-bbox="788 1469 1246 1559">Значення</th> <th data-bbox="1246 1469 1382 1559">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>13 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>26 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>39 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>52 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>65 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>78 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>90 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>100 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала		13 %		1	26 %		2	39 %		3	52 %		4	65 %		5	78 %		6	90 %		7	100 %							
Ід.	Значення	Шкала																																	
	13 %																																		
1	26 %																																		
2	39 %																																		
3	52 %																																		
4	65 %																																		
5	78 %																																		
6	90 %																																		
7	100 %																																		

№ з.п.	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																					
6.	Висота деревостану	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="679 434 756 524">Ід.</th> <th data-bbox="756 434 1267 524">Значення</th> <th data-bbox="1267 434 1410 524">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>6.5 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>13 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>19.5 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>26 м</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала		0 м		1	6.5 м		2	13 м		3	19.5 м		4	26 м				
Ід.	Значення	Шкала																					
	0 м																						
1	6.5 м																						
2	13 м																						
3	19.5 м																						
4	26 м																						
7.	Висота початку крони	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="679 920 756 1010">Ід.</th> <th data-bbox="756 920 1267 1010">Значення</th> <th data-bbox="1267 920 1410 1010">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2.73 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>5.46 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8.2 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>10.9 м</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>13.7 м</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала		0 м		1	2.73 м		2	5.46 м		3	8.2 м		4	10.9 м		5	13.7 м	
Ід.	Значення	Шкала																					
	0 м																						
1	2.73 м																						
2	5.46 м																						
3	8.2 м																						
4	10.9 м																						
5	13.7 м																						
8.	Щільність горючих матеріалів у кроні	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="679 1487 756 1576">Ід.</th> <th data-bbox="756 1487 1267 1576">Значення</th> <th data-bbox="1267 1487 1410 1576">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0 кг/м³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0.027 кг/м³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.054 кг/м³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.081 кг/м³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.108 кг/м³</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.135 кг/м³</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення	Шкала		0 кг/м ³		1	0.027 кг/м ³		2	0.054 кг/м ³		3	0.081 кг/м ³		4	0.108 кг/м ³		5	0.135 кг/м ³	
Ід.	Значення	Шкала																					
	0 кг/м ³																						
1	0.027 кг/м ³																						
2	0.054 кг/м ³																						
3	0.081 кг/м ³																						
4	0.108 кг/м ³																						
5	0.135 кг/м ³																						

№ з.п.	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																																				
9.	Земельний покрив	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="671 369 746 434">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="746 369 1273 434">Значення</th> <th data-bbox="1273 369 1422 434">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="671 434 746 477">1</td> <td data-bbox="746 434 1010 477">Водойми</td> <td data-bbox="1010 434 1273 477"></td> <td data-bbox="1273 434 1422 477"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 477 746 519">2</td> <td data-bbox="746 477 1010 519">Воддно-болотні угіддя</td> <td data-bbox="1010 477 1273 519"></td> <td data-bbox="1273 477 1422 519"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 519 746 562">3</td> <td data-bbox="746 519 1010 562">Населені пункти</td> <td data-bbox="1010 519 1273 562"></td> <td data-bbox="1273 519 1422 562"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 562 746 604">4</td> <td data-bbox="746 562 1010 604">Інші непродуктивні землі</td> <td data-bbox="1010 562 1273 604"></td> <td data-bbox="1273 562 1422 604"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 604 746 647">5</td> <td data-bbox="746 604 1010 647">Сільськогосподарські угіддя</td> <td data-bbox="1010 604 1273 647"></td> <td data-bbox="1273 604 1422 647"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 647 746 689">6</td> <td data-bbox="746 647 1010 689">Травостої</td> <td data-bbox="1010 647 1273 689"></td> <td data-bbox="1273 647 1422 689"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 689 746 732">7</td> <td data-bbox="746 689 1010 732">Чагарники</td> <td data-bbox="1010 689 1273 732"></td> <td data-bbox="1273 689 1422 732"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 732 746 775">8</td> <td data-bbox="746 732 1010 775">Лісовий покрив</td> <td data-bbox="1010 732 1273 775"></td> <td data-bbox="1273 732 1422 775"></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення		Шкала	1	Водойми			2	Воддно-болотні угіддя			3	Населені пункти			4	Інші непродуктивні землі			5	Сільськогосподарські угіддя			6	Травостої			7	Чагарники			8	Лісовий покрив		
Ід.	Значення		Шкала																																			
1	Водойми																																					
2	Воддно-болотні угіддя																																					
3	Населені пункти																																					
4	Інші непродуктивні землі																																					
5	Сільськогосподарські угіддя																																					
6	Травостої																																					
7	Чагарники																																					
8	Лісовий покрив																																					
10.	Імовірн. виникнення пожеж	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="671 822 746 887">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="746 822 1273 887">Значення</th> <th data-bbox="1273 822 1422 887">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="671 887 746 952">1</td> <td data-bbox="746 887 1010 952">Відсутня</td> <td data-bbox="1010 887 1273 952">8.96e-9 - 1.04e-7</td> <td data-bbox="1273 887 1422 952"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 952 746 1016">2</td> <td data-bbox="746 952 1010 1016">Низька</td> <td data-bbox="1010 952 1273 1016">1.04e-7 - 1.99e-7</td> <td data-bbox="1273 952 1422 1016"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1016 746 1081">3</td> <td data-bbox="746 1016 1010 1081">Середня</td> <td data-bbox="1010 1016 1273 1081">1.99e-7 - 2.94e-7</td> <td data-bbox="1273 1016 1422 1081"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1081 746 1146">4</td> <td data-bbox="746 1081 1010 1146">Висока</td> <td data-bbox="1010 1081 1273 1146">2.94e-7 - 3.89e-7</td> <td data-bbox="1273 1081 1422 1146"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1146 746 1200">5</td> <td data-bbox="746 1146 1010 1200">Надвисока</td> <td data-bbox="1010 1146 1273 1200">3.89e-7 - 1.09298e-6</td> <td data-bbox="1273 1146 1422 1200"></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення		Шкала	1	Відсутня	8.96e-9 - 1.04e-7		2	Низька	1.04e-7 - 1.99e-7		3	Середня	1.99e-7 - 2.94e-7		4	Висока	2.94e-7 - 3.89e-7		5	Надвисока	3.89e-7 - 1.09298e-6													
Ід.	Значення		Шкала																																			
1	Відсутня	8.96e-9 - 1.04e-7																																				
2	Низька	1.04e-7 - 1.99e-7																																				
3	Середня	1.99e-7 - 2.94e-7																																				
4	Висока	2.94e-7 - 3.89e-7																																				
5	Надвисока	3.89e-7 - 1.09298e-6																																				
11.	Імовірність поширення пожеж	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="671 1209 746 1274">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="746 1209 1273 1274">Значення</th> <th data-bbox="1273 1209 1422 1274">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="671 1274 746 1339">1</td> <td data-bbox="746 1274 1010 1339">Відсутня</td> <td data-bbox="1010 1274 1273 1339">0 - 0.000375</td> <td data-bbox="1273 1274 1422 1339"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1339 746 1404">2</td> <td data-bbox="746 1339 1010 1404">Низька</td> <td data-bbox="1010 1339 1273 1404">0.000375 - 0.00075</td> <td data-bbox="1273 1339 1422 1404"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1404 746 1469">3</td> <td data-bbox="746 1404 1010 1469">Середня</td> <td data-bbox="1010 1404 1273 1469">0.00075 - 0.00113</td> <td data-bbox="1273 1404 1422 1469"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1469 746 1534">4</td> <td data-bbox="746 1469 1010 1534">Висока</td> <td data-bbox="1010 1469 1273 1534">0.00113 - 0.0015</td> <td data-bbox="1273 1469 1422 1534"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="671 1534 746 1581">5</td> <td data-bbox="746 1534 1010 1581">Надвисока</td> <td data-bbox="1010 1534 1273 1581">0.0015 - 0.0023</td> <td data-bbox="1273 1534 1422 1581"></td> </tr> </tbody> </table>	Ід.	Значення		Шкала	1	Відсутня	0 - 0.000375		2	Низька	0.000375 - 0.00075		3	Середня	0.00075 - 0.00113		4	Висока	0.00113 - 0.0015		5	Надвисока	0.0015 - 0.0023													
Ід.	Значення		Шкала																																			
1	Відсутня	0 - 0.000375																																				
2	Низька	0.000375 - 0.00075																																				
3	Середня	0.00075 - 0.00113																																				
4	Висока	0.00113 - 0.0015																																				
5	Надвисока	0.0015 - 0.0023																																				

Слід зазначити, що у 9-ти шарах ми маємо справу з так званими градуйованими шкалами, де безперервний перехід від одного значення показника до іншого супроводжується плавним переходом кольорів. Так висота над рівнем моря від 90 до 397 м супроводжується переходом кольору від зеленого через жовтий до червоного. У двох інших шарах («Модель горючих матеріалів» і «Земельний покрив») кольори призначені окремим категоріям. Так, у шарі «Земельний покрив» категорії «Водойми» відповідає блакитний колір, категорії «Лісовий покрив» – зелений і т.д.

4.4 Система управління базами даних

Як систему управління базами даних (СУБД) було вибрано *Postgresql 9.6*. Крім того, використовують кілька розширень, які додають деякі нові типи даних і функціональність у стандартну установку *Postgresql* (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Розширення *Postgresql*

№ з.п.	Назва	Призначення	Версія	Ліцензія
1	Postgis	додає підтримку географічних об'єктів до об'єктно-реляційної бази даних PostgreSQL	3.0	GNU GPL 2
2	Dblink	підключають до інших баз даних PostgreSQL із даної бази даних	1.2	PostgreSQL License
3	pgRouting	розширює можливості просторової бази даних на основі PostGIS/PostgreSQL для забезпечення маршрутизації та інших функцій мережевого аналізу	2.6	GPLv2

База даних має дві схеми. У першій схемі (таксаційній) містяться таблиці, які відносять до лісовпорядної бази даних. У другій (пожежній схемі даних) містяться таблиці з даними, які відображені на геопорталі за допомогою *WMS* (таблиця 4.2), про термальні аномалії, що були визначені супутниками *NASA Terra, Aqua, SUOMI NPP, NOAA-20*, а також дані про згарища радіометра *MODIS* [27].

4.4.1 Моделі даних

Таксаційна схема містить в собі таблиці, наповнення яких відбувається ВО Укрдержліспроєкт під час проведення базового і безперервного лісовпорядкування. Під час виконання робіт із створенню геопорталу було використано дані лісовпорядкування 2016 року. ER-діаграма³ бази даних відображена на рисунку 4.8. У таблиці 4.5 наведено довідку за таблицями, які наповнювались у результаті останніх лісовпорядних робіт.

³ ER(entity-relation)-діаграма – у даному випадку показує зміст таблиць і зв'язки між ними

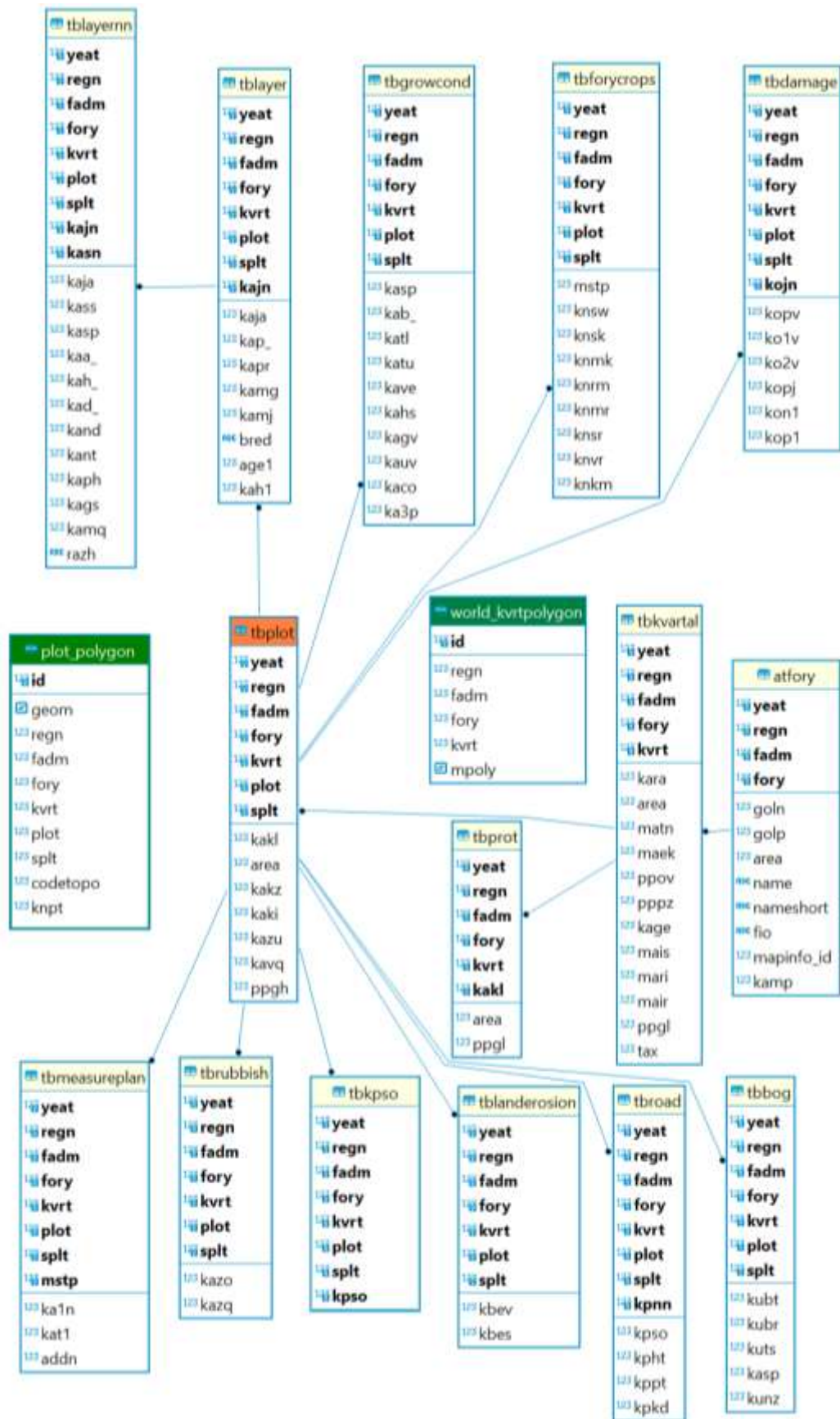


Рисунок 4.8. ER-діаграма таксаційної схеми даних

Таблиця 4.5 – Характеристика таблиць таксаційної схеми даних

№ з.п.	Назва таблиці	Зміст інформації	Кількість записів	Зв'язок з іншими таблицями
1.	atfory	Дані про лісництва	7	tbkvartal
2.	tbkvartal	Дані про квартали	2117	tbprot, world_kvrtpolygon
3.	tbprot	Дані про підкатегорії лісу	2117	tbplot
4.	tbplot	Загальні дані про виділ	58196	plot_polygon, tbroad, tbbog, tbdamage, tbforcrops, tbgrowcond, tblayer, tblayernn, tbmeasureplan, tblanderosion, tbkpso, tbrubbish
5.	plot_polygon	Мультиполігон виділу	54334	
6.	tbroad	Дані про дорогу	5370	
7.	tbbog	Дані про болото	3969	
8.	tbdamage	Дані про пошкодження насаджень	4349	
9.	tbforcrops	Дані про лісові культури	579	
10.	tbgrowcond	Дані про умови зростання насаджень	47488	
11.	tblayer	Дані про ярус	72128	tblayernn
12.	tblayernn	Дані за породами	135854	
13.	tbmeasureplan	Дані по запроєктованим лісгосподарським заходам	10475	
14.	tblanderosion	Дані про ерозію ґрунту	157	
15.	tbkpso	Дані про особливості виділу	44451	
16.	tbrubbish	Дані про захаращення	9948	
17.	world_kvrtpolygon			

Пожежна схема бази даних (рисунок 4.9) складається із семи таблиць, дані про які наведено у таблиці 4.5.

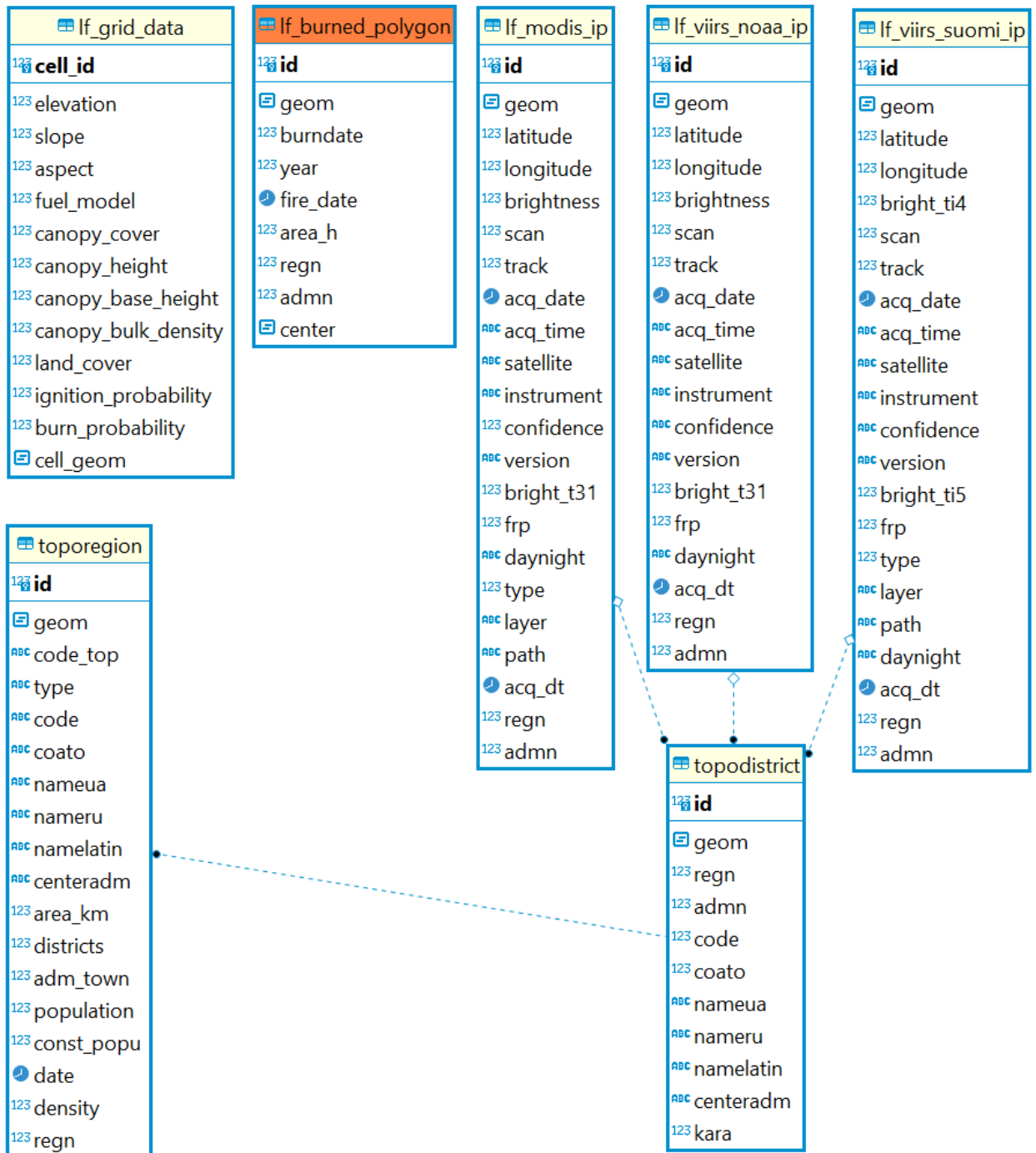


Рисунок 4.9 – ER-діаграма пожежної схеми даних.

Таблиця 4.6 – Характеристика таблиць пожежної схеми даних

№ з.п.	Назва таблиці	Зміст інформації	Кількість записів	Об'єм дискової пам'яті, мегабайт	Часовий діапазон
4	toporegion	Дані про адміністративні області	27	2.1	перепис населення 2001 р.
5	topodistrict	Дані про адміністративні райони	1309	6.1	перепис населення 2001 р.
6	lf_grid_data	Дані у гріді з коміркою 100x100 м на території Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, і Чернігівської областей	40,599,284	7168	дані за 2015 р.
7	lf_burned_polygon	Дані колекції MODIS про згарища у вигляді полігонів згорілої площі за датою	2,069,357	896	01.11.2000-30-06-2020
8	lf_modis_ip	Дані радіометра MODIS про загорання із супутників Terra і Aqua	618,726	285	01.11.2001-07.12.2020
9	lf_viirs_noaa_ip	Дані радіометра VIIRS про загорання із супутника NOAA-20	128,370	46	23.12.2019-07.12.2020
10	lf_viirs_suomi_ip	Дані радіометра VIIRS про загорання із супутника Suomi NPP	1,014,607	461	23.01.2012-07.12.2020

Дані таблиці *lf_burned_polygon* за 2002–2020 було отримано за *ftp*-посиланням *ba1.geog.umd.edu*. Кінцева дата даних про згарища у каталозі Collection6 цього ресурсу обмежується 30 червня 2020 року. Фактично це так званий продукт *MCD64A1* [27], що побудовано на гріді з коміркою 463 м. У кожній комірці записано номер дня пожежі у діапазоні 1 – 365 для невисокосного року. Перевід номера дня у дату виконують спеціальною функцією на мові *plpgsql* на стороні СУБД. Суміжні комірки з одним значенням номеру дня було об'єднано в окремі полігони і представлено у вигляді файлів *shape*, які розподілено за регіонами і роками. На згаданому *FTP*-сервері зберігаються дані по 24 регіонам світу з 2000 по 2020 роки. Дані України розміщені у 8-му і 15-му регіонах. Тому перед завантаженням дані цих двох регіонів спочатку були об'єднані, а потім очищені від даних за межами України.

4.4.2 Оптимізація запитів

Для прискорення виконання запитів було створено і протестовано 29 індексів (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Індеси пожежної схеми даних

№ з.п.	Таблиця	Назва індексу	Тип індексу	Поля	Розмір, Мб
1	lf_burned_polygon	lf_burned_polygon_pkey	btree ⁴	id	44
2		lf_burned_polygon_regn_idx	btree	regn	44
3		lf_burned_polygon_admn_idx	btree	admnn	44
4		lf_burned_polygon_regn_admn_idx	btree	regn, admnn	44
5		sidx_lf_burned_polygon_center	gist ⁵	center	111
6		sidx_lf_burned_polygon_geom	gist	geom	110
7	lf_modis_ip	modis_ip_pkey	btree	id	13
8		lf_modis_regn_idx	btree	regn	13
9		lf_modis_admn_idx	btree	admnn	13
10		lf_modis_regn_admn_idx	btree	regn, admnn	13
11		lf_modis_ip_acq_dt	btree	acq_dt	13
12	lf_viirs_noaa_ip	lf_viirs_noaa_ip_lldd	btree	latitude, longitude, acq_date, acq_time	29
13		sidx_viirs_noaa_ip_geom	gist	geom	34
14		lf_viirs_noaa_ip_pkey	btree	id	2,8
15		lf_viirs_noaa_regn_idx	btree	regn	2,8
16		lf_viirs_noaa_admn_idx	btree	admnn	2,8
17		lf_viirs_noaa_regn_admn_idx	btree	regn, admnn	2,8
18		lf_viirs_noaa_ip_acq_dt	btree	acq_dt	13
19		lf_viirs_noaa_ip_lldd	btree	latitude, longitude, acq_date, acq_time	2,8
20	sidx_lf_viirs_noaa_ip_geom	gist	geom	7,3	
21	lf_viirs_suomi_ip	lf_viirs_suomi_ip_pkey	btree	id	21
22		lf_viirs_suomi_regn_idx	btree	regn	21
23		lf_viirs_suomi_admn_idx	btree	admnn	21
24		lf_viirs_suomi_regn_admn_idx	btree	regn, admnn	21
25		lf_viirs_suomi_ip_acq_dt	btree	acq_dt	21
26		lf_viirs_suomi_ip_lldd	btree	latitude, longitude, acq_date, acq_time	48
27		sidx_lf_viirs_suomi_ip_geom	gist	geom	56
28	lf_grid_data	lf_grid_data_pkey	btree	cell_id	869
29		idx_lf_grid_data_cell_geom	gist	cell_geom	2355,2

⁴ Btree, він же В-дерево, придатний для даних, які можна відсортувати. Іншими словами, для типу даних повинні бути визначені оператори «більше», «більше або дорівнює», «менше», «менше або дорівнює» і «дорівнює»

⁵ GiST для побудови індексів використовує один з декількох алгоритмів, найбільш придатних під тип індексируемого поля. За замовчуванням PostgreSQL надає індекси для деяких типів даних, таких як геометричні типи, мережеві адреси, діапазони і т.д.

У результаті використання зазначених індексів маємо наступні показники часу виконання запитів, які використовують для аналізу даних про займання і згарища.

Таблиця 4.8 – Показники продуктивності виконання запитів

№ з.п.	Назва	Зміст	Кількість записів	Час виконання, сек
1	__lf_select_fire_count_by_date_ranges	Кількість займань у заданому діапазоні часу і регіоні	1762715	13
2	__lf_select_area_values	Кількість згарищ у заданому діапазоні часу і регіоні	2069357	2

Під час виконання розподілу площ згарищ за алгоритмом Дженкса, яка виконується на стороні сервера, спостерігається зростання часу виконання розподілу за гіперболічним законом. Було проведено 25 вимірів продуктивності виконання розподілу, які відображено у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Виміри продуктивності виконання розподілу Дженкса

№ з.п.	Початкова дата	Кінцева дата	Кількість пожеж	Час, сек
11	01.05.2020	30.06.2020	930	1,684
12	01.03.2020	30.06.2020	4257	1,728
13	01.11.2019	30.06.2020	6149	1,376
14	01.10.2019	30.06.2020	27419	8,105
15	01.09.2019	30.06.2020	30279	9,757
16	01.08.2019	30.06.2020	37249	13,571
17	01.07.2019	30.06.2020	44295	18,639
18	01.06.2019	30.06.2020	47525	20,731
19	01.03.2019	30.06.2020	49603	22,802
20	01.06.2018	30.06.2020	64786	37,089
21	01.03.2018	30.06.2020	72590	46,154
22	01.09.2017	30.06.2020	81233	59,874
23	01.08.2017	30.06.2020	98410	83,69
24	01.06.2017	30.06.2020	122729	131,578
25	01.03.2017	30.06.2020	132406	154,747

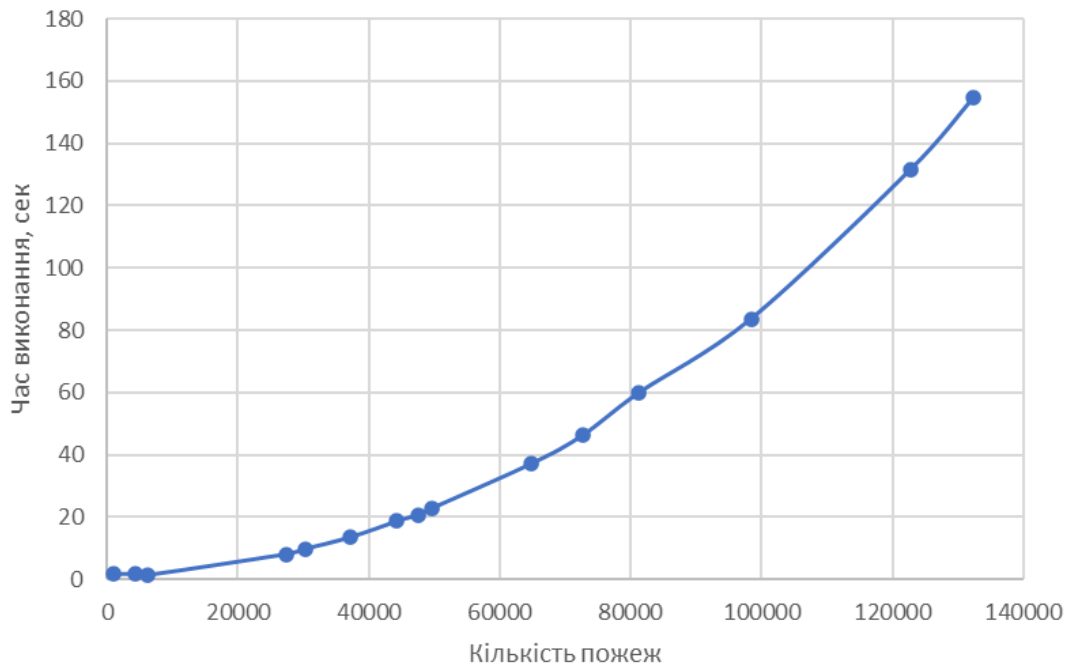


Рисунок 4.10 – Залежність часу виконання розподілу площ пожеж на класи за Дженксом від кількості даних вибірки

Апроксимація залежності, зображеної на рисунку 4.10, як параболічної з коефіцієнтом кореляції 0,999853 виражається у вигляді формули 4.1

$$Y = 0.000\ 000\ 008\ 7 * X^2 - 0.000\ 003\ 483\ 6 * X + 1.2788522834 \quad (4.1)$$

Для зменшення часу виконання розподілу площ на класи за Дженксом пропонують встановити поріг у кількості пожеж (наприклад, $N = 30000$ для забезпечення часу виконання процедури не більше 10 секунд). У разі перевищення порогу із генеральної вибірки площ генерується випадкова вибірка N значень, яка і буде використовуватись для встановлення природних розривів Дженкса. У перспективі потрібно буде розробити метод формування репрезентативної вибірки.

4.5 Модель інформаційних потоків односторінкового вебдодатка

Для розробки вебдодатка геопорталу було застосовано підхід під назвою односторінковий додаток (*single page application*), який проілюстровано на рисунку 4.11. Цей підхід передбачає спільне використання серверної і клієнтської частини. Використовуючи їх взаємодію, створюється додаток, який працює без перезавантаження сторінки в браузері.

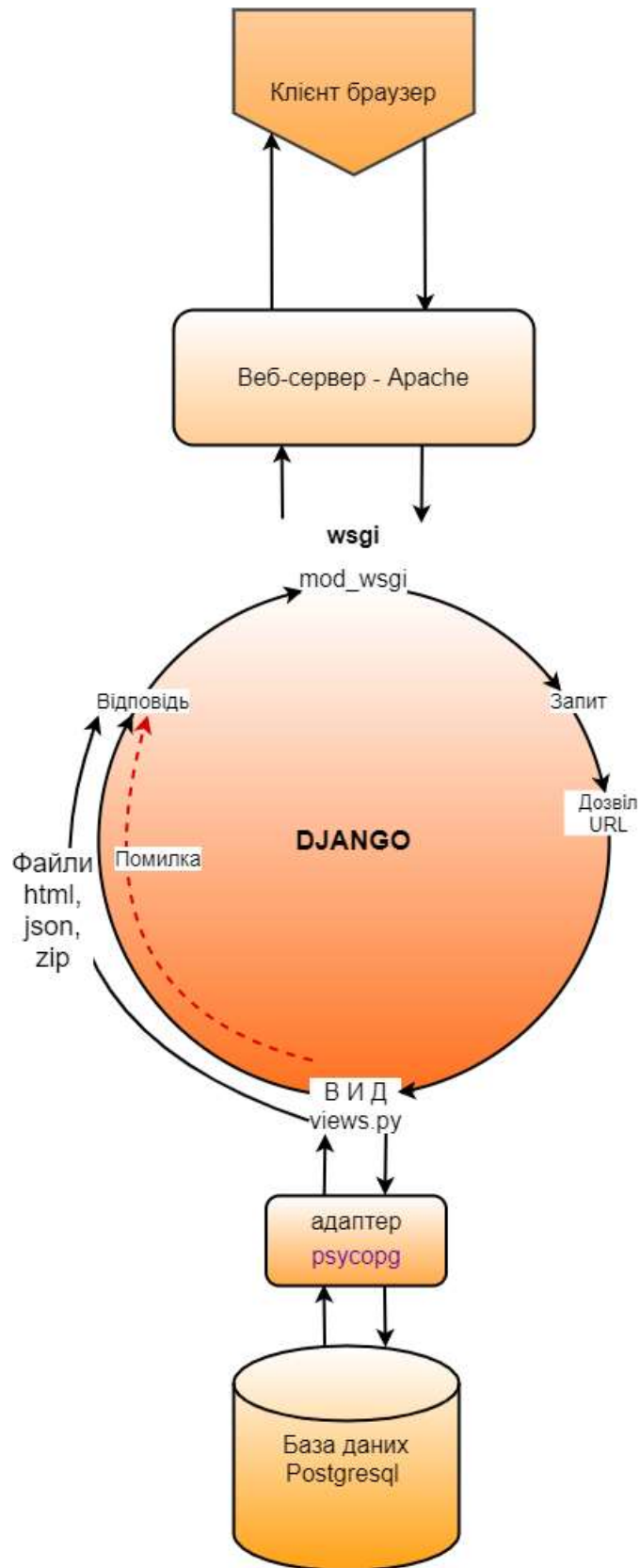


Рисунок 4.11 – Схема взаємодії компонентів під час роботи веб-додатка Вебсервер разом

Розглянемо роботу односторінкового додатка на прикладі виводу на карту даних про минулі згарища. Припустимо потрібно вивести дані за два дні: з 29 по 30 квітня 2015. Для цього користувач у межах певного *html*-елемента *div* на вкладці «Згарища» задає початкову і кінцеву дату (рис. 12).

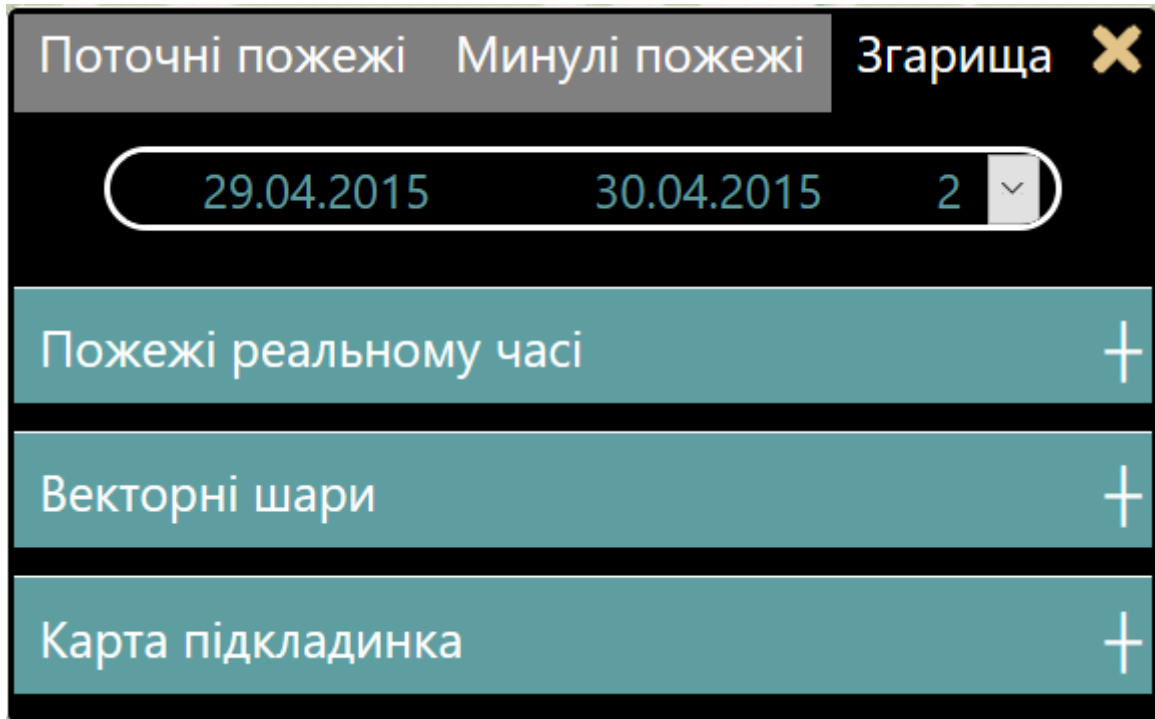


Рисунок 4.12 – Визначення періоду появи згарищ (пожежі в реальному часі)

Зміна дат тягне за собою виклик функції *ADJAX* у кодї *javascript*, яка бере початкову і кінцеву дату як параметри.

```

async function LoadBurntPolygonsAsync(sd, fd) {
  //sd - Start date
  //fd - Finish date
  try{
    const result = await $.ajax({
      type: "GET",
      url: '/backendemo/burnt_polygons',
      data: {'start_time': sd, 'finish_time': fd},
      dataType: "html",
      cache: false,
      success: function(data) {
        LoadBurntPolygonsMap(data);
      },
      error: function(data) {}
    })
    return result
  }
  catch (error) {
    console.error(error);
  }
}

```

Формується

наступний

http-запит:*GET*-

[http://wildfires.org.ua/backendemo/burnt_polygons/?start_time=2015-4-29
&finish_time=2015-4-30](http://wildfires.org.ua/backendemo/burnt_polygons/?start_time=2015-4-29&finish_time=2015-4-30)

Цей запит опиняється на хості <http://wildfires.org.ua>, де він обробляється вебсервером *Apache*, далі модулем *mod_wsgi*, який і передає його у додаток *Django*. Далі перевіряється допустимість *URL* шляхом пошуку *backendemo/burnt_polygons* у файлі *urls.py*

```
urlpatterns = [
    ...
    url(r'^burnt_polygons/$', views.select_burnt_polygons, name='burnt_polygons', ),
], ]
```

За вказаним посиланням виконується функція *views.select_burnt_polygons*, у якій формується і виконується запит до СУБД *Postgresql*.

```
def select_burnt_polygons(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        st = params['start_time']
        ft = params['finish_time']

        qr = 'select id,area_h::double precision, fire_date::text,
ST_AsText(geom) ' \
'from myfire.lf_burned_polygon where fire_date >= %s and fire_date <= %s'
        plist = [st, ft]

        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

    except Exception as e:
        return HttpResponse('Помилка '+str(e), content_type='text/html')
```

СУБД повертає записи із значеннями полів *id*, *area_h*, *fire_date*, *geom*. Ці записи конвертуються у формат *json*, зміст якого виглядає наступним чином:

```
[[1745659, 15.0, "2015-04-29 00:00:00", "MULTIPOLYGON(((3325506.7
6683370.06,3325996          6683370.06,3325996          6682586.94,3325506.7
6682586.94,3325506.7 6683370.06)))"], [1745671, 15.0, "2015-04-29 00:00:00",
"MULTIPOLYGON(((3327463.5 6681020.73,3327952.7 6681020.73,3327952.7
6680237.66,3327463.5 6680237.66,3327463.5 6681020.73)))"],...]
```

Дані у форматі *json* далі використовують для відображення згарищ на карті (рисунок 4.13).

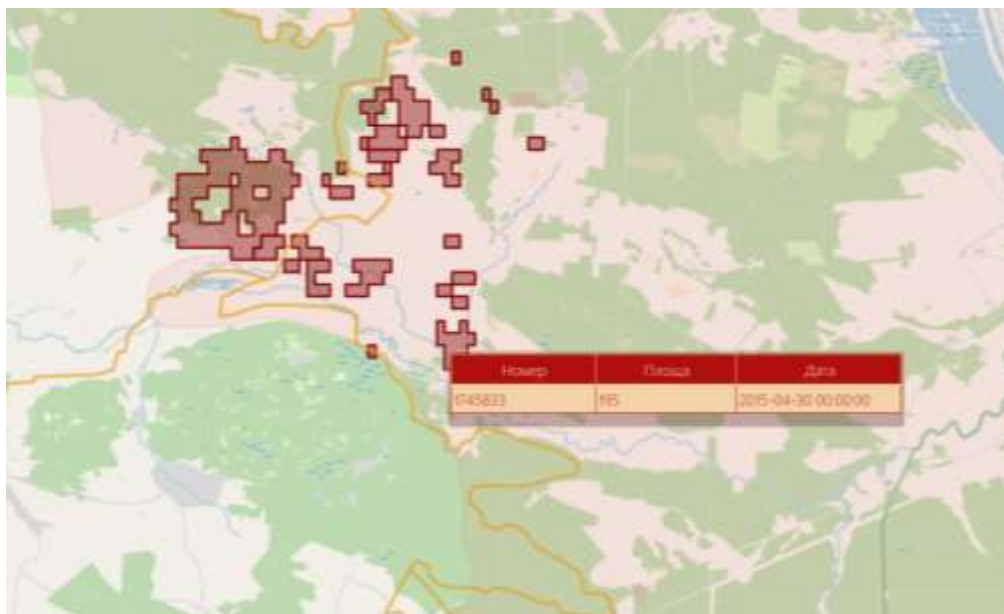


Рисунок 4.13 – Результат виконання запиту про наявність згарищ за період з 29 по 30 квітня 2015 р. у Чорнобильській зоні відчуження

4.6 Склад вебсторінок геопорталу (результати 2020 р.)

Після введення імені і паролю відбувається перехід на сторінку вебдодатка з відображенням меню геопорталу (рисунок 4.14). Сторінку вебдодатка викликають з інших сторінок вибором пункту меню «Карта». Крім того, окремі сторінки викликають під час вибору решти пунктів меню:

- Про геопортал (рисунок 4.15)
- Дані (рисунок 4.16)
- Методи (рисунок 4.17)

На кожній із цих сторінок незмінною залишається верхня панель меню. Останні три сторінки викликають як незмінні *HTML* файли, в яких використовують низку тегів для відображення тексту, таблиць, рисунків і посилань на літературні джерела, що розміщено у різних ресурсах мережі Інтернет.

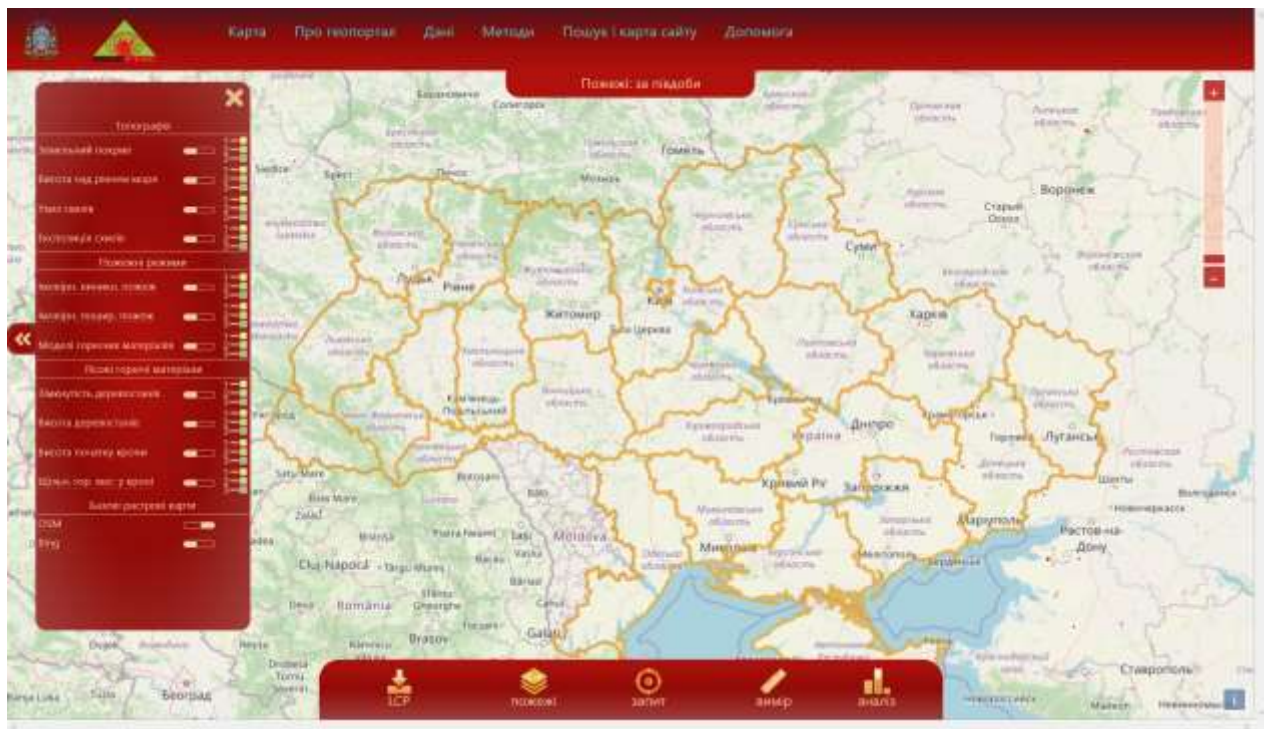


Рисунок 4.14 – Вебдодаток з головним меню

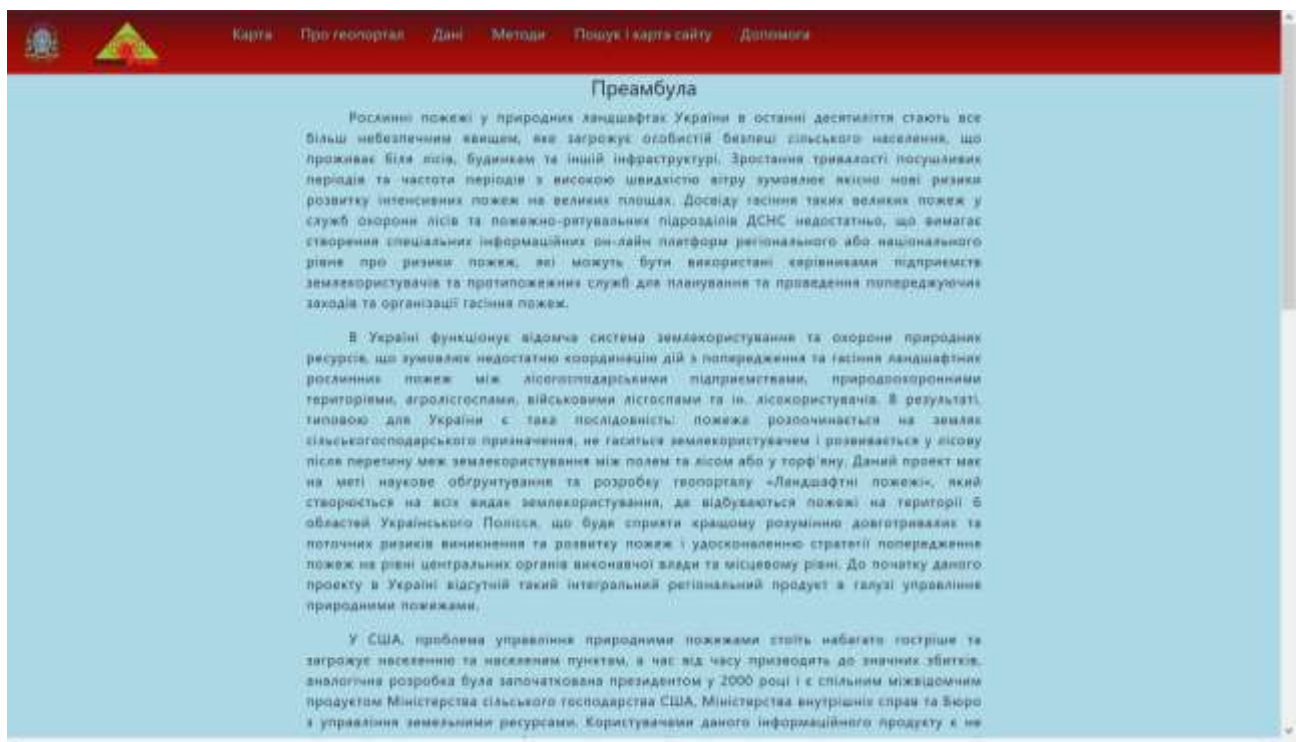


Рисунок 4.15 – Вебсторінка «Про геопортал»

Карта Про геортал Дані Методи Пошук і карта сайту Допомога

Дані

Геопросторову основу для моделювання ризиків пожеж формув набір тематичних шарів, що відображають біофізичні параметри ландшафту. Нижче наведено короткий опис цих шарів та використані джерела даних для їхнього створення.

Топографія

Земельний покрив. Просторове представлення типів земельного покриття виконано після агрегації до просторового розділення 90 м карти, розробленої на основі супутникових знімків Landsat. Легенда карти містить вісім основних категорій земельного покриття, а її загальна точність щільності на рівні 0,877 ± 0,008 [Myroniuk et al., 2020].

Категорія земельного покриття	Гідкатегорія земельного покриття
Водойми	Якщо озера; водосховища
Водно-болотні угіддя	Сезонні водноболотні низини; болото верхові; набережна рослинність
Населені пункти	Урбанізовані території; сільські території; транспортні шляхи
Інші непродуктивні землі	Глиокі каміни; інші землі
Сільськогосподарські угіддя	Рілля; зрошувальні угіддя; незрошувальні угіддя; фруктові сади
Травостой	Луки; травостой з поодинокими деревами; травостой з кущовою рослинністю; розріджені трапляна рослинність
Чагарники	Чагарники; чагарники з поодинокими деревами
Ліс	Хвойний ліс (частка хвойних видів у деревному наметі > 75 %); листяний ліс (частка листяних видів у деревному наметі > 75 %); мішаний ліс; пожевозмінені лісові угіддя; місця насаджень; природне відновлення лісу на сільськогосподарських землях; пошкоджені (і, що відновляються) лісові насаджени

Висота над рівнем моря (elevation). Цифрове представлення рельєфу місцевості відповідно до глобальної моделі SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, 90 м.

Ухил (slope) експозиція схилів (aspect). Показники крутизни та орієнтація нахиленої поверхні місцевості, розраховані на основі глобальної моделі рельєфу SRTM. Показники крутизни та орієнтація

Рисунок 4.16 – Вебсторінка «Дані»

Карта Про геортал Дані Методи Пошук і карта сайту Допомога

Методи

Прогностичне моделювання ризиків природних пожеж викликає неблизький інтерес для попередження значних фінансових витрат і негативних наслідків соціально-екологічного характеру. Потреба в кількісному оціненні ризиків зумовила розвиток сучасних підходів щодо моделювання умов виникнення та розвитку пожеж на ландшафтному рівні. Основні дослідження щодо оцінювання ризиків пожеж пов'язані передусім із удосконаленням програмного забезпечення для моделювання поширення пожеж залежно від біофізичних параметрів природних ландшафтів. Нині існує достатньо програм, які дозволяють спрогнозувати розвиток як окремої пожежі залежно від умов погоди, так і дослідити ймовірність потенційних ризиків на підставі даних імітаційного моделювання «штучних» пожеж (наприклад, FARSITE, FlamMap, BehavePlus).

У професійній спільноті вчених, які досліджують природні пожежі, під поняттям «ризик пожеж» розуміють потенційну небезпеку реалізації небажаних для людського життя, власності або оточуючого середовища наслідків, спричинених пожежами. Мірилом цих ризиків виступає ймовірність цих подій, яка може виражатися як ймовірність виникнення пожеж (ignition probability), так і ймовірність розвитку пожеж (burn probability). У технічному плані оцінити ймовірність виникнення пожеж достатньо просто на підставі координат історичних пожеж, які сталися на території впродовж певного часу. Янайкраще з цією метою підходять доступні в більшості сучасних ГІС методи інтерполяції за допомогою функцій розсіювання щільності точок на одиницю площі (kernel density). На відміну від цього ймовірність розвитку пожеж може бути встановлена тільки на підставі результату імітаційного моделювання (рис. 1).



Рисунок 4.17 – Вебсторінка «Методи»

4.7 Дизайн вебдодатка (результати 2020 р.)

Вебдодаток складається із ряду діалогових вікон, які передусім містять елементи управління.

Елементи управління вебдодатка умовно можна розділити на три категорії:

- Елементи навігації:
 - меню;
 - вкладки.
- Елементи умови, що визначають параметри для запиту до бази даних або до функцій, реалізованих на Python на стороні сервера:
 - календар для вибору дат;
 - повзунки для вибору діапазону значень;
 - прапорці для вибору фіксованих значень;
 - кнопки-піктограми, які допомагають вибирати різні інструменти відображення;
 - списки;
 - області перетягування;
 - меню, що випадають.
- Результуючі елементи відображають результати виконання запиту:
 - таблиці;
 - діаграми;
 - графіки.

4.7.1 Меню вебдодатка

Меню у нижній частині вікна вебдодатка і його елементи у вигляді кнопок з різними піктограмами слугує для виклику інших діалогових вікон (рис. 4.18). Всі три пункти підменю *LCP* слугують для виклику діалогу запиту фрагмента *LCP* на задану територію (див. розділ 5).



Рисунок 4.18 – Нижнє меню та його елементи

Пункт меню «пожежі» викликає діалогове вікно для виводу на карту загорянь або згарищ на заданий період часу.

Всі три пункти підменю «запит» слугують для встановлення виклику таблиць з різним змістом під час натискання на карту. Так після натискання кнопки «Інформація про згарища» курсор переходить у режим виводу відповідних даних і під час натискання лівої кнопки миші на зображенні згарища виводиться його номер, площа і дата (рис. 4.19).

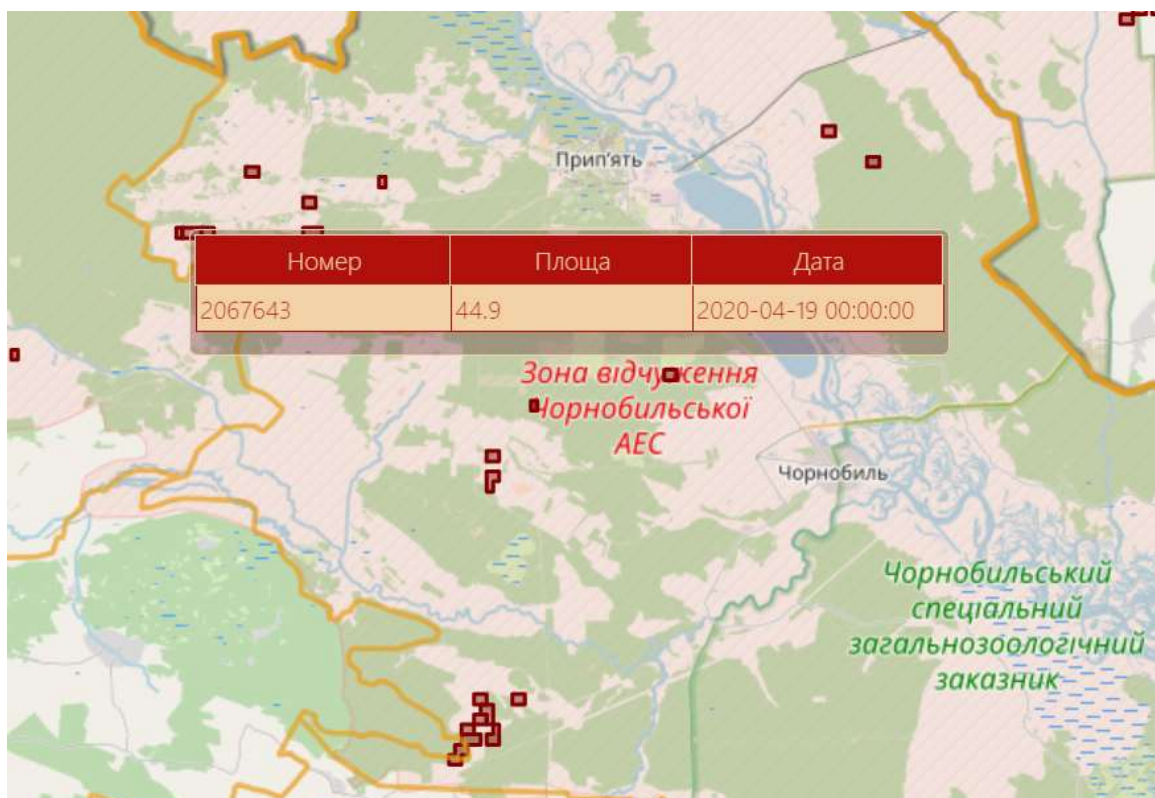
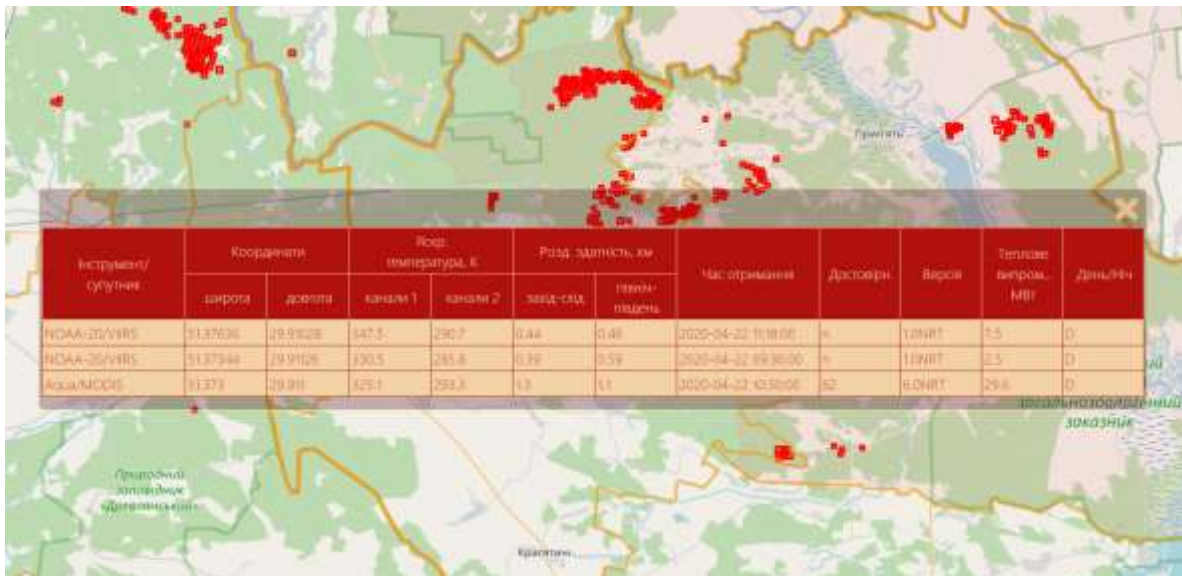


Рисунок 4.19 – Вивід інформації про згарища



Рисунк 4.20 – Вивід інформації про займання

Аналогічно в режимі виводу інформації про пожежу буде відображено таблицю, зображену на рисунку 4.20, а у режимі виводу інформації про *LCP* – на рисунку 4.21.



Рисунк 4.21 – Вивід інформації про *LCP*

4.7.2 Діалогове вікно «Управління шарами»

Вікно «Управління шарами» з'являється під час завантаження вебдодатка у лівій частині сторінки (рисунок 4.22) і надає можливість керувати видимістю тринадцяти шарів, які розділено на чотири групи. Для перемикання видимості шарів слугує спеціальний перемикач, який може приймати два положення. Крім того, для одинадцяти верхніх шарів можна викликати легенду з відображенням шкали кольорів, які відповідають певному тематичному змісту (таблиця 4.2). За допомогою спеціального елемента зліва від вікна у вигляді подвійної стрілки можна закривати або знов викликати дане вікно.



Рисунок 4.22 – Елементи вікна «Управління шарами»

4.7.3 Діалогове вікно «Завантаження фрагмента LCP»

Як було зазначено у розділі 4.7.1 це вікно може бути викликано трьома різними способами, які відрізняються шляхом визначення вихідної території запиту. Це може бути прямокутник, який потрібно накреслити перед викликом форми (рис. 4.23). Також можна попередньо вибрати адміністративну одиницю (рис. 4.24), а також задати межі шляхом вибору файлу *KML* (рис. 5.2).

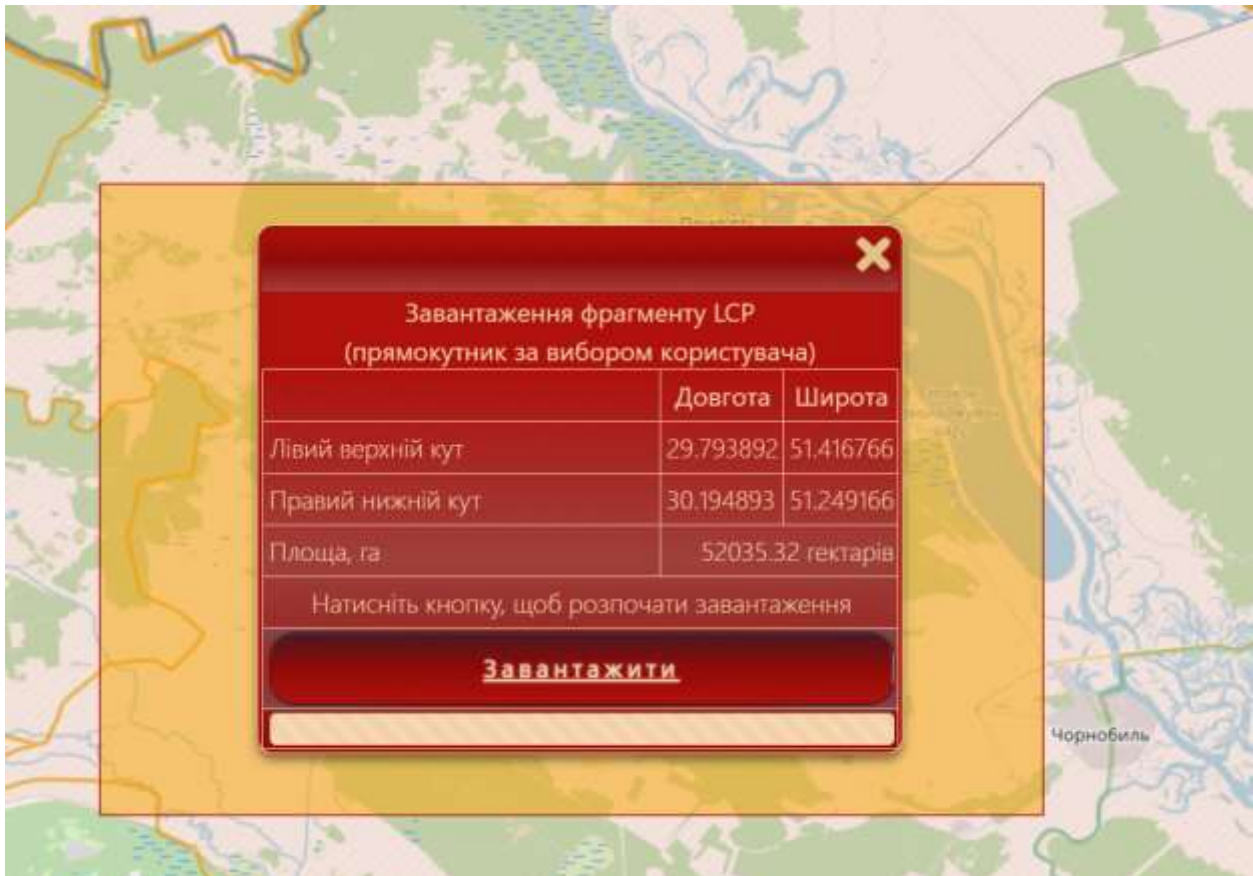


Рисунок 4.23 – Завантаження фрагмента *LCP*, заданого прямокутником

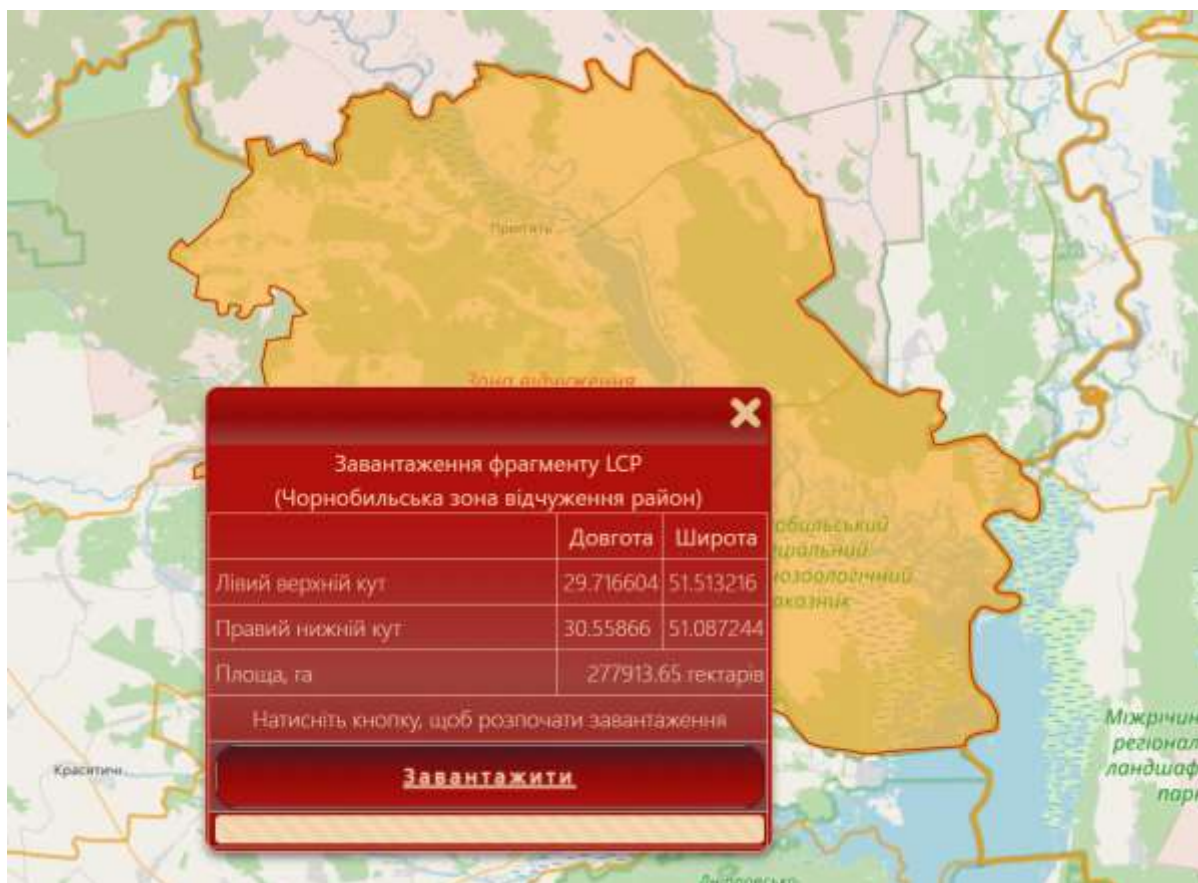


Рисунок 4.24 – Завантаження фрагмента *LCP*, заданого межами адміністративного району

Фрагмент *LCP* буде завантажено після натискання кнопки з написом «Завантажити» і введення імені в діалозі збереження файлу.

4.7.4 Діалогове вікно «Пожежі»

Це діалогове вікно створено для задання умов виводу даних про займання і згарища на карту (рис. 4.25). По замовчуванню виводять дані про займання за півдобу. Є можливість переключити відображення за добу або за певний проміжок часу (у закладці «минулі пожежі» або «згарища»). Крім того, у елементі акордеон «Пожежі у реальному часі» можна вибрати множину пар радіометр–супутник, дані яких будуть відображатись на карті. Також тут присутній інтерфейс перемикання видимості деяких растрових і векторних шарів. У крайньому правому варіанті даного діалогового вікна зображено також елемент для вибору дати запиту.

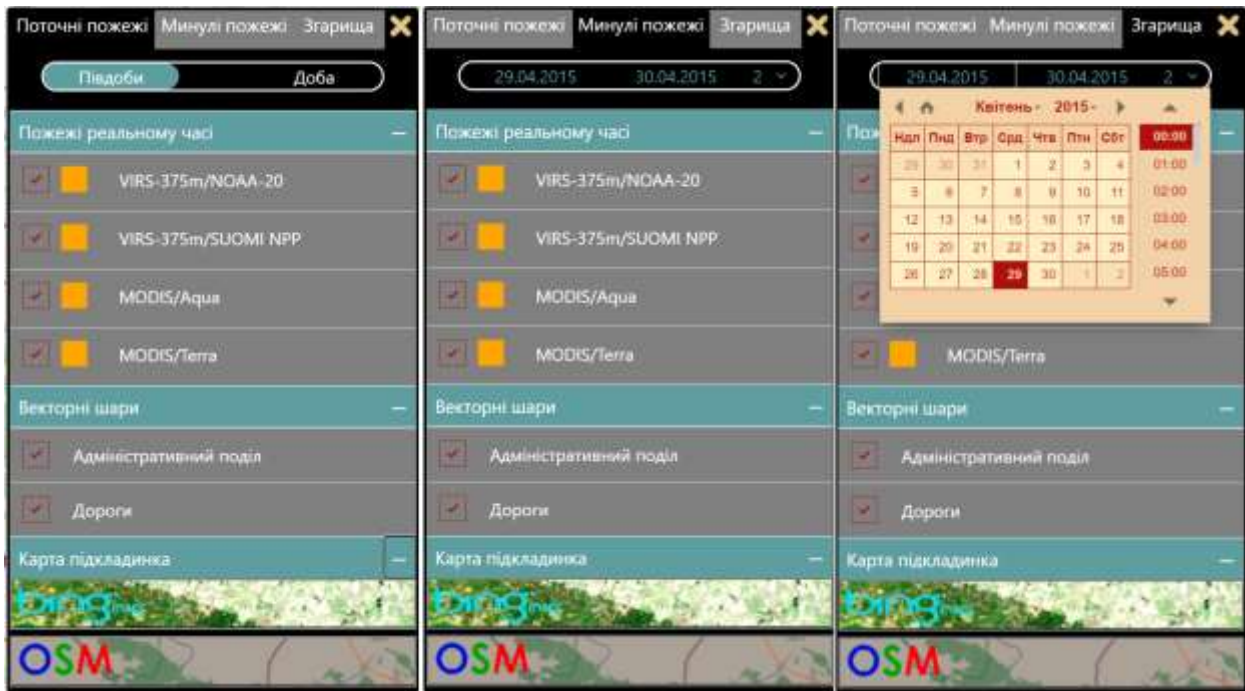


Рисунок 4.25 – Три режими роботи діалогового вікна «Пожежі»

4.7.5 Діалогове вікно «Аналіз даних про пожежі»

Дане діалогове вікно має три вкладки, які називаються «Умови», «Регіон» і «Аналіз».



Рисунок 4.26 – Вкладки «Умови» і «Регіон» діалогового вікна «Аналіз даних про пожежі»

У закладці «Умови» (ліва частина рисунку 4.26) задають наступні параметри запиту:

- початкова і кінцева дати за допомогою елемента календар, ідентичного до зображеного на рис. 4.25;
- діапазон дат усередині заданого діапазону за допомогою лівого і правого бігунків;
- прапорці для множинного вибору набору пар супутник-радіометр.

У закладці «Регіон» можна задати область інтересу шляхом:

- вибору території всієї України (по замовчуванню);
- вибору адміністративної області із меню, що спадає, під назвою «Виберіть область»;
- вибору адміністративного району із меню, що спадає, під назвою «Виберіть адмін. район»;
- завантаження файлу KML, користуючись діалоговим меню вибору файлу або областю перетягування в центральній частині діалогового вікна, окресленого пунктирною лінією;
- креслення прямокутника або полігону.

Після визначення діапазону дат, супутника, радіометра і області інтересу натискаємо на закладку «Аналіз», після чого на якийсь час у вікні з'являється зображення шестерінки, що обертається (ліва частина рисунку 4.27). За цей час виконується пересилання запиту, його обробка на сервері і генерація змістовної частини його результатів (права частина рисунку 4.27).

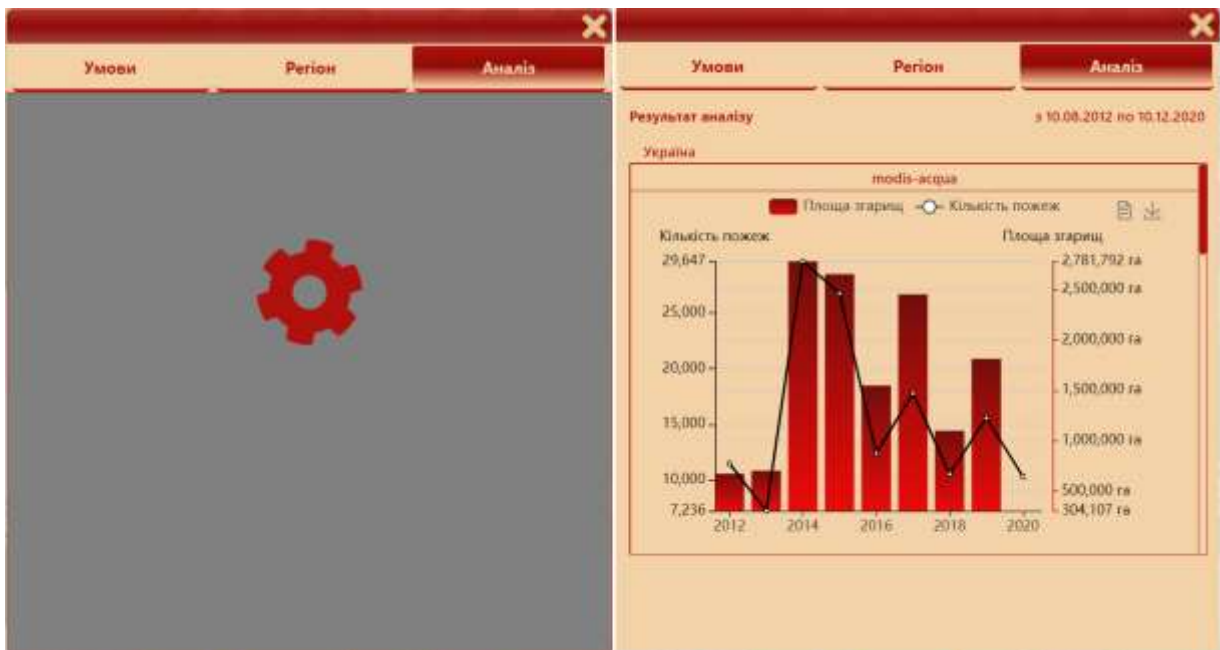


Рисунок 4.27 – Вкладка «Аналіз» вікна діалогового вікна «Аналіз даних про пожежі» у режимі очікування й у режимі відображення результату

Щонайбільше генерується п'ять діаграм. Перша діаграма називається «Розподіл площ пожеж за Дженксом», де відображається 10 стовпчиків, кожен з яких відповідає певному діапазону площ згарищ. Синім кольором показано графік кількостей пожеж, що відповідають тим же діапазнам. Зміст діаграми можна отримати також і у табличному вигляді (таблиця 4.10).



Рисунок 4.28 – Розподіл площ згарищ, що з'явилися з 1 березня по 30 липня 2020 р. у Київській області за Дженксом

Таблиця 4.10 – Таблична форма представлення діаграми,
зображеної на рисунку 4.28

№ з.п.	Діапазон площ		Площа згарищ, га	Кількість пожеж
	від	до		
1	14	46	9964	384
2	46	120	5690	74
3	120	225	3946	24
4	225	390	3155	11
5	390	629	3129	6
6	629	945	824	1
7	945	1259	945	1
8	1259	1664	2923	2
9	1664	2007	0	0
10	2007	3239	8169	3

Інші чотири діаграми відображають займання, що були встановлені тією чи іншою парою радіометр-супутник у вигляді стовпчика і площі згарищ у вигляді графіка чорним кольором. Є три діапазони часу, яким відповідає стовпчик діаграми: день, місяць і рік. Якщо вихідний діапазон часу лягає у межі одного місяця, то стовпчик відповідає дню, якщо у межі року, то місяцю (рис. 4.29), а якщо перевищує рік, то стовпчик буде відповідати року (рис. 4.30).



Рисунок 4.29 – Діаграма кількості пожеж і площі згарищ за період з 1.04 по 30.11.2015



Рисунок 4.30 – Діаграма кількості пожеж і площі згарищ за період із 1.01.2014 по 15.12.2020

Діаграми можна зберегти як файли зображень у форматі PNG . Крім того, можна скопіювати у буфер табличні дані, які відповідають даним, зображеним на діаграмах (таблиця 4.10).

5 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПОРТАЛУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ (результати 2020 р.)

Одна з ключових переваг геоportалу полягає в зручному впорядкуванні геопросторових шарів, які застосовують для моделювання ризиків природних пожеж. Наразі його інструментарій дозволяє автоматично формувати файл ландшафту (*.lsp) з наявними даними про показники горимості задля його використання в подальшому моделюванні, використовуючи спеціальне програмне забезпечення (*FlamMap*, *FConstMTT*). В майбутньому функціональні можливості можуть бути удосконалені таким чином, щоб на основі геоportалу повністю забезпечити одержання, обробку та відображення результатів.

5.1 Завантаження вихідних шарів для моделювання

Моделювання сценаріїв розвитку та поширення природних пожеж виконують на основі набору чітких у просторовому відношенні даних щодо розподілу, стану та характеристик горючих матеріалів. Концептуально алгоритми моделювання пожеж базуються на файлі ландшафтів, який складається з восьми тематичних шарів (рис. 5.1):

1. Топографія:

- висота над рівнем моря (*Elevation*);
- ухил місцевості (*Slope*);
- експозиція схилів (*Aspect*).

2. Горючі матеріали (*Fuel Models*).

3. Параметри намету деревостанів:

- зімкнутість деревостанів (*Canopy Cover*);
- висота деревостанів (*Canopy Height*);
- висота до початку крони намету деревостанів (*Canopy Base Height*);
- щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревостанів (*Canopy Bulk Density*).

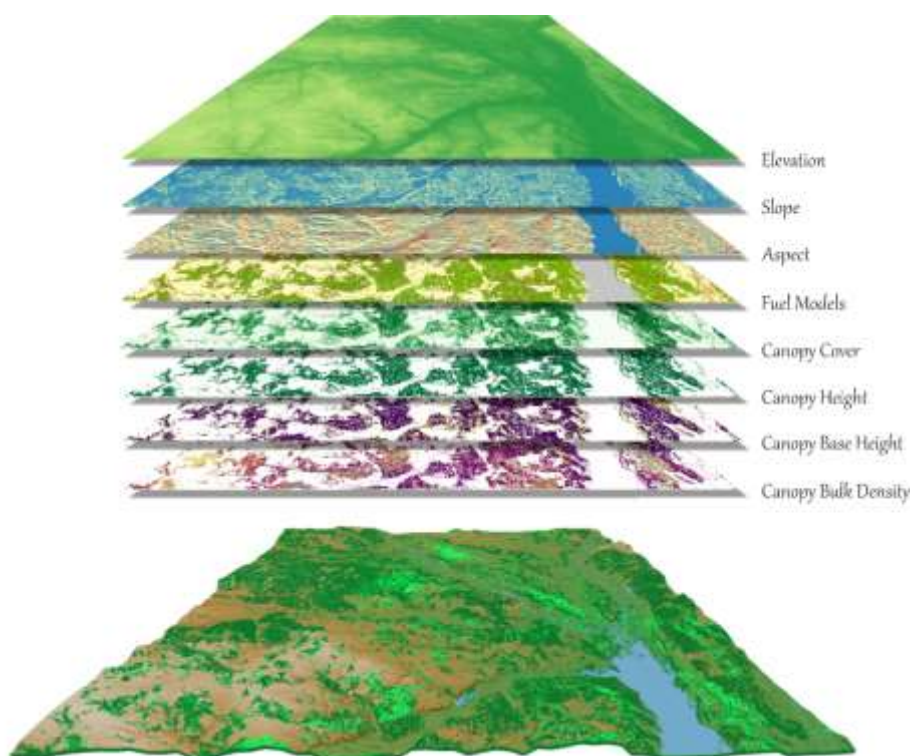


Рисунок 5.1– Растрові шари, що застосовують для моделювання природних пожеж на ландшафтному рівні

Створення файлу ландшафтів для обраної області інтересу являє собою окреме дослідження, яке треба виконати в чітко окреслених просторових границях. Опрацьований геопортал в цьому відношенні надає унікальні можливості аналізу будь-якої ділянки на території Українського Полісся, оскільки впорядковано зберігає всі зазначені шари та дозволяє виконувати їхнє завантаження в межах указаної користувачем геометрії. Основні функціональні можливості геопорталу розглянемо на прикладі території, яка охоплює зону діяльності ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція» та Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника.

Інструменти завантаження даних передбачають три варіанти вибору області інтересу: прямокутна область, одиниця адміністративно-територіального устрою України (обмежена регіоном Полісся, де проводили дослідження), полігональна область. В останньому випадку покриття території повинно бути збережене у форматі *kml*-файлу. При цьому регіон не обмежується однією геометрією, а може бути мультиполігональним об'єктом (рис. 5.2).

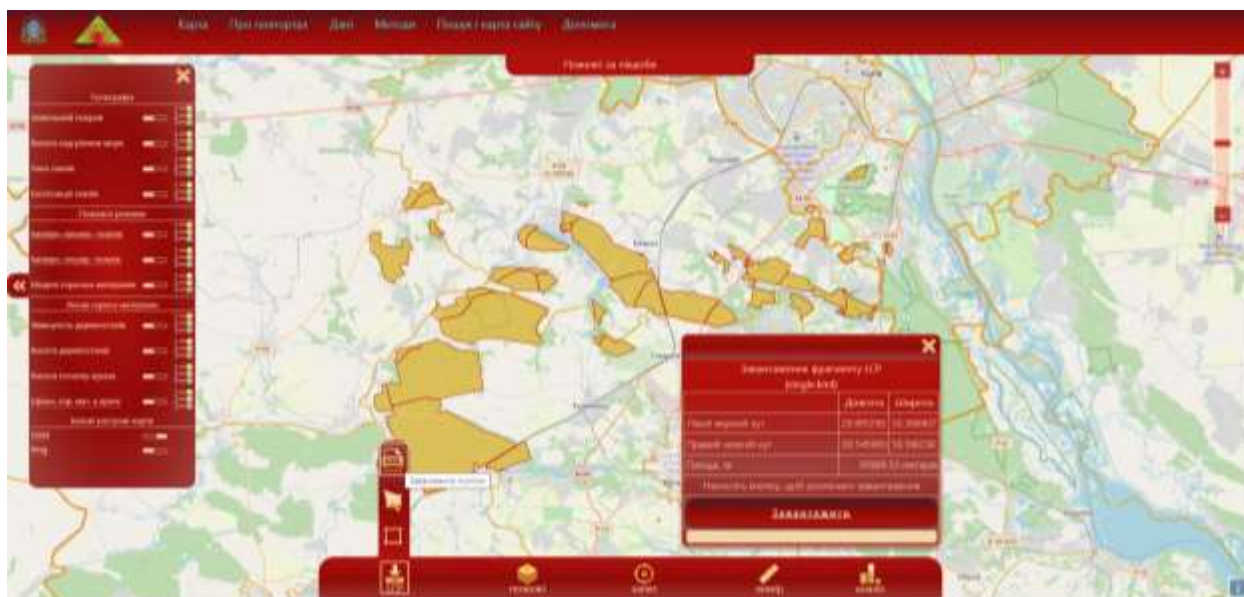


Рисунок 5.2 – Приклад вибору області інтересу на основі векторного покриття території (ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція»)

Після натискання «Завантажити» на геопорталі виконують операцію обрізування растрових файлів, створення нового файлу ландшафтів і завантаження їх до локального каталога на ПК у форматі *lcp_subset.zip*. Завантажений архів містить окрім зазначеного файлу ландшафтів, пов'язану з територією карту ймовірності виникнення пожеж, що спрощує наступні етапи моделювання.

Для роботи із завантаженими файлами треба інстальювати спеціальне програмне забезпечення, наприклад систему FlamMap Лісової Служби США (<https://www.firelab.org/document/flammap-software>). Консольна версія цієї програми *FConsMTT* може виявитися зручною для аналізу різних сценаріїв поширення пожеж (https://www.alturassolutions.com/FB/FB_API.htm). Загалом для роботи із завантаженими шарами можна скористатися значно ширшим набором програм, які пропонує на безоплатній основі Лісова Служба США (<https://www.firelab.org/applications>). На різних етапах дослідження доречними стануть програми *BehavePlus* – для калібрування алгоритмів розвитку пожеж; *ArcFuels* – для аналізу сценаріїв управління горючими матеріалами; *WindNinja* – для роботи з показниками сили вітру.

На рис. 5.3 відображено моделі горючих матеріалів для обраної області інтересу. Подальші дослідження ризиків пожеж можна здійснювати в системі FlamMap або будь-якому іншому спеціалізованому програмному забезпеченні.

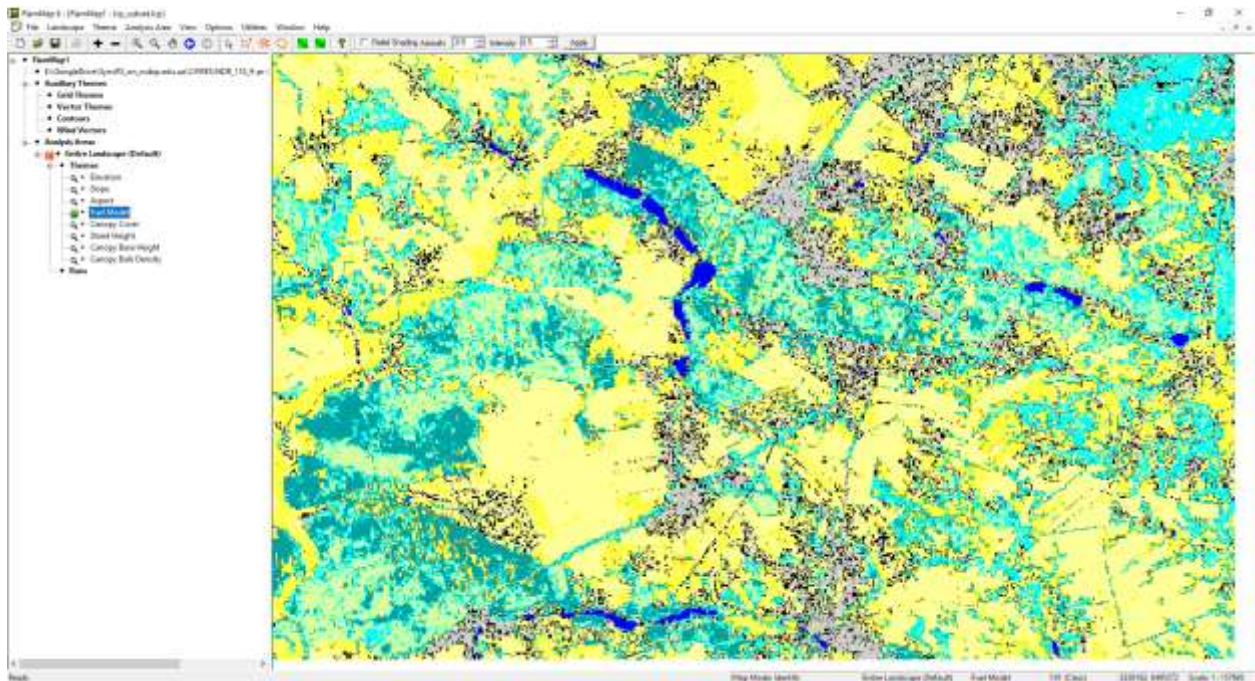


Рисунок 5.3 – Відображення файлу ландшафту в системі *FlamMap*

5.2 Моделювання розвитку пожежі

Поточна версія *FlamMap* інтегрує в собі інструменти *FARSITE* для моделювання поведінки пожежі за відомих координат загорання та умов погоди. Це надзвичайно важливий інструмент для визначення ефективних стратегій під час гасіння великих пожеж, оскільки допомагає оптимізувати розташування сил та засобів на різних ділянках ландшафту. Основу такого моделювання формує файл ландшафтів (див. рис. 5.3), векторний шар із координатами осередку загорання, файл змін умов погоди із заданим часовим лагом (наприклад годинні температура повітря, відносна вологість повітря, кількість опадів, швидкість і напрям вітру), файл з інформацією про вологість горючих матеріалів (рис. 5.4). зазначені файли можна безпосередньо створювати в системі *FlamMap* або заздалегідь підготувати у вигляді текстових файлів із відповідною кількістю та назвою показників.

a)

Record	Burn	Date	Temperature	RH	Precipitation	Wind Speed	Wind Direction	Cloud Cover
1	<input checked="" type="checkbox"/>	07/10/20 10:00	25	40	0.000	4	0	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	07/10/20 11:00	28	30	0.000	6	20	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	07/10/20 12:00	28	20	0.000	2	180	0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	07/10/20 13:00	29	30	0.000	8	0	0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	07/10/20 14:00	30	30	0.000	5	180	0
6	<input type="checkbox"/>	07/10/20 15:00	29	30	0.000	4	180	0

б)

91	3	4	5	30	60
98	3	4	5	30	60
99	3	4	5	30	60
101	12	13	14	90	120
102	9	10	11	90	120
121	6	7	8	90	120
123	6	7	8	120	150
142	3	4	5	90	120
161	6	7	8	90	120
181	3	4	5	60	90
182	6	7	8	90	120
188	3	4	5	30	60

Рисунок 5.4 – Приклади файлів умов погоди (а) та вологості горючих матеріалів (б)

Після підготовки всіх необхідних файлів необхідно запусити команду «*New Farsire Run*», вказавши у відповідних діалогових вікнах шлях до необхідних геопросторових шарів і файлів з інформацією про погодні умови та

стан горючих матеріалів. Алгоритм моделювання розвитку пожежі дозволяє обрати набір показників, що впливають на рішення щодо вибору стратегії гасіння пожежі. Серед них особливо важливими є швидкість поширення пожежі, наявність верхової пожежі, периметри пожежі за підготовленим часовим лагом (рис. 5.5).

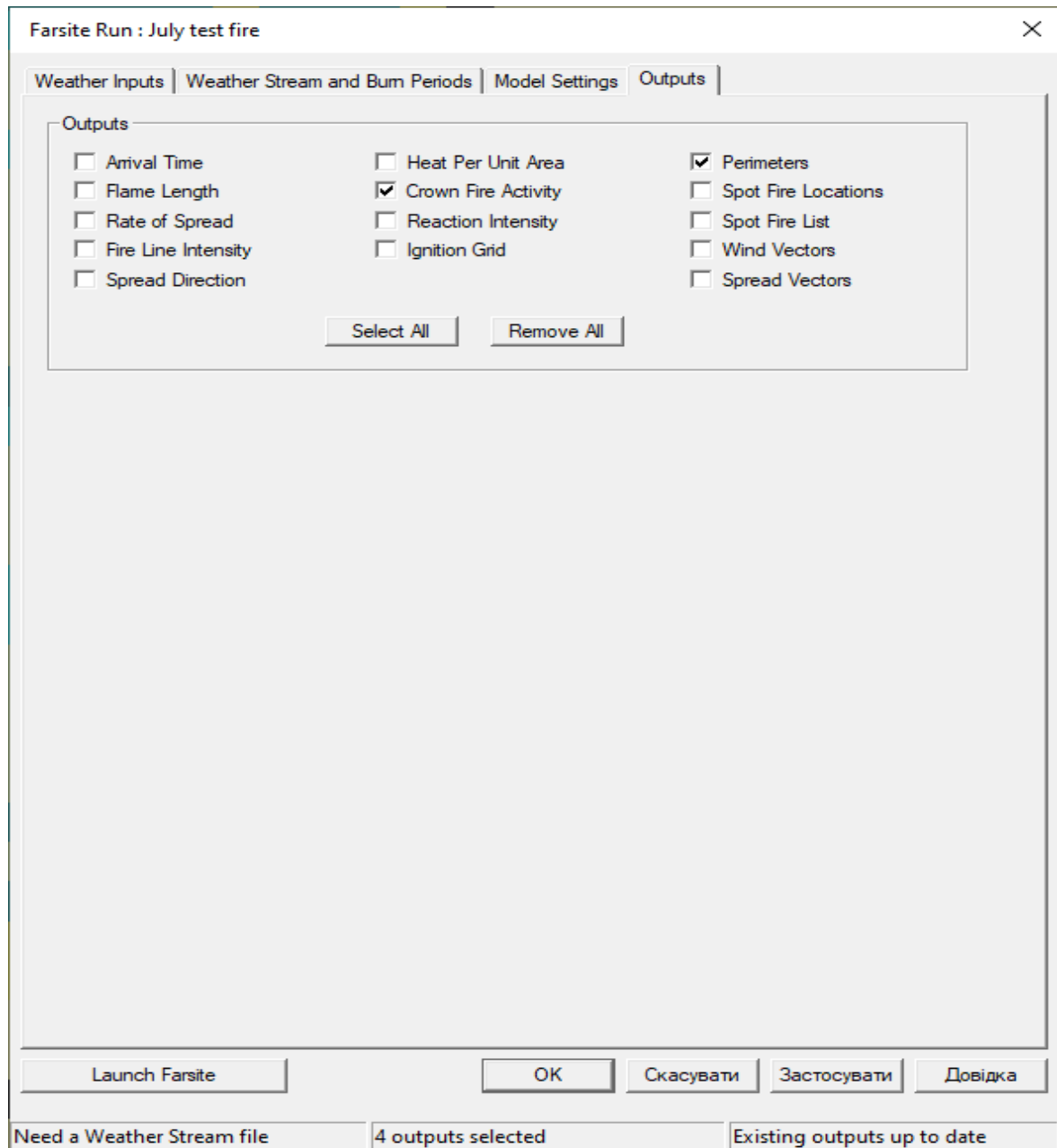


Рисунок 5.5 – Доступні опції вибору варіантів виведення результатів алгоритму моделювання розвитку пожежі

На рис. 5.6 відображено змодельовані периметри пожежі, які були згенеровані алгоритмом впродовж п'ятигодинного часового інтервалу.

Моделювання виконано за просторового розрізнення 90 м і погодинного інтервалу змін умов погоди.



Рисунок 5.6 – Погодинні контури пожежі на фоні карти зімкнутості деревостанів, згенеровані алгоритмом *FARSITE*

Продемонструємо можливості геопорталу для відтворення початкових етапів великої пожежі, яка сталася в Чорнобильській зоні відчуження в квітні 2020 року. Файл з показниками вологості горючих матеріалів (рис. 5.7) було створено під час дослідження горимості цієї території (Ager et al., 2019).

E:\GoogleDrive\SyncRS_on_nubip.edu.ua\2.FIRES\NDR_110_9-pr-2018\Case\FARSITE\Apr.fms					
91	3	4	5	30	60
98	3	4	5	30	60
99	3	4	5	30	60
101	6	7	8	30	60
102	3	4	5	30	60
121	6	7	8	30	60
123	3	4	5	60	90
142	6	7	8	60	90
161	9	10	11	30	60
181	6	7	8	30	60
182	9	10	11	30	60
188	3	4	5	30	30

Рисунок 5.7 – Вологість горючих матеріалів на момент початку пожежі

Згідно з даними супутникового моніторингу пожежа розпочалася близько дев'ятої години 3 квітня 2020 р. на території Древлянського природного заповідника. Відповідно до цього було визначено координати осередку загорання, який слугував відправним пунктом моделювання. Для відтворення хронології розвитку пожежі використано дані з метеостанції Чорнобиль (рис. 5.8).

Record	Burn	Date	Temperature	RH	Precipitation	Wind Speed	Wind Direction	Cloud Cover
1	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 09:00	4	50	0.000	14	150	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 10:00	4	50	0.000	14	150	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 11:00	4	50	0.000	14	150	0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 12:00	14	24	0.000	32	210	0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 13:00	14	24	0.000	32	210	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 14:00	14	24	0.000	32	210	0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 15:00	16	21	0.000	47	210	0
8	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 16:00	16	21	0.000	47	210	0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 17:00	16	21	0.000	47	210	0
10	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 18:00	15	22	0.000	43	210	0
11	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 19:00	15	22	0.000	43	210	0
12	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 20:00	15	22	0.000	43	210	0
13	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 21:00	9	29	0.000	36	220	0
14	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 22:00	9	29	0.000	36	220	0
15	<input checked="" type="checkbox"/>	04/03/20 23:00	9	29	0.000	36	220	0
16 *	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 00:00	8	42	0.000	14	330	0
17	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 01:00	8	42	0.000	14	330	0
18	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 02:00	8	42	0.000	14	330	0
19	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 03:00	4	56	0.000	14	250	0
20	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 04:00	4	56	0.000	14	250	0
21	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 05:00	4	56	0.000	14	250	0
22	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 06:00	1	73	0.000	11	240	0
23	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 07:00	1	73	0.000	11	240	0
24	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 08:00	1	73	0.000	11	240	0
25	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 09:00	7	53	0.000	11	320	0
26	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 10:00	7	53	0.000	29	320	0
27	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 11:00	7	53	0.000	29	320	0
28	<input checked="" type="checkbox"/>	04/04/20 12:00	11	35	0.000	36	340	0

Рисунок 5.8 – Динаміка умов погоди впродовж першої доби квітневої пожежі 2020 року

Враховуючи просторове розрізнення даних геопорталу (90 м), яку не дозволяє позначити вузькі об'єкти, по границі річки Уж створено штучний бар'єр, який виступав природним бар'єром для поширення пожежі з північно-західного напрямку. З такими вхідними параметрами в програмі *FlamMap* було

виконано алгоритм розвитку пожежі системи *FARSITE*. У результаті одержано погодинні контури пожежі впродовж першої доби від початку пожежі (рис. 5.9).

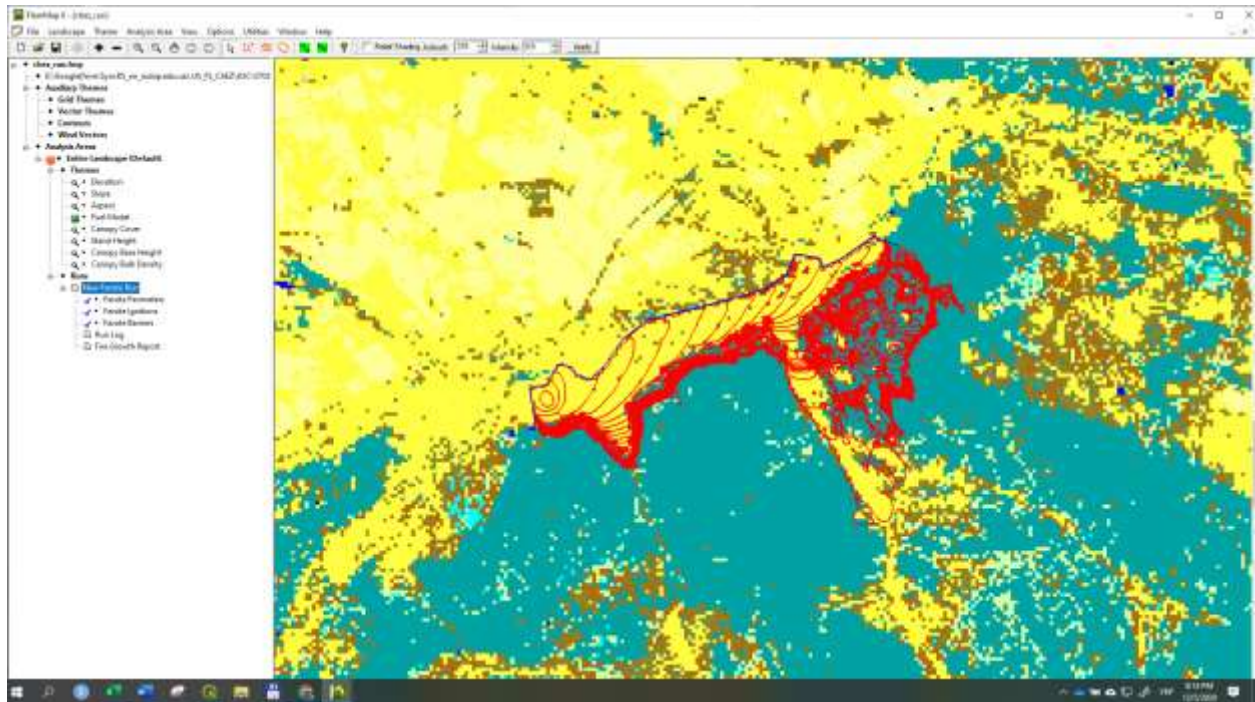


Рисунок 5.9 – Периметри пожежі, згенеровані на основі алгоритмів моделювання поширення пожеж

Задля перевірки одержаних результатів одержані контури пожежі були перенесені в систему *QGIS*, де зіставлені з периметром згарища, який чітко простежувався за супутниковим знімком *PlanetScope*, одержаним 4 квітня 2020 року. Треба визнати високу точність виконаного прогнозування, яке чітко описує хронологію та контури пожежі. Неточності, які можна помітити з рис. 5.10, можна пов'язати зі складністю врахування низки вхідних параметрів для алгоритму поширення пожежі, серед яких фактична вологість горючих матеріалів, динаміка сили та напрямів вітру, ймовірність перенесення іскор від полум'я, просторове розрізнення підготовлених тематичних шарів. Ці питання заслуговують на окрему увагу під час калібрування моделей, яку можна здійснити на основі подібних історичних даних.

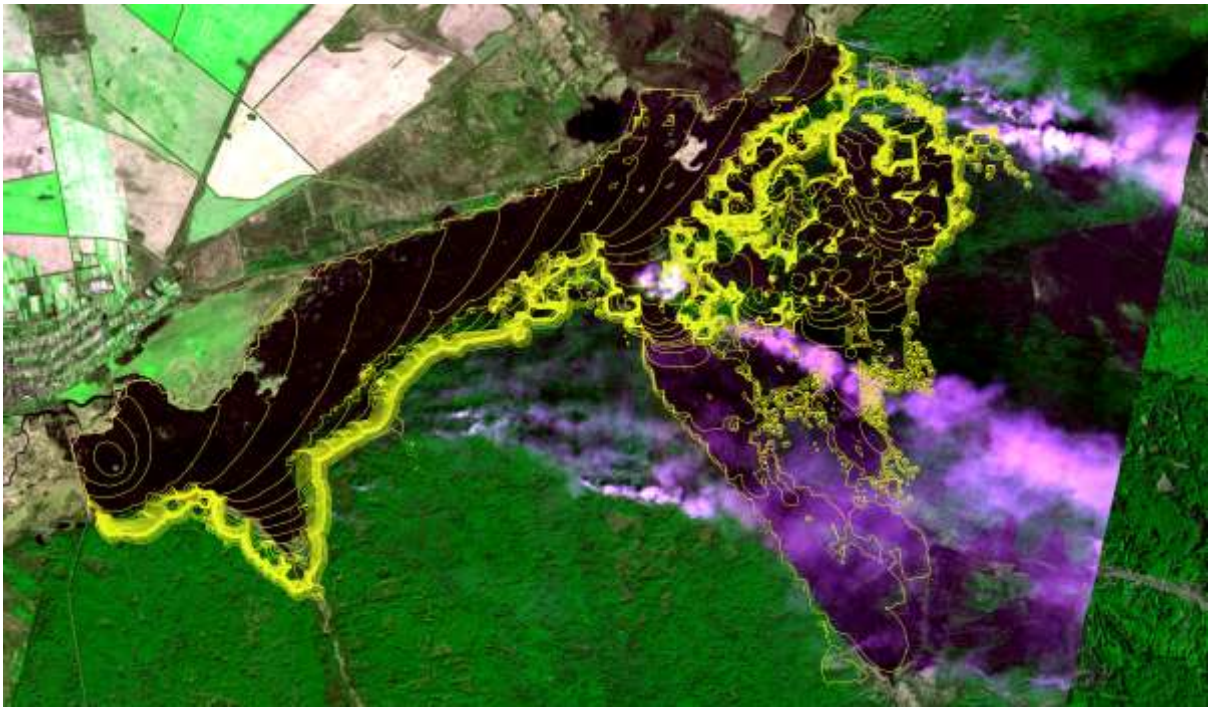


Рисунок 5.10 – Контури пожежі, згенеровані в програмі *FlamMap* (жовті лінії), станом на 4 квітня 2020 року

Доступність подібних інструментів сприятиме оперативному прийняттю оптимальних рішень під час гасіння пожежі. Для ілюстрації можливостей на рис. 5.11 наведено приклад варіанта запуску алгоритму з урахування штучного бар'єру для поширення вогню.

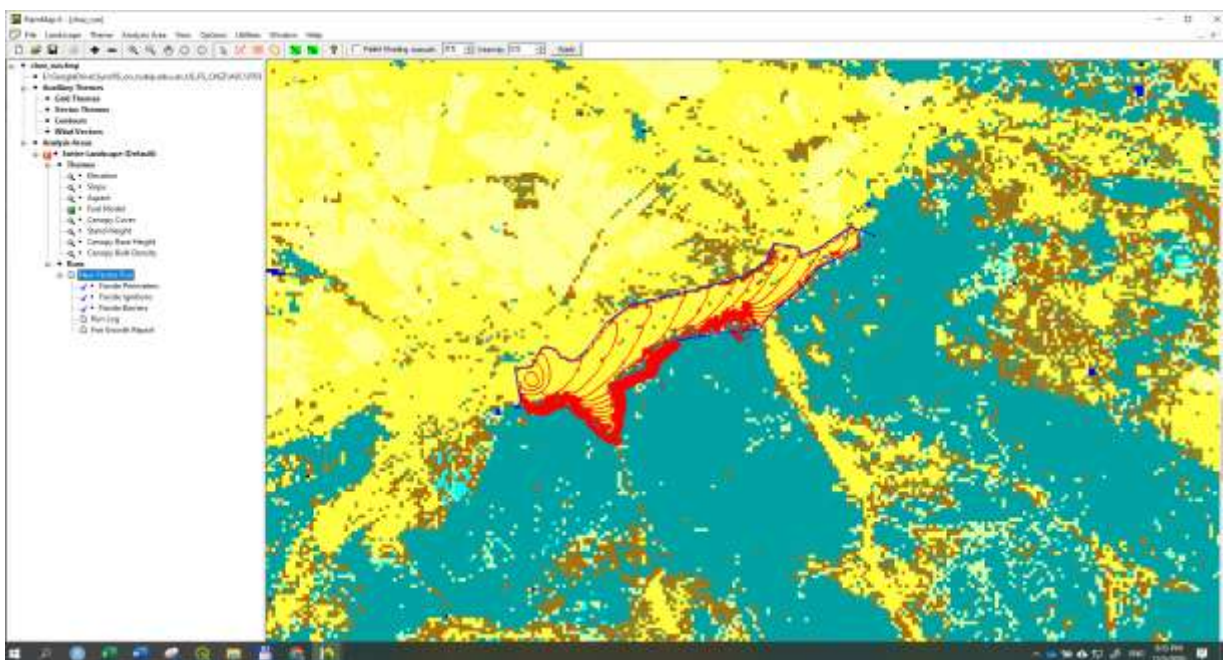


Рисунок 5.11 – Периметр пожежі станом на 4 квітня 2020 року, за умови зупинки вогню штучним бар'єром

5.3 Імітаційне моделювання ймовірності поширення пожеж у системі FlamMap з метою зниження ризиків великих пожеж

Крім моделювання розвитку окремих пожеж створені на основі геопорталу інструменти дозволяють здійснювати стратегічний аналіз ризиків виникнення та поширення пожеж на різних ділянках ландшафту. Передусім геопортал дозволяє одночасно з файлом ландшафту завантажити карту ймовірності виникнення пожеж (рис. 5.12). Її було створено на основі узагальнення всіх доступних з 2001 року даних про випадки пожеж на території Полісся України.

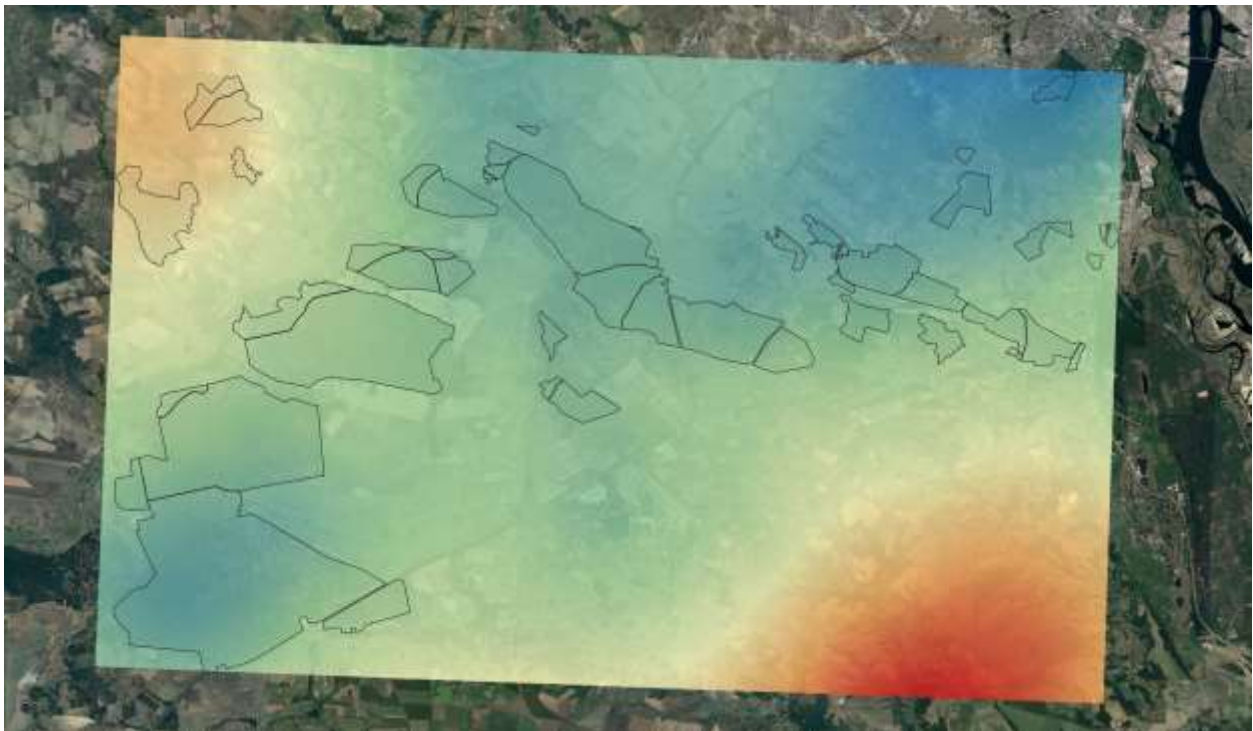


Рисунок 5.12 – Карта ймовірності виникнення пожеж з накладеними контурами лісових урочищ ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція» (червоним кольором відображено зони з вищою ймовірністю виникнення пожеж)

Зображену карту використовують в моделюванні для відтворення історичного розподілу пожеж на території області інтересу. При цьому більша кількість випадкових пожеж, які генерує алгоритм, буде зосереджена в зонах із більшою ймовірністю їхнього виникнення.

Інша важлива перевага геопорталу полягає в безпосередньому узагальненні історичних даних про випадки та площу пожеж у межах окресленої зони інтересу (рис 5.13). Ця інформація буде корисною під час калібрування моделей, що визначають умови поширення пожеж, оскільки кінцевим результатом повинно бути максимальне відтворення історичного розподілу площі й кількості найбільших пожеж у просторі та часі. Результати аналізу підлягають експорту у формі відповідних графіків або таблиць.



Рисунок 5.13 – Узагальнення історичних даних про кількість і площу найбільших пожеж для обраної області інтересу

На рис. 5.13 також відображено карту ймовірності поширення пожеж, яка є результатом імітаційного моделювання розвитку пожеж із використанням підготовленого набору геопросторових шарів щодо показників топографії, горючих матеріалів, даних про вологість горючих матеріалів, умов погоди тощо. Вона вказує, що ділянки з найвищим рівнем ризиків розвитку великих пожеж пов'язані з відкритими ландшафтами. Більш ретельний аналіз цієї карти вказує на високий потенціал переходу трав'яних пожеж на відкритих ділянках у лісові масиви. В зв'язку з цим з'являються підстави розробки стратегій управління горючими матеріалами, оптимізації протипожежних заходів таким чином, щоб зменшити імовірність розвитку пожеж серед вкритих лісовою рослинністю ділянок.

Для прикладу представимо результати дослідження ефективності протипожежних розривів на території Чорнобильської зони відчуження. На рис. 5.14 зображено вихідну карту ймовірності поширення пожеж без реалізації стратегій управління горючими матеріалами. Її було створено на основі 150 тис. випадкових пожеж. Для імітації сценаріїв умов погоди використано доступні з 1988 року дані про погодні умови (швидкість вітру, напрям вітру) метеостанції Чорнобиль, а для відтворення розподілу кількості пожеж за сезонами року – статистику випадків пожеж. Після уважного калібрування моделі досягли відтворення розподілу площі історичних і змодельованих пожеж, а контури окремих з них максимально були подібними до реальних згарищ.

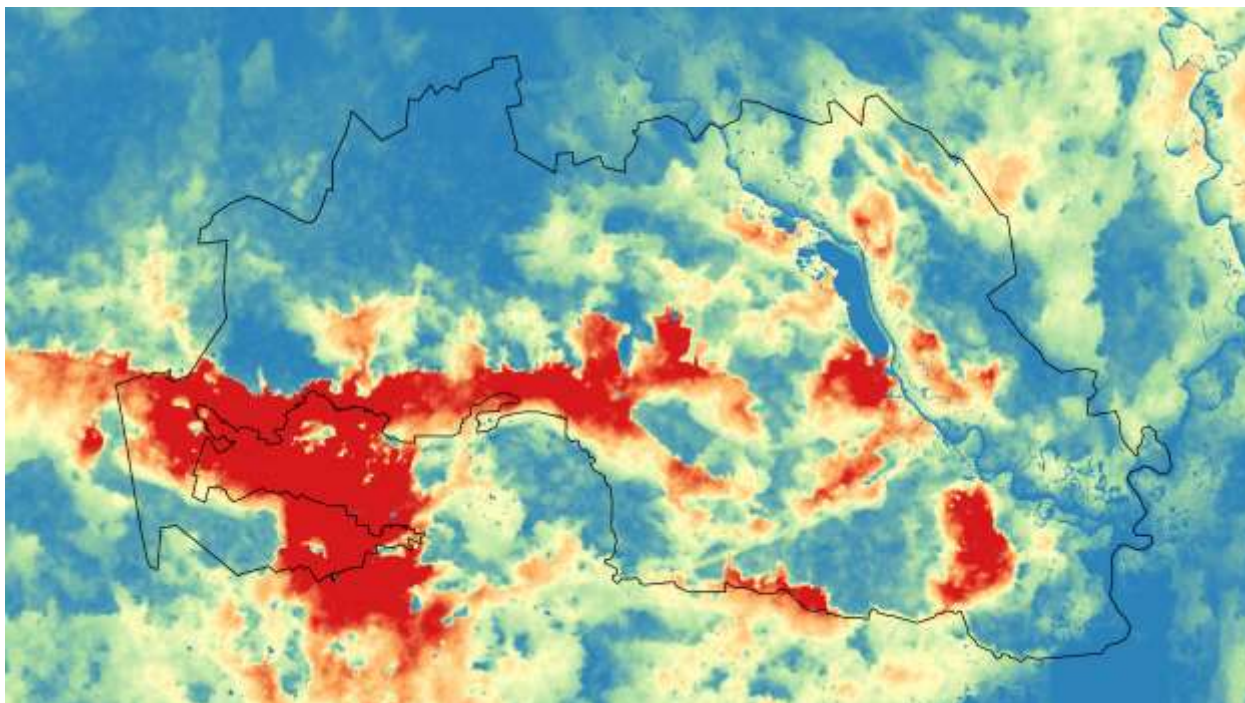


Рисунок 5.14 – Вихідна карта ймовірності поширення пожеж для території Чорнобильської зони відчуження (червоним кольором позначено області з вищими ризиками)

Як альтернативу, розглянуто ефективність протипожежних розривів – усіх доступних доріг, річок, каналів тощо. При цьому застосовано ті ж умови появи та розвитку пожеж. Згенеровану карту ймовірності поширення пожеж відображено на рис. 5.15, тоді як рис. 5.16 підкреслює ділянки, в яких відбулося зниження ризиків.

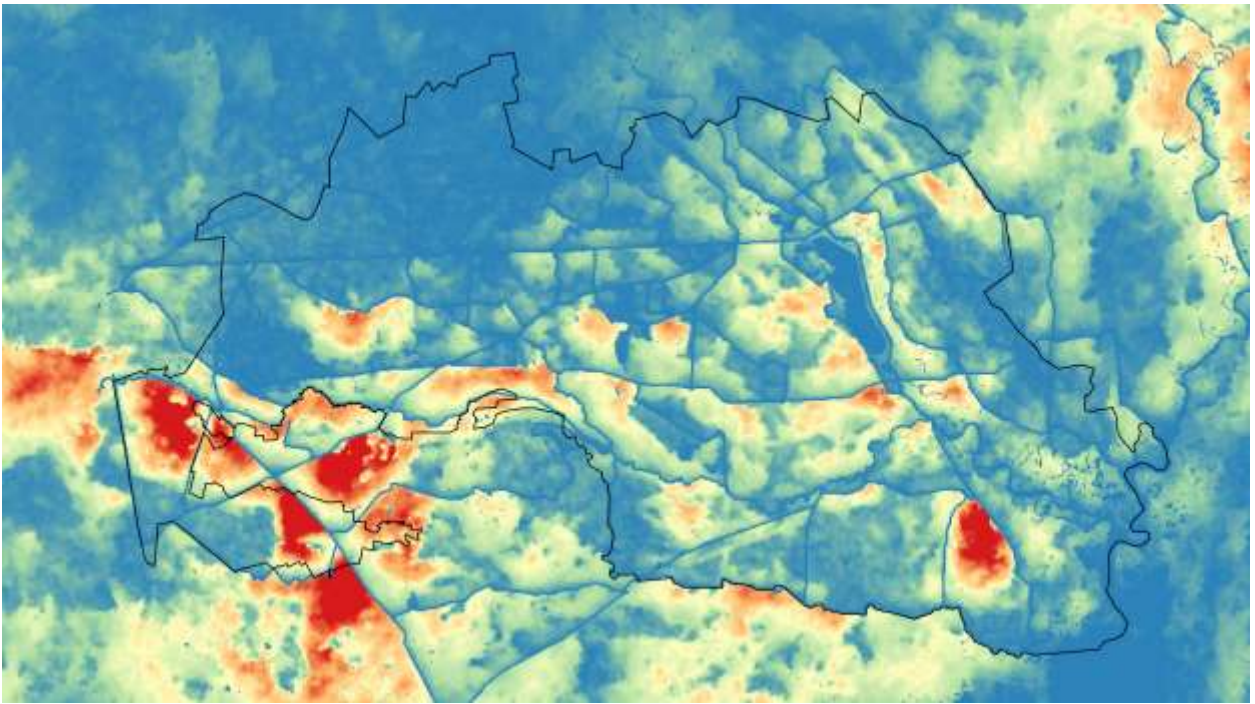


Рисунок 5.15 – Альтернативна карта ймовірності поширення пожеж для території Чорнобильської зони відчуження з урахування наявної мережі протипожежних розривів (червоним кольором позначено області з вищими ризиками)

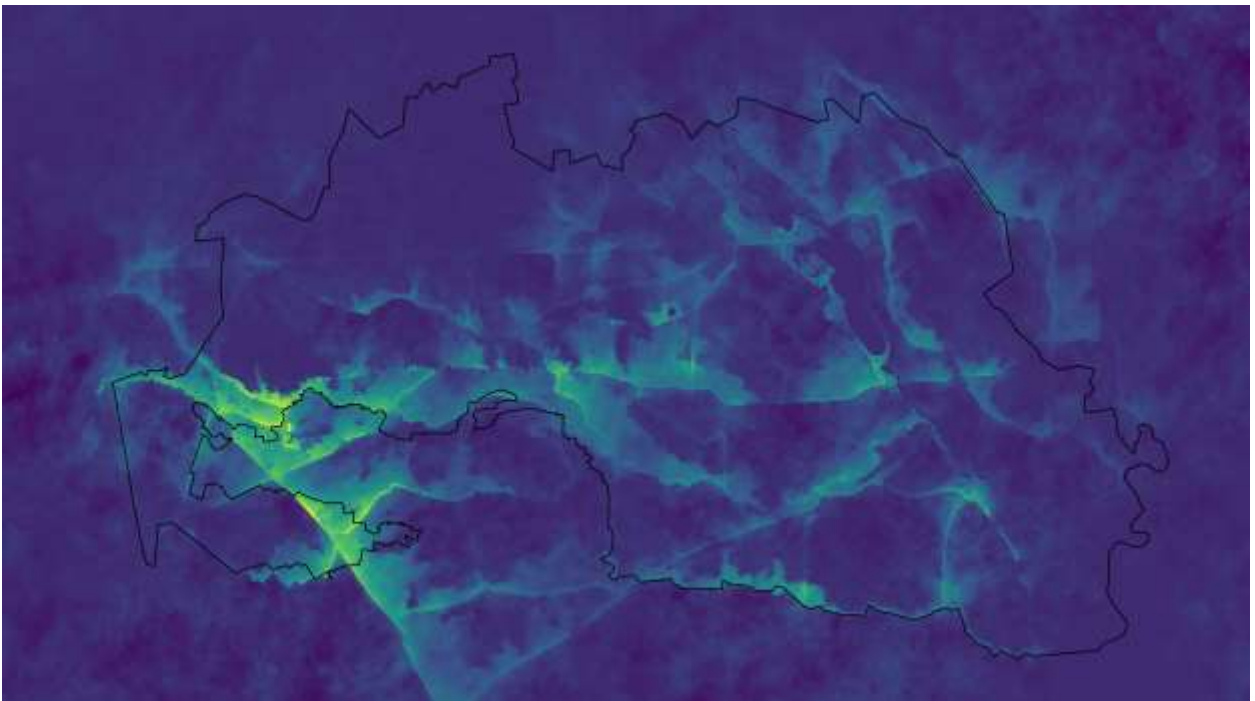


Рисунок 5.16 – Зміни ймовірності поширення пожеж завдяки протипожежним розривам (більший ефект відповідає жовтим відтінкам)

Таким чином, опрацьований геопортал створює рішення для ефективного управління пожежними режимами на території Полісся України. Він передусім призначений для фахівців із відповідним рівнем підготовки щодо основних питань управління природними пожежами на ландшафтній основі, а також науковців. Поточна версія геопорталу має мінімально необхідний інструментарій для дослідження ризиків природних пожеж і в майбутньому може доповнюватися додатковими функціями. Наприклад, перспективним стане перенесення всіх алгоритмів моделювання на он-лайн платформу.

ВИСНОВКИ

1. Серед наявних у світі класифікацій ЛГМ, розроблена у США класифікація, яка базується на часі втрати горючими матеріалами 63% вологості (1/10/100/1000 годин) та наборі моделей горючих матеріалів є найбільш придатною для цілей моделювання в Українському Поліссі. Збір даних щодо ЛГМ доцільно виконувати за системою *FIREMON*. Параметризація алгоритмів моделювання розвитку лісових пожеж, зокрема переходи низових у верхові, повинна базуватись на запасах горючих матеріалів у наметі лісу, середній висоті деревостанів, висоті прикріплення крони, зімкнутості та щільності ЛГМ.

2. Аналіз досвіду створення пожежних геопорталів свідчить, що їх ефективність залежить від наявності достатньої кількості пірологічних просторових шарів, отже, для функціонування геопорталу «Ландшафтні пожежі» в Україні бажано внести його в систему державного екологічного та гідрометеорологічного моніторингу.

3. Супутникові дані виступають єдиним доступним джерелом даних про просторові характеристики ландшафтів Полісся України, необхідні для прогнозування ризиків природних пожеж, оскільки забезпечують суцільне покриття території досліджень. У зв'язку з цим для створення інформаційної основи геопорталу з біофізичними показниками природних ландшафтів використано переважно матеріали дешифрування супутникових знімків *Landsat*, а також окремі глобальні продукти лісового покриву.

4. Найбільш доцільною щодо використання в регіоні досліджень для прогнозування ризиків пожеж є модель Ротермеля та система *BehavePlus*, для прогнозу інтенсивності горіння на фронті пожежі – модель Байрама. Базовими показниками моделювання мають бути ймовірність займання та вигорання, ключові параметри горіння (швидкість, довжина полум'я, теплотворна здатність та інші), які є основою прогнозування виду пожежі та тактики її гасіння.

5. Аналіз пожежної погоди Українського Полісся свідчить про її відносну подібність, проте у 2020 році мали місце екстремальні рівні пожежної небезпеки

погоди. Встановлено незначний широтний градієнт розподілу середньодобової температури повітря, а також швидкості вітру. Максимальна швидкість вітру в регіоні сягає небезпечного рівня за показників $15\text{--}16\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

6. Регіон досліджень характеризується рівнинним рельєфом, який не буде суттєво впливати на швидкість та поведінку пожежі. На рівні мезорельєфу пришвидшення розвитку пожежі можливо в ділянках соснових лісів, що розташовані на піщаних дюнах та на переходах від заплави до першої та другої борової тераси. Висота над рівнем моря в регіоні досліджень коливається від 90–170 м у Придніпровській низовині та до 300 м у Овруцько-Словечаському кряжі.

7. Для регіону досліджень та геопорталу визначено 11 моделей горючих матеріалів, які можуть бути класифіковані шляхом обробки часових серій супутникових знімків *Landsat* із достатньою для задач точністю.

8. Розроблений алгоритм класифікації території за типами наземного покриву та горючих матеріалів базується на знімках *Landsat*, алгоритму навчання *Random Forest*, результатах польових вибіркового досліджень, доступних наборах геопросторової інформації, алгоритму радіометричної корекції знімків *LEDAPS*, геометричної корекції та валідації. Джерелами опорних даних для класифікації супутникових знімків та оцінки тематичної точності кінцевого продукту слугували сервіси *Google Earth*, *Google Earth Engine*, *OpenForis* за параметрами *land cover ma land use* з використанням продукту *Global Forest Change*.

9. Аналіз горимості регіону досліджень виконаний за даними сенсора MODIS та алгоритму MOD14/MYD14 *Fire and Thermal Anomalies* за 2001–2016 рр. із застосуванням розроблених у рамках цього проєкту *Java*-скриптами, що забезпечували внесення у вибірку пожеж з імовірністю вище 30% та системи GEE. На основі даних про розподіл пожеж створено один із ключових просторових шарів геопорталу – карту ймовірності загорань.

10. Встановлено, що площа пожеж у Поліссі України коливається в межах 100–500 тис. га щорічно. Роками пожежних максимумів були 2002 рік (310 тис. га), 2008–2009 рр. (425–393 тис. га), 2014–2015 рр. (390–495 тис. га) відповідно. Протягом періоду 2001–2016 рр. найбільш небезпечними є березень (823 тис. га),

квітень (440 тис. га), серпень (606 тис. га), вересень (714 тис. га) та жовтень (562 тис. га). Найбільші площі пожеж у 2015 році встановлено у Сарненському та Рокитнівському районах Рівненської області.

11. Всього за даними геопорталу в Україні за період 2001–2020 рр. відбулося 505,8 тис. ландшафтних пожеж, загальною площею 28,7 млн га. У 2020 році пожежами пройдено 220 тис. га природних та культурних ландшафтів, зокрема найбільше у Житомирській, Київській та Луганській областях.

12. Розроблену схему класифікації території за типами землекористування узгоджено з класифікацією на основі моделей горючих матеріалів Лісової Служби США, яка дозволяє виконати параметризацію алгоритмів виникнення та розвитку пожеж у природних ландшафтах території досліджень. Для цього в межах наукового проекту використано 10 різних моделей поведінки пожеж, які обґрунтовано на основі аналізу бази даних запасів горючих матеріалів у природних ландшафтах Полісся України.

13. Конфігурування геопорталу “Ландшафтні пожежі” виконано на віртуальному сервері з доменним ім’ям `wildfires.org.ua` та операційній системі Ubuntu 18.04. Основні програмні компоненти геопорталу включають *Python 3.6.9*, *Apache2*, *mod_wsgi*, *Qgis Server*, *Postgresql 9.6*, а також модулі розширення *Python Django*, *NumPy*, *SciPy*, *GDAL/OGR/OSR*, *Jenkspy*.

14. Основні можливості базової функціональності геопорталу представлено на сторінці вебдодатка `wildfires.org.ua`, яка завантажується зразу після авторизованого входу. Функції геопорталу представлено в діалогових вікнах: «Управління шарами», «Завантаження фрагменту *LCP*», «Пожежі», «Аналіз даних про пожежі», а також інформаційними таблицями, що відображають дані про пожежі, згарища і *LCP*. Значну частину інтерактивності вебдодатка реалізовано у картографічному вікні, а саме: відображення шарів і файлів *KML* за різними легендами; вибір полігонів (адміністративних утворень) і точок для виконання запитів; креслення довільних прямокутників і полігонів як територіальних одиниць запитів.

15. У підсумку досліджень, використання даних порталу з програмним забезпеченням *FLAMMAP* дозволяє доволі точно прогнозувати контури розвитку пожежі, базуючись на оперативних даних напрямку та сили вітру й конкретної координати початку пожежі. Це дозволяє використовувати портал у щоденній практиці попередження та гасіння пожеж за умови подальшого його розвитку як інформаційної системи, яка містить автоматичні інструменти актуалізації параметрів пожежного середовища території і на цій основі надає оперативний прогноз розвитку пожежі як основу для підтримки прийняття рішень керівником гасіння лісової пожежі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ager A. A. et al. The wildfire problem in areas contaminated by the Chernobyl disaster. *Science of The Total Environment*. Vol. 696. 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133954>.
2. Ager A., Vaillant N., Finney M. A comparison of landscape fuel treatment strategies to mitigate wildland fire risk in the urban interface and preserve old forest structure. *Forest Ecology and Management*. 2010. P. 166–167.
3. Anderson H. E. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: Ogden, UT. 1982. INT-122. 22p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr122.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
4. Baig M. H. A., Zhang L., Shuai T., Tong Q. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance, *Remote Sensing Letters*. 2014. Vol. 5, No. 5. P. 423–431. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>.
5. Breiman L. Random forests. *Machine Learning* 2001. Vol. 45. Issue 1. P. 5–32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
6. Brown J. K. Fuel and fire behavior prediction in big sagebrush: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 1982. 10 p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_rp290.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
7. Brown J. K., Oberheu, R. D., Johnston, C. M. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-129. Ogden. 1982. 48 p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr129.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
8. Brown J. K., Rick D. O., Cameron M. J. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service. 1982. Retrieved from: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/29401> (дата звернення: 7.04.2019).

9. Chrysafis I., Mallinis G., Gitas I. Tsakiri-Strati, M. Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 199. P. 154–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.018>.
10. Congalton R. G., Green K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Second Edition. 2008. CRC Press. 200 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420055139>.
11. Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. The National Fire-Danger Rating System USDA Forest Service Research Paper RM-84. 1972. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.98707>.
12. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). European Parliament and of the Council of the European Union. 2007.
13. Duncan C. L. et al. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station. 1 CD. General Technical Report (GTR). 2006. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>.
14. Eidenshink J., Schwind B., Brewer K. et al. A project for monitoring trends in burn severity. *Fire Ecology*. 2007. P. 3–21.
15. Finney M. A. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology & Management*. 2005. Vol. 211 P. 97–108. Retrieved from: <https://www.snap.uaf.edu/> (дата звернення: 20.04.2019).
16. Finney M. A. A Computational Method for Optimizing Fuel Treatment Locations. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41. 2006. Retrieved from: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/25940> (дата звернення: 02.03.2019).
17. Finney M. A. An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities. Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2006. P. 213–220. Retrieved from: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/25948> (дата звернення: 02.03.2019).

18. Finney M. A. Design of regular landscape level fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. *Forest Science*. 2001. *For. Sci.* 47(2):219–228. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr292/2001_finney.pdf (дата звернення: 02.03.2019).
19. Finney M. A. FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2004. 47 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4>.
20. Finney M. A. Fire growth using minimum travel time methods. 2002. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, Vol. 32, No. 8. pp. 1420–1424. Retrieved from: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x02-068> (дата звернення: 03.03.2019).
21. Finney M. The FlamMap fire mapping and analysis system. Finney. USDA Forest Service. 2006. Retrieved from: <https://www.firelab.org/project/flammap> (дата звернення: 02.03.2019).
22. FlamMap. U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire, Fuel, and Smoke Science Program, and Stu Brittan; Alturas Solutions; Missoula, Montana. 2019. Retrieved from: <https://www.firelab.org/project/flammap> (дата звернення: 25.09.2019)
23. Flood N. Comparing Sentinel-2A and Landsat 7 and 8 Using Surface Reflectance over Australia. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9(7). Doi: <https://doi.org/10.3390/rs9070659> 659. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/7/659> (дата звернення: 25.05.2019).
24. Foga S. et al. Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 194,1. P. 379–390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.026>.
25. Genuer R., Poggi J.-M., Tuleau-Malot C. Variable selection using random forests. *Pattern Recognition Letters Elsevier*, 2010, 31 (14), pp.2225–2236. Retrieved from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00755489/document> (дата звернення: 1.05.2019).

26. Giglio K., Keohane C., Stodghill P. et al. Transcriptomic Profiling Suggests That Promysalin Alters the Metabolic Flux, Motility, and Iron Regulation in *Pseudomonas putida* KT2440. *Marine Policy*. 2018. №96. P. 13–17.
27. Giglio L., Boschetti L., Roy D. et al. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*. 2018. P. 72–85.
28. Gorelick N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 2017. Vol. 202. P. 18–27. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00344257_17302900 (дата звернення: 10.04.2019).
29. Hansen M. C. et al. Continuous fields of land cover for the conterminous United States using Landsat data: first results from the Web-Enabled Landsat Data (WELD) project. *Remote Sensing Letters* 2011. Vol. 2. Issue 4. P. 279–288. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.519002>.
30. Hansen M.C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*. Vol. 342. 2013. P. 850–853. Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/d4e9/8078fbc0767ebc341f442f64ca7ce9e008db.pdf> (дата звернення: 10.04.2019).
31. He H., Garcia E. A. Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2009. №21. P. 1263–1284.
32. Holben B.N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 1986. Vol. 7. No 11. P. 1417–1434. Retrieved from: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431168608948945> (дата звернення: 10.03.2019).
33. Keane R. E., Drury S. A., Karau E. C. et al. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management Ecological Modelling. 2010. P. 2–18.
34. Kutia M., Gautam M., Myroniuk V. The Use of Sentinel-2 Imagery and Random Forest Classifier for Kyiv City Suburban Forest Mapping. The 3rd Global Forum of Ecological Economics in Forestry, May 20–21, 2017: Nanchang, China. 2017. P. 27–39.

35. Kutia M., Myroniuk V., Sarkissian A. J., Evaluation of Sentinel-2 Compositing Mosaics and Random Forest Method for Tree Species Distribution Mapping in Suburban Areas of Kyiv City, Ukraine. In Proceedings of the Proceedings of the International Workshop on Environmental Management, Science and Engineering, June 16–17, 2018; Xiamen, China, 2018; Vol. 1. P. 597–604.

36. Lee B. S., Alexander M. E., Hawkes B. C. et al. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. P. 185–198.

37. Loboda T. V., Csiszar I. A. Assessing the risk of ignition in the Russian far east within a modeling framework of fire threat. *Ecological Applications*. 2007. №17. P. 791–805.

38. Martin R. E., Frewing, D. W., McClanhan, J. L. Average biomass of four northwest shrubs by fuel size class and crown cover. Portland (OR): USDA Forest Service. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 1981. Research Note PNW-374. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_rn374.pdf (дата звернення: 6.06.2019).

39. Matthews S. A comparison of fire danger rating systems for use in forests. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*. 2009. №58. P. 41–48.

40. McArthur A. G. Fire behavior in eucalypt forests. Australia, Canberra: Forestry and Timber Bureau, 1967. 36 p. Retrieved from: <https://trove.nla.gov.au/work/21914760?q&versionId=26402708> (дата звернення: 6.06.2019).

41. Nelson R. M. Water relations of forest fuels *Forest fires*: Elsevier. 2001. P. 79-149. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-012386660-8/50006-4>. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123866608500064> (дата звернення: 10.05.2019).

42. Olofsson P., Foody G. M., Stehman S. V., Woodcock C. E. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 129. P. 122–131. Retrieved from: <http://ftp-earth.bu.edu/public/olofsson/>

[Estimation Workshop Lima Aug2014/Articles/Olofsson etal 2013 RSE.pdf](#) (дата звернення: 5.03.2019).

43. Olofsson P., Foody G. M., Herold M. et al. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148 (2014) 42–57. Retrieved from: http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/olofsson_et_al._2014_-_good_practices_for_estimating_area_and_assessing_accuracy_of_land_change.pdf (дата звернення: 11.05.2019).

44. Perryman, H. A. (2009). A mathematical model of spot fires and their management implications. A Thesis Presented to The Faculty of Humboldt State University In Partial Fulfillment Of the Requirements for the Degree Master of Science In Environmental Systems: Mathematical Modeling, 115.

45. PHP, Ruby, Python – краткая характеристика трёх языков программирования. Retrieved from: <http://www.internet-technologies.ru/articles/php-ruby-python-harakteristika-yazykov-programmirovaniya.html> (дата звернення: 02.07.2019).

46. Prichard S. J., Sandberg D. V., Ottmar R. D., Eberhardt E., Andreu A., Eagle P. & Swedin K. Fuel Characteristic Classification System Version 3.0: Technical Documentation (PNW-GTR-887). Portland, Oregon, USA. 2013.

47. Rollins M. G. Landfire: a Nationally consistent vegetation, wildland fire, and fuel assessment. *International Journal of Wildland Fire*. 2009. №18. P. 235–249.

48. Rothermel R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-115. Ogden, Utah, 1972. 40 p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_rp115.pdf (дата звернення: 02.06.2019).

49. Roussopoulos P. J., Loomis R. M. Weights and dimensional properties of shrubs and small trees of the Great Lakes conifer forest. Research Paper NC-178. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1979. 6 p. Retrieved from: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/rp/rp_nc178.pdf (дата звернення: 04.07.2019).

50. Roy D.P. et al. Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment* 2010. Vol. 114 (1). P. 35–49. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S034425709002545> (дата звернення: 10.03.2019).
51. Saglam B., Bilgili E., Dincdurmaz B., Kadiogulari A. I., Küçük Ö. Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT Imagery. *Sensors*, Vol. 8(6). 2008. P. 3970–3987. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3924935/> (дата звернення: 12.06.2019).
52. Scott J.H., Burgan R.E. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2005. 72 p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr153.pdf (дата звернення: 10.05.2019).
53. Shvydenko A., Buksha I., & Krakovska S. Strengthening Ukraine's ability to assess the vulnerability of plain forests to climate change. Clima East project report, CEEF2015-036-UA. 2016.
54. Simard M., Pinto N., Fisher J. B., Baccini A. Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116. G04021. 2011. P. 1–12. Doi:10.1029/2011JG001708
55. Trabaund L. Fuel mapping helps forest fire- fighting in Southern France. *Fire Management Notes*. 1978. N 1. P. 14–17.
56. Wilson B.T., Knight J.F., McRoberts R.E. Harmonic regression of Landsat time series for modeling attributes from national forest inventory data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. Vol. 137. P. 29–46. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271618300066> (дата звернення: 10.03.2019).

57. Woodcock C.E. et al. Free Access to Landsat Imagery. Commentary. Science. 2008. 320 p. Retrieved from: https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/ja_iitf_2008_woodcock001.pdf (дата звернення: 14.05.2019).

58. Zhu Z., Wang S., Woodcock C.E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. Remote Sensing of Environment 2015. Vol. 159. P. 269–277. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425714005069> (дата звернення: 9.03.2019).

59. Zhu Z., Woodcock C.E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 118. P. 83–94. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711003853> (дата звернення: 15.04.2019).

60. Арманд Д. Л. Наука о ландшафтах. М.: Мысль, 1975. 141 с.

61. Базилевич Н. И. Малый биологический круговорот зольных веществ при лугово-степном и степном почвообразовании. Почвоведение, М.–Л., 1958. 120 с.

62. Балашев Л.С. Сипайлова Л.М., Соломаха Б.А. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Типология лугов Украины и их рациональное использование. Київ : Наук. думка., 1988. 237 с.

63. Береговий П.М. Геоботаніка. Київ: Радянська школа, 1966. 175 с.

64. Борсук О.А. Комплексна оцінка пожежної небезпеки лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. Вип. 187 (3). С 167–176.

65. Борсук О.А. Природна пожежна небезпека соснових лісів зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення ЧАЕС. Наук. вісн. НУБіП України. Вип. 164. С 105–112.

66. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные лесные пожары: М.: Наука, 1979. 198 с.

67. Великий тлумачний словник сучасної української мови. Уклад. і голов. ред. В.Т. Бусел. К., Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004. 732 с.
68. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 314 с.
69. Ворон В.П., Ткач О.М., Сидоренко С.Г., Мельник Є.Є. Запаси підстилки та живого надґрунтового вкриття як показник ризику виникнення пожеж у соснових лісах Полісся. Наукові праці лісівничої академії наук України. № 16, 2018. С. 9–16.
70. Гусев В. Г., Лопухова Е. Л., Дубовый В. К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов. СПб.: ФБУ «Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства», 2011. №21. С. 26–35.
71. Жданович С. А., Вершицкая И. Н. Высшие сосудистые растения, произрастающие на крупных древесных остатках. Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: материалы Всероссийской науч. конф., Санкт-Петербург, 20–24 сент. 2011 г.: в 2 т. ю Учреждение Российской академии наук «Ботанический институт им. В. Л. Комарова» и Русское Ботаническое Общество. Санкт-Петербург. 2011. Т. 2. С. 344–347.
72. Жданович С. А., Пугачевский А. В. Критическая оценка валежа сосны и ели как лесного горючего материала в хвойных лесах Беларуси. Экологический вестник. 2017. № 2(40). С. 58–61.
73. Жданович, С. А. Заращение мертвой древесины различной степени разложения под пологом леса. Леса Евразии – Русский Север: материалы VII Междунар. науч. конф. молодых ученых, посвящ. 140-летию со дня рожд. проф. Г. Ф. Морозова, Петрозаводск, 9–17 июля 2007 г. Петр. гос. ун-т. М., 2007. С. 139–141.
74. Землі сільськогосподарського призначення: права громадян України. Науково-навчальний посібник. За ред. докт. юрид. наук, проф. Н.І. Титової. – Львів: ПАІС, 2005. 11 с.

75. 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*. Вип. 10 (3), С. 27–40.

76. Канаш О.П. До проблеми ґрунтових обстежень. *Землеустрій і кадастр*. 2005., №3. 55 с.

77. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.

78. Корень В.А. Горимість лісів поліської частини Рівненської області. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. Вип. 219. С 85–97.

79. Костюкевич Н.И. Задержание жидких осадков пологом соснового насаждения. *Лесоведение и лесное хозяйство*. ФБУ «Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства», 1975. Вип. 9. С. 22–28.

80. Кузик А. Д. Еколого-лісівницькі основи пожежної безпеки в лісових насадженнях Малого Полісся: дис. д-ра с.-г. наук: 06.03.03. Держ. Ун-т безпеки життєдіяльності. Львів, 2012. 361 с.

81. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. *Вопросы пирологии*. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.

82. Лакида П.І., Миронюк В.В., Гілітуха Д.В. Аналіз та інтерпретація карти високого просторового розрізнення лісових екосистем Полісся України. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 4. С. 5–9.

83. Левченко В. В., Борсук О. А., Борсук А. А. Лісові горючі матеріали. *Навчальний посібник*. Київ. НУБіП України, 2015. 237 с.

84. Мелехов И. С. Лесная пирология: учебное пособие для студентов лесохозяйственных факультетов. М.: МЛТИ. 1983. 59 с.

85. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947. 60 с.

86. Мелехов И. С., Душа-Гудым С. И., Сергеева Е. П. Лесная пирология: учебное пособие. Москва: ГОУ ВПО МГУЛ. 2007. 296 с.
87. Миронюк В. В. Використання сезонних композитних мозаїк Landsat для оцінки та картографування лісових ресурсів. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування : зб. матеріалів учасн. Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: 2018. С. 150–153.
88. Миронюк В. В. Картографування рівнинних лісів України на основі щільних часових рядів супутникових знімків Landsat. Картографічне моделювання та географічні інформаційні системи: зб. матеріалів учасн. всеукр. наук.-практ. конф. Львів, 2019. С. 51–54.
89. Миронюк В. В. Класифікація лісового покриву за сезонними композитними мозаїками Landsat. Науковий вісник НЛТУ України: 2018. № 28. С. 28–33.
90. Миронюк В. В. Підбір незалежних змінних для класифікації лісового покриву за сезонними мозаїками. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: 2017. С. 66–76.
91. Миронюк В. В. Сезонна динаміка спектральних характеристик земного покриву та її роль у дешифруванні лісових насаджень за знімками Landsat. Науковий вісник НУБіП України: 2017. С. 54–64.
92. Мякушко В. К. Сосновые леса равнинной части УССР. К. Наукова думка, 1978. 255 с.
93. Паскевич С. А. Радіаційна вагомість фітоценозів лук та перелогів Чорнобильської зони відчуження на етапі пізньої фази аварії : дис. канд. біол. наук: 03.00.01. Паскевич Сергій Анатолійович – Чорнобиль, 2005. 191 с.
94. Персикова З. И. Морфологические особенности и большой жизненный цикл *Stipa stenophylla* Czern. Уч. зап. Волгоградск. гос. пед. инст. им. А. С. Серафимовича, 1958. 9 с.
95. Программа и методика биогеоценологических исследований. Москва. Наука, 1974. 401 с.

96. Работнов Т. А. Суходольный луг как биогеоценоз. М.: Наука, 1978. 84 с.
97. Ремезов Н. П., Погребняк П. С. Лесное почвоведие. Москва. Лесная промышленность, 1965. 323 с.
98. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. Москва. Наука, 1965. 264 с.
99. Родин Л. Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 215 с.
100. Рябуха Е. В. Накопление лесной подстилки в насаждениях Украинского Полесья. Лесоведение, 1972. № 1. С. 26–34.
101. Семенова-Тян-Шанская А. М. Динамика накопления и разложения мертвых растительных остатков в лугово-степных и луговых ценозах. Ботанический журнал, 1960. С. 45–55.
102. Сидоренко С. Г., Ворон В.П., Мельник Я.Я., Сидоренко А. Г., Особливості формування стиглих деревостанів після низових пожеж. Лісівництво і агролісомеліорація, вип. 127. С. 169-176.
103. СОУ 02.02–37–476: 2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. Введ. 26.12.2006. К. : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.
104. Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. М.: Наука, 1967. 148 с.
105. Софронов М.А. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. 330 с.
106. Софронов М.А., Волокитина А.В. Методика пирологического обследования и описания лесных участков, пройденных пожарами. Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачова СО РАН, 2007. 71 с.
107. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.

108. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.
109. Фуряев В. В., Злобина Л. П., Заболотский В. И. Комплексы почвенных горючих материалов и возможность их регулирования в профилактике лесных пожаров. Лесн. хоз-во. 2007. № 1. С. 43-44.
110. Черных В. А. Фуряев В. В. Лесные пожары в ленточных борах Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 2011. 176 с.
111. Швиденко А., Лакида П., Щепашенко Д., Василишин Р., Марчук Ю. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор. Корсунь-Шевченківський. ФОП Гаврищенко В. М., 2014. 283 с.
112. Шевченко О. В. Оцінка вразливості до змін клімату: Україна. Київ: Муґлаєр, 2014. 63 с.
113. Шешуков М.А. Пирогенез – важнейший фактор формирования лесов. Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1984. С. 99–100.
114. Яковлев А.П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. С. 195–213.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця 1 – Часовий розподіл площі пожеж на території досліджень за адміністративними областями відповідно до даних MCD64A1, га

Область / Рік	Порядковий номер місяця												Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Волинська	0	24248	43612	1900	187	93	4173	4175	13090	11024	254	0	102757
2001	0	0	78	126	0	0	0	0	366	0	0	0	570
2002	0	0	538	0	0	0	93	444	1750	31	0	0	2857
2003	0	0	4230	0	0	0	96	572	1491	530	0	0	6920
2004	0	0	711	0	0	0	0	143	2248	348	0	0	3450
2005	0	0	758	0	0	0	111	238	2978	1095	93	0	5273
2006	0	0	16	0	125	0	0	0	190	604	0	0	934
2007	0	0	998	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1029
2008	0	0	0	0	0	0	1598	427	254	746	0	0	3025
2009	0	0	5197	1633	0	0	364	79	698	0	0	0	7970
2010	0	0	1283	0	0	0	540	63	79	1439	145	0	3550
2011	0	0	601	48	0	0	0	0	0	95	0	0	743
2012	0	23983	13372	0	0	0	0	0	776	254	0	0	38384
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	265	14863	62	0	0	76	5	1115	1731	0	0	18117
2015	0	0	0	0	63	93	807	1217	711	4058	15	0	6965
2016	0	0	968	0	0	0	489	987	434	93	0	0	2971

Продовження таблиці 1

Область / Рік	Порядковий номер місяця												Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Рівненська	0	2279	67931	5909	127	1476	5767	39061	51470	29358	422	0	203799
2001	0	0	498	0	0	0	0	32	0	0	0	0	529
2002	0	0	1847	0	127	47	1969	14153	20588	281	0	0	39011
2003	0	0	7437	0	0	0	0	63	48	62	0	0	7610
2004	0	0	625	634	0	0	0	175	1224	788	0	0	3446
2005	0	0	176	0	0	0	0	111	1224	1138	0	0	2649
2006	0	0	4182	16	0	0	669	0	175	557	0	0	5598
2007	0	0	774	0	0	0	26	334	318	0	0	0	1451
2008	0	0	0	0	0	0	493	2497	287	2080	191	0	5547
2009	0	0	2687	4372	0	0	175	3384	2846	63	0	0	13526
2010	0	0	350	0	0	270	73	207	1699	355	214	0	3168
2011	0	0	1379	317	0	222	111	143	3204	532	0	0	5907
2012	0	281	37443	0	0	0	0	652	1032	135	0	0	39542
2013	0	0	0	239	0	0	273	429	0	0	0	0	941
2014	0	141	7503	206	0	0	176	830	438	8025	16	0	17334
2015	0	1856	788	126	0	875	1404	13972	12150	13383	1	0	44556
2016	0	0	2244	0	0	62	399	2081	6238	1961	0	0	12984
Житомирська	0	87064	243761	40498	1042	1649	23858	63118	68812	54501	1596	0	585898
2001	0	0	506	175	0	0	2712	5352	259	477	0	0	9481

Продовження таблиці 1

Область / Рік	Порядковий номер місяця												Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2002	0	0	20469	79	0	687	5277	2147	7534	0	0	0	36193
2003	0	0	9979	1635	31	501	0	0	620	16	0	0	12783
2004	0	0	61	1548	0	194	223	1479	1678	162	0	0	5345
2005	0	0	32	4036	0	0	453	236	4316	7056	0	0	16129
2006	0	0	10273	645	0	0	63	367	2666	1357	0	0	15371
2007	0	288	24284	141	0	32	1274	1394	1155	48	0	0	28616
2008	0	11211	0	0	287	0	3036	15430	13335	257	16	0	43573
2009	0	0	10311	16096	16	0	3431	14186	13023	4823	0	0	61885
2010	0	0	15624	81	0	47	755	1855	1372	1402	0	0	21136
2011	0	0	2214	3763	16	0	129	1941	2661	3456	611	0	14791
2012	0	80	65112	357	32	0	1570	388	933	129	0	0	68600
2013	0	0	1386	2859	291	0	258	2826	0	0	0	0	7620
2014	0	3273	19578	475	0	0	1729	2410	3703	29544	449	0	61160
2015	0	72212	54885	8610	368	188	1854	6856	8608	4305	520	0	158406
2016	0	0	9047	0	0	0	1092	6250	6951	1468	0	0	24809
Київська	0	31387	266748	132742	573	1629	108673	213320	223625	132357	12101	0	1123155
2001	0	0	4846	14509	0	0	14195	26722	17349	6675	0	0	84296
2002	0	0	62904	236	0	64	8361	17697	5702	80	0	0	95044
2003	0	0	4442	17315	221	0	745	598	7995	1126	0	0	32442

Продовження таблиці 1

Область / Рік	Порядковий номер місяця												Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2004	0	0	435	7926	0	0	2908	14527	28764	2991	144	0	57695
2005	0	0	7565	34251	0	0	10359	5424	22228	14149	0	0	93976
2006	0	0	2606	18321	129	258	5249	4247	12586	4155	0	0	47551
2007	0	1123	61692	370	0	723	7204	4290	8695	1439	0	0	85535
2008	0	2917	127	96	0	0	30564	73594	61851	5191	300	0	174642
2009	0	0	8164	13351	49	28	12950	34774	19823	13356	0	0	102496
2010	0	0	5851	1608	0	0	1887	2649	13535	8575	1146	0	35250
2011	0	0	15272	3437	0	80	353	2784	1679	6977	5721	0	36303
2012	0	0	39112	420	0	48	2788	1645	2905	2844	0	0	49762
2013	0	0	1680	8062	80	48	1012	5934	32	3561	0	0	20411
2014	0	4434	8180	174	0	0	3708	4013	11669	43747	3162	0	79088
2015	0	22913	36663	12566	94	299	4616	5248	6047	13261	1628	0	103336
2016	0	0	7208	100	0	80	1773	9174	2764	4231	0	0	25329
Чернігівська	0	36762	126552	136407	7078	3186	56243	154990	272949	250913	16169	0	1061249
2001	0	0	9956	6506	0	0	2108	7580	5068	6267	0	0	37486
2002	0	185	31840	739	0	0	8372	4686	7717	0	0	0	53539
2003	0	0	730	4095	317	126	206	2060	7664	95	0	0	15294
2004	0	0	202	14650	0	0	2798	17125	39847	7851	0	0	82473
2005	0	0	7122	16514	95	0	5541	6384	18958	22201	31	0	76847

Продовження таблиці 1

Область / Рік	Порядковий номер місяця												Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2006	0	0	4722	9578	214	173	1088	1997	8994	4433	0	0	31199
2007	0	125	23630	480	1440	1590	1708	10554	19893	5057	0	0	64476
2008	0	657	251	157	32	0	6537	51116	67408	4180	2346	0	132684
2009	0	0	5619	55240	1523	655	7629	16827	26910	21486	0	0	135890
2010	0	0	548	651	95	219	3182	4266	7449	7300	35	0	23745
2011	0	0	4690	1027	0	15	324	4079	4279	11305	713	0	26433
2012	0	0	3602	914	1536	0	3735	2141	10164	8109	0	0	30200
2013	0	0	523	15901	1746	0	849	7072	4061	4347	0	0	34499
2014	0	13418	8540	1836	48	126	5348	10262	22383	98517	5323	0	165801
2015	0	22377	22419	8119	32	281	2394	4117	20954	47330	7721	0	135743
2016	0	0	2156	0	0	0	4425	4726	1201	2433	0	0	14942
Разом	0	199280	822694	440452	9838	9678	246493	605554	713887	561987	33580	0	3643444

Додаток Б

Таблиця 1 – Запас наземних лісових горючих матеріалів за класифікацією NFDRS, т·га⁻¹

Група віку	Статистичні показники	A, років	D, см	H, м	Бонітет	Запас, м ³ ·га ⁻¹	ТЛУ	Запас 1 год. (до 0,6 см), т·га ⁻¹	Запас 10 год. (0,7-2,5 см), т·га ⁻¹	Запас 100 год. (2,6-7,5 см), т·га ⁻¹	Запас підстилки (+шишки), т·га ⁻¹	Глибина підстилки, см
Молодняки	avg.	30	10	11	2	193	B ₂	0,76	1,22	0,99	32,80	6,38
	max.	40	16	15	3	353	B ₃	1,47	2,90	3,00	77,52	11,73
	min.	11	4	3	1	30,3	A ₂	0,35	0,14	0,00	7,50	0,00
Середньовікові	avg.	51	18	18	2	379	B ₂	0,86	1,74	2,05	34,10	7,14
	max.	60	25	25	3	539	B ₃	1,91	6,15	5,40	130,35	11,70
	min.	42	12	15	1	177	A ₂	0,30	0,53	0,00	2,50	1,40
Пристигаючі	avg.	71	24	23	2	445	B ₂	0,72	0,87	0,75	61,39	9,96
	max.	80	30	28	1	761	B ₃	1,54	2,20	2,80	125,78	12,22
	min.	62	18	18	1	343	A ₂	0,25	0,12	0,00	19,00	6,80
Перестійні	avg.	115	37	28	1	442	B ₂	1,00	0,94	0,52	105,58	10,52
	max.	139	46	31	2	544	B ₃	1,47	1,85	1,13	180,59	12,88
	min.	94	31	25	1	380	A ₂	0,49	0,07	0,00	47,71	7,18

Функції на мові *Python*, що виконуються на стороні сервера

```

from django.db import connection
import json
import logging
import requests
import re
from django.shortcuts import HttpResponseRedirect, render
from django.conf import settings
import os
from django.contrib.auth import authenticate, login
from osgeo import gdal
from . import lcp_bin
from zipfile import ZipFile, ZIP_DEFLATED
import numpy as np
import jenkspy
import random
from datetime import datetime
from django.http import JsonResponse

logger = logging.getLogger(__name__)
reg_sensors = ['eur_modis_1', 'eur_suomi_1', 'eur_noaa_1', 'rus_modis_1',
               'rus_suomi_1', 'rus_noaa_1',
               'eur_modis_2', 'eur_suomi_2', 'eur_noaa_2', 'rus_modis_2',
               'rus_suomi_2', 'rus_noaa_2']

ub = [21.3, 43.7, 40.7, 53.2]
lcp_file = 'landscape.lcp'
ign_prob_file = 'ign_prob.tif'
bp_file = 'bp.tif'
lc_ip_bp_file = 'lc_ip_bp.tif'
lcp_dir = ""

def search_closest_right_index(ar, val, max):
    idx = np.searchsorted(ar, val)
    if idx > max:
        idx = max
    if val > ar[idx]:
        idx += 1
    if idx > max:
        idx = max
    return idx

def jenks_ranges_with_data(data, num_classes):

```



```

new_data = data
thresh = 30000
if len(data) > thresh:
    new_data = representative_sample(data, thresh, num_classes)

breaks = jenkspy.jenks_breaks(new_data, num_classes)
breaks[0] -= 1
range_cnt_sum = {}
for i in range(0, len(breaks)):
    k = int(round(breaks[i], 0) * 10)
    range_cnt_sum[k] = [0, 0]
max_idx = len(breaks) - 1
for j in range(0, len(data)):
    min_idx = search_closest_right_index(breaks, data[j], max_idx)
    k = int(round(breaks[min_idx], 0) * 10)
    range_cnt_sum[k][0] += 1
    range_cnt_sum[k][1] += float(data[j])
return range_cnt_sum

def representative_sample(data, min_quantity, num_classes):
    np_ar = np.array(data)
    ind_ar = np.random.choice(range(0, len(np_ar)), min_quantity, replace=False)
    ar_new = []
    for j in range(0, len(ind_ar)):
        ar_new.append(np_ar[[ind_ar[j]]])
    return ar_new

def select_jenks_breaks(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        st = params['start_time']
        ft = params['finish_time']
        regn = int(params['regn'])
        admn = int(params['admn'])
        num_classes = int(params['n_class'])
        poly = str(params['poly'])
        qr = 'select * from myfire.__lf_select_area_values(%s, %s, %s, %s,
{0})'.format(poly)
        plist = [st, ft, regn, admn]
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        data = []
        for i in range(0, len(tab_vals)):
            val_cnt = int(tab_vals[i][1])
            for j in range(0, val_cnt):
                data.append(tab_vals[i][0])

```

```

class_distribution = jenks_ranges_with_data(data, num_classes)
res = json.dumps(class_distribution)
return HttpResponse(res, content_type='text/html')
except Exception as e:
    return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def select_fire_stat(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        st = params['start_time']
        ft = params['finish_time']
        regn = int(params['regn'])
        admn = int(params['admn'])
        poly = str(params['poly'])
        qr = 'select * from myfire.__lf_select_fire_count_by_date_ranges(%s, %s,
%s, %s, {0})'.format(poly)
        plist = [st, ft, regn, admn]
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

    except Exception as e:
        return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def search_closest_left_index(ar, val):
    idx = np.searchsorted(ar, val)
    if val < ar[idx]:
        idx -= 1
    return idx

def select_cell_lcp_values(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        px = float(params['px'])
        py = float(params['py'])
        prad = int(params['pradius'])

        qr = 'select * from myfire.__lf_select_nearest_grid_data_cell(%s, %s, %s)'
        plist = [px, py, prad]
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        tab_vals[0][9] = float(tab_vals[0][9])
        tab_vals[0][10] = float(tab_vals[0][10])

        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

```

```

except Exception as e:
    return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def upload_11_layers(request):
    ## Preparing source files for generating myfire.lf_grid_data
    try:
        params = request.GET.copy()

        for i in range(0, 7):
            fn = "d:/temp/lcp_" + str(i + 1) + ".txt"
            extract_part_for_uploading(fn, i * 1000, (i + 1) * 1000)

        tab_vals = [['ok']]
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

    except Exception as e:
        return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def extract_part_for_uploading(fn, trow1, trow2):
    # Downloading data from source grids lc_ip_bp.tif (3 bands) and landscape.lcp(8
bands)
    # in the range from the row trow1 to the row trow2
    # Parameters ncols, nrows, originx, originy, resolx, resoly for both grids should be
the same

    bd = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
    lcp_dir = os.path.abspath(os.path.join(bd, '../static/lcp'))
    lcp_path = lcp_dir + '/' + lcp_file
    lc_ip_bp_path = lcp_dir + '/' + lc_ip_bp_file

    lcp_parser = lcp_bin.LcpBin(lcp_path)

    col_number = lcp_parser.meta['numeast'].value
    row_number = lcp_parser.meta['numnorth'].value

    f = open(fn, "w")

    ds_lc = gdal.Open(lc_ip_bp_path)
    ds = gdal.Open(lcp_path)

    band_data = {}
    for bi in range(1, 9):
        band_data[bi] = (ds.GetRasterBand(bi)).ReadAsArray()

```

```

band_data_rest = {}
for bi in range(1, 4):
    band_data_rest[bi] = (ds_lc.GetRasterBand(bi)).ReadAsArray()

counter = col_number * trow1

if trow2 > row_number:
    trow2 = row_number

# for row in range(0, row_number):
try:
    for row in range(trow1, trow2):
        for col in range(0, col_number):
            if band_data_rest[1][row][col] > 0:
                counter += 1
                xy = lcp_parser.Pixels2Coords([col, row])
                val_set = str(counter) + ';' + str(xy[0]) + ';' + str(xy[1]) + ';'
                for bi in range(1, 9):
                    val = band_data[bi][row][col]
                    val_set += str(val) + ';'

                for bi in range(1, 4):
                    val_temp = band_data_rest[bi][row][col]
                    if bi == 1:
                        val = int(val_temp)
                    else:
                        val = float(val_temp)
                    if val == -3.39999999521443642e+38:
                        val = -9999.0
                    val_set += str(val) + ';'

                val_set = val_set[0:val_set.__len__() - 1] + '\n'
                f.write(val_set)
finally:
    f.close()
    ds = None
    ds_lc = None

def download_lcp(request):
    try:
        bd = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
        lcp_dir = os.path.abspath(os.path.join(bd, '../static/lcp'))

        params = request.GET.copy()
        x1 = float(params['ul_x'])

```

```

y1 = float(params['ul_y'])
x2 = float(params['dr_x'])
y2 = float(params['dr_y'])

lcp_path = lcp_dir + '/' + lcp_file
ign_prob_path = lcp_dir + '/' + ign_prob_file
bp_path = lcp_dir + '/' + bp_file

lcp_parser = lcp_bin.LcpBin(lcp_path)
px1 = lcp_parser.Coords2Pixels([x1, y1])
px2 = lcp_parser.Coords2Pixels([x2, y2])

width = px2[0] - px1[0]
height = px2[1] - px1[1]

# lcp extraction. Coordinates in pixels originated from upper left corner
lcp_temp = lcp_dir + '/lcp_subset.lcp'
ign_prob_temp = lcp_dir + '/ign_prob_subset.lcp'
bp_temp = lcp_dir + '/bp_subset.lcp'
filezip = lcp_dir + '/lcp_subset.zip'

if os.path.exists(lcp_temp):
    os.remove(lcp_temp)

if os.path.exists(ign_prob_temp):
    os.remove(ign_prob_temp)

if os.path.exists(bp_temp):
    os.remove(bp_temp)

ds = gdal.Open(lcp_path)
ds_new = gdal.Translate(lcp_temp, ds, srcWin=[px1[0], px1[1], width, height])
ds_new = None
ds = None

ds = gdal.Open(ign_prob_path)
ds_new = gdal.Translate(ign_prob_temp, ds, projWin=[x1, y1, x2, y2])
ds_new = None
ds = None

ds = gdal.Open(bp_path)
ds_new = gdal.Translate(bp_temp, ds, projWin=[x1, y1, x2, y2])
ds_new = None
ds = None

```

```

zf = ZipFile(filezip, "w", ZIP_DEFLATED)
try:
    zf.write(lcp_temp, 'lcp_subset.lcp')
    zf.write(ign_prob_temp, 'ign_prob_subset.tif')
    zf.write(bp_temp, 'bp_subset.tif')
finally:
    zf.close()
rfile = '/static/lcp/lcp_subset.zip'
return HttpResponse(rfile, content_type='text/html')

except Exception as e:
    return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def check_login(request):

    try:
        params = request.GET.copy()
        lg = params['login']
        ps = params['password']
        tab_vals = [[0]]
        user = authenticate(username=lg, password=ps)
        if lg == 'floating' or lg == 'zibtsev' and user is not None:
            login(request, user)
            tab_vals = [[1]]

        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')
    except Exception as e:
        return HttpResponse('check login page no-----' + str(e),
content_type='text/html')

def select_districts(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        regn = int(params['regn'])

        qr = "select admn, nameua from myfire.topodistrict where regn=%s"
        plist = [regn]
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')
    except Exception as e:
        return HttpResponse('no', content_type='text/html')

```



```

def select_regions(request):
    try:
        qr = "select regn, nameua from myfire.toporegion order by nameua"
        plist = []
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')
    except Exception as e:
        return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def select_regn_geom(request):
    # works for table toporegion and topodistrict from myfire
    try:
        params = request.GET.copy()

        tn = params['tabname']
        px = params['px']
        py = params['py']

        qr = "select tnameua, st_astext((st_dump(tgeom)).geom) as geom_text from
myfire.__lf_select_regn_geom(%s, %s, %s)"
        plist = [tn, px, py]
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)

        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

    except Exception as e:
        return HttpResponse('no', content_type='text/html')

def select_burnt_polygons(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        st = params['start_time']
        ft = params['finish_time']

        qr = 'select id,area_h::double precision, fire_date::text, ST_AsText(geom) ' \
            'from myfire.lf_burned_polygon where fire_date >= %s and fire_date <=
%s'
        plist = [st, ft]

        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

```

```

except Exception as e:
    return HttpResponse('select burnt area page no-----'+str(e),
content_type='text/html')

def select_satellite_ignitions(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        st = params['start_time']
        ft = params['finish_time']

        instrument_list = params['instruments'].split(';')
        satellite_list = params['satellites'].split(';')

        qr = 'select *, ST_AsText(pol) poly from
myfire.__If_select_satellite_ignitions(%s, %s) where satel in
({})'.format(str(satellite_list)[1:-1])
        qr = (qr + ' and instr in ({} )'.format(str(instrument_list)[1:-1]))
        plist = [st, ft]

        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')

    except Exception as e:
        return HttpResponse('select satellite ignitions page no-----'+str(e),
content_type='text/html')

def download_last_fires(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        bd = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
        base_dir = os.path.abspath(os.path.join(bd, '../static/sensor-data'))
        ins_records = 0
        for rs in reg_sensors:
            _url = params[rs]
            r = requests.get(_url, allow_redirects=True)
            counter = 0
            for line in r.text.splitlines():
                if counter > 0:
                    strs = line.split(",")
                    lat = float(strs[0])
                    lon = float(strs[1])
                    if lon > ub[0] and lat > ub[1] and lon < ub[2] and lat < ub[3]:

```

```

        if rs.__contains__("modis"):
            ins_records = ins_records + upload_modis_line(line)
        elif rs.__contains__("noaa"):
            ins_records = ins_records + upload_noaa_line(line)
        else:
            ins_records = ins_records + upload_suomi_line(line)
    counter = counter + 1

    filename = base_dir + '/' + rs + '.csv'
    open(filename, 'wb').write(r.content)

    response_data = { }
    response_data['fire_cnt'] = str(ins_records)
    res = json.dumps(response_data)
    return HttpResponse(res, content_type='text/html')
except Exception as e:
    return HttpResponse('download last fires page no-----'+str(e),
content_type='text/html')

def upload_modis_line(line):
    qr = 'select * from myfire.__lf_insert_modis_record(%s)'
    plist = [line]
    tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
    return tab_vals[0][0]

def upload_noaa_line(line):
    qr = 'select * from myfire.__lf_insert_viirs_noaa_record(%s)'
    plist = [line]
    tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
    return tab_vals[0][0]

def upload_suomi_line(line):
    qr = 'select * from myfire.__lf_insert_viirs_suomi_record(%s)'
    plist = [line]
    tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
    return tab_vals[0][0]

def is_downloadable(url):
    """

```

Does the url contain a downloadable resource

"""

```

h = requests.head(url, allow_redirects=True)
header = h.headers
content_type = header.get('content-type')
if 'text' in content_type.lower():
    return False
if 'html' in content_type.lower():
    return False
return True

```

```

def get_tab_vals(qr, plist):
    cursor = connection.cursor()
    cursor.execute(qr, plist)
    tab_vals = []
    for row in cursor.fetchall():
        cols = []
        for col in row:
            cols.append(col)

        tab_vals.append(cols)
    return tab_vals

```

```

def get_burned_areas(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        yr_mn = params.get('ym')
        plist = yr_mn.split(".")
        qr = 'select id,area,ST_AsText(geom) from myfire.tb_burned_area where
year=%s and month=%s'
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        lst = []
        for vec in tab_vals:
            lst.append({'title': str(vec[1]), "key": yr_mn + '.' + str(vec[0]), "isLazy":
False, 'icon': False,
                'tooltip': vec[2]})

        res = json.dumps(lst)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')
    except Exception as e:
        return HttpResponse('burned area page no-----', content_type='text/html')

```

```

def get_burned_areas_years(request):
    try:
        plist = []
        qr = 'select year from myfire.tb_burned_area group by year order by year
desc'
        tab_vals = get_tab_vals(qr, plist)
        res = json.dumps(tab_vals)
        return HttpResponse(res, content_type='text/html')
    except Exception as e:
        return HttpResponse('Burned area years page is wrong',
content_type='text/html')

```

```

def topomaps(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        res = {}
        return render(request, 'backendemo/topomaps.html', res)
    except Exception as e:
        return HttpResponse('topomaps page no-----', content_type='text/html')

```

```

def fire_regimes(request):
    try:
        params = request.GET.copy()
        res = {}
        return render(request, 'backendemo/fire_regimes.html', res)
    except Exception as e:
        return HttpResponse('fire_regime page no-----', content_type='text/html')

```

Функції на мові *JavaScript*, що виконуються на стороні клієнта

```
const FLOAT_6 = new RegExp(/^(?!0{2})\d{1,2}[.]?[0,6]$/);

const __MONTH_NAMES = ["січ", "лют", "бер", "квіт", "трав", "черв", "лип",
    "сер", "вер", "жовт", "лист", "груд",];

const NUMERIC_REGEXP = /[-]{0,1}[\d]*[.]{0,1}[\d]+/g;

const _MS_PER_DAY = 1000 * 60 * 60 * 24;

var cursor_mode = 'pick_lcp';
var base_layers = {}
var fm_layers = {}
var topo_layers = {}

const bing_image = "url(../../static/images/icons/bing_logo_48.png)";
const bing_image_h = "url(../../static/images/icons/bing_logo_48_h.png)";
const osm_image = "url(../../static/images/icons/osm_logo_48.png)";
const osm_image_h = "url(../../static/images/icons/osm_logo_48_h.png)";
const kml_file_name = "url(../../static/lcp/kml_sample.png)";

//day in milliseconds
const one_day = 24 * 60 * 60 * 1000

//Ignition point layer
var ipSource
var ipLayer
//Burnt polygons
var bpSource
var bpLayer
//satel text, instr text, acq_time text, lat double precision, lon double precision,
bright double precision, sc double precision, tr double precision, confid text, ver
character varying, bright2 double precision, fr double precision, dn character
varying, xx double precision, yy double precision
var ip_field_names = ['satel', 'instr', 'acq_time', 'lat', 'lon', 'bright', 'sc', 'tr', 'confid',
'ver', 'bright2', 'fr', 'dn', 'xx', 'yy']
var bp_field_names = ['id', 'area_h', 'fire_date']

//Burned area layer
var baSource
var baLayer
var temp_source
```

```

var temp_layer

// Satellites and instruments
// instruments_list = ['VIIRS', 'MODIS']
// satellites_list = ['Aqua', 'Terra', 'NOAA-20', 'Suomi NPP']

var instruments_ids = ['modis-aqua', 'modis-terra', 'viirs-noaa', 'viirs-suomi']
var toplayer_ids = ['region_id', 'road_id']

var SATELLITE_NAMES = ['Aqua', 'Terra', 'NOAA-20', 'Suomi NPP']
var INSTRUMENT_NAMES = ['MODIS', 'VIIRS']

var SATELLITE_FLAGS = [1, 1, 1, 1]
var INSTRUMENT_FLAGS = [1, 1]

var map
var draw; // global so we can remove it later

var dragBox = new ol.interaction.DragBox({
  condition: ol.events.condition.always
});

var featureOverlay

// index 2 - unset value; index 3: denominator for conversion to float
var lcp_dict = {
  0:['Висота над рівнем моря', 'м', -9999, 1],
  1:['Ухил схилу', '°', -9999, 1],
  2:['Експозиція схилу', '°', -9999, 1],
  3:['Модель горючих матеріалів', "", 0, 1],
  4:['Зімкнутість деревостану', '%', -9999, 1],
  5:['Висота деревостану', 'м', -9999, 10],
  6:['Висота початку крони', 'м', -9999, 10],
  7:['Щільн. гор. мат. у кроні', 'кг/м<sup>3</sup>', -9999, 100],
  8:['Земельний покрив', "", 0, 1],
  9:['Імовірн. виникнення пожеж', "", -9999, 1],
  10:['Імовірн. поширення пожеж', "", -9999, 1],
}

var sub_lcp_dict = {
  8: {1:"Водойми", 2:"Воддно-болотні угіддя", 3:"Населені пункти", 4:"Інші
непродуктивні землі",
  5:"Сільськогосподарські угіддя", 6:"Травостої", 7:"Чагарники", 8:"Лісовий
покрив"}},
  3: {98:"NB8-Негорючі території", 121:"GS1-Трав'янисто-чагарникова
рослинність", 91:"NB1-Негорючі території", 99:"NB8-Негорючі території",

```



```

101:"GR1-Трав'яниста рослинність", 102:"GR2-Трав'яниста рослинність",
142:"SH2-Чагарникова рослинність", 188:"TL8-Деревний опад", 182:"TL2-
Деревний опад", 161:"TU1-Піднаметова рослинність"
}

```

```

var lcp_ind_legend = {
  8: { 1:'#00a9ff', 2:'#698339', 3:'#cc0013', 4:'#979aa0', 5:'#cdb33b', 6:'#f7e084',
7:'#6daf40', 8:'#00a82c' },
  3: { 91:'#c6c6c6', 98:'#c6c6c6', 99:'#c6c6c6', 101:'#fffc0', 102:'#fffc0',
121:'#e0b400', 142:'#b45f00', 161:'#547a51', 182:'#72b400', 188:'#72b400' }
}

```

```

var lcp_ramp_legend = {
  0: [ [90, 166.75, '#1a9641', '#a6d96a'], [166.75, 243.5, '#a6d96a', '#fffc0'], [243.5,
320.25, '#fffc0', '#fdae61'], [320.25, 397, '#fdae61', '#d7191c'] ],
  1: [ [0, 2.5, '#2b83ba', '#abdda4'], [2.5, 5, '#abdda4', '#ffffbf'], [5, 7.5, '#ffffbf',
'#fdae61'], [7.5, 10, '#fdae61', '#d7191c'], [10, 23, '#d7191c', '#d7191c'] ],
  2: [ [0, 89, '#2b83ba', '#aadda4'], [89, 179, '#aadda4', '#ffffbf'], [179, 269, '#ffffbf',
'#feaf62'], [269, 360, '#feaf62', '#d7191c'] ],
  //2: [ [0, 89, '#440154', '#3a528b'], [89, 179, '#3a528b', '#20908d'], [179, 269,
'#20908d', '#5dc962'], [269, 360, '#5dc962', '#fde725'] ],

  4: [ [13, 26, '#e5f5e0', '#c7e9c0'], [26, 39, '#c7e9c0', '#a1d99b'], [39, 52, '#a1d99b',
'#74c476'],
[52, 65, '#74c476', '#41ab5d'], [65, 78, '#41ab5d', '#238b45'], [78, 90, '#238b45',
'#006d2c'], [90, 100, '#006d2c', '#00441b'] ],
  5: [ [0, 6.5, '#ffffff', '#c2e699'], [6.5, 13, '#c2e699', '#78c679'], [13, 19.5, '#78c679',
'#31a354'], [19.5, 26, '#31a354', '#006837'] ],
  6: [ [0, 2.73, '#fd9f6f', '#7ad251'], [2.73, 5.46, '#7ad251', '#22a884'], [5.46, 8.2,
'#22a884', '#29788e'], [8.2, 10.9, '#29788e', '#404387'], [10.9, 13.7, '#404387',
'#440154'] ],
  7: [ [0, 0.027, '#ffffff', '#fca736'], [0.027, 0.054, '#fca736', '#e16461'], [0.054,
0.081, '#e16461', '#b12a90'], [0.081, 0.108, '#b12a90', '#6b00a8'], [0.108, 0.135,
'#6b00a8', '#0d0887'] ],
  9: [ [8.96e-09, 1.04e-07, '#2c7bb6', '#abd9e9', 'Відсутня'], [1.04e-07, 1.99e-07,
'#abd9e9', '#ffffbf', 'Низька'],
[1.99e-07, 2.94e-07, '#ffffbf', '#fdae61', 'Середня'], [2.94e-07, 3.89e-07,
'#f69053', '#d7191c', 'Висока'], [3.89e-07, 1.09298e-06, '#d7191c', '#d7191c',
'Надвисока'] ],
  10: [
[0, 0.000375, '#2b83ba', '#abdda4', 'Відсутня'],
[0.000375, 0.00075, '#abdda4', '#ffffbf', 'Низька'],
[0.00075, 0.00113, '#ffffbf', '#fdae61', 'Середня'],
[0.00113, 0.0015, '#fdae61', '#d7191c', 'Висока'],

```

```

    [0.0015, 0.0023, '#d7191c', '#d7191c', 'Надвисока']
  ]
}

function PickRgbInsideRange(value, range){
  //Pick rgb of value inside range like [90, 166.75, '#1a9641', '#a6d96a']
  var rgb1 = Hex2rgb(range[2])
  var rgb2 = Hex2rgb(range[3])
  var percent = (value - range[0])/(range[1] - range[0])
  var red = rgb1[0] + percent * (rgb2[0] - rgb1[0])
  var green = rgb1[1] + percent * (rgb2[1] - rgb1[1])
  var blue = rgb1[2] + percent * (rgb2[2] - rgb1[2])
  return [red, green, blue]
}

function SeekRangeByValue(value, range_vector){
  range = undefined
  for(var i = 0; i < range_vector.length; i++)
  {
    var t_range = range_vector[i]
    if(value >= t_range[0] && value < t_range[1]){
      range = t_range
      break
    }
  }
  return range
}

var light_yellow
var light_brown

var burnt_popup

$(document).ready(function() {

  light_yellow = Hex2Rgb('#f2d2a6')
  light_brown = Hex2Rgb('#b0110d')

  var hi = $(window).height() - $('#nn').height();

  var tot_width = $('#layer_navigator_tab').width();
  var close_width = 50;
  var t_width = (tot_width - close_width)/3 - 1;

```

```

$('.th_header_1').css("width", "28%");
$('.th_header_2').css("width", "28%");
$('.th_header_3').css("width", "28%");
$('.th_header_4').css("width", "16%");

```

```

$('#ls_image').css("display", "none");

```

```

InitLayers()

```

```

map.addListener('postrender', mapPostRender);
function mapPostRender(){
    map.updateSize();
    var left_pos = $('#download_lcp_button').position().left +
$('#control_panel').position().left - 4
    $('#lcp_submenu').css('left', left_pos )
    left_pos = $('#info_button').position().left + $('#control_panel').position().left - 4
    $('#picker_submenu').css('left', left_pos )
}

```

```

addFireInfoControl();
$('#div2').height(hi);
$('#layer_navigator_tab').resize(layer_table_resized);

```

```

$('#fire_status').html(" за півдоби");
$(window).trigger('resize');

```

```

var tod1 = new Date()
var tod2 = addToMonth(tod1, -12)

```

```

$('#id_start_date').val(date2String(tod1));
$('#id_finish_date').val(date2String(tod1));

```

```

$('#analysis_start_date').val(date2String(tod2));
$('#analysis_finish_date').val(date2String(tod1));

```

```

$('#analysis_start_date').val(date2String(tod2));

```

```

$('#marker_right').html(ShortDateHtml(tod1))
$('#marker_left').html(ShortDateHtml(tod2))

```

```

LoadDays();
clickButton_1();
ChangeActualIgnitionMap()
ResetInstrCheckboxes()
InitLayerSwitchers()

```

```

featureOverlay = new ol.layer.Vector({
  source: new ol.source.Vector(),
  map: map,
  style: new ol.style.Style({
    stroke: new ol.style.Stroke({
      color: 'rgba(176,17,13,1)',
      width: 1
    }),
    fill: new ol.style.Fill({
      color: 'rgba(249,166,2,0.5)'
    })
  })
});
AdjustLeftSidePanel()
$('a.tip span').width($('#left_side_panel_div').width())
SetFloat_6_Listeners()
SetCursorMode('pick_lcp')
ReinitScrollBars()
$('#condition_item').click()
LoadRegions()
}
)

function PressRegionButton(){
  $('#region_item_1').css('background-image', 'linear-gradient(rgb(176,17,13),
rgb(144,11,8), rgb(255, 210, 166))')
  $('#region_item_1').css('color', 'color: rgb(242, 210, 166)')

  $('#analysis_item_1').css('background', 'inherit')
  $('#analysis_item_1').css('color', 'inherit')

  $('#condition_item_1').css('background', 'inherit')
  $('#condition_item_1').css('color', 'inherit')

  $('#conditions_side').css('display', 'none')
  $('#analysis_side').css('display', 'none')
  $('#region_side').css('display', 'block')
}

function PressConditionButton(){
  $('#condition_item_1').css('background-image', 'linear-gradient(rgb(176,17,13),
rgb(144,11,8), rgb(255, 210, 166))')
  $('#condition_item_1').css('color', 'color: rgb(242, 210, 166)')

  $('#analysis_item_1').css('background', 'inherit')

```

```

$('#analysis_item_1').css('color', 'inherit')

$('#region_item_1').css('background', 'inherit')
$('#region_item_1').css('color', 'inherit')

$('#conditions_side').css('display', 'block')
$('#analysis_side').css('display', 'none')
$('#region_side').css('display', 'none')
}

function PressAnalysisButton(){
    $('#analysis_item_1').css('background-image', 'linear-gradient(rgb(176,17,13),
    rgb(144,11,8), rgb(255, 210, 166))')
    $('#analysis_item_1').css('color', 'color: rgb(242, 210, 166)')

    $('#condition_item_1').css('background', 'inherit')
    $('#condition_item_1').css('color', 'inherit')

    $('#region_item_1').css('background', 'inherit')
    $('#region_item_1').css('color', 'inherit')

    $('#conditions_side').css('display', 'none')
    $('#analysis_side').css('display', 'block')
    $('#region_side').css('display', 'none')

    var sdt1 = $('#analysis_start_date').val()
    var dt1 = FormatStr2DateTime(sdt1, '00:00:00')

    var sdt2 = $('#analysis_finish_date').val()
    var dt2 = FormatStr2DateTime(sdt2, '00:00:00')

    sd = Date2String(dt1)
    fd = Date2String(dt2)

    var regn = parseInt($('#regn_id').html().trim())
    var admn = parseInt($('#admn_id').html().trim()) % 100000

    $('#analysis_results').css('display', 'none')
    $('#waiting_analysis').css('display', 'block')

    $('.analysis_data_row').remove()
    let time_span = dt2 - dt1
    let days = time_span / one_day

    let geom_string = $('#aoi_coords').html()

```

```

let km2 = parseInt($('#aoi_area').html())

if(geom_string.substr(0, 10) == 'LINESTRING' && km2 < 50000){
  let poly = "ST_SetSrid(ST_MakePolygon('" + geom_string + "',3857)"
  StartLoadingFullAnalysis(sd, fd, 0, 0, poly)
  $('#aoi_coords').html("")
  $('#aoi_area').html()
  return
}
else if(geom_string.includes('MULTIPOLYGON')){
  let poly = "ST_Transform(ST_GeomFromText('" + geom_string +
  "',4326),3857)"
  StartLoadingFullAnalysis(sd, fd, 0, 0, poly)
  $('#aoi_coords').html("")
  $('#aoi_area').html()
  return
}

StartLoadingFullAnalysis(sd, fd, regn, admn)
//   if (regn == 0 && admn == 0 && days > 366){
//     //AddAnalysisElements('test_1')
//     LoadSatelliteTimeSeries(sd, fd, regn, admn)
//   }
//   else {
//     LoadFullAnalysis(sd, fd, regn, admn)
//   }
}

const StartLoadingFullAnalysis = async function(sd, fd, regn, admn, poly='null') {
  let t1 = new Date()
  console.log('Date 1' + t1)
  const result = await LoadFullAnalysis(sd, fd, regn, admn, poly);
  let t2 = new Date()
  console.log('Date 2' + t2)
  let dif = (t1.getTime() - t2.getTime())/1000
  console.log('Difference ' + dif)

  //console.log(result);
}

async function LoadFullAnalysis(sd, fd, regn, admn, poly='null'){
  try{
    const result = await $.ajax({
      type: "GET",
      url: '/backendemo/jenks_breaks',

```

```

    data: {start_time: sd, finish_time: fd, regn: regn, admn: admn, n_class: 10,
poly: poly,
    csrfmiddlewaretoken: '{{ csrf_token }}',
    dataType: "json"
  },
  dataType: "html",
  cache: false,
  success: function (data) {
    LoadJenksBreaks(data)
    LoadSatelliteTimeSeries(sd, fd, regn, admn, poly)
  },
  error: function (data) {
  }
})
return result
}
catch (error) {
  console.error(error);
}
}

```

```

LoadSatelliteTimeSeries = function(sd, fd, regn, admn, poly='null'){
$.ajax({
  type: "GET",
  url: '/backendemo/fire_stat',
  data: { start_time: sd,
    finish_time: fd, regn:regn, admn:adm, poly: poly,
    csrfmiddlewaretoken: '{{ csrf_token }}',
    dataType: "json"},

  dataType: "html",
  cache: false,
  success: function(data){
    LoadAnalysisResult(data, regn, admn, poly)
  },
  error: function(data) {}
})
}

```

```

AddAnalysisElements = function (chart_label){
  let ht = '<tr class = "analysis_data_row" style="height: 1.5em">'
  ht += '<td class="analysis_td" style="text-align: center">Розподіл площ пожеж
за ДЖЕНКСОМ</td>'
  ht += '</tr>'
  $('#analysis_tab > tbody:last-child').append(ht)
}

```



```

    ht = '<tr class = "analysis_data_row" style="height: 340px">'
    ht += '<td class="analysis_td" style="text-align: center"><div style="width: 35em;
height: 340px; margin: 0 auto; padding: 0" id="' + chart_label + "'></div></td>'
    ht += '</tr>'
    $('#analysis_tab > tbody:last-child').append(ht)
}

```

```

LoadJenksBreaks = function(data){
  if((data + "").substr(0, 2) !== 'no'){
    let breaks = $.parseJSON(data)
    const colors = [new echarts.graphic.LinearGradient(1, 1, 0, 0, [
      {
        offset: 0,
        color: '#ea6b09'
      },
      {
        offset: 1,
        color: '#730e0c'
      }
    ]), '#675bba'];
    let data_1 = []
    let data_2 = []
    let labs = []
    let sum_1 = 0
    let sum_2 = 0
    let min_1 = Number.MAX_SAFE_INTEGER
    let min_2 = Number.MAX_SAFE_INTEGER
    let max_1 = Number.MIN_SAFE_INTEGER
    let max_2 = Number.MIN_SAFE_INTEGER

    let i = 0
    Object.keys(breaks).forEach(function(key) {
      data_1[i] = Math.round(breaks[key][0])
      data_2[i] = Math.round(breaks[key][1])
      sum_1 += data_1[i]
      sum_2 += data_2[i]
      min_1 = Math.min(min_1, data_1[i])
      min_2 = Math.min(min_2, data_2[i])
      max_1 = Math.max(max_1, data_1[i])
      max_2 = Math.max(max_2, data_2[i])
      labs[i++] = Math.round(key/10)
    })
    let chart_label = 'chart-jenks'
    AddAnalysisElements(chart_label)
  }
}

```

```

    let opt = GetOption(colors, data_1, data_2, labs, min_1, min_2, max_1, max_2)
    let a_chart = echarts.init(document.getElementById(chart_label));
    a_chart.setOption(opt)
  }
}

```

```
LoadAnalysisResult = function(data, regn, admn, poly='null'){
```

```

  let dd = $.parseJSON(data)
  const colors = [new echarts.graphic.LinearGradient(0, 1, 0, 0, [
    {
      offset: 0,
      color: '#ea0b09'
    },
    {
      offset: 1,
      color: '#730e0c'
    }
  ]), '#000000'];

```

```

let satellite_data = {}
if(data !== 'no' && dd.length > 0){
  let date_id = 1
  for(let i = 0; i < dd.length; i++){
    let satellite_key = dd[i][1]
    if (!satellite_data.hasOwnProperty(satellite_key)){
      satellite_data[satellite_key] = []
    }
    let len = satellite_data[satellite_key].length
    satellite_data[satellite_key][len] = [dd[i][0], dd[i][2], Math.round(dd[i][3])]
    date_id = parseInt(dd[i][4])
  }

```

```

for (let sat in satellite_data){
  let data_1 = []
  let data_2 = []
  let labs = []
  let sum_1 = 0
  let sum_2 = 0

  let min_1 = Number.MAX_SAFE_INTEGER
  let min_2 = Number.MAX_SAFE_INTEGER
  let max_1 = Number.MIN_SAFE_INTEGER
  let max_2 = Number.MIN_SAFE_INTEGER
  for(let i = 0; i < satellite_data[sat].length; i++){

```

```

    data_1[i] = satellite_data[sat][i][1]
    data_2[i] = satellite_data[sat][i][2]
    sum_1 += satellite_data[sat][i][1]
    sum_2 += satellite_data[sat][i][2]
    let date_num = satellite_data[sat][i][0]
    labs[i] = date_id == 2 ? __MONTH_NAMES[date_num - 1] : date_num
    min_1 = Math.min(min_1, data_1[i])
    min_2 = Math.min(min_2, data_2[i])
    max_1 = Math.max(max_1, data_1[i])
    max_2 = Math.max(max_2, data_2[i])
  }

  let ht = '<tr class = "analysis_data_row" style="height: 1.5em">'
  ht += '<td class="analysis_td" style="text-align: center">' + sat + '</td>'
  ht += '</tr>'
  $('#analysis_tab > tbody:last-child').append(ht)

  let chart_label = 'chart-' + sat
  ht = '<tr class = "analysis_data_row" style="height: 340px">'
  ht += '<td class="analysis_td" style="text-align: center"><div style="width:
35em; height: 340px; margin: 0 auto; padding: 0" id="" + chart_label +
"></div></td>'
  ht += '</tr>'
  $('#analysis_tab > tbody:last-child').append(ht)

  let opt = GetOption(colors, data_1, data_2, labs, min_1, min_2, max_1,
max_2)
  let a_chart = echarts.init(document.getElementById(chart_label));
  a_chart.setOption(opt)
}

$('#date_span').html('з ' + $('#analysis_start_date').val() + ' по ' +
$('#analysis_finish_date').val())
if(poly == 'null'){

  $('#regn_name').html(regn > 0 ? $('#regn_button').val() + ' область' :
'Україна')
  $('#admn_name').html(admn > 0 ? $('#admn_button').val() + ' район' : '')
}
}
$('#analysis_results').css('display', 'block')
$('#waiting_analysis').css('display', 'none')
}

GetOption = function (colors, data_1, data_2, labels, min_1, min_2, max_1,

```

```
max_2){
  let option = {
    color: colors,

    tooltip: {
      trigger: 'axis',
      axisPointer: {
        type: 'cross'
      }
    },
    grid: {
      right: '25%'
    },
    toolbox: {
      feature: {
        dataView: {show: true, readOnly: false},
        //restore: {show: true},
        saveAsImage: {show: true}
      }
    },
    legend: {
      data: ['Площа згарищ', 'Кількість пожеж']
    },
    xAxis: [
      {
        type: 'category',
        axisTick: {
          alignWithLabel: true
        },
        data: labels
      }
    ],
    yAxis: [
      {
        type: 'value',
        name: 'Площа згарищ',
        min: min_2,
        max: max_2,
        position: 'right',
        offset: 10,
        axisLine: {
         LineStyle: {
            color: colors[0]
          }
        },
      },
    ],
  }
}
```

```

    axisLabel: {
      formatter: '{value} га'
    }
  },
  {
    type: 'value',
    name: 'Кількість пожеж',
    min: min_1,
    max: max_1,
    position: 'left',
    offset: -3,
    axisLine: {
      lineStyle: {
        color: colors[1]
      }
    },
    axisLabel: {
      formatter: '{value}'
    }
  }
],
series: [
  {
    name: 'Площа згарищ',
    type: 'bar',
    yAxisIndex: 0,
    data: data_2
  },
  {
    name: 'Кількість пожеж',
    type: 'line',
    yAxisIndex: 1,
    data: data_1
  }
]
}
return option
}

$('#analysis_start_date').datetimepicker({
  lang: 'uk',
  maxDate: new Date(),
  yearStart: 2000,
  timepicker: false,
  format: 'd.m.Y',

```

```

yearEnd: new Date().getFullYear(),
}).change(function(){
    var tod_str = $(this).val()
    var dt = FormatStr2DateTime(tod_str, '00:00:00')
    $('#marker_left').html(ShortDateHtml(dt))
    ReinitScrollBars()
}
);

$('#analysis_finish_date').datetimepicker({
    lang:'uk',
    maxDate: new Date(),
    yearStart: 2000,
    timepicker:false,
    format:'d.m.Y',
    yearEnd: new Date().getFullYear(),
}).change(function(){
    var tod_str_1 = $(this).val()
    var dt1 = FormatStr2DateTime(tod_str_1, '00:00:00')
    //var tod_str_2 = date2String(addToMonth(dt1, -3))
    //var dt2 = FormatStr2DateTime(tod_str_2, '00:00:00')
    //$('#analysis_start_date').val(tod_str_2);

    $('#marker_right').html(ShortDateHtml(dt1))
    //$('#marker_left').html(ShortDateHtml(dt2))
    ReinitScrollBars()
}
);

function ShortDateHtml(dt){
    var mn = __MONTH_NAMES[dt.getMonth()]
    return '<br>' + dt.getDate() + '<br>' + mn
}

// Drag scrollbar

var x_1, x_2, left_1, left_2, down_1, down_2 ,slider_1_right_pos,
slider_1_left_pos;
var scroll_width
var days_count

function PickDate(pix){
    var day_nom = Math.round(days_count * pix / scroll_width)
    var tod_str = $('#analysis_start_date').val()
    var dt = FormatStr2DateTime(tod_str, '00:00:00')

```

```

    return addToDate(dt, day_nom)
}

function ReinitScrollBars(){
    $("#marker_left").css('left', slider_1_left_pos)
    $("#marker_right").css('left', slider_1_right_pos)
    $("#marker_band").css('margin-left', 0)
    $("#marker_band").css('margin-right', 0)
    $("#marker_band").css('width', scroll_width)

    var tod_str_1 = $('#analysis_start_date').val()
    var tod_str_2 = $('#analysis_finish_date').val()
    var dt1 = FormatStr2DateTime(tod_str_1, '00:00:00')
    var dt2 = FormatStr2DateTime(tod_str_2, '00:00:00')

    // To calculate the time difference of two dates
    var Difference_In_Time = dt2.getTime() - dt1.getTime()
    // To calculate the no. of days between two dates
    days_count = Difference_In_Time / (1000 * 3600 * 24)
}

function SetSliderPositions(){
    var w = parseInt($("#marker_container").css('width'))
    var w1 = parseInt($("#marker_left").css('width'))
    slider_1_right_pos = w - w1
    slider_1_left_pos = 0
    scroll_width = slider_1_right_pos - slider_1_left_pos
}

$(function() {

    $("#marker_right").mousedown(function(e){
        e.preventDefault()
        down_1 = false
        down_2 = true;
        x_2 = e.pageX;
        left_2 = parseInt($("#marker_right").css('left'))
        $("#marker_container").css('cursor', 'pointer')
    });

    $("#marker_left").mousedown(function(e){
        e.preventDefault()
        down_1 = true;
        down_2 = false;
        x_1 = e.pageX;

```



```

left_1 = parseInt($("#marker_left").css('left'))
$("#marker_container").css('cursor', 'pointer')
});

$("#marker_container").mousemove(function(e){
  if(down_1){
    MoveMarker(e, "#marker_left")
  }
  else if(down_2){
    MoveMarker(e, "#marker_right")
  }
});

function MoveMarker(e, mark){

  var newX_1 = down_1 ? e.pageX : parseInt($("#marker_left").css('left'))
  var newX_2 = down_2 ? e.pageX : parseInt($("#marker_right").css('left'))

  if (down_1){
    x_2 = 0
    left_2 = 0
  }
  else if (down_2){
    x_1 = 0
    left_1 = 0
  }

  var new_val_1 = newX_1 - x_1 + left_1
  var new_val_2 = newX_2 - x_2 + left_2
  var new_val = down_1 ? new_val_1 : new_val_2

  if (new_val >= slider_1_left_pos && new_val <= slider_1_right_pos){
    if(new_val_1 < new_val_2 - 5){
      $(mark).css('left', new_val)
      var new_width = (new_val_2 - new_val_1)*100/scroll_width
      $("#marker_band").css('margin-left', new_val_1)
      $("#marker_band").css('margin-right', scroll_width - new_val_1)
      $("#marker_band").css('width', new_width + '%')

      var dt = PickDate(new_val)
      $(mark).html(ShortDateHtml(dt))
    }
  }
  else
  {

```

```

        down_1 = false
        down_2 = false
        $('#marker_container').css('cursor', 'auto')
    }
}

$("#marker_container").mouseup(function(e){
    var newX = e.pageX;
    if (new_val > slider_1_left_pos && new_val <= slider_1_right_pos){
        if(down_1){
            var new_val = newX - x_1 + left_1
            $('#marker_left').css('left', new_val)
        }
        else if(down_2){
            var new_val = newX - x_2 + left_2
            $('#marker_right').css('left', new_val)
        }
    }
}

    down_1 = false
    down_2 = false
    $('#marker_container').css('cursor', 'auto')
});

});
// End drag scrollbar
//

var current_legend_id = "

$('.show_legend_button').click(function(event){
    var tid = '#' + event.target.id
    if ($('#legend_div').css('display') == 'none' || current_legend_id != tid ){
        var offset = $(tid).offset()
        var width = parseInt($(tid).css('width'))
        var pad = parseInt($(tid).css('padding-right'))
        $('#legend_div').css('left', offset['left'] + width + pad)
        $('#legend_div').css('top', offset['top'])
        $('#legend_div').css('display', 'block')
        var leg_id = parseInt(tid.substr(tid.search('_') + 1))
        DisplayLegend(leg_id)
    }
    else{
        $('#legend_div').css('display', 'none')
    }
}

```

```

current_legend_id = tid

})

function addToMonth( date, months ) {
    var d = new Date( date || new Date() );
    d.setMonth( d.getMonth() + (months || 0), d.getDate());
    return d;
}

function addToDate( date, days ) {
    var d = new Date( date || new Date() );
    d.setDate( d.getDate() + (days || 0));
    return d;
}

function DisplayLegend(legend_id){

    $("#legend_tab").find("tr:gt(0)").remove();
    $(".legend_marker").remove()

    var unit = lcp_dict[legend_id][1].length > 0 ? '' + lcp_dict[legend_id][1] : ''

    $("#legend_divheader span").html(lcp_dict[legend_id][0])

    if (lcp_ind_legend[legend_id] != undefined){
        $("#legend_div").css('width', '31em')
        for (var l_id in lcp_ind_legend[legend_id]){
            var l_val = sub_lcp_dict[legend_id][l_id]
            var color = lcp_ind_legend[legend_id][l_id]
            ht = '<tr class = "legend_data_row" style="height: 1.5em">'
            ht += '<td class="lcp_info_td">' + l_id + '</td>'
            ht += '<td colspan="2" class="lcp_info_td">' + l_val + '</td>'
            ht += '<td class="lcp_info_td" style="background:' + color + "'></td>'
            ht += '</tr>'
            $("#legend_tab > tbody:last-child").append(ht)
        }
    }
    else if(legend_id == 9 || legend_id == 10){
        $("#legend_div").css('width', '31em')
        var cnt_items = lcp_ramp_legend[legend_id].length

        for(var i = 0; i < cnt_items; i++){
            var vec = lcp_ramp_legend[legend_id][i]
            var l_id = i + 1

```

```

    var l_val_1 = vec[0] < 0.00001 && vec[0] > 0 ? vec[0].toExponential() :
vec[0]
    var l_val_2 = vec[1] < 0.00001 && vec[0] > 0 ? vec[1].toExponential() :
vec[1]
    var color_1 = vec[2]
    var color_2 = vec[3]
    l_val = l_val_1 + ' - ' + l_val_2
    var tid = 'leg_item_' + l_id

    var ht = GenerateLegendTr_9(l_id, vec[4], l_val, color_1, color_2)
    $('#legend_tab > tbody:last-child').append(ht)
  }
}
else if(lcp_ramp_legend[legend_id] != undefined){
  $('#legend_div').css('width', '24em')
  var ht = GenerateEmptyLegendTr('legend_datarow')
  $('#legend_tab > tbody:last-child').append(ht)

  var cnt_items = lcp_ramp_legend[legend_id].length

  for(var i = 0; i < cnt_items; i++){
    var vec = lcp_ramp_legend[legend_id][i]
    var l_id = i + 1
    var color_1 = vec[2]
    var color_2 = vec[3]
    var tid = 'leg_item_' + l_id
    var ht = GenerateLegendTr(l_id, color_1, color_2)
    $('#legend_tab > tbody:last-child').append(ht)

    if(l_id == cnt_items){
      var ht = GenerateEmptyLegendTr('legend_data_row_last')
      $('#legend_tab > tbody:last-child').append(ht)
    }
  }

  var h1 = parseInt($('#legend_tab tr').eq(2).css('height'))
  $('#legend_tab tr').eq(1).css('height', h1/2)

  for(var i = 0; i < cnt_items; i++){
    var vec = lcp_ramp_legend[legend_id][i]
    var l_id = i + 1
    var l_val_1 = vec[0] + unit
    var color_1 = vec[2]
    var color_2 = vec[3]
    var tid = 'leg_item_' + l_id

```

```

AppendLegendMarkerDiv(tid, l_val_1, l_id)

    if(l_id == cnt_items){
        var l_val_2 = vec[1] + unit
        tid = 'leg_item_' + l_id + 1
        AppendLegendMarkerDiv(tid, l_val_2, l_id + 1)
    }
}

}

function GenerateEmptyLegendTr(t_class){
    var ht = '<tr class = "' + t_class + "'>'
    ht += '<td class="lcp_info_td"></td>'
    ht += '<td colspan="2" class="lcp_info_td"></td>'
    ht += '<td class="lcp_info_td"></td>'
    ht += '</tr>'
    return ht
}

function GenerateLegendTr(l_id, color_1, color_2){
    var ht = '<tr class = "legend_data_row">'
    ht += '<td class="lcp_info_td">' + l_id + '</td>'
    ht += '<td colspan="2" class="lcp_info_td"></td>'
    ht += '<td class="lcp_info_td" style="background-image: linear-gradient(' +
color_1 + ',' + color_2 + ')"></td>'
    ht += '</tr>'
    return ht
}

function GenerateLegendTr_9(l_id, val_1, val_2 ,color_1, color_2){
    var ht = '<tr class = "legend_data_row">'
    ht += '<td class="lcp_info_td">' + l_id + '</td>'
    ht += '<td class="lcp_info_td">' + val_1 + '</td>'
    ht += '<td class="lcp_info_td">' + val_2 + '</td>'
    ht += '<td class="lcp_info_td" style="background-image: linear-gradient(' +
color_1 + ',' + color_2 + ')"></td>'
    ht += '</tr>'
    return ht
}

function AppendLegendMarkerDiv(tid, val, row_num){

    var leg_marker_div = '<div id="' + tid + "' class="ol-unselectable ol-control

```

```

legend_marker"></div>'
  tid = '#' + tid;
  $('#legend_div').append(leg_marker_div)
  $(tid).html(val)

  var th_right = $('#legend_tab tr:first th:last-child')
  var td_right = $('#legend_tab tr:nth-child(' + (row_num + 1) + ')').find('td:eq(0)')
  var td_right_h = parseInt(td_right.css('height'))
  var border_h = parseInt(td_right.css('border-top-width'))
  var start_left = parseInt(th_right.position().left) - parseInt($(tid).css('width')) - 40
  var start_top = parseInt(td_right.position().top) + (row_num > 1 ? td_right_h / 2 :
0) + 3

  $(tid).css('top', start_top)
  $(tid).css('left', start_left)
}

function legend_close_button(){
  $('#legend_div').css('display', 'none')
}

function analysis_close_button(){
  $('#analysis_div_1').css('display', 'none')
  SetCursorMode('pick_lcp')
  featureOverlay.getSource().clear()
  inter_source.clear()
}

var draw_interaction, snap_interaction

function removePolygonInteractions(){
  map.removeInteraction(draw_interaction)
  map.removeInteraction(snap_interaction)
  inter_source.clear()
}

function addPolygonInteractions() {
  draw_interaction = new ol.interaction.Draw({
    source: inter_source,
    type: 'Polygon'
  })

  map.addInteraction(draw_interaction)

  snap_interaction = new ol.interaction.Snap({source: inter_source})

```

```

    map.addInteraction(snap_interaction);
}

```

```

function DisplayFireInfo(event){
    $('.info_data_row').remove()
    $('#info_control_div').css("display", "block");
    var found = false;
    map.forEachFeatureAtPixel(event.pixel, function(feature, lr) {
        if (lr == ipLayer){
            ht = '<tr class = "info_data_row" style="height: 1.5em">'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['satel'] + '/' + feature['instr'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['lat'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['lon'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['bright'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['bright2'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['sc'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['tr'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['acq_time'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['confid'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['ver'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['fr'] + '</td>'
            ht += '<td class="info_td">' + feature['dn'] + '</td>'
            ht += '</tr>'
            found = true
            $('#info_control_tab > tbody:last-child').append(ht)
        }
    });

    if(!found){
        $('#info_control_div').css("display", "none");
    }
    else{
        info_table_resized()
    }
}

```

```

function DisplayBurntInfo(event){
    $('.burnt_info_data_row').remove()
    $('#burnt_info_control_div').css("display", "block");

    //$("#burnt_info_control_div").parent().css({position: 'relative'});
    //$("#burnt_info_control_div").css({top: event.pixel[1], left: event.pixel[0],
    position:'absolute'});
    burnt_popup.setPosition(event.coordinate);
}

```



```

var found = false;
map.forEachFeatureAtPixel(event.pixel, function(feature, lr) {
  if (lr == bpLayer){
    ht = '<tr class = "burnt_info_data_row" style="height: 1.5em">'
    ht += '<td class="info_td">' + feature['id'] + '</td>'
    ht += '<td class="info_td">' + feature['area_h'] + '</td>'
    ht += '<td class="info_td">' + feature['fire_date'] + '</td>'
    ht += '</tr>'
    found = true
    $('#burnt_info_control_tab > tbody:last-child').append(ht)
  }
});

if(!found){
  $('#burnt_info_control_div').css("display", "none");
}
else{
  $('#burnt_info_control_tab').css("display", "block");
  burnt_info_table_resized()
}
}

function AdjustLeftSidePanel(){
  //var ht = $('#show_left_side_panel_div').position().top
  //$('#left_side_panel_div').css('bottom', ht/2)
  $('#left_side_panel_div').css('bottom', 150)
}

function InitLayerSwitchers(){
  SwitchBaseLayerOn('osm')
}

function SwitchBaseLayerOn(layr_name){
  base_layers[layr_name + '_id'].setVisible(true)
  $('#' + layr_name + '_1').css('background-color', 'transparent')
  $('#' + layr_name).css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)')
}

function SwitchBaseLayerOff(layr_name){
  base_layers[layr_name + '_id'].setVisible(false)
  $('#' + layr_name + '_1').css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)')
  $('#' + layr_name).css('background-color', 'transparent');
}

```

```

function ResetInstrCheckboxes(){
  for(var i=0; i < instruments_ids.length; i++){
    var tid = instruments_ids[i]
    $('#'+tid).prop('checked', true);
  }
}

$('##modis-terra_1, #modis-aqua_1, #viirs-noaa_1, #viirs-
suomi_1').click(function(event) {
  var tid = event.target.id;
  tid = tid.substr(0, tid.search('_'))
  var ind = instruments_ids.indexOf(tid)
  SATELLITE_FLAGS[ind] = this.checked ? 1 : 0
  INSTRUMENT_FLAGS[0] = SATELLITE_FLAGS[0] |
SATELLITE_FLAGS[1]
  INSTRUMENT_FLAGS[1] = SATELLITE_FLAGS[2] |
SATELLITE_FLAGS[3]
});

$('##modis-terra, #modis-aqua, #viirs-noaa, #viirs-suomi').click(function(event) {
  var tid = event.target.id;
  var ind = instruments_ids.indexOf(tid)
  SATELLITE_FLAGS[ind] = this.checked ? 1 : 0
  INSTRUMENT_FLAGS[0] = SATELLITE_FLAGS[0] |
SATELLITE_FLAGS[1]
  INSTRUMENT_FLAGS[1] = SATELLITE_FLAGS[2] |
SATELLITE_FLAGS[3]

  if ($('#actual_fires').is(':visible')){
    ChangeActualIgnitionMap()
  }
  else if ($('#former_fires').is(':visible')) {
    ChangeFormerIgnitionMap()
  }

});

$('##region_id, #road_id').click(function(event) {
  var tid = event.target.id;
  var ind = toplayers_ids.indexOf(tid)

  if(ind == 0){
    topo_layers['region_id'].setVisible(this.checked);
    topo_layers['district_id'].setVisible(this.checked);
  }
});

```

```

    }
    else if(ind == 1){
        topo_layers['road_id'].setVisible(this.checked);
    }
});

```

```

function switchBingLayer(){
    var cur_bing = $("#bing_image_button").css('background-image');

    if(cur_bing.includes("bing_logo_48.png"))
    {
        $("#bing_image_button").css('background-image', bing_image_h);
        $("#osm_image_button").css('background-image', osm_image);
        switchLayerOn("bing_id");
    }
    else{
        $("#bing_image_button").css('background-image', bing_image);
        $("#osm_image_button").css('background-image', osm_image_h);
        switchLayerOn("osm_id");
    }
}

```

```

function switchOSMLayer(){
    var cur_osm = $("#osm_image_button").css('background-image');

    if(cur_osm.includes("osm_logo_48.png"))
    {
        $("#osm_image_button").css('background-image', osm_image_h);
        $("#bing_image_button").css('background-image', bing_image);
        switchLayerOn("osm_id");
    }
    else{
        $("#osm_image_button").css('background-image', osm_image);
        $("#bing_image_button").css('background-image', bing_image_h);
        switchLayerOn("bing_id");
    }
}

```

```

function switchLayerOn(layr_id){
    if(layr_id == 'bing_id'){
        base_layers['bing_id'].setVisible(true);
        base_layers['osm_id'].setVisible(false);
    }
    else{
        base_layers['bing_id'].setVisible(false);
    }
}

```

```

    base_layers['osm_id'].setVisible(true);
  }
}

```

```
function clickBackgroundLayers(){
```

```

  var b3_val = $("#plus_button_3").val();
  if(b3_val == "⊕"){
    b3_val = "−";
    $(".background_layer").show();
    $("#menu_button_3, #plus_button_3").css("margin", "0");
  }
  else{
    b3_val = "⊕";
    $(".background_layer").hide();
    $("#menu_button_3, #plus_button_3").css("margin", "1px 0 0.5em 0");
  }

  $("#plus_button_3").val(b3_val);
  layer_table_resized();
}

```

```
function clickVectorLayers(){
```

```

  var b1_val = $("#plus_button_2").val();
  if(b1_val == "⊕"){
    b1_val = "−";
    $(".vector_layer").show();
    $("#menu_button_2, #plus_button_2").css("margin", "0");
  }
  else{
    b1_val = "⊕";
    $(".vector_layer").hide();
    $("#menu_button_2, #plus_button_2").css("margin", "1px 0 0.5em 0");
  }

  $("#plus_button_2").val(b1_val);
  layer_table_resized();
}

```

```
function clickFireRealTimeButton(){
```

```

  var b1_val = $("#plus_button_1").val();
  if(b1_val == "⊕"){
    b1_val = "−";
    $(".fire_satellite").show();
  }
}

```

```

    $("#menu_button_1, #plus_button_1").css("margin", "0");
}
else{
    b1_val = "⊕";
    $(".fire_satellite").hide();
    $("#menu_button_1, #plus_button_1").css("margin", "1px 0 0.5em 0");
}

$("#plus_button_1").val(b1_val);
layer_table_resized();
}

$('#id_finish_date, #id_start_date ').on('change', function (e) {
    var start_date = $('#id_start_date').val();
    var fin_date = $('#id_finish_date').val();
    var start_parts = start_date.split('.');
    var fin_parts = fin_date.split('.');
    var start_dt = new Date(start_parts[2], start_parts[1] - 1, start_parts[0]);
    var fin_dt = new Date(fin_parts[2], fin_parts[1] - 1, fin_parts[0]);

    var cnt_days = Math.ceil((fin_dt - start_dt)/_MS_PER_DAY) + 1;

    if(cnt_days <= 0){
        start_dt.setDate(fin_dt.getDate() - 1);
        $('#id_start_date').val(date2String(start_dt));
        $('#select_days').val(1)
    }
    else{
        if(cnt_days > 31){
            start_dt.setTime(fin_dt.getTime() - (31 * _MS_PER_DAY));
            fin_dt.setTime(start_dt.getTime() + (31 * _MS_PER_DAY));

            $('#id_start_date').val(date2String(start_dt));
            $('#id_fin_date').val(date2String(fin_dt));
            $('#select_days').val(31)
        }
        else
        {
            $('#select_days').val(cnt_days);
        }
    }
}

if (cursor_mode == 'pick_fire')
    ChangeFormerIgnitionMap()
else

```

```

    RequestBurntPolygonsByDates()
  })

$('#analysis_finish_date, #analysis_start_date').on('change', function (e) {
  var start_date = $('#analysis_start_date').val();
  var fin_date = $('#analysis_finish_date').val();
  var start_parts = start_date.split('.');
  var fin_parts = fin_date.split('.');
  var start_dt = new Date(start_parts[2], start_parts[1] - 1, start_parts[0]);
  var fin_dt = new Date(fin_parts[2], fin_parts[1] - 1, fin_parts[0]);

  var cnt_days = Math.ceil((fin_dt - start_dt)/_MS_PER_DAY) + 1;

  if(cnt_days <= 0){
    start_dt.setDate(fin_dt.getDate() - 1);
    $('#analysis_start_date').val(date2String(start_dt));
    //$('#select_days').val(1)
  }
  else{
//    if(cnt_days > 93){
//      start_dt.setTime(fin_dt.getTime() - (93 * _MS_PER_DAY));
//      fin_dt.setTime(start_dt.getTime() + (93 * _MS_PER_DAY));
//
//      $('#analysis_start_date').val(date2String(start_dt));
//      $('#analysis_fin_date').val(date2String(fin_dt));
//    }
  }
  ChangeFormerIgnitionMap()
})

function LoadDays(){
  var x = document.getElementById("select_days");

  for(var i = 2; i<=31; i++){
    var c = document.createElement("option");
    c.text = i;
    x.options.add(c, i);
  }
}

$('#select_days').on('change', function (e) {
  var cntDays = this.value
  var fin_date = $('#id_finish_date').val()

  var parts = fin_date.split('.')

```

```

var dt = new Date(parts[2], parts[1] - 1, parts[0])
dt.setDate(dt.getDate() - cntDays + 1)
$('#id_start_date').val(date2String(dt))

if (cursor_mode == 'pick_fire'){
    ChangeFormerIgnitionMap()
}
else{
    RequestBurntPolygonsByDates()
}
});

function clickHalfDay(){
    $('#day_1').css('background-color', 'CadetBlue');
    $('#day_2').css('background-color', 'black');
    $('#fire_status').html(" за півдоби");

    ChangeActualIgnitionMap(12)
}

function clickAllDay(){
    $('#day_1').css('background-color', 'black');
    $('#day_2').css('background-color', 'CadetBlue');
    $('#fire_status').html(" за добу");

    ChangeActualIgnitionMap(24)
}

$('#lc, #slope, #elevation, #aspect, #fm, #cc, #ch, #cbh, #cbd, #ign_prob,
#burn_prob').click(function(event) {
    var ln = event.target.id + '_id'
    var tid = '#' + event.target.id + '_1';
    $(this).css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)');
    $(tid).css('background-color', 'transparent');

    topo_layers[ln].setVisible(true);
})

$('#lc_1, #slope_1, #elevation_1, #aspect_1, #fm_1, #cc_1, #ch_1, #cbh_1,
#cbd_1, #ign_prob_1, #burn_prob_1').click(function(event) {
    var tid = '#' + event.target.id;
    tid = tid.substring(0, tid.length - 2)
    var ln = event.target.id
    ln = ln.substring(0, ln.length - 2) + '_id'

```



```

$(tid).css('background-color', 'transparent');
$(this).css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)');

topo_layers[ln].setVisible(false);

})

$('#osm, #bing').click(function(event) {
    var ln = event.target.id + '_id'
    var tid = '#' + event.target.id + '_1';
    $(this).css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)');
    $(tid).css('background-color', 'transparent');
    base_layers[ln].setVisible(true);
    var another_layr = event.target.id == 'bing' ? 'osm' : 'bing'
    SwitchBaseLayerOff(another_layr)
})

$('#osm_1, #bing_1').click(function(event) {
    var tid = '#' + event.target.id;
    tid = tid.substring(0, tid.length - 2)
    var ln = event.target.id
    ln = ln.substring(0, ln.length - 2) + '_id'
    $(tid).css('background-color', 'transparent');
    $(this).css('background-color', 'rgb(242, 210, 166)');
    base_layers[ln].setVisible(false);
})

function layer_table_resized(){
    var new_h = $('#layer_navigator_tab').height() + 5;
    $('#layer_control_div').css("height", new_h);
    //$('#layer_control_div').css("width", '23em');
}

function burnt_info_table_resized(){
    var new_h = $('#burnt_info_control_tab').height() + 15
    $('#burnt_info_control_div').css("height", new_h)
}

function info_table_resized(){
    var new_h = $('#info_control_tab').height() + 15;
    $('#info_control_div').css("height", new_h);
}

function lcp_info_table_resized(){

```

```

var new_h = $('#lcp_info_tab').height() + 35;
$('#lcp_info_div').css("height", new_h);
}

function clickButton_1(){

    $('#actual_fires').show();
    $('#former_fires').hide();

    $('#layer_navigator_tab').resize(layer_table_resized);

    $('th.th_header_1, #button_1').css("background-color", "black");
    $('th.th_header_1, #button_1').css("outline", "none");

    $('th.th_header_2, #button_2, th.th_header_3, #button_3').css("background-color",
"grey");
    $('th.th_header_2, #button_2, th.th_header_3, #button_3').css("outline", "1px solid
grey");

    ChangeActualIgnitionMap()
}

function clickButton_2(){

    $('#actual_fires').hide();
    $('#former_fires').show();

    $('#layer_navigator_tab').resize(layer_table_resized);

    $('th.th_header_2, #button_2').css("background-color", "black");
    $('th.th_header_2, #button_2').css("outline", "none");

    $('th.th_header_1, #button_1, th.th_header_3, #button_3').css("background-color",
"grey");
    $('th.th_header_1, #button_1, th.th_header_3, #button_3').css("outline", "1px solid
grey");

    //RequestIgnitionsByDates(dt1, dt2)
    ChangeFormerIgnitionMap()
    SetCursorMode('pick_fire')
}

function ChangeActualIgnitionMap(){

```

```
var hours_before = $('#day_2').css('background-color') == 'rgb(0, 0, 0)' ? 12 : 24;
```

```
dt1 = new Date()
dt1.setHours(dt1.getHours() - hours_before);
dt2 = new Date()
```

```
RequestIgnitionsByDates(dt1, dt2)
}
```

```
function ChangeFormerIgnitionMap(){
  var sdt1 = $('#id_start_date').val()
  var dt1 = FormatStr2DateTime(sdt1, '00:00:00')
```

```
  var sdt2 = $('#id_finish_date').val()
  var dt2 = FormatStr2DateTime(sdt2, '23:59:59')
```

```
  RequestIgnitionsByDates(dt1, dt2)
}
```

```
function FormatStr2DateTime(dt1, tm1){
  // Format date to be used as parameter for ajax requests
```

```
  var dt1_parts = dt1.split('.');
  var time_parts = tm1.split(':');
  var year = parseInt(dt1_parts[2]);
  var month = parseInt(dt1_parts[1]) - 1;
  var day = parseInt(dt1_parts[0]);
  var hour = parseInt(time_parts[0]);
  var minute = parseInt(time_parts[1]);
  var sec = parseInt(time_parts[2]);
  var t_dt_1 = new Date(year, month, day, hour, minute, sec);
  return t_dt_1
}
```

```
function clickButton_3(){
  $('#th.th_header_3, #button_3').css("background-color", "black");
  $('#th.th_header_3, #button_3').css("outline", "none");
```

```
  $('#th.th_header_1, #button_1, th.th_header_2, #button_2').css("background-color",
"grey");
  $('#th.th_header_1, #button_1, th.th_header_2, #button_2').css("outline", "1px solid
grey");
```

```
  RequestBurntPolygonsByDates()
  SetCursorMode('pick_burnt')
}
```

```

function openLeftSidePanelButton(){

    var disp = $('#left_side_panel_div').css('display') == 'block' ? 'none' : 'block';
    $('#left_side_panel_div').css("display", disp);

    var icon_class_2 = disp == 'none' ? 'fa fa-angle-double-left' : 'fa fa-angle-double-right'
    var icon_class_1 = disp == 'none' ? 'fa fa-angle-double-right' : 'fa fa-angle-double-left'

    $("#show_left_side_panel_div_id").find("i").removeClass(icon_class_2).addClass(icon_class_1);

    //$('#left_side_panel_div').css("display", disp);
    //var sign = $("#show_left_side_panel_div_id").val() == '<' ? '>' : '<';
    //$("#show_left_side_panel_div_id").val(sign);
}

function PlaybackFires(){
    var pause = 'fas fa-pause'
    var play = 'fas fa-play'
    var paused = $("#playback_button").find("i").attr('class') == pause;
    var class_1 = paused == true ? 'fas fa-pause' : 'fas fa-play'
    var class_2 = paused == true? 'fas fa-play' : 'fas fa-pause'
    $("#playback_button").find("i").removeClass(class_1).addClass(class_2)

}

function switchDateRows(){
    var old_class_name = $('#show_time_button').find("i").attr('class')
    var new_class_name = old_class_name == 'fa fa-toggle-up' ? 'fa fa-toggle-down' : 'fa fa-toggle-up'
    $("#show_time_button").find("i").removeClass(old_class_name).addClass(new_class_name)
    $('.date_row').css('visibility', new_class_name == 'fa fa-toggle-down' ? 'hidden' : 'visible')
}

function switchSatelliteRows(){

    var old_class_name = $('#show_satellite_button').find("i").attr('class')
    var new_class_name = old_class_name == 'fa fa-toggle-up' ? 'fa fa-toggle-down' : 'fa fa-toggle-up'

```

```

    $("#show_satellite_button").find("i"
).removeClass(old_class_name).addClass(new_class_name)
    $("#satellite_tr").css('visibility', new_class_name == 'fa fa-toggle-down' ?
'hidden' : 'visible')

}

function left_side_panel_close_button(){
    $('#left_side_panel_div').css("display", "none");
    $("#show_left_side_panel_div_id").val('>');
}

function info_close_button(){
    $('#info_control_div').css("display", "none");
}

function lcp_info_close_button(){
    $('#lcp_info_div').css("display", "none");
    featureOverlay.getSource().clear()
}

function clickButton_4(){
    $('#layer_control_div').css("display", "none");
}

function ClickAnalysisButton(){
    var new_val = $('#analysis_div_1').css("display") == 'none' ? 'block' : 'none'
    $('#analysis_div_1').css("display", new_val)
    if (new_val == 'block'){
        $('#lcp_extracting_div').css('display', 'none');
        $('#lcp_info_div').css("display", "none");
        $('#info_control_div').css("display", "none");
        $('#burnt_info_control_div').css("display", "none");
    }
    SetSliderPositions()
}

function ClickInfoButton(){
    var disp = $('#picker_submenu').css('display')
    $('#picker_submenu').css('display', disp == 'none' ? 'block' : 'none')
    if (disp == 'none'){
        var left_pos = $('#info_button').position().left +
$('#control_panel').position().left - 4
        $('#picker_submenu').css('left', left_pos )
    }
}

```

```

    }
}

function clickSelectFireMode(){
    $('#picker_submenu').css('display', 'none')
    SetCursorMode('pick_fire')
}

function clickSelectBurntMode(){
    $('#picker_submenu').css('display', 'none')
    SetCursorMode('pick_burnt')
}

function clickSelectLcpMode(){
    $('#map1').css('cursor', 'crosshair')
    $('#picker_submenu').css('display', 'none')
    SetCursorMode('pick_lcp')
}

function ClickDownloadLcpButton(){
    var disp = $('#lcp_submenu').css('display')
    $('#lcp_submenu').css('display', disp == 'none' ? 'block' : 'none')
    if (disp == 'none'){
        var left_pos = $('#download_lcp_button').position().left +
$('#control_panel').position().left - 4
        $('#lcp_submenu').css('left', left_pos )
    }
}

var lcp_waiting_id;
var lcp_counter = 0;
var progress_val;
var progr_step = 20
var LcpDownloaded = false

function startLcpDownloading(){
    // LCP download
    lcp_counter = 0;
    progress_val = progr_step;
    lcp_waiting_id = setInterval(reloadLcpBar, 1000);

    var lon1 = parseFloat($('#lon_1').html());
    var lat1 = parseFloat($('#lat_1').html());
    var lon2 = parseFloat($('#lon_2').html());
    var lat2 = parseFloat($('#lat_2').html());

```

```
var ul = ol.proj.transform([lon1, lat1], 'EPSG:4326', 'EPSG:3857');
var dr = ol.proj.transform([lon2, lat2], 'EPSG:4326', 'EPSG:3857');
```

```
LcpDownloaded = false
```

```
$.ajax({
  type: "GET",
  url: '/backendemo/download_lcp',
  data: {'ul_x': ul[0], 'ul_y': ul[1], 'dr_x': dr[0], 'dr_y': dr[1]},

  dataType: "html",
  cache: false,
  success: function(data){
    if (data != 'no'){
      LcpDownloaded = true
      featureOverlay.getSource().clear()
      $('#lcp_extracting_div').css('display', 'none')
      SetCursorMode('pick_lcp')
      return location.href = data
    }
    else{
      alert('Сталася помилка під час завантаження')
    }
  },
  error: function(data) {}
})
}
```

```
function PickLcpValues(coorx, coory){
  coorx -= 45
  coory += 45
```

```
console.log('coorx=' + coorx)
console.log('coory=' + coory)
```

```
$.ajax({
  type: "GET",
  url: '/backendemo/select_lcp_cell',
  data: {'px': coorx, 'py': coory, 'pradius': 100},

  dataType: "html",
  cache: false,
  success: function(data){
    if (data != 'no'){
```



```

dd = $.parseJSON(data);
var ll = ol.proj.transform([coorx, coory], 'EPSG:3857', 'EPSG:4326');
$('#coord_input_lon').val(Math.round(ll[0]*1000000)/1000000 + ")
$('#coord_input_lat').val(Math.round(ll[1]*1000000)/1000000 + ")

for(var i=0; i < 11; i++){
    var tid = '#lcp_' + i
    var unit = lcp_dict[i][1]
    var dict_val = sub_lcp_dict[i] == undefined ? dd[0][i]/lcp_dict[i][3] :
sub_lcp_dict[i][dd[0][i]]
    var str_val = dd[0][i] == lcp_dict[i][2] ? 'Не встановлено' : dict_val + ''
+ unit

    $(tid).find('td:eq(0)').html(lcp_dict[i][0])
    $(tid).find('td:eq(1)').html(str_val)

    if(lcp_ind_legend[i] != undefined){
        $(tid).find('td:eq(2)').css('background', lcp_ind_legend[i][dd[0][i]])
    }

    if(lcp_ramp_legend[i] != undefined){
        var range = SeekRangeByValue(dict_val, lcp_ramp_legend[i])
        if (range != undefined){
            var rgb_vec = PickRgbInsideRange(dict_val, range)
            var rgb_str = 'rgb(' + rgb_vec[0] + ',' + rgb_vec[1] + ',' + rgb_vec[2]
+ ')'

            $(tid).find('td:eq(2)').css('background', rgb_str)

            if (range[4] != undefined){
                $(tid).find('td:eq(1)').html(range[4])
            }
        }
        else{
            $(tid).find('td:eq(2)').css('background', 'rgb(255,255,255)')
        }
    }
}
$('#lcp_info_div').css("display", "block");
}
else{
    $('#lcp_info_div').css("display", "none");
    //alert("Сталася помилка при отриманні значення показників LCP")
}
},
error: function(data) {}

```

```

    })
  }

function GotoLcpLongiLati(){

    var lon_lat = [parseFloat($('#coord_input_lon').val()),
parseFloat($('#coord_input_lat').val())]
    myView = new ol.View({
        center: ol.proj.transform(lon_lat, "EPSG:4326", "EPSG:3857"), zoom:
map.getView().getZoom() });
    map.setView(myView);
}

function reloadLcpBar(){

    if (progress_val <= 100 && progr_step > 0 || progress_val >= 0 && progr_step <
0){
        progress_val += progr_step;
    }
    else{
        progr_step = -progr_step;
    }

    document.querySelector(".progress-bar-striped > div").style.width = progress_val
+ "%";
    //document.querySelector(".progress-bar-striped > div").textContent =
progress_val + "%";

    lcp_counter += 1;

    if(LcpDownloaded){
        document.querySelector(".progress-bar-striped > div").style.width = 0 + "%";
        clearInterval(lcp_waiting_id);
    }

    if(lcp_counter > 120){
        document.querySelector(".progress-bar-striped > div").style.width = 0 + "%";
        clearInterval(lcp_waiting_id);
        alert("Завантаження LCP припинено після ' + lcp_counter + ' секунд
очікування')
    }
}

function clickDrawLcpRectangle(){
    // LCP

```

```

$('#lcp_submenu').css('display', 'none')
map.addInteraction(dragBox);
SetCursorMode('draw_lcp_rectangle')
}

function Evoke_lcp_extracting_div(extent, source){
  var x1 = Math.min(extent[0],extent[2])
  var y1 = Math.max(extent[1], extent[3])
  var x2 = Math.max(extent[0],extent[2])
  var y2 = Math.min(extent[1], extent[3])
  var ul = ol.proj.transform([x1, y1], 'EPSG:3857', 'EPSG:4326');
  var dr = ol.proj.transform([x2, y2], 'EPSG:3857', 'EPSG:4326');
  var lon_1 = Math.round(ul[0] * 1000000) / 1000000;
  var lat_1 = Math.round(ul[1] * 1000000) / 1000000;
  var lon_2 = Math.round(dr[0] * 1000000) / 1000000;
  var lat_2 = Math.round(dr[1] * 1000000) / 1000000;

  $('#source_id').html(source);
  $('#lon_1').html(lon_1);
  $('#lat_1').html(lat_1);
  $('#lon_2').html(lon_2);
  $('#lat_2').html(lat_2);
  var coords = ([[lon_1, lat_1], [lon_2, lat_1], [lon_2, lat_2], [lon_1, lat_2], [lon_1,
lat_1]]);
  var ar_str = formatArea(coords);

  $('#area_id').html(ar_str);
  $('#lcp_extracting_div').css('display', 'block');
}

dragBox.on('boxend', function() {
  let extent = dragBox.getGeometry().getExtent()

  let x1 = Math.min(extent[0],extent[2])
  let y1 = Math.max(extent[1], extent[3])
  let x2 = Math.max(extent[0],extent[2])
  let y2 = Math.min(extent[1], extent[3])

  map.removeInteraction(dragBox)
  featureOverlay.getSource().clear()
  let poly_geom = new ol.geom.Polygon([[[[x1,y1], [x2,y1], [x2,y2], [x1,y2],
[x1,y1]]]])
  let feature = new ol.Feature(poly_geom)
  featureOverlay.getSource().addFeature(feature)

```

```

if (cursor_mode == 'draw_lcp_rectangle'){
  Evoke_lcp_extracting_div(extent, '(прямокутник за вибором користувача)')
}
else if(cursor_mode == 'draw_fire_rectangle'){
  SwitchRectOn()
  SetGeometryTags(feature)
}
})

```

```

function lcp_close_button(){
  featureOverlay.getSource().clear()
  $('#lcp_extracting_div').css('display', 'none')
  SetCursorMode('pick_lcp')
}

```

```

function SetCursorMode(mode){
  // modes pick_lcp, pick_fire, select_region, draw_lcp_rectangle

  cursor_mode = mode
  var prefix = mode.substr(0, mode.search('_'))
  if(prefix == 'pick'){
    $('#map1').css('cursor', 'crosshair')
  }
  else{
    $('#map1').css('cursor', 'auto')
  }
}

```

```

dragBox.on('boxstart', function() {
  featureOverlay.getSource().clear()
});

```

```

var wgs84Sphere = new ol.Sphere(6378137);

```

```

var formatArea = function (coords) {
  //Returns area in square km for sphere.
  //Coordinates in longitude and latitude

  var area = Math.abs(wgs84Sphere.geodesicArea(coords));
  var output;
  if (area > 10000000000) {
    output = (Math.round(area / 1000000 * 100) / 100) + '' + 'кв.км';
  } else {
    output = (Math.round(area / 10000 * 100) / 100) +
      '' + 'гектарів';
  }
}

```

```

    }
    return output;
};

function clickSelectRegion(){
    //LCP
    $('#lcp_submenu').css('display', 'none')
    SetCursorMode('select_region')
}

function clickUploadPolygon(){
    $('#lcp_submenu').css('display', 'none')
    $('#kml-input').trigger('click');
}

function read_KML4Analysis(files){
    var fileList = files;
    var f = fileList[0]
    var r = new FileReader()

    r.onload = (function(f) {
        UploadKml4Analysis(r.result)
    });

    if (f != undefined){
        r.readAsText(f, "UTF-7")
    }
}

function read_KML(files){

    var fileList = files;
    var f = fileList[0]
    var r = new FileReader()

    r.onload = (function(f) {
        UploadKml(r.result)
    });

    if (f != undefined){
        r.readAsText(f, "UTF-7");
    }
}

function UploadKml4Analysis(content){

```

```

let vec = ParseKml(content)
fn = vec[0]
let text_polys = vec[1]
let extent_reg_name = AddKmlPolygon(text_polys, fn)
let sub_title = '(' + extent_reg_name[1] + ')'

SwitchKmlOn()
SetMultiGeometryTags(text_polys)
//SetGeometryTags(event.feature)
}

AsMultiPolygon = function (txt_polys=[]){
  let multi_poly = 'MULTIPOLYGON('
  for(let i=0; i < txt_polys.length; i++){
    multi_poly += txt_polys[i].replace('POLYGON', '') + ','
  }
  multi_poly = multi_poly.substr(0, multi_poly.length - 1) + ')'
  return multi_poly
}

function UploadKml(content){

  var vec = ParseKml(content)
  fn = vec[0]
  var text_polys = vec[1]
  var extent_reg_name = AddKmlPolygon(text_polys, fn)
  var sub_title = '(' + extent_reg_name[1] + ')'
  Evoke_lcp_extracting_div(extent_reg_name[0], sub_title)
}

function AddKmlPolygon(text_polys, file_name){
  featureOverlay.getSource().clear()
  var overlay = featureOverlay.getSource()
  var extent = [1000000000, 1000000000, -1000000000, -1000000000]
  var reg_name = file_name

  for (var i = 0; i < text_polys.length; i++) {
    var content = text_polys[i]
    var mpolys = ParseTxtPolygonWithHoles(content)
    mpolys = Transform_from_4326_to_3857(mpolys)
    var poly_geom = new ol.geom.Polygon(mpolys)
    var t_ext = poly_geom.getExtent()
    extent[0] = Math.min(extent[0], t_ext[0])
    extent[1] = Math.min(extent[1], t_ext[1])
  }
}

```

```

    extent[2] = Math.max(extent[2], t_ext[2])
    extent[3] = Math.max(extent[3], t_ext[3])
    var ftr = new ol.Feature({geometry: poly_geom})
    ftr['nameua'] = file_name
    reg_name = file_name
    overlay.addFeature(ftr)
  }

  var extent = overlay.getExtent();
  map.getView().fit(extent, map.getSize());

  return [extent, reg_name]
}

function Transform_from_4326_to_3857(mpolys){
  var new_mpolys = []
  for (var i = 0; i < mpolys.length; i++){
    var poly = []
    for (var j = 0; j < mpolys[i].length; j++){
      //var tcoors = mpolys[i][j]
      //poly[j] = ol.proj.transform([tcoors[1], tcoors[0]], 'EPSG:4326',
'EPSG:3857')
      poly[j] = ol.proj.transform(mpolys[i][j], 'EPSG:4326', 'EPSG:3857')
    }
    new_mpolys[i] = poly
  }
  return new_mpolys
}

function ClickLayersButton(){
  //map.removeInteraction(draw)
  SetCursorMode('pick_fire')
  var display_status = $('#layer_control_div').css("display");
  var new_val = 'none';
  if (display_status == 'none'){
    new_val = "block";
  }

  $('#layer_control_div').css("display", new_val);
  layer_table_resized();
}

var inter_source, inter_layer

function InitLayers(){

```



```

var URL_LF = 'http://45.83.193.175/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi';
//var URL_LF = 'http://31.131.27.116/cgi-bin/LF/qgis_mapserv.fcgi';
//var URL_LF_1 = 'http://31.131.24.133/cgi-bin/landscapefires/qgis_mapserv.fcgi';

var fmSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'fm'}});
var ccSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'ccover2015'}});
var chSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'cheight2015'}});
var cbdSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'cbd'}});
var cbhSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'cbh'}});
var ignProbSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'ign_prob'}});
var burnProbSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'bp'}});

var fmLayer = new ol.layer.Image({source: fmSource });
var ccLayer = new ol.layer.Image({source: ccSource });
var chLayer = new ol.layer.Image({source: chSource });
var cbdLayer = new ol.layer.Image({source: cbdSource });
var cbhLayer = new ol.layer.Image({source: cbhSource });
var ignProbLayer = new ol.layer.Image({source: ignProbSource});
var burnProbLayer = new ol.layer.Image({source: burnProbSource});

var lcSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'landscape'}});
var elevationSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'elevation'}});
var slopeSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'slope'}});
var aspectSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF, ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'aspect'}});
var distSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'topoDistrict'}});
var regionSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'topoRegion'}});
var roadSource = new ol.source.ImageWMS({url: URL_LF,ratio: 1, params:
{'LAYERS': 'roads_12'}});

var lcLayer = new ol.layer.Image({source: lcSource});
var elevationLayer = new ol.layer.Image({source: elevationSource });

```

```

var slopeLayer = new ol.layer.Image({ source: slopeSource });
var aspectLayer = new ol.layer.Image({ source: aspectSource });
var distLayer = new ol.layer.Image({ source: distSource });
var regionLayer = new ol.layer.Image({ source: regionSource });
var roadLayer = new ol.layer.Image({ source: roadSource });

var bingMapsAerial = new ol.layer.Tile({
  preload: Infinity,
  source: new ol.source.BingMaps({
    key: 'Ap_xyTViUCIM2rWAzklAzRbTPCPptGPhO64P54r2V3FdL5q-
zYgzcvdGG4opbAmq',
    //imagerySet: 'Aerial',
    imagerySet: 'AerialWithLabelsOnDemand',
    culture: 'ru-RU'
  })
});

var bingRoadsMapsAerial = new ol.layer.Tile({
  preload: Infinity,
  source: new ol.source.BingMaps({
    key: 'Ap_xyTViUCIM2rWAzklAzRbTPCPptGPhO64P54r2V3FdL5q-
zYgzcvdGG4opbAmq',
    imagerySet: 'Streetside',
    culture: 'ru-RU'
  })
});

var osm_layer = new ol.layer.Tile({
  source: new ol.source.OSM()
});

temp_source = new ol.source.Vector({ wrapX: false });
temp_layer = new ol.layer.Vector({
  name: 'temporary',
  source: temp_source,
  style: getRequestStyle
});

base_layers['bing_id'] = bingMapsAerial;
base_layers['osm_id'] = osm_layer;
base_layers['bing_id'].setVisible(false);
base_layers['osm_id'].setVisible(true);

topo_layers['fm_id'] = fmLayer //Модель ЛМГ
topo_layers['cc_id'] = ccLayer //

```

```
topo_layers['ch_id'] = chLayer
topo_layers['cbd_id'] = cbdLayer
topo_layers['cbh_id'] = cbhLayer
topo_layers['ign_prob_id'] = ignProbLayer
topo_layers['burn_prob_id'] = burnProbLayer

topo_layers['lc_id'] = lcLayer
topo_layers['elevation_id'] = elevationLayer
topo_layers['slope_id'] = slopeLayer
topo_layers['aspect_id'] = aspectLayer
topo_layers['district_id'] = distLayer

topo_layers['region_id'] = regionLayer
topo_layers['road_id'] = roadLayer
//topo_layers['road_id'] = bingRoadsMapsAerial
topo_layers['region_id'].setVisible(true);
topo_layers['road_id'].setVisible(false);

topo_layers['ign_prob_id'].setVisible(false)
//topo_layers['ign_prob_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['burn_prob_id'].setVisible(false)
//topo_layers['burn_prob_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['lc_id'].setVisible(false)
//topo_layers['lc_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['slope_id'].setVisible(false)
//topo_layers['slope_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['elevation_id'].setVisible(false)
//topo_layers['elevation_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['aspect_id'].setVisible(false)
topo_layers['aspect_id'].setOpacity(1)

topo_layers['fm_id'].setVisible(false)
//topo_layers['fm_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['cc_id'].setVisible(false)
//topo_layers['cc_id'].setOpacity(0.5)

topo_layers['ch_id'].setVisible(false)
//topo_layers['ch_id'].setOpacity(0.5)
```

```
topo_layers['cbh_id'].setVisible(false)
//topo_layers['cbh_id'].setOpacity(0.5)
```

```
topo_layers['cbd_id'].setVisible(false)
//topo_layers['cbd_id'].setOpacity(0.5)
```

```
ipSource = new ol.source.Vector({
  projection: 'EPSG:3857'
});
```

```
ipLayer = new ol.layer.Vector({
  name: 'ignition',
  source: ipSource,
  style: getIpStyle
});
```

```
bpSource = new ol.source.Vector({
  projection: 'EPSG:3857'
});
```

```
bpLayer = new ol.layer.Vector({
  name: 'burnt',
  source: bpSource,
  style: getBpStyle
});
```

```
inter_source = new ol.source.Vector();
inter_layer = new ol.layer.Vector({
  source: inter_source,
  style: new ol.style.Style({
    fill: new ol.style.Fill({
      color: 'rgba(249,166,2,0.5)'
    }),
    stroke: new ol.style.Stroke({
      color: 'rgba(176,17,13,1)',
      width: 2
    }),
    image: new ol.style.Circle({
      radius: 7,
      fill: new ol.style.Fill({
        color: 'rgba(176,17,13,1)'
      })
    })
  })
});
```

```

inter_source.on('addfeature', function(event){
  map.removeInteraction(draw_interaction)
  map.removeInteraction(snap_interaction)
  SwitchPolyOn()
  SetGeometryTags(event.feature)
})

```

```

SetGeometryTags = function (ftr){
  let geom_str = PolygonAsPostgisGeometry(ftr)
  let poly = ftr.getGeometry()
  let km2 = Math.round(ol.Sphere.getArea(poly)/1000000)
  $('#aoi_area').html(km2)
  $('#aoi_coords').html(geom_str)
  $('#regn_name').html('ДОВІЛЬНА ПЛОЩА')
  $('#admn_name').html(km2 + ' кв.км')
}

```

```

SetMultiGeometryTags = function (txt_polys){
  let geom_str = AsMultiPolygon(txt_polys)
  let km2 = GetFeaturesArea(featureOverlay.getSource())
  $('#aoi_area').html(km2)
  $('#aoi_coords').html(geom_str)
  $('#regn_name').html('ДОВІЛЬНА ПЛОЩА')
  $('#admn_name').html(km2 + ' кв.км')
}

```

```

GetFeaturesArea = function(layer_source){
  let ftrs = layer_source.getFeatures()
  let ar = 0
  for(let i = 0; i < ftrs.length; i++){
    let poly = ftrs[i].getGeometry()
    let tar = Math.round(ol.Sphere.getArea(poly)/1000000)
    ar += tar
  }
  return ar
}

```

```

PolygonAsPostgisGeometry = function(ftr){

  let coords = ftr.getGeometry().getCoordinates()
  let coords_str = 'LINESTRING('
  for (let i = 0; i < coords[0].length; i++){
    coords_str += Math.round(coords[0][i][0]) + ' ' + Math.round(coords[0][i][1])
+ ','

```

```

    }
    coords_str = coords_str.substr(0, coords_str.length - 1) + ')'
    return coords_str
  }

  map = new ol.Map({
    layers: [base_layers['bing_id'], base_layers['osm_id'],
      topo_layers['lc_id'], topo_layers['slope_id'], topo_layers['elevation_id'],
      topo_layers['aspect_id'],
      topo_layers['fm_id'], topo_layers['cc_id'], topo_layers['ch_id'], topo_layers['cbh_id'], to
      po_layers['cbd_id'],
      topo_layers['ign_prob_id'], topo_layers['burn_prob_id'], bpLayer,
      ipLayer, topo_layers['region_id'], topo_layers['district_id'], topo_layers['road_id'],
      temp_layer, inter_layer],
    target: 'map1',
    view: new ol.View({
      center: ol.proj.transform([29.9,49], 'EPSG:4326', 'EPSG:3857'),
      zoom: 6.3,
      maxZoom: 16,
      minZoom: 6,
      extent: [2400000, 5510000, 4550000, 6900000]
    })
  });

  var modify = new ol.interaction.Modify({source: inter_source});
  map.addInteraction(modify);

  var zoomslider = new ol.control.ZoomSlider();
  map.addControl(zoomslider);

  map.on('click', function(event) {
    if(cursor_mode == 'select_region'){
      LoadSelectedRegion(event)
      return
    }
    else if(cursor_mode == 'select_fire_region'){

    }

    $('#lcp_submenu').css('display', 'none')
    $('#picker_submenu').css('display', 'none')

    if (cursor_mode == 'pick_lcp'){
      DisplayLcpInfo(event)
    }
  });

```

```

    }
    else if(cursor_mode == 'pick_fire'){
        DisplayFireInfo(event)
    }
    else if(cursor_mode == 'pick_burnt'){
        DisplayBurntInfo(event)
    }
});

burnt_popup = new ol.Overlay({
    element: document.getElementById('burnt_info_control_div')
});
map.addOverlay(burnt_popup);
}

```

```

function DisplayLcpInfo(event){
    var coor = map.getCoordinateFromPixel(event.pixel)
    var x = coor[0]
    var y = coor[1]

    PickLcpValues(x, y)

}

```

```

function ClickUpload_11_Button(){
$.ajax({
    type: "GET",
    url: '/backendemo/upload_11',
    data: {'signal': 'start'},

    dataType: "html",
    cache: false,
    success: function(data){
        if(data !== 'no')
        {
            console.log('Success uploading')
        }
        else{
            console.log('error')
        }
    },
    error: function(data) {}
})
}

```



```
}
```

```
var all_regions = {}
```

```
function LoadDistricts(regn){  
  
    $.ajax({  
        type: "GET",  
        url: '/backendemo/select_districts',  
        data: {'regn': regn},  
  
        dataType: "html",  
        cache: false,  
        success: function(data){  
            dd = $.parseJSON(data)  
            var districts = {}  
            if(data != 'no' && dd.length > 0)  
            {  
                for(var i = 0; i < dd.length; i++){  
                    var admn_key = dd[i][0]  
                    var admn_name = dd[i][1]  
                    if(!districts.hasOwnProperty(admn_key)){  
                        districts[admn_key] = admn_name  
                    }  
                }  
            }  
            else{  
  
            }  
            LoadDistrictList(districts, regn)  
        },  
        error: function(data) {}  
    })  
}
```

```
function LoadRegions(){  
    $.ajax({  
        type: "GET",  
        url: '/backendemo/select_regions',  
        data: {},  
  
        dataType: "html",  
        cache: false,  
        success: function(data){  
            dd = $.parseJSON(data)
```

```

if(data != 'no' && dd.length > 0)
{
    for(var i = 0; i < dd.length; i++){
        var regn_key = dd[i][0]
        var regn_name = dd[i][1]
        if(!all_regions.hasOwnProperty(regn_key)){
            all_regions[regn_key] = regn_name
        }
    }
}
else{

}
LoadRegionList()
},
error: function(data) {}
})
}

```

```

function LoadDistrictList(districts, regn){
    //https://stackoverflow.com/questions/1687790/how-to-remove-onclick-with-
    //jquery/1687805#1687805
    // onclick event should be removed

    $(".dropdown-item").prop("onclick", null).off("click");

    var ht = '<ol id="admn_ul" class="dropdown_ul" style="overflow: auto">'
    ht += '<li id="admn0" class="dropdown-item" style="overflow-x: hidden"
value="0"></li>'
    for(var admn in districts){
        ht += '<li id="admn' + admn + '" class="dropdown-item" style="overflow-x:
hidden" value="" + (regn * 100000 + parseInt(admn)) + '">' + districts[admn] + '</li>'
    }
    ht += '</ol>'

    $('#admn_button').val('Виберіть адмін. район')
    $('#admn_dropdown_div').html(ht)
    $('.dropdown-item').click(function(event){
        RegnAdmnClicked(event)
    })
}

```

```

function LoadRegionList(){
    //https://stackoverflow.com/questions/1687790/how-to-remove-onclick-with-

```

jquery/1687805#1687805

// onclick event should be switched off

```

$(".dropdown-item").prop("onclick", null).off("click");

var ht = '<ol id="regn_ul" class="dropdown_ul" style="overflow: auto">'
ht += '<li id="regn0" class="dropdown-item" style="overflow-x: hidden"
value="0"></li>'
for(var regn in all_regions){
    ht += '<li id="regn' + regn + '" class="dropdown-item" style="overflow-x:
hidden" value="" + regn + '">' + all_regions[regn] + '</li>'
}
ht += '</ol>'
$('#oblast_dropdown_div').html(ht)
$('.dropdown-item').click(function(event){
    RegnAdmnClicked(event)
})
}

```

```

function LoadSelectedRegion(event){
    var coor = map.getCoordinateFromPixel(event.pixel)
    var x = coor[0]
    var y = coor[1]
    tabname = map.getView().getZoom() < 9 ? ['toporegion', 'область'] :
['topodistrict', 'район']

$.ajax({
    type: "GET",
    url: '/backendemo/select_regn_geom',
    data: {'px': x, 'py': y, 'tabname': tabname[0]},

    dataType: "html",
    cache: false,
    success: function(data){
        dd = $.parseJSON(data)
        if(data != 'no' && dd.length > 0)
        {
            var extent_reg_name = AddSelectedRegion(dd)
            var sub_title = '(' + extent_reg_name[1] + ' ' + tabname[1] + ')'
            Evoke_lcp_extracting_div(extent_reg_name[0], sub_title)
        }
        else{
            featureOverlay.getSource().clear()
            $('#lcp_extracting_div').css('display', 'none')
        }
    }
})

```

```

        SetCursorMode('pick_lcp')
    }
},
error: function(data) {}
})
}

// function addInteraction() {
//     var value = 'Point';
//     if (value !== 'None') {
//         draw = new ol.interaction.Draw({
//             source: temp_source,
//             type: value
//         });
//         map.addInteraction(draw);
//     }
// }

function getIpStyle(feature) {
//     var ipStyle = new ol.style.Style({
//         image: new ol.style.Circle({
//             radius: 3,
//             fill: new ol.style.Fill({color: [255,0,0,0.4]}),
//             stroke: new ol.style.Stroke({
//                 color: [255,0,0], width: 2
//             })
//         })
//     });
// }

var _myStroke = new ol.style.Stroke({
    color : 'rgba(255,0,0,1.0)',
    width : 2
});

var _myFill = new ol.style.Fill({
    color: 'rgba(255,0,0,0.4)'
});

var ipStyle = new ol.style.Style({
    stroke : _myStroke,
    fill : _myFill
});
return ipStyle;
}

```

```

function getBpStyle(feature) {

    var _myStroke = new ol.style.Stroke({
        color : 'rgba(127,0,0,1.0)',
        width : 2
    });

    var _myFill = new ol.style.Fill({
        color: 'rgba(127,0,0,0.4)'
    });

    var bpStyle = new ol.style.Style({
        stroke : _myStroke,
        fill : _myFill
    });
    return bpStyle;
};

function getRequestStyle(){
    var clr = 'rgba(100, 100, 100, 0.5)';

    var reqStyle = new ol.style.Style({
        image: new ol.style.Circle({
            radius: 14, snapToPixel: false, fill: new ol.style.Fill({color: clr}),
            stroke: new ol.style.Stroke({color: 'yellow', width: 1 })
        })
    });
    return reqStyle;
}

function ParseTxtPolygonWithHoles(polyText){

    strs = polyText.substr(9, polyText.length - 11).split(',')
    polys = []
    strs.forEach(function(item, index){
        polys[index] = ParseTxtPolygon(strs[index])
    })
    return polys
}

function ParseTxtPolygon(sample){

    var strs = sample.match(NUMERIC_REGEXP);
    var coord = []
    var poly = []

```

```

for(j=0; j < strs.length; j++){
  var ind = isOdd(j)
  coord[ind] = parseFloat(strs[j])
  if(ind == 1){
    poly[(j - 1)/2] = coord
    coord = []
  }
}
return poly;
}

function isOdd(num) { return num % 2;}

addFireInfoControl = function () {
  var FireInfoControl = new ol.control.Control({
    element: document.getElementById("fire_info")
  });
  map.addControl(FireInfoControl);
}

// Common functions
function date2String(tod) {
  return (" " + tod.getDate()).padStart(2,'0') + '.' + (" " + (tod.getMonth() +
1)).padStart(2,'0') + '.' + tod.getFullYear()
}

////////////////////////////////////
function RequestBurntPolygonsByDates(){

  var sdt1 = $('#id_start_date').val()
  var dt1 = FormatStr2DateTime(sdt1, '00:00:00')

  var sdt2 = $('#id_finish_date').val()
  var dt2 = FormatStr2DateTime(sdt2, '23:59:59')

  sd = Date2String(dt1)
  fd = Date2String(dt2)
  StartLoadingBurntPolygons(sd, fd)
}

function RequestIgnitionsByDates(dt1, dt2){
  sd = Date2String(dt1)
  fd = Date2String(dt2)

  var satels = ""

```

```

for(var i = 0; i < SATELLITE_FLAGS.length; i++){
  var fl = SATELLITE_FLAGS[i]
  if(fl == 1){
    satels += SATELLITE_NAMES[i] + ';'
  }
}

var instrs = ""
for(var i = 0; i < INSTRUMENT_FLAGS.length; i++){
  var fl = INSTRUMENT_FLAGS[i]
  if(fl === 1){
    instrs += INSTRUMENT_NAMES[i] + ';'
  }
}

if(satels.length == 0){
  ipSource.clear()
  return
}

satels = satels.slice(0, satels.length - 1)
instrs = instrs.slice(0, instrs.length - 1)

StartLoadingFires(sd, fd, instrs, satels)

}

const StartLoadingFires = async function(sd, fd, instrs, satels) {
  $('#map1').css('cursor', 'wait')
  const result = await LoadFiresAsync(sd, fd, instrs, satels)
  SetCursorMode(cursor_mode)
  SetCursorMode('pick_fire')
  //console.log(result);
}

async function LoadFiresAsync(sd, fd, instrs, satels){
  try{
    const result = await $.ajax({
      type: "GET",
      url: '/backendemo/satellite_ignitions',
      data: {'start_time': sd, 'finish_time': fd, 'instruments': instrs, 'satellites':
satels},
      dataType: "html",
      cache: false,
      success: function(data){

```



```

        LoadFireIgnitionMap(data);
    },
    error: function(data) {}
})
return result
}
catch (error) {
    console.error(error);
}
}

function AddSelectedRegion(dd){
    featureOverlay.getSource().clear()
    var cnt = 0;
    var overlay = featureOverlay.getSource()
    var extent = [1000000000, 1000000000, -1000000000, -1000000000]
    var reg_name = ""
    for (var i=0; i< dd.length; i++){
        var mpolys = ParseTxtPolygonWithHoles(dd[i][dd[i].length - 1])
        var poly_geom = new ol.geom.Polygon(mpolys)
        var t_ext = poly_geom.getExtent()
        extent[0] = Math.min(extent[0], t_ext[0])
        extent[1] = Math.min(extent[1], t_ext[1])
        extent[2] = Math.max(extent[2], t_ext[2])
        extent[3] = Math.max(extent[3], t_ext[3])

        var ftr = new ol.Feature({geometry: poly_geom});
        ftr['nameua'] = dd[i][0]
        reg_name = dd[i][0]
        overlay.addFeature(ftr);
        cnt++;
    }
    return [extent, reg_name]
}

const StartLoadingBurntPolygons = async function(sd, fd) {
    $('#map1').css('cursor', 'wait')
    const result = await LoadBurntPolygonsAsync(sd, fd)
    SetCursorMode(cursor_mode)
}

async function LoadBurntPolygonsAsync(sd, fd){
    try{
        const result = await $.ajax({
            type: "GET",

```

```

        url: '/backendemo/burnt_polygons',
        data: {'start_time': sd, 'finish_time': fd},
        dataType: "html",
        cache: false,
        success: function(data){
            LoadBurntPolygonsMap(data);
        },
        error: function(data) {}
    })
    return result
}
catch (error) {
    console.error(error);
}
}

function LoadBurntPolygonsMap(data){
    bpSource.clear()
    ipSource.clear()

    dd = $.parseJSON(data);

    var cnt = 0;
    for (var i=0; i< dd.length; i++){
        var mp = ParseTxtPolygonWithHoles(dd[i][dd[i].length - 1])
        var ftr = new ol.Feature({geometry: new ol.geom.Polygon(mp)});
        for(j=0; j < dd[i].length - 1; j++){
            ftr[bp_field_names[j]] = dd[i][j]
        }
        bpSource.addFeature(ftr)
        cnt++;
    }
}

function LoadFireIgnitionMap(data){
    bpSource.clear()
    ipSource.clear()
    dd = $.parseJSON(data);
    var cnt = 0;
    for (var i=0; i< dd.length; i++){
        //var xy = [parseFloat(dd[i][dd[i].length - 2]), parseFloat(dd[i][dd[i].length -
1])];
        //var ftr = new ol.Feature({geometry: new ol.geom.Point(xy)});

        var mp = ParseTxtPolygon(dd[i][dd[i].length - 1])

```

```

var ftr = new ol.Feature({geometry: new ol.geom.Polygon([mp])});
for(j=0; j < dd[i].length; j++){
  ftr[ip_field_names[j]] = dd[i][j]
}
ipSource.addFeature(ftr)
cnt++;
}

//console.log('cursor_name=' + $('#map1').css('cursor'))
}

function SetFloat_6_Listeners(){
  inds = [0,1]
  var elements = document.getElementsByClassName("input_writable");
  for (var i of inds) {
    setInputFilter(elements[i], function(value) {
      return FLOAT_6.test(value); });
  }
}

function setInputFilter(textbox, inputFilter) {
  //https://stackoverflow.com/questions/469357/html-text-input-allow-only-numeric-input
  ["input", "keydown", "keyup", "mousedown", "mouseup", "select", "contextmenu",
  "drop"].forEach(function(event) {
    textbox.addEventListener(event, function() {
      if (inputFilter(this.value)) {
        this.oldValue = this.value;
        this.oldSelectionStart = this.selectionStart;
        this.oldSelectionEnd = this.selectionEnd;
      } else if (this.hasOwnProperty("oldValue")) {
        this.value = this.oldValue;
        this.setSelectionRange(this.oldSelectionStart, this.oldSelectionEnd);
      }
    });
  });
}

```