

**С.В. Зібцев, В.В. Миронюк, В.В. Богомоллов, П.П. Яворовський,
О.М. Сошенський, В.В. Гуменюк, С.Є. Сендонін,
В.В. Левченко, Н.В. Пузріна**

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТВОРЕННЯ
ГЕОПОРТАЛУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ
РИЗИКУ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА
ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ
ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ**

М о н о г р а ф і я

Київ – 2021

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**С.В. Зібцев, В.В. Миронюк, В.В. Богомолів, П.П. Яворовський,
О.М. Сошенський, В.В. Гуменюк, С.Є. Сендонін,
В.В. Левченко, Н.В. Пузріна**

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТВОРЕННЯ
ГЕОПОРТАЛУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ
РИЗИКУ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА
ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ
ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ**

М о н о г р а ф і я

Київ – 2021

УДК 004.7:528.8:630*43(477)

3 59

Рецензенти:

Пастернак В.П., доктор сільськогосподарських наук, професор Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького, провідний науковий співробітник лабораторії моніторингу і сертифікації лісів, м. Харків;

Лавний В.В., доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи Національного лісотехнічного університету, м. Львів;

Бровко Ф.М., доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри відтворення лісів і лісових меліорацій НУБіП України, м. Київ

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 1 від 28 серпня 2021 року)

Зібцев С.В.

3 59 Науково-методичне забезпечення створення геопорталу для оцінювання ризику, прогнозування та попередження природних пожеж в Україні : монографія / С.В. Зібцев, В.В. Миронюк, В.В. Богомолів, П.П. Яворовський, О.М. Сошенський, В.В. Гуменюк, С.Є. Сендонін, В.В. Левченко, Н.В. Пузріна. Київ : видавництво «Наукова столиця» ФОП Шмидко Т.С. 2021. 340 с.

ISBN 976-617-7649-47-1

У монографії узагальнено досвід моделювання динаміки пожеж на ландшафтній основі, використання геопорталів для управління лісовими пожежами; створено вибірку для дешифрування даних ДЗЗ за типами земного покриття, опрацьовано алгоритми для класифікації даних ДЗЗ за типами ландшафтів, сформовано базу даних запасів горючих матеріалів, підготовлено геопросторову основу для класифікації типів земного покриття для різних ландшафтів Полісся України, розподілено території за типами ландшафтів, створено карту типів горючих матеріалів та програмний інтерфейс веб-сторінок прототипу геопорталу системи управління природними пожежами й розміщено набори геоданих на створеному прототипі геопорталу.

Розраховано на науковців, викладачів та фахівців лісового і природоохоронного напрямку, аспірантів і студентів лісогосподарських, екологічних та біологічних вищих навчальних закладів.

УДК 004.7:528.8:630*43(477)

ISBN 976-617-7649-47-1

© С.В. Зібцев, В.В. Миронюк, В.В. Богомолів, П.П. Яворовський,
О.М. Сошенський, В.В. Гуменюк, С.Є. Сендонін, В.В. Левченко, Н.В. Пузріна, 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	8
РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ	13
1.1. Методи оцінювання ризиків пожеж на ландшафтній основі	13
1.2. Теоретичні принципи моделювання виникнення і поширення природних пожеж	17
1.3. Сучасний зміст інформаційної підтримки систем управління ризиками пожеж на основі web-технологій	25
РОЗДІЛ 2. ГЕОПРОСТОРОВА ОСНОВА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ	29
2.1. Топографічні показники місцевості	29
2.2. Типи земельного покриву	32
2.2.1. Створення безхмарних композитних мозаїк за часовими серіями супутникових знімків Landsat 8 OLI	33
2.2.2. Схема класифікації ландшафтів і характеристика опорної інформації	45
2.2.3. Методика дешифрування супутникових знімків	48
2.2.4. Точність дешифрування вкритих і неvkритих лісовою рослинністю ділянок	62
РОЗДІЛ 3. ЛІСОВІ ГОРЮЧІ МАТЕРІАЛИ	74
3.1. Класифікація елементарних частин лісових горючих матеріалів	74
3.2. Класифікація шарів лісових горючих матеріалів	76
3.3. Класифікація лісових насаджень як складних комплексів лісових горючих матеріалів	81
3.4. Класифікація основних провідників горіння	84
3.5. Класифікація груп лісових горючих матеріалів	88
3.6. Характеристика лісових горючих матеріалів	93

3.6.1. Запас горючих матеріалів у лісі.....	93
3.6.2. Методи дослідження лісових горючих матеріалів	101
3.6.3. Зволоження і висихання лісових горючих матеріалів.....	105
3.6.4. Теплотворна здатність лісових горючих матеріалів	119
3.6.5. Запас горючих матеріалів у лісах зони відчуження Чорнобильської АЕС	124
3.6.5.1. Коротка характеристика лісів зони відчуження	124
3.6.5.2. Запас наземних лісових горючих матеріалів.....	126
3.6.5.3. Запас надземних лісових горючих матеріалів.....	133
3.7. Запас горючих матеріалів у лісах гірського Криму.....	138
3.8. Горіння лісових горючих матеріалів.....	148
3.8.1. Характеристика низової пожежі.....	149
3.8.2. Вплив відносної вологості повітря на інтенсивність горіння ОПГ	154
3.9. Картографування лісових горючих матеріалів	156
3.9.1. Великомасштабне картографування лісових горючих матеріалів	161
3.9.2. Метод типової та індивідуальної характеристики лісових ділянок	161
3.9.3. Методика безпосередньої та непрямой індивідуальних пірологічних характеристик лісових ділянок.....	164
3.9.4. Пірологічна характеристика типів лісу	167
3.9.5. Складання великомасштабної карти лісових горючих матеріалів ..	170
3.9.6. Технологія великомасштабного картографування лісових горючих матеріалів з використанням комп'ютерних програм	175
3.9.7. Методи середньомасштабного картографування лісових горючих матеріалів	185
3.9.8. Метод „автономного” складання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів	186

3.9.9. Метод сполученого складання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів	195
3.9.10. Використання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів	197
3.10. Прогнозування поведінки та наслідків пожеж.....	200
3.10.1. Прогнозування поведінки низової пожежі.....	201
3.10.2. Прогнозування наслідків низової пожежі	214
3.11. Зімкнутість деревостанів.....	216
3.12. Висота намету деревостанів.....	218
3.13. Висота початку крони деревостанів.....	220
3.14. Щільність запасу горючих матеріалів у наметі деревостанів	222
РОЗДІЛ 4. ПОЖЕЖНІ РЕЖИМИ ТЕРИТОРІЇ.....	225
4.1. Просторово-часовий розподіл та ймовірність виникнення пожеж.....	225
4.2. Площа пожеж.....	234
4.3. Погодні умови території.....	242
4.4. Моделі горючих матеріалів.....	250
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ГЕОПОРТАЛУ	256
5.1. Програмні компоненти віртуального хостингу	256
5.2. Модулі розширення на мові Python.....	258
5.2.1. Каркас веб-застосунків Django	259
5.2.2. Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4, GDAL, OGR, OSR.....	260
5.3. Реалізація QGIS серверу.....	262
5.4. Система управління базами даних	269
5.4.1. Моделі даних	270
5.4.2. Оптимізація запитів	275
5.5. Модель інформаційних потоків односторінкового веб-додатку.....	278
5.6. Склад веб-сторінок геопорталу (результати 2020 р.)	281
5.7. Дизайн веб-додатку (результати 2020 р.)	284
5.7.1. Меню веб-додатка.....	284
5.7.2. Діалогове вікно «Управління шарами»	287

5.7.3. Діалогове вікно «Завантаження фрагменту LCP»	288
5.7.4. Діалогове вікно «Пожежі»	289
5.7.5. Діалогове вікно «Аналіз даних про пожежі»	290
РОЗДІЛ 6. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПОРТАЛУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ	
(результати 2020 р.).....	295
6.1. Завантаження вихідних шарів для моделювання	295
6.2. Моделювання розвитку пожежі.....	298
6.3. Імітаційне моделювання ймовірності поширення пожеж в системі FlamMap з метою зниження ризиків великих пожеж.....	305
ВИСНОВКИ	310
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	312
ДОДАТКИ.....	334

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГІС – геоінформаційні системи;

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;

ЗВ – зона відчуження;

РН – радіонуклід;

ТХР – таблиці ходу росту;

Н. Р. М. – над рівнем моря;

НДР – науково-дослідні роботи;

ЛГМ – лісові горючі матеріали.

ПЕРЕДМОВА

Монографія підготовлена на основі результатів досліджень, проведених під час виконання науково-дослідної теми за номером держреєстрації №0118U000312 за договором від 01.10.2018 р. № 110/д-пр-2018 «Науково-методичне забезпечення створення геопорталу для оцінювання ризику прогнозування та попередження природних пожеж у Поліссі України».

Рослинні пожежі, які виникають у природних ландшафтах України в останні десятиліття, стають все більш небезпечним явищем, що 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 виникнення та розвитку інтенсивних пожеж на великих площах. Служби охорони лісів та пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України, в умовах що склалися, потребують суттєвого удосконалення рівня системи охорони природних територій від пожеж. Тому 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 на разі функціонує відомча система землекористування та охорони природних ресурсів, що зумовлює недостатній рівень координації дій з 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 виникнення природних пожеж: пожежа розпочинається на землях сільськогосподарського призначення, потім переходить і розвивається у лісову (оскільки землекористувач не гасить її) після перетину меж землекористування між полем та лісом або торфовищем така пожежа прреростає у лісову чи підземну (торф'яну).

Ця монографія має на меті опрацювати наукове обґрунтування та забезпечити 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 удосконаленню стратегії попередження пожеж на рівні центральних органів виконавчої влади та місцевому рівні. До початку опрацювання цього проекту в Україні був відсутній саме такий інтегральний регіональний продукт у галузі управління природними пожежами.

У Сполучених штатах Америки (США) подібний продукт спільно використовують різні відомства – Міністерств сільського господарства США, а також 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 всі можливі ризики для населення.

Глобальні зміни клімату, зміни землекористування в Україні та погіршення соціально-економічного становища населення в нашій державі призвели до різкого зростання кількості, площ та рівня інтенсивності природних пожеж, а також до 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, яка була пройдена вогнем, – з 1,5–2,5 тис. га до 15–20 тис. га. Згідно з даними дистанційного зондування Землі, щорічно в Україні відбувається 200 тис. і більше пожеж на території сільськогосподарських земель. Природні пожежі генерують викиди в атмосферу тисячі тонн вуглецю, радіонуклідів та інших забруднювачів, вони 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 навіть в Арктиці. Значну частину пожеж не виявляють і не гасять вчасно через

міжвідомчі конфлікти між землекористувачами, які є відповідальними за охорону територій від пожеж.

Отриманий за результатами науково-дослідних робіт продукт під час підготовки цієї монографії, дозволить відкрити спільний доступ до даних та прогнозів представникам усіх зацікавлених відомств та землекористувачів.

Цей проєкт 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 проєкту Закону України «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних».

Актуальність цього проєкту зумовлена зростанням кількості, площ та рівня інтенсивності природних пожеж, збитків екосистемам та лісовому та народному 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. Окрім того, проєктом було 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 природних 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, є застарілими 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 представлено у вигляді загальнодоступного геопорталу даних.

Ще одним аспектом актуальності виконання цього проєкту пояснюється необхідністю впровадження у вітчизняну теорію та практику сучасних методів дослідження природних і, зокрема, лісових 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 багатьох розвинутих країнах світу.

Об'єктами досліджень були екологічні системи Полісся України як об'єкти, що є надзвичайно вразливими до природних пожеж.

Предмет дослідження були природні ландшафти, методи оцінювання ризику виникнення та очікуваної поведінки природних пожеж, а також динаміка горимості в Українському Поліссі з використанням ГІС та даних ДЗЗ.

Метою підготовки монографії є 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 та відображення їх у мережі Інтернет у вигляді геопорталу.

Методами дослідження були експеримент, логічний, статистичний та математичний аналізи даних щодо горимості лісів, накопичення лісових горючих матеріалів у лісовому фонді в умовах Полісся України, вивчення найбільш ефективних технологій розробки та розгортання геопорталів.

За час виконання роботи з підготовки монографії: узагальнено сучасний досвід моделювання динаміки пожеж на ландшафтній основі; вивчено досвід використання геопорталів для управління лісовими пожежами; створено навчальну вибірку для дешифрування даних дистанційного зондування Землі (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 та 8 типів моделей горючих матеріалів, а також створено карту типів горючих матеріалів, набір тематичних шарів, необхідних для моделювання розвитку природних пожеж; оцінено точність тематичних матеріалів про показники ландшафтів; виконано валідацію матеріалів і аналіз ефективності їхнього застосування в завданнях моделювання пожеж і прогнозу їхніх ризиків для різних ландшафтів; створено програмний інтерфейс веб-сторінок прототипу геопорталу системи управління природними пожежами; розміщено набори геоданих на створеному прототипі геопорталу та підготовлено посібник користувача геопорталу.

РОЗДІЛ 1

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

1.1. Методи оцінювання ризиків пожеж на ландшафтній основі

Аналіз ризиків пожеж відноситься до вимірювання та передачі неочікуваних майбутніх подій екстремальних наслідків. Як правило, аналіз ризику фокусується на подіях з низьким рівнем вірогідності негативних наслідків, які є стохастичними в просторі та часі. Він виконується, коли прогнозовані результати є невизначеними, однак можливі наслідки можуть бути описані з визначеним рівнем достовірності. Аналіз ризиків пожеж дозволяє краще спрогнозувати 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 пожеж в основному обумовлені поліпшенням програмного забезпечення, системної інтеграції, доступності даних, ГІС і методів моделювання [158, 160, 192]. Комп'ютерні моделі можуть відтворити поширення пожежі з урахування наявних горючих матеріалів та одержати параметри пожежі в конкретному ландшафті [184]. 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, зокрема таких, як: інтенсивності вогню, висоти полум'я й умов виникнення верхової пожежі. Оцінки залежать від конкретної моделі поведінки пожежі та припущень щодо ймовірних погодних умов, стану та запасів горючих матеріалів. Наприклад, висота полум'я може бути оцінена шляхом моделювання поведінки пожеж за незмінних погодних умов [158] або шляхом внесення певної варіабельності в

діапазоні ймовірних погодних умов, що змінюють швидкість і напрямки поширення вогню [147].

Світова наукова спільнота по-різному застосовувала термін «ризик» у контексті моделювання пожеж, що призводить до плутанини, незважаючи на зусилля щодо стандартизації цих визначень. Відповідно до визначення товариства з оцінки ризиків¹: 1) ризик являє собою потенціал для реалізації небажаних, несприятливих наслідків для життя, здоров'я, майна або навколишнього природного середовища людини; 2) оцінка ризику заснована на очікуваному значенні умовної ймовірності виникнення події, а також того, що відбувається під час події, якщо воно сталося. Відповідно до цього, ризик являє собою очікування втрати та включає в себе певну оцінку трьох компонентів ризику: 1) ймовірність виникнення події; 2) очікувана інтенсивність події; 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. Високий рівень ймовірності виникнення 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 представлено такими поняттями як ймовірність займання – «ignition probability» та ймовірність вигорання – «burn probability». Як правило, вірогідність займання статистично моделюється з використанням даних про випадки пожеж, а ймовірність вигорання оцінюється на основі моделювання. Ці два подання ризиків можуть істотно відрізнитися у просторі та, як правило, використовуються для різних цілей. Наприклад, оцінка ймовірності займання використовується для визначення точки початку випадкової пожежі під час імітаційного моделювання, а ймовірність вигорання частіше застосовується для управління горючими матеріалами.

¹ <http://www.sra.org/resources>

Оцінки трьох основних компонентів пожежної небезпеки (ймовірність, інтенсивність і наслідки) та факторів, які їх викликають, необхідні для оцінки ризику. В окремих випадках достатнім є визначення ймовірності займання (*ignition probability*), тоді як в інших використовується ймовірність вигорання (*burn probability*). Хоча *burn probability* частково залежить від *ignition probability*, визначальним є подальше розповсюдження вогню. Точність моделювання можна оцінити за історичними даними про площу, кількість, а також просторовий розподіл пожеж.

Численні дослідження присвячено оцінці ризику лісових пожеж як в контексті їхньої появи (*ignition probability*), так і поширення (*burn probability*). Відповідні статистичні методи застосовуються для оцінки людського фактору, методів управління горючими матеріалами на ймовірності виникнення та поширення пожеж. Встановлено, що ймовірність виникнення пожежі, зазвичай, корелює з такими факторами, як рівень ведення сільського господарства, фермерства, близькість до поселень, відстань до транспортних маршрутів тощо [189]. У всьому світі людська діяльність спричиняє виникнення більшості лісових пожеж. Навіть в країнах Середземномор'я понад 90 % лісових пожеж викликані людьми (ФАО, 2007). Там, де причиною виникнення лісових пожеж є антропогенний фактор, вивчення ймовірності займання може бути особливо цінним для менеджерів, правоохоронних органів і пожежних служб. Наприклад, оцінка ймовірності займання використовуються для імітації ефективності початкової атаки [166].

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 кронах дерев використовуються окремо або в поєднанні для картографування ризиків. Для цього доступні різні програмні продукти, серед яких, зокрема, 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 з 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 територіях [184].

Нещодавно розроблений підхід для картографування пожежної небезпеки FIREHARM – дозволив удосконалити моделювання ефектів високого просторового розрізнення (100 м) [184]. Цей підхід використовує просторово орієнтовані дані про щоденні історичні показники кліматичних умов, що дозволяє відкоригувати рівень добової вологості горючих матеріалів з 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 рівня вологості горючих матеріалів, а також існуючі моделі поведінки пожеж і моделювання ймовірностей небезпечних природних пожеж.

Опис ризику пожежі вимагає поєднання ймовірності та небезпеки. Для цього використовується два загальних підходи: розробка рейтингів або індексів ризику і те, що прийнято називати в США, інтегральною моделлю ризику (IRM). Індекс ризику і рейтинговий підхід широко використовуються для державних і регіональних оцінок в США. Ці оцінки виконують цілу низку функцій, включаючи 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 пожежної небезпеки. 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 смертності дерев або завищувати ефекти в разі швидкого відновлення рослинності. Однією із спроб оцінити стан відновлення деревостану після пожежі в рамках оцінки ризиків є модель FTM

[189]. Модель FTM оцінює ризик пожежі, але також враховує потенціал відновлення деревостану. Моделі відновлення вегетації використовуються, щоб врахувати часові зміни компонентів ризику. Наприклад, Finney et al [158], використовували версію симулятора лісової рослинності FVS-FFE для вивчення кількох різних сценаріїв управління горючими матеріалами на ймовірність пожежі для трьох західних областей США. Сценарії включали випадкове і оптимальне розміщення горючих матеріалів [158] з різними розмірами одиниць, де виконувалися 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 застосовуються температура, відносна вологість повітря, швидкість і напрям вітру, ухил місцевості, моделі горючих матеріалів, рівень їхньої вологості за класами розмірів. Такий набір параметрів дозволяє повністю відтворювати умови пожежі. У *BehavePlus* використовується 13 оригінальних моделей горючих матеріалів за Андерсоном (fuel model (FM)), та динамічні моделі за Scott & Burgan (2005) [197]. На основі моделі Р. Ротермела (1972) [193] 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) деревна смертність; 13) ймовірність загоряння. Моделювання пожеж переважно базується на експертній оцінці можливого сценарію їхнього розвитку, а перелічені показники є критеріями, за якими визначається відповідність прогнозних параметрів

пожежі реальним умовам. У зв'язку з цим, варто зупинитися 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 включають трав'янисті рослини, кущі, іншу мертву 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 (висота) полум'я пов'язана з інтенсивності вогню, у зв'язку з цим є функцією швидкості розповсюдження та температури пожежі на одиницю площі.

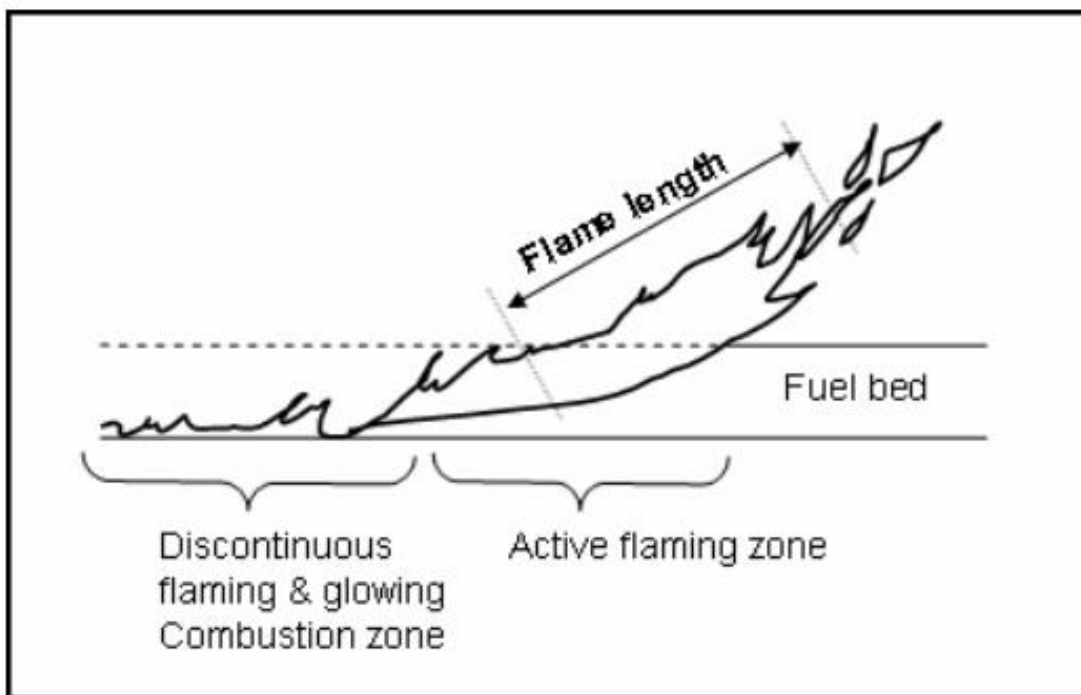


Рис. 1.1. Моделювання низової пожежі: довжина полум'я

Інтенсивність вогню (Fireline Intensity) – це теплова енергія, що виділяється у 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.

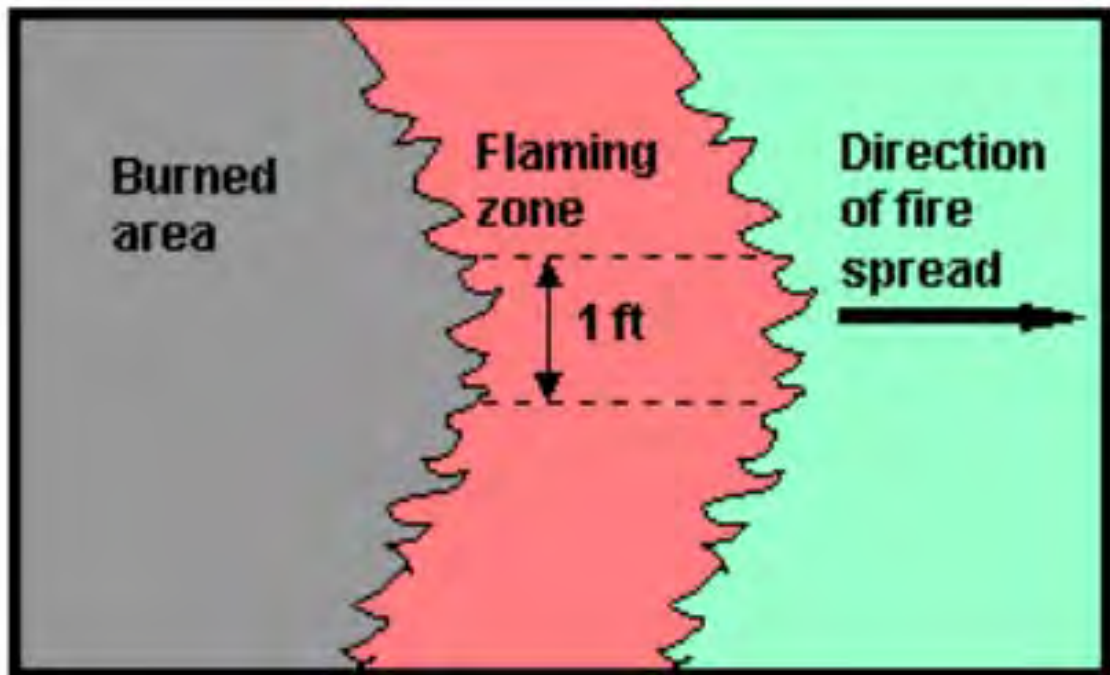


Рис. 1.2. Моделювання низової пожежі: інтенсивність вогню

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) – розраховується 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.

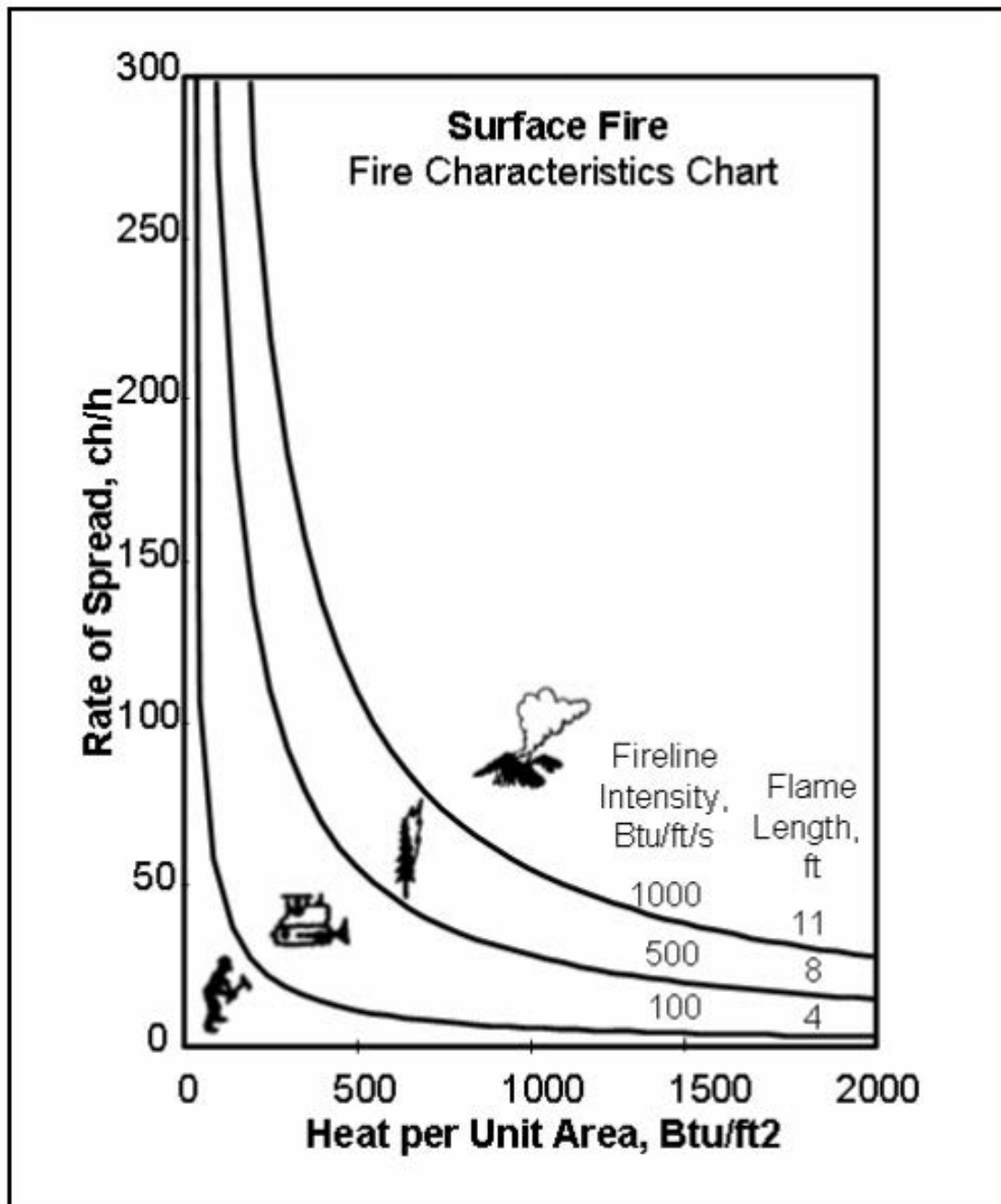


Рис. 1.3. Моделювання низової пожежі: діаграма характеристик вогню

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, включаючи 13 оригінальних, які були описані Андерсоном (Anderson, 1982), а також 40 динамічних, які були додатково визначені в роботі Scott & Burgan (2005) [197].

Тип моделі горючих матеріалів (Fuel Model Type) – розділяють статичний (S) або динамічний (D) типи моделей горючих матеріалів. Динамічні моделі враховують компонент живого трав'янистоого покриття, 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 мертві (рис. 1.4).

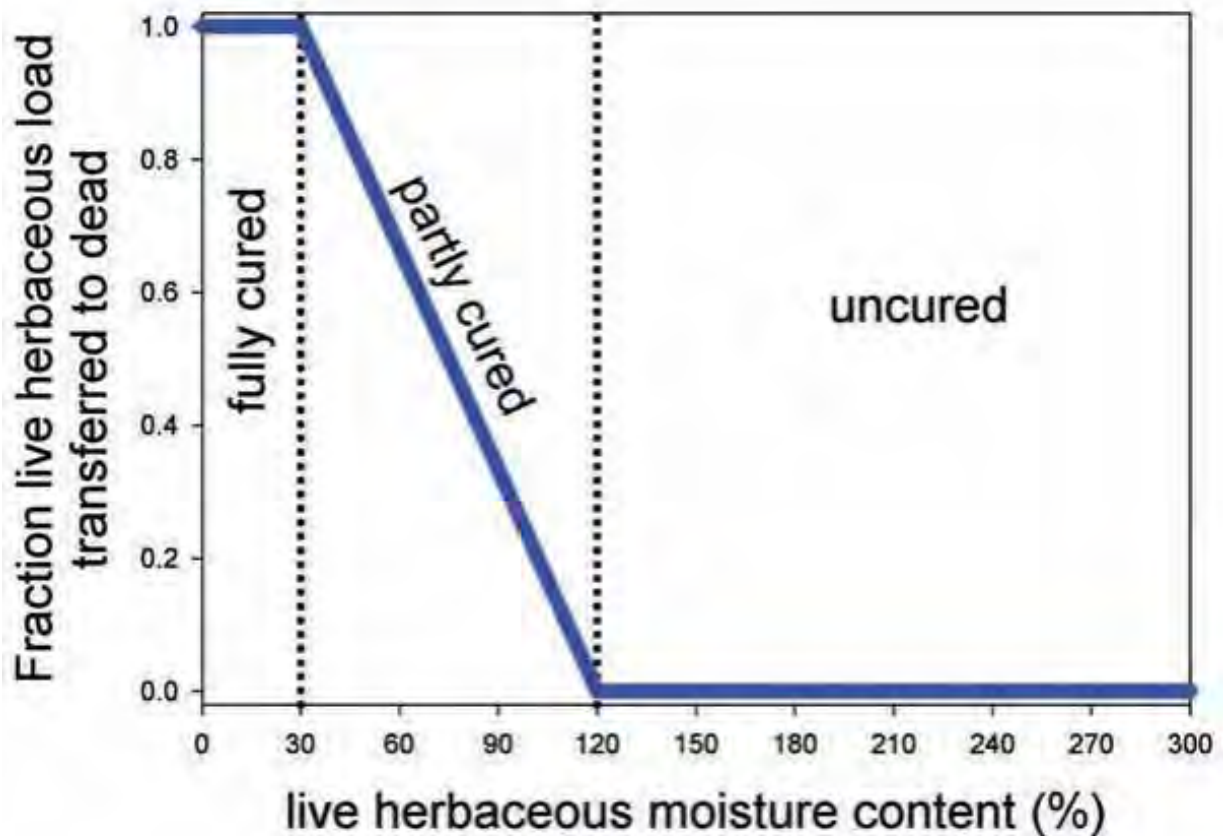


Рис. 1.4. Графічне відображення динамічних моделей горючих матеріалів

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 включає в себе горючі матеріали від 0 до 0,25 дюйма (0,64 см) в діаметрі (хвоя, листки, трав'янисті рослини і тонкі мертві стебла рослин). *Клас розміру 10-h* – ця категорія включає дерев'янисті рештки діаметром від 0,25 до 1,0 дюйма (0,64 до 2,54 см). *Клас розміру 100-h* – включає в себе 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, яка розраховується за моделлю розповсюдження пожежі на поверхні Ротермеля.

Запас трав'яних мертвих 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 процес 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 визначається моделлю. Під час горіння частина живих трав'яних горючих матеріалів переноситься в категорію відмерлих відповідно до рис. 1.4, а початковий вміст вологи задається користувачем.

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 включає в себе листки і дуже тонкі стовбурці живих чагарників.

Загальний запас відмерлих горючих матеріалів (Total Dead Fuel Load) – сумарний запас усіх класів горючих матеріалів. Для всіх моделей включає 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 проводиться 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 використовуються наступні показники (рис. 1.5).

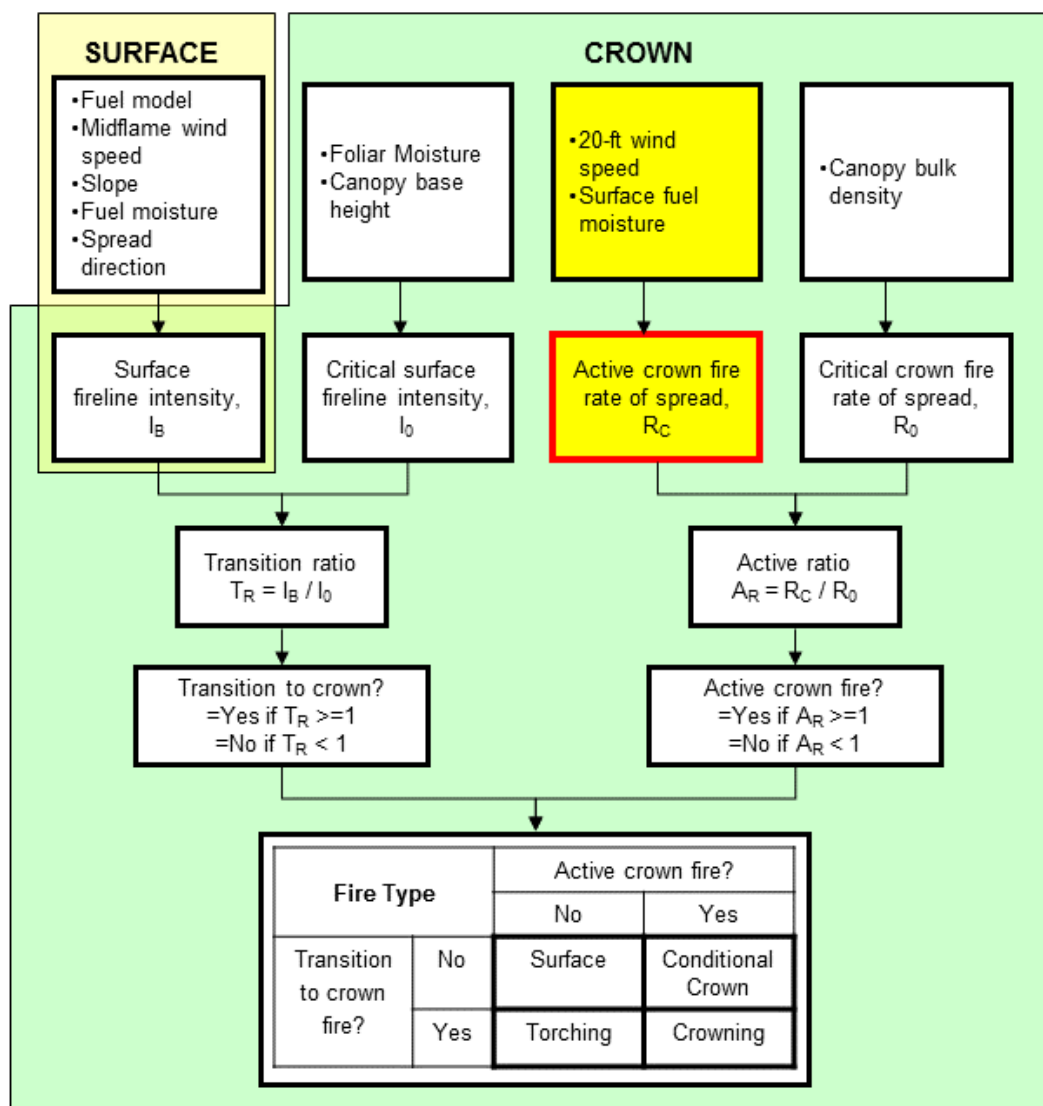


Рис. 1.5. Методика моделювання верхової лісової пожежі в системі

Вологість поверхневих горючих матеріалів (Surface Fuel Moisture)

Індекс вологості горючих матеріалів є інструментом, який широко використовується для розуміння потенціалу поширення вогню. Вміст води

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.

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

Верхова пожежа (Crown Fire)

Вміст вологи листків (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 екологічних систем. У зв'язку з цим ефективне 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 використовується 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

² <https://www.landfire.gov/>

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 факторів на просторовий розподіл, кількість та площу пожеж. Одним із прикладів застосування геопорталу є інтеграція даних в інші ресурси з оцінки впливу пожеж на довкілля, зокрема моніторинг викидів вуглецю.

Для підтримки *LANDFIRE* використовується багато джерел інформації, включаючи 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. Оцінка ризиків здійснюється 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 оцінки 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.

Канадська методика використовується в деяких інших країнах, зокрема, в Новій Зеландії, Аргентині, Мексиці, Індонезії, Малайзії. Ця система була успішно використана також в Фінляндії та Швеції [199]. Канадська методика прогнозування лісової пожежної небезпеки побудована з урахуванням аналізу великої кількості статистичних даних і досить точно прогнозує пожежну небезпеку [181]. 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 використовуються в охороні лісу від пожеж: показник лісопожежної небезпеки (*Forest Fire Danger Index – FFDI*) Мак Артура, який використовується в східній частині Австралії, і таблиці динаміки лісових пожеж (*Forest Fire Behaviour Tables – FFBT*), які використовуються в Західній Австралії [181]. Дослідження [187], проведені в період з кінця 1950-х років до початку 1960-х, привели 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 оцінки пожежної небезпеки, як і канадський, заснований на статистичному аналізі великих обсягів експериментальних даних. Експерименти, проведені на луговій рослинності і в евкаліптових 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 її ліквідації. На основі індексу *FFDI* дослідницька група з лісових пожеж (*CSIRO*) 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 [160]. Підтримка прийняття рішень полягає в оцінці ситуації при 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.

РОЗДІЛ 2

ГЕОПРОСТОРОВА ОСНОВА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЛАНДШАФТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

2.1. Топографічні показники місцевості

У північній частині Полісся України розташована Поліська низовина. Її висоти не перевищують 200 м за винятком Словечансько-Овруцького кряжу, що піднімається трохи більше, ніж 300 м над рівнем моря (н. р. м.). 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, у т. ч. симуляції природних пожеж у ГІС. Джерелом даних для створення таких моделей у сучасних умовах 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).

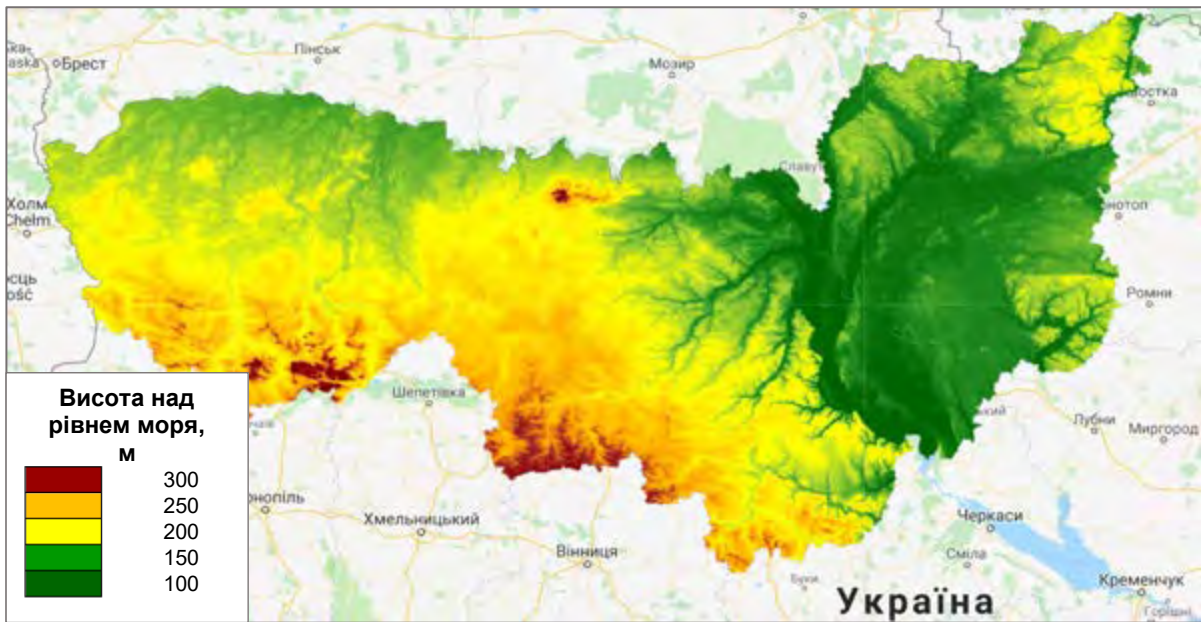


Рис. 2.1. Рельєф території досліджень за даними *SRTM*
(*Shuttle radar topographic mission*)

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 застосовується в 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).

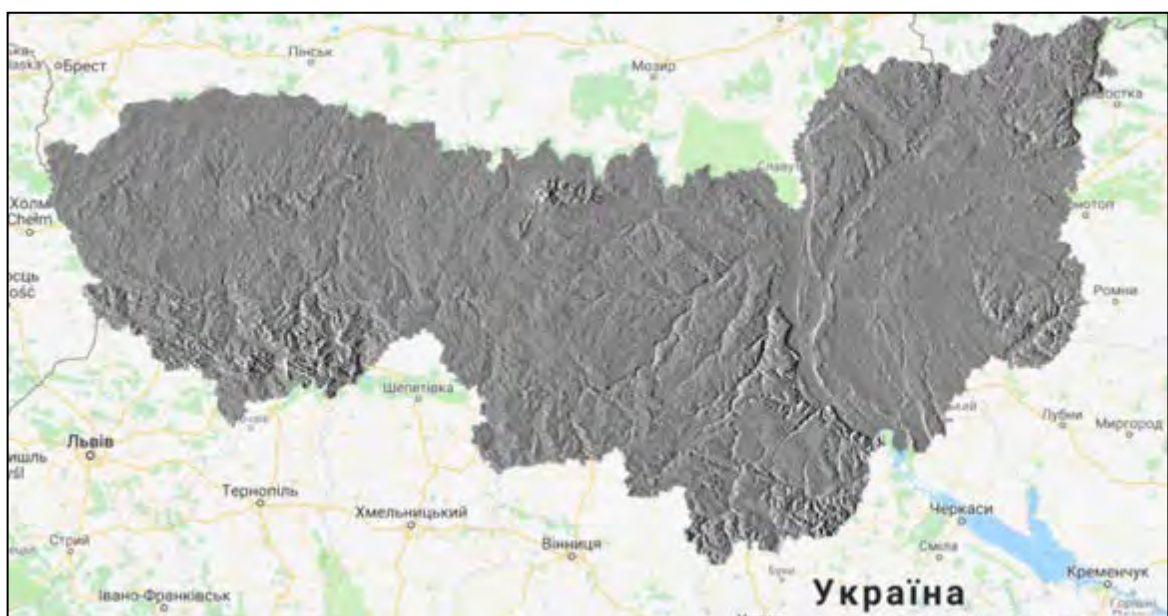


Рис. 2.2. Затінений рельєф території досліджень

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 характеризується відносно мінімальними значеннями стрімкості схилів.



Рис. 2.3. Карта ухилів території Полісся України (стрімкість схилів)

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

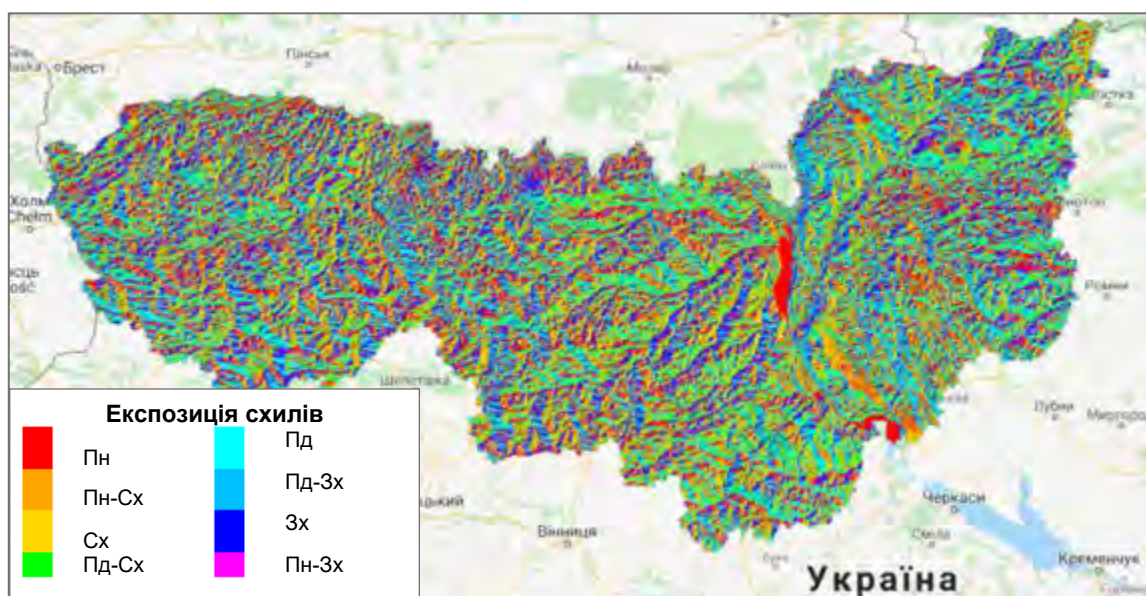


Рис. 2.4. Експозиція схилів території досліджень

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

2.2. Типи земельного покриття

У моделюванні природних пожеж за методикою Лісової Служби США використовують топографічні показники та набір показників про біофізичні параметри території. Загалом основу для моделювання формують типи земного покриття з властивими їм характеристиками, що описують моделі горючих матеріалів [204]. Усі ці дані поєднуються в 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 в подальших наших дослідженнях 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 з використанням 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 [185]. Задля зменшення впливу атмосферних ефектів на результати класифікації відбирали дні 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 (у т. ч. 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)* розташовані в діапазоні: шлях: 179–187, ряд: 23–26. Сітка *WRS-2* являє собою набір полігонів, кожен з 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.

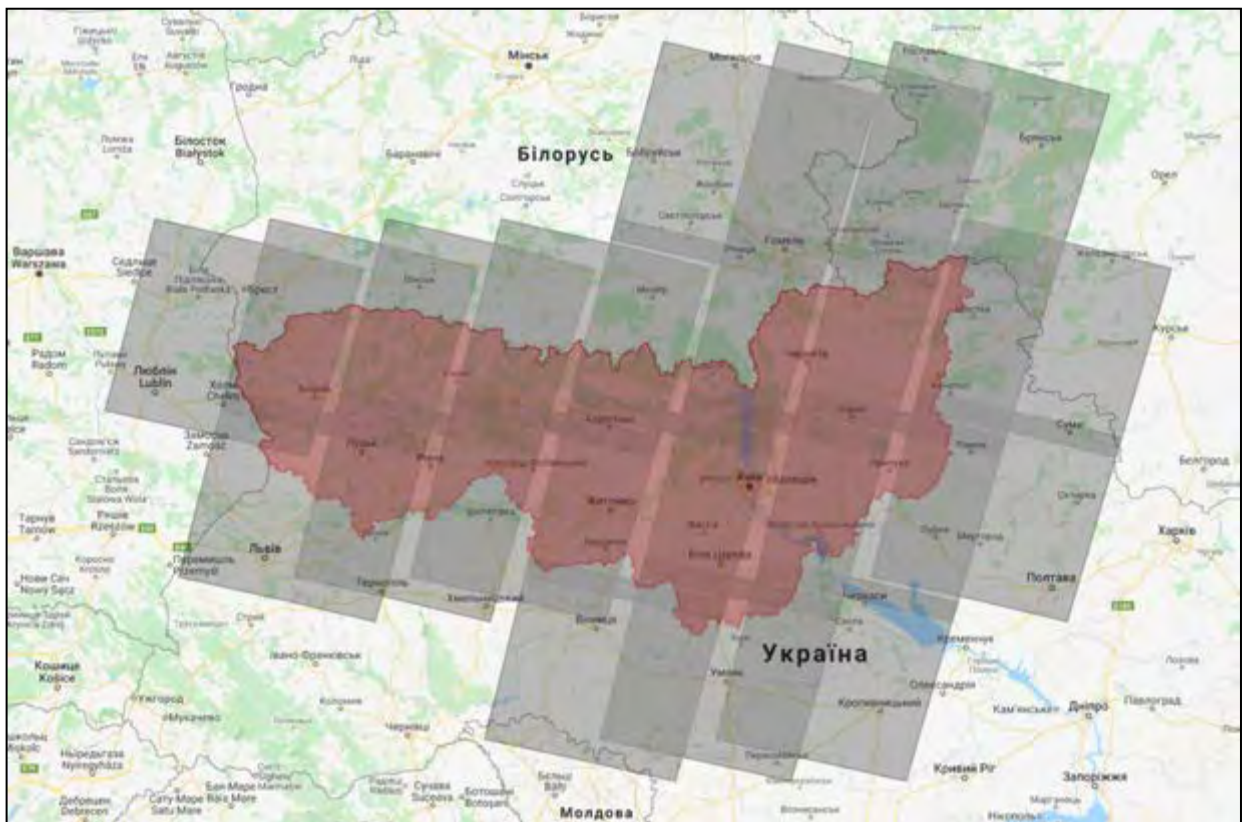


Рис. 2.5. Схема покриття території досліджень супутниковими знімками *Landsat 8 OLI*

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 маскування

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.

Таблиця 2.5

Порогові правила маскування хмар

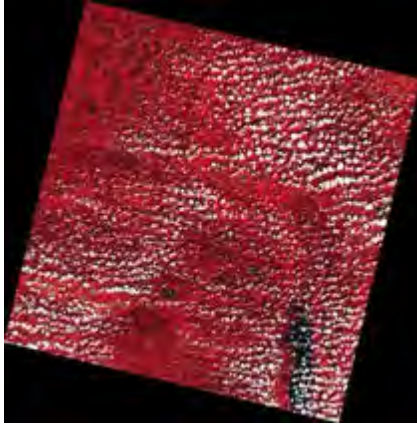
Тип хмар	Умова для класифікації
Шарувато-купчасті, купчасті та інші густі хмари	Дані <i>Band 9</i> перевищують порогове значення & дані <i>Band 10</i> менші порогового значення
Перисті хмари (димка)	Дані <i>Band 1</i> перевищують порогове значення & дані <i>Band 9</i> менші порогового значення & дані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

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*).

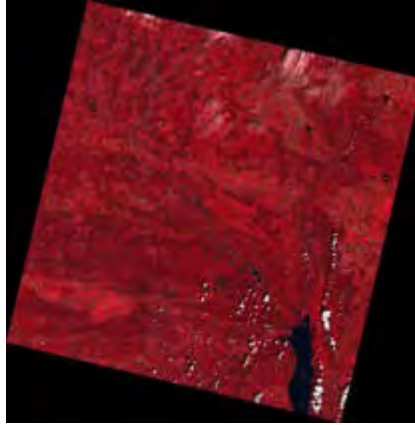
Для методики притаманні щонайменше два недоліки: 1) алгоритм складно піддається автоматизації, оскільки навіть після радіометричної корекції порогові значення пікселів окремих знімків будуть відрізнятися; 2) не дозволяє створити якісну маску тіней від хмар, які залишаються на знімку. У зв'язку з цим, загальноновживаним за сучасних умов став об'єктно орієнтований алгоритм *FMask*, версія 1.6 якого спочатку стосувалася тільки знімків *Landsat 4–7* [219], а версію 3.2 адаптовано до сенсорів *Landsat 8* та *Sentinel 2* [218]. 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 [173]. 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 [182] 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 [217] 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+* [203]. 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).

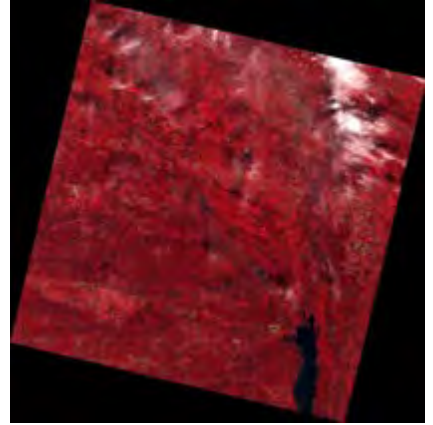
a)



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 %

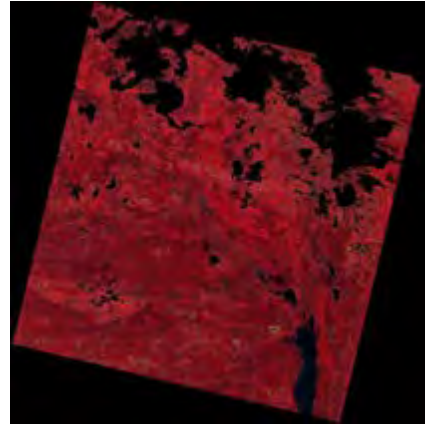
б)



LC81820242016154LGN00
з накладеною маскою хмар

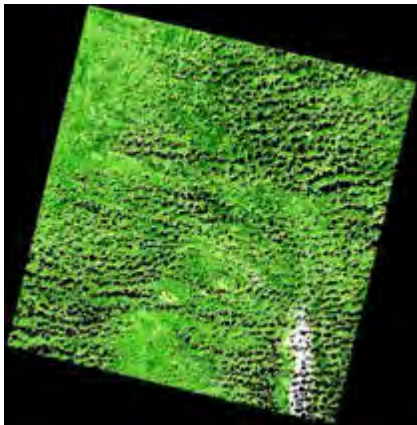


LC81820242016218LGN00
з накладеною маскою хмар

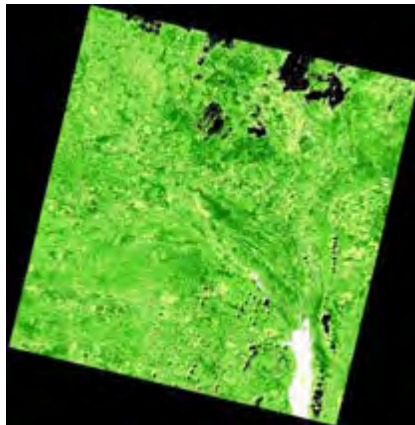


LC81820242016234LGN00
з накладеною маскою хмар

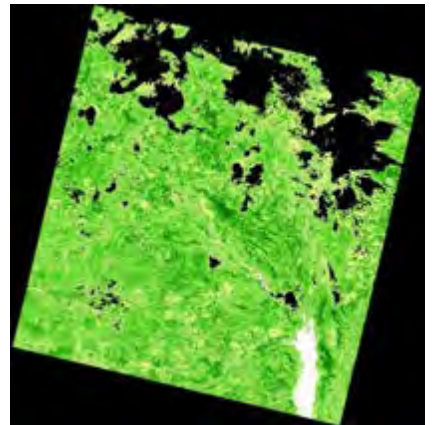
в)



NDVI зображення
LC81820242016154LGN00
з накладеною маскою хмар



NDVI зображення
LC81820242016218LGN00
з накладеною маскою хмар



NDVI зображення
LC81820242016234LGN00
з накладеною маскою хмар

Рис. 2.6. Візуалізація методики створення безхмарної мозаїки за часової серії знімків Landsat 8 OLI: *a)* 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 [172, 216].

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 [178]. 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.

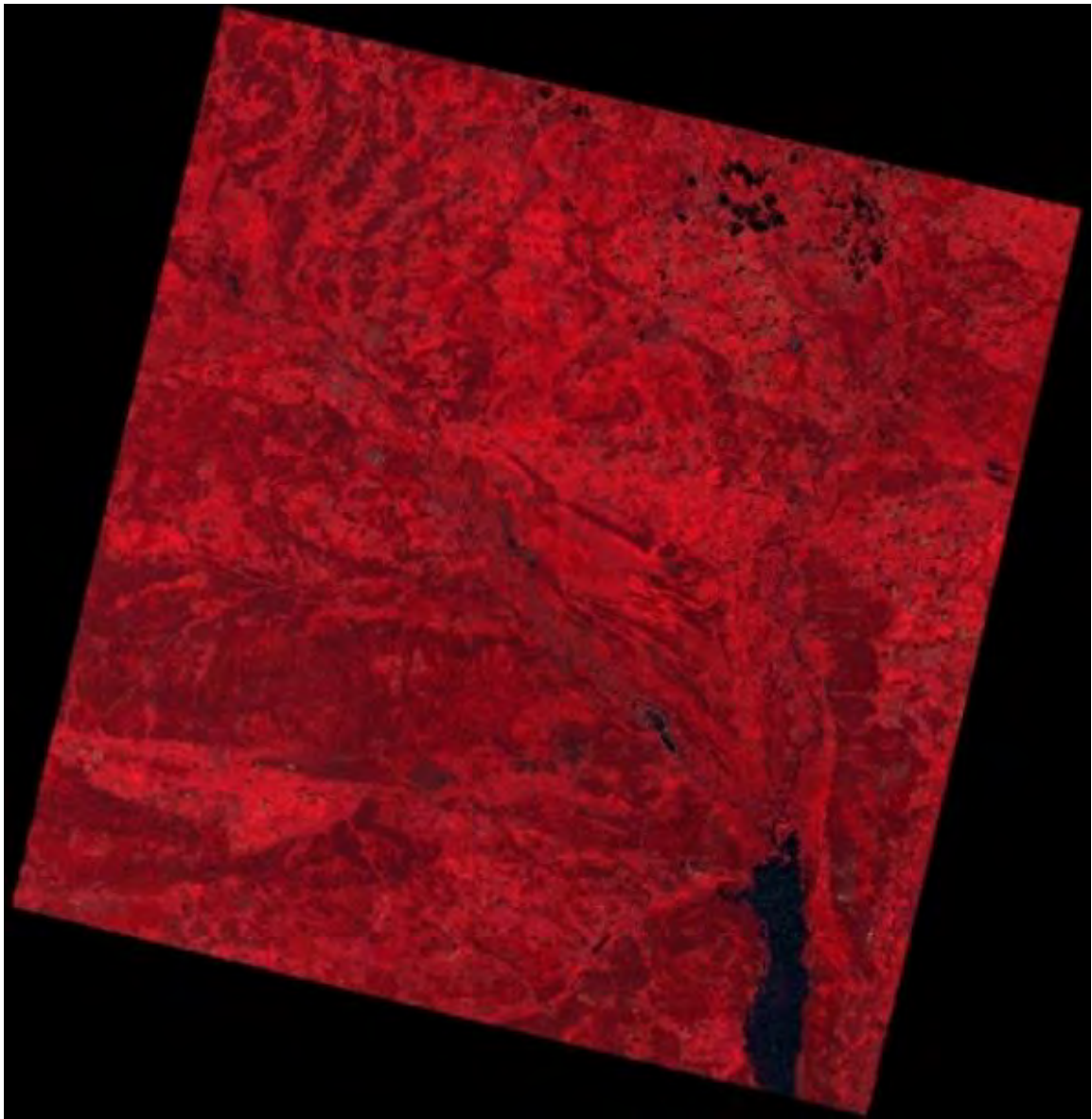


Рис. 2.7. Сезонна літня композитна мозаїка зі знімків Landsat 8 OLI

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.



Рис. 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 принципових відмінностей між річною та літньою мозаїкою не спостерігається (рис. 2.9).

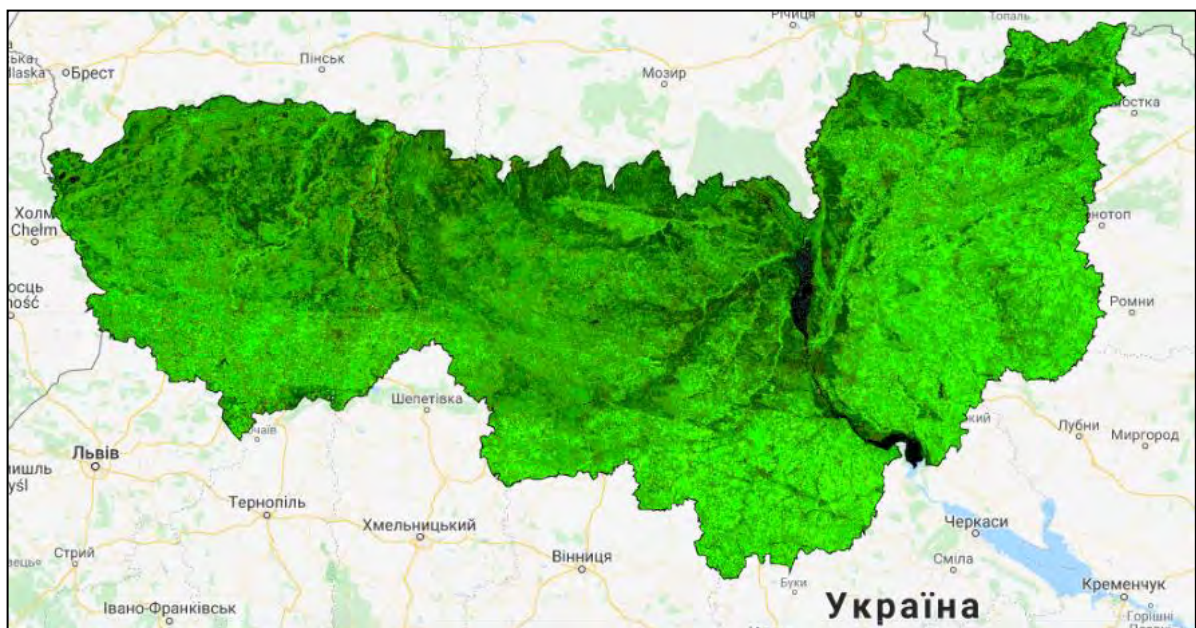


Рис. 2.9. Літня безхмарна *MVC* мозаїка зі знімків *Landsat*
(комбінація каналів: 6–5–4)

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.

Найбільші сезонні варіації стану земного покриву впродовж року відображаються на мозаїці для періоду квітень–жовтень (рис. 2.10 а).

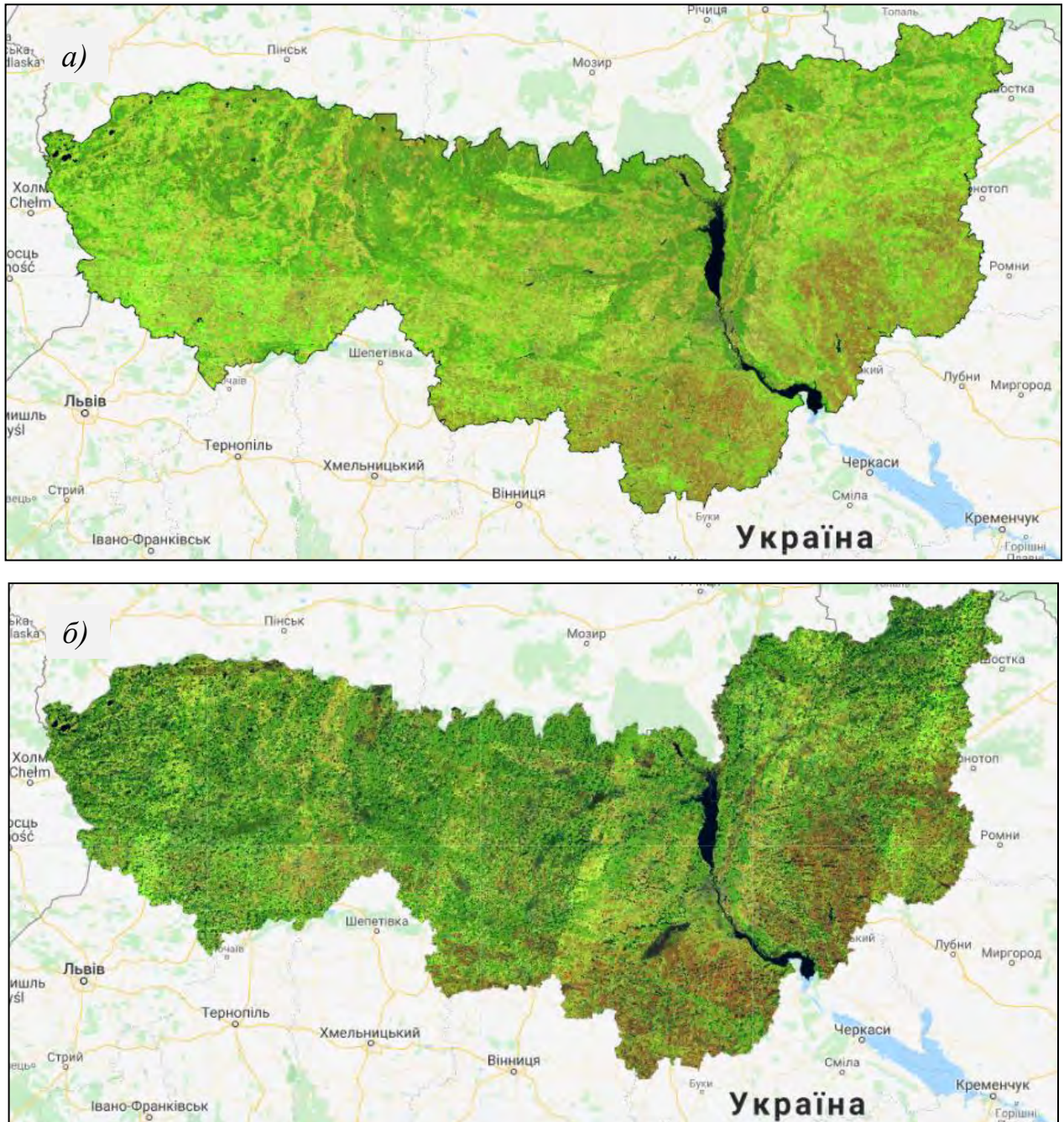


Рис. 2.10. Безхмарна мозаїка зі знімків Landsat для періоду квітень–жовтень (комбінація каналів: 6–5–4): а) 1-й квантилі; б) мінімальні значення

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 безлистяному 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.

Не зважаючи на попередній досвід подібного підходу в минулому [179], 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.

Осіня 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.

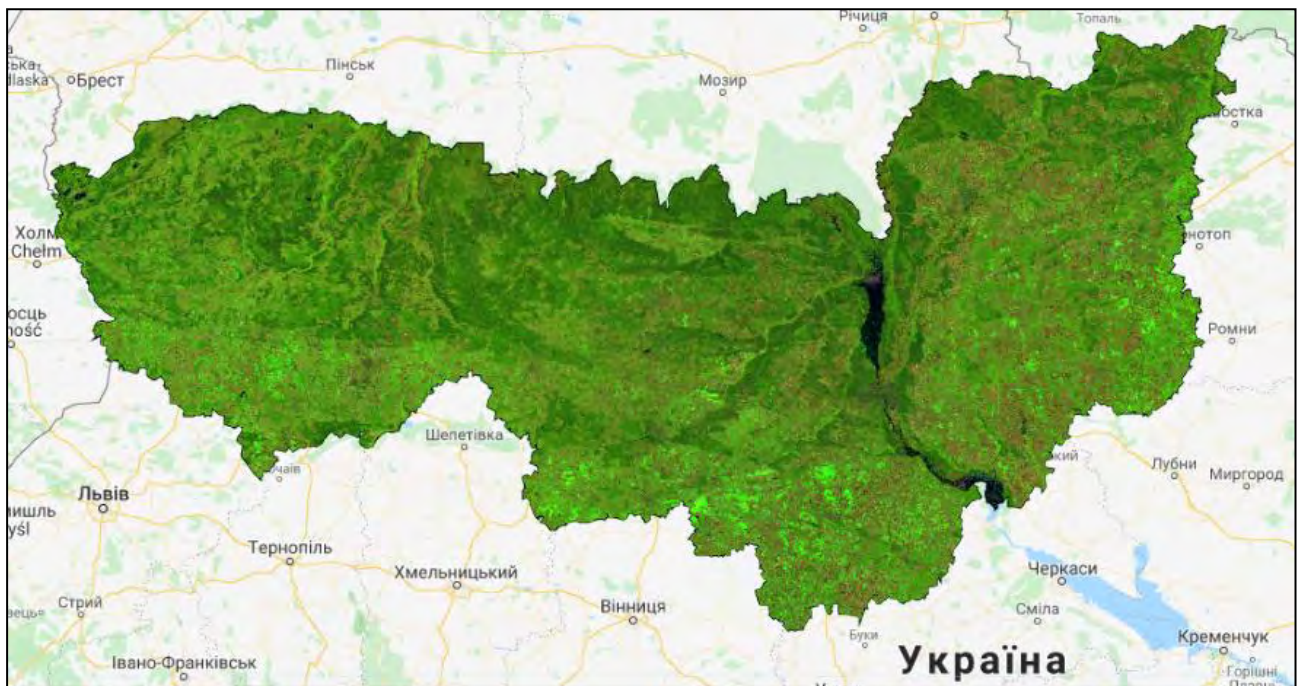


Рис. 2.11. Осіння безхмарна MVC мозаїка зі знімків Landsat
(комбінація каналів: 6–5–4)

Описані методичні підходи щодо попередньої обробки супутникових знімків успішно апробовані для створення маски рівнинних лісів України [80, 81], яку буде використано для параметризації моделей горючих матеріалів лісових насаджень. Наступним завданням проекту передбачено виконати детальнішу класифікацію земельного покриття з виділенням більшої кількості тематичних класів.

2.2.2. Схема 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 покриття 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 [149, 204], що відповідають певному типу земельного покриття.

Для класифікації території досліджень опрацьовано дворівневу схему класифікації, за якої існує вісім класів земельного покриття 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 покриття – 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.

**Розподіл кількості вибірових одиниць за типами земельного покриття,
використаних для класифікації супутникових знімків [81]**

№ п/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 покриття території досліджень виконували під час розробки маски рівнинних лісів України [81], у зв'язку з цим навчальну вибірку формували на основі дешифрування вибірових одиниць за схемою, запроектованою 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 покриття не більше 2 %. Оскільки два тематичні класи карти Global Forest Change, що відображають динаміку лісів, становлять відносно 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 вибіркових одиниць (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Розподіл кількості вибіркових одиниць за типами земельного покриття, використаних для валідації тематичних карт

№ п/п	Адміністративна область	Категорія земель								Разом
		ліс	чагарники	травостої	с.-г. угіддя	населені пункти	водно-болотні угіддя	водойми	інші непродуктивні	
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 більшого обсягу, 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 [83]. 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 [180]. 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 [150]. 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) [81].

Таблиця 2.8

Спектральні показники сезонних композитних мозаїк *Landsat 8 OLI*

Спектральні змінні для мозаїк сезонів літо, осінь, рік	Показники, визначені для мозаїки сезону квітень–жовтень
ТОВА 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	

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.

Враховуючи висновки, одержані в результаті дослідження динаміки спектральних показників різних типів земного покриву [83], 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) [81].

У зв'язку з великою кількістю незалежних (предикативних) змінних розглядали виключно непараметричні методи класифікації супутникових знімків. Протягом останнього часу широко відомим став алгоритм машинного навчання Random Forest [151]. 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 [186].

Спектральні змінні для класифікації сезонних мозаїк Landsat 8 OLI

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	–
NDVI	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 [161, 175]. 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 (*ntree*) оцінки за моделями RF стають стійкішими, а зі збільшенням кількості змінних, які беруть участь під час побудови розгалуження *i*-того класифікаційного дерева (*mtry*) – зростає диференціація незалежних

змінних за величиною %IncMSE [173]. 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 `mtry` здійснюють за формулою:

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

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) [81]. Найменшу помилку забезпечила класифікація повного набору незалежних змінних, сформованого на основі чотирьох сезонних мозаїк (OOB = 25,4 %). Дещо 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.

Точність моделей класифікації сезонних мозаїк Landsat 8 OLI

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 [79, 82]. 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 з розрахунків.

Ідея зменшення розмірності класифікаційної моделі полягає в тому, що серед представлено 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.

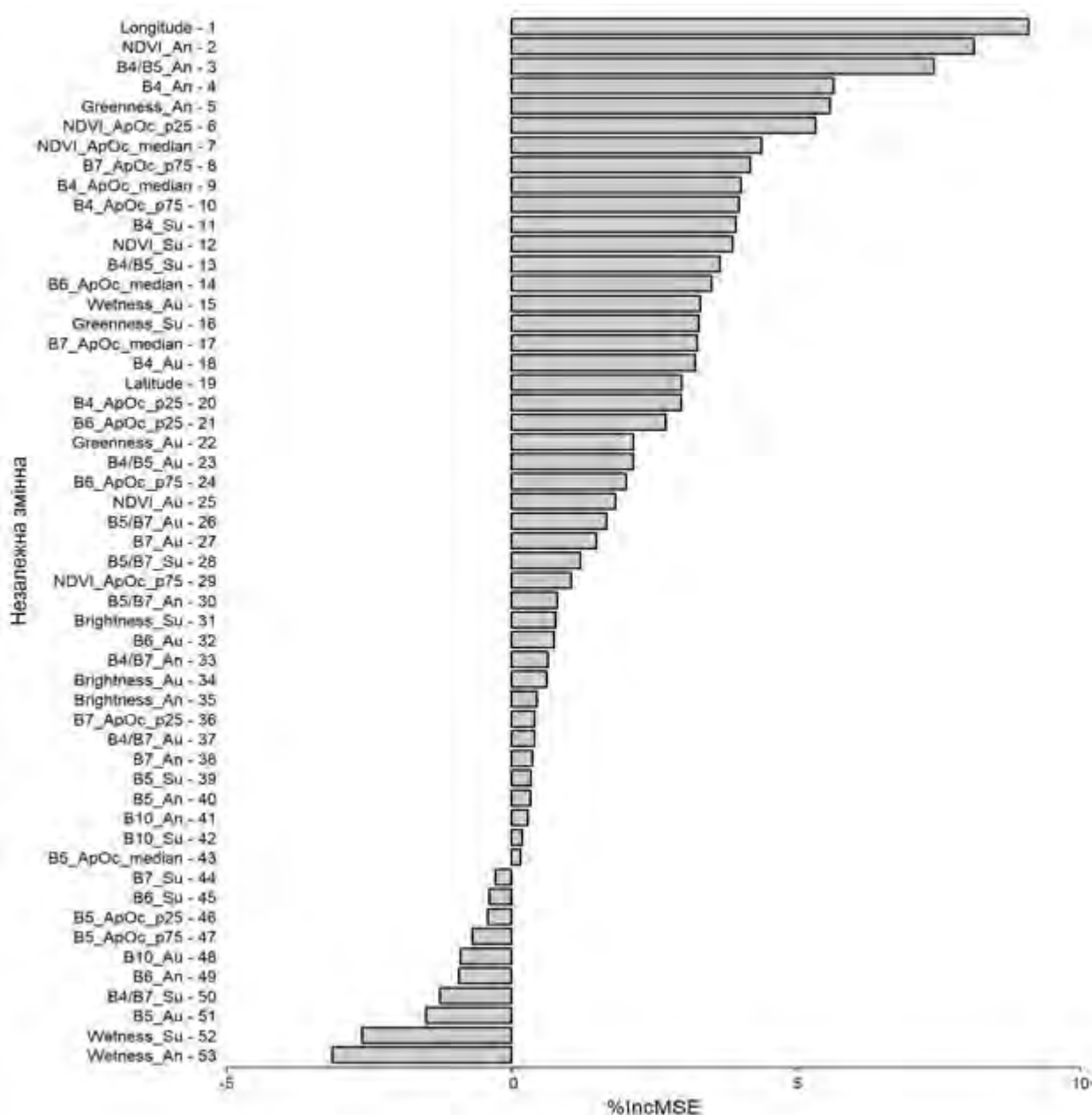


Рис. 2.12. Розподіл незалежних змінних за величиною відносного впливу на точність дешифрування типів земного покриття

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.

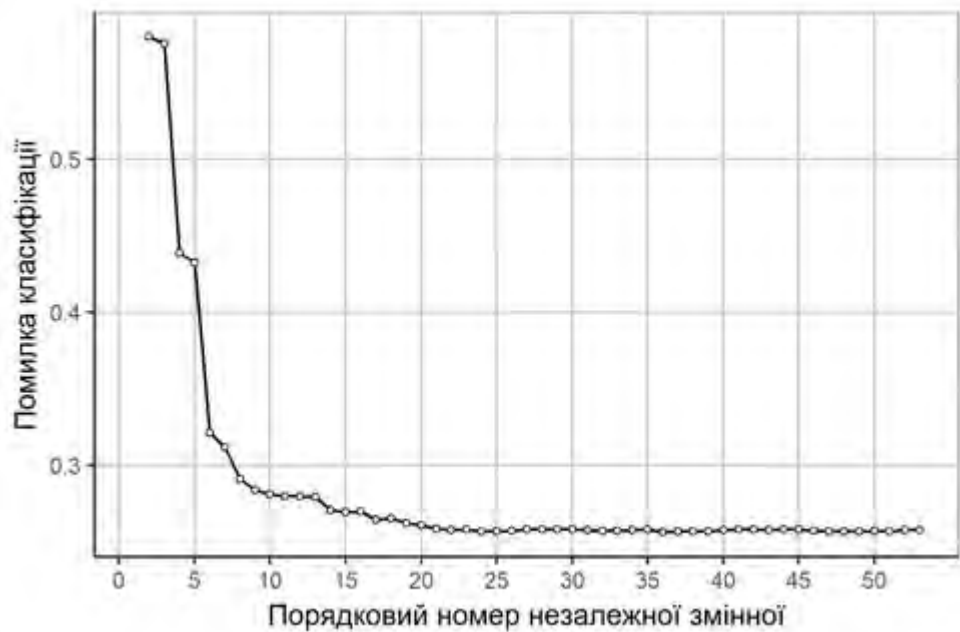


Рис. 2.13. Залежність помилки класифікації типів земного покриву від кількості незалежних змінних

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 покриву.

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 покриву території Полісся України, використовуючи модель класифікації багатосезонного набору даних, що включає 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 виключно 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 є надзвичайно складною задачею, 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 покриття станом на 2016–2018 рр., що включає 8 тематичних класів. По суті, це найважливіший результат картографування, який слугує основою для дешифрування в межах класу вкритих лісовою рослинністю ділянок додаткових трьох категорій деревостанів: хвойних, листяних та мішаних.

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 покриття. Враховуючи це, оцінювання їхньої точності має важливе значення для виявлення потенційних невизначеностей у прогнозуванні ризиків природних пожеж, використовуючи розроблену геоінформаційну основу.

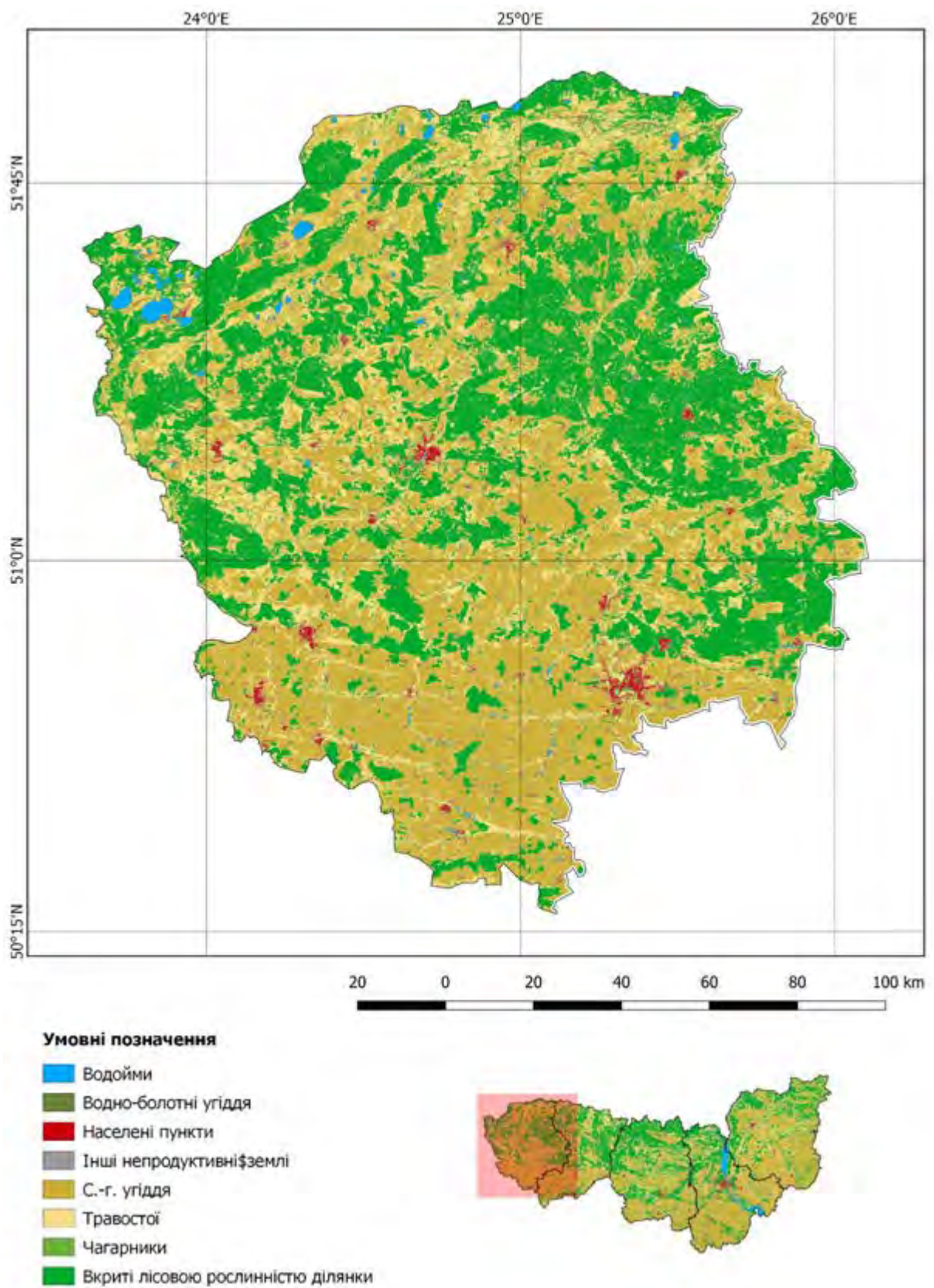
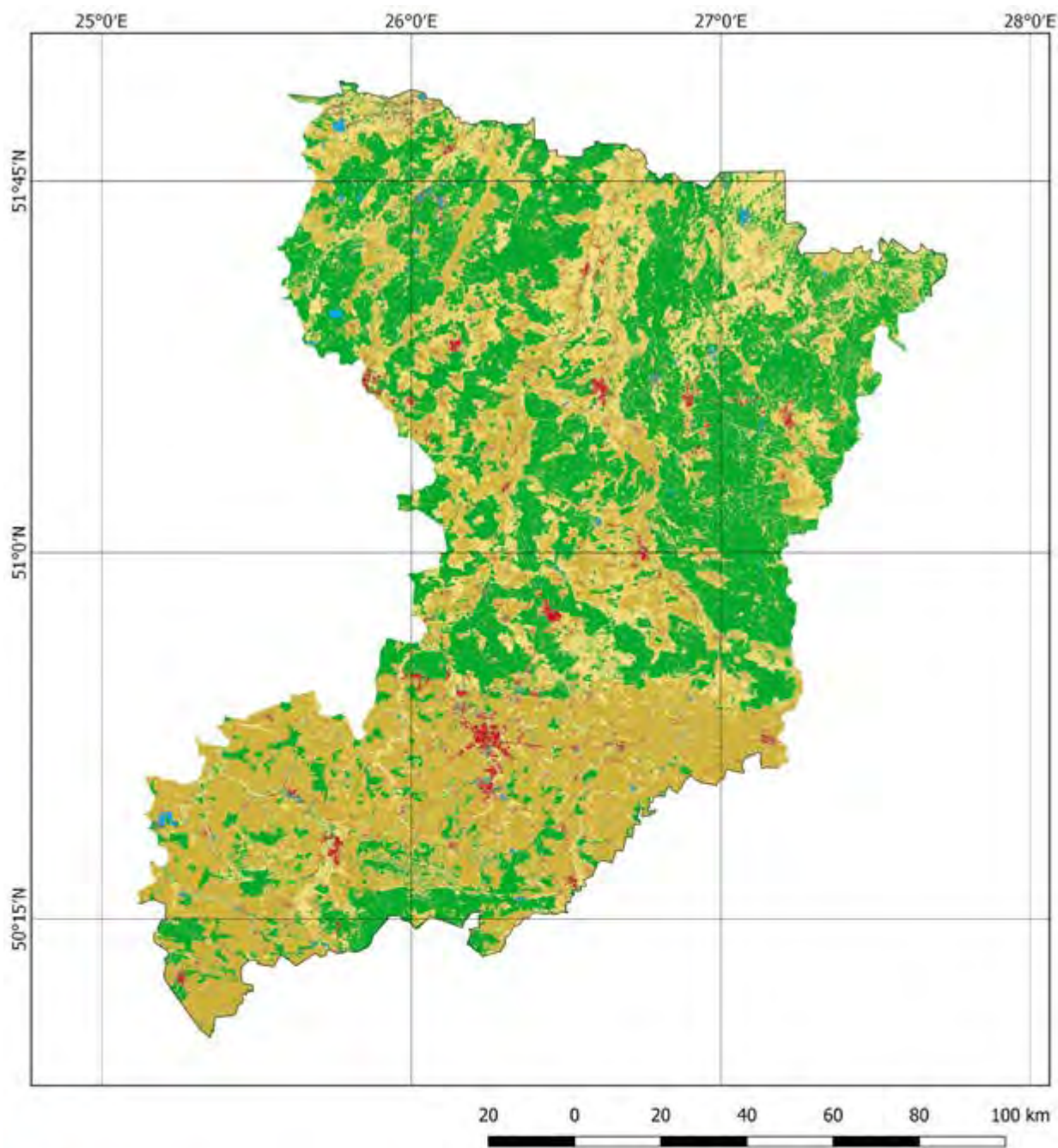


Рис. 2.14. Типи земельного покриття Волинської області

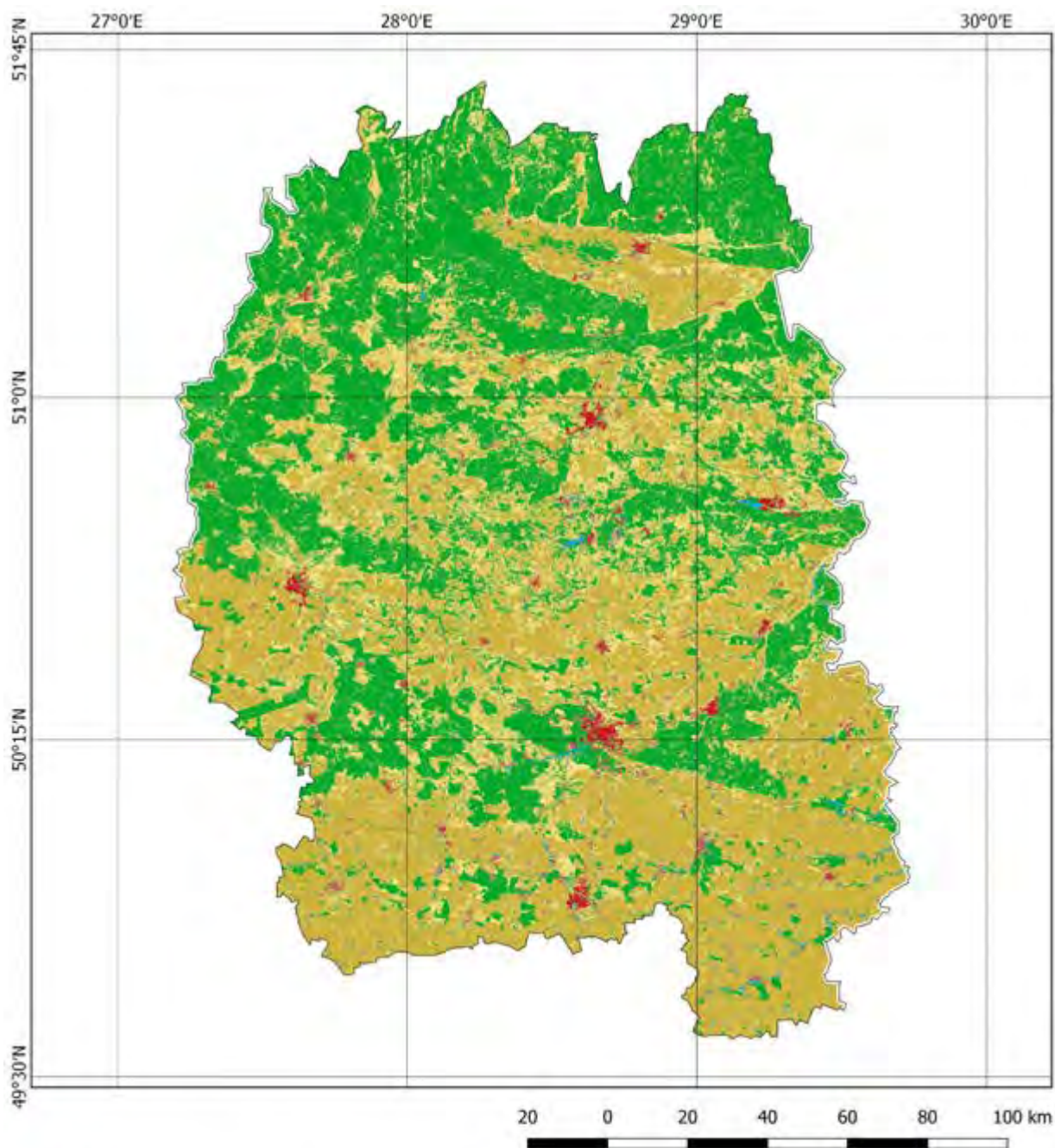


Умовні позначення

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



Рис. 2.15. Типи земельного покриття Рівненської області

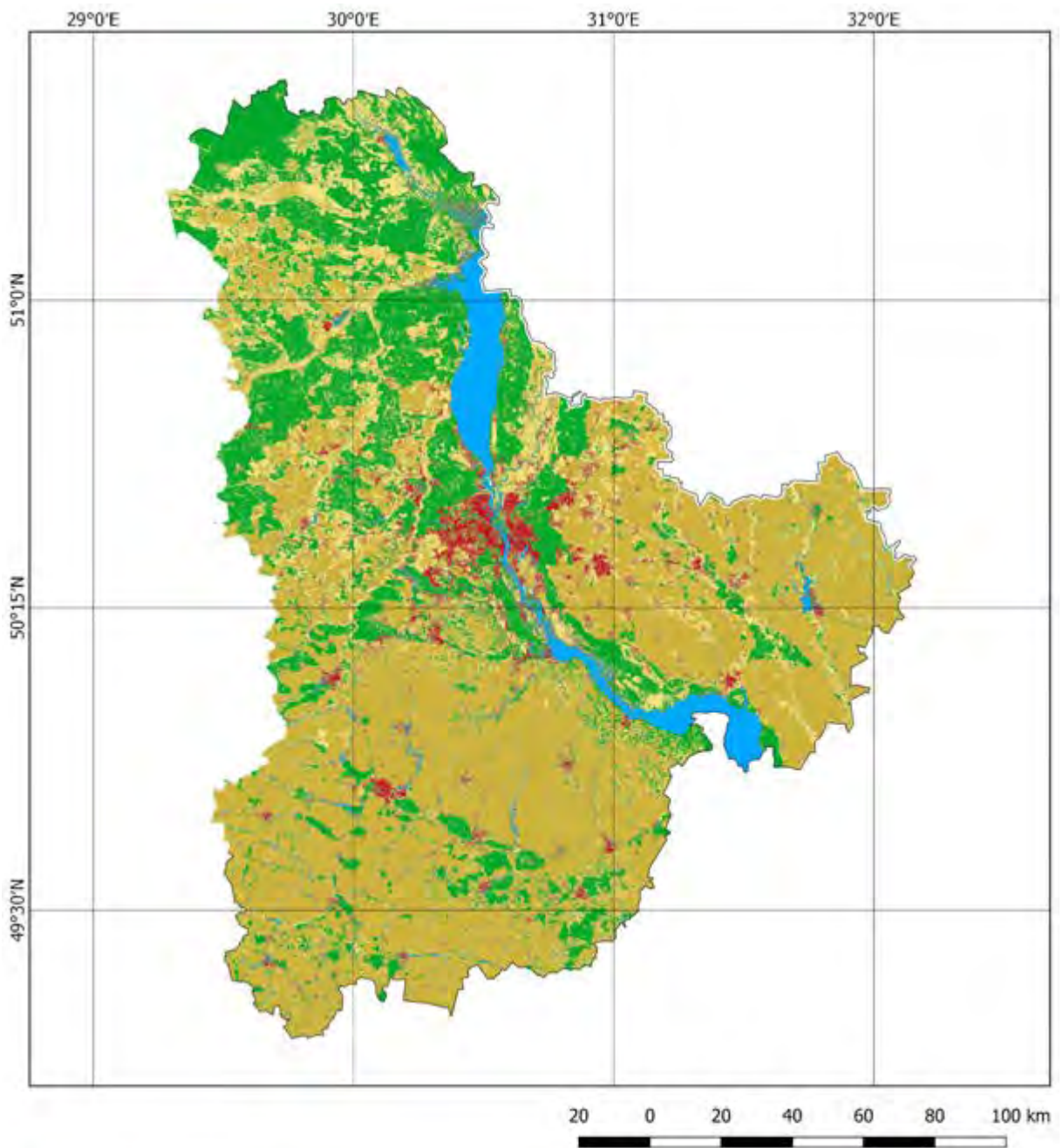


Умовні позначення

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



Рис. 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



Рис. 2.17. Типи земельного покриття Київської області

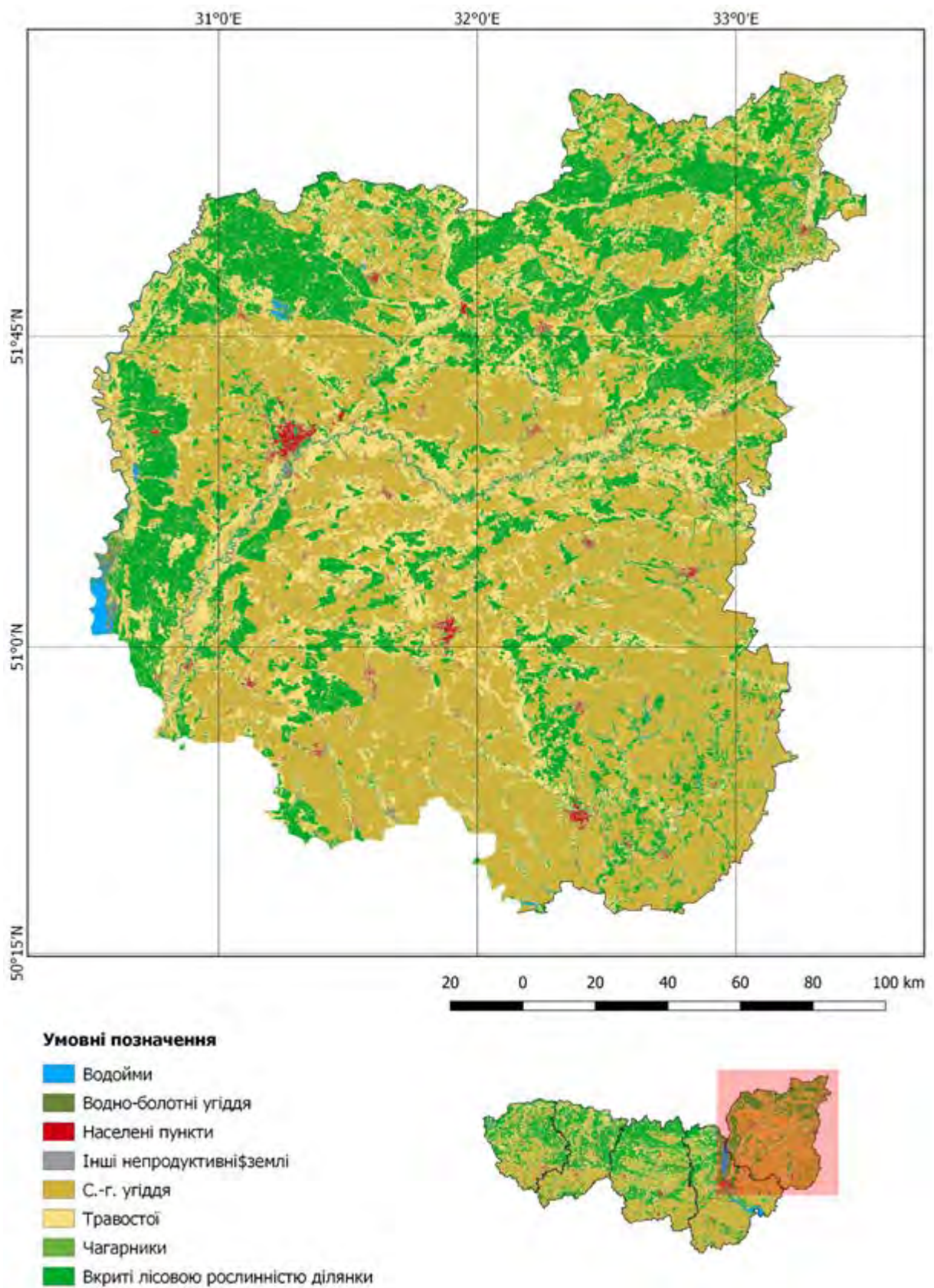


Рис. 2.18. Типи земельного покриття Чернігівської області

2.2.4. Точність дешифрування вкритих і неvkритих лісовою рослинністю ділянок

Оцінювання точності тематичних карт можна здійснювати двома способами, а саме: 1) із урахуванням взаємного розташування тематичних і фактичних класів земного покриття і 2) без врахування цього чинника [156]. 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 вибіркового вибірки з 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 покриття. 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 вибіркового вибірки 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 покриття 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 непро- дуктивні 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 непро- дуктивні 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

Матриця помилок класифікації земного покриття 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):

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

- точність виробника (producer's accuracy):

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

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

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

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 оцінюється 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 [156, 189, 195].

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	–	–
Чагарники	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	–	–

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		
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	–	–
Чагарники	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	–	–

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	-	-
Чагарники	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	-	-

**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	-	-
Чагарники	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	-	-

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	-	-
Чагарники	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 покриття 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 покриття. 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.

Водночас, одним із найважливіших і вирішальних природних чинників, які визначають ймовірність виникнення природних пожеж на території лісових насаджень є наявність чи відсутність на їхній території лісових горючих матеріалів.

РОЗДІЛ 3

ЛІСОВІ ГОРЮЧІ МАТЕРІАЛИ

3.1. Класифікація елементарних частин лісових горючих матеріалів

Лісові горючі матеріали (ЛГМ) можна класифікувати за трьома рівнями [25]:

- а) елементарні частини лісових горючих матеріалів, включаючи живий надґрунтовий покрив, підлісок, підріст, морфологічні частини дерев і високих кущів, деревні рештки на ґрунті (гілки, сучки);
- б) класифікація шарів горючих матеріалів всередині лісових насаджень;
- в) класифікація лісових насаджень як складних комплексів ГМ.

Класифікація елементарних частин лісових горючих матеріалів не включає дуже дрібні часточки (наприклад, фракції лісової підстилки, торфу і т.п.). В американській національній системі оцінки пожежної небезпеки (NFDRS-72, NFDRS-78) лісові горючі матеріали поділяються на дві категорії: живі і мертві. Живі лісові горючі матеріали завжди підтримують високий вміст вологи. У мертвих лісових горючих матеріалах вміст вологи залежить від їх висихання і зволоження [157]. Такий розподіл лісових горючих матеріалів присутній у лісах з відсутністю мохово-лишайникового надґрунтового покриву. Мохи (крім рунянки) і лишайники не можуть активно утримувати вологу. Їх зволоження і висихання подібне до мертвих лісових горючих матеріалів.

Мертві лісові горючі матеріали, залежно від величини „тимчасового утримування вологи” (ТУВ) поділяють на чотири класи: легкі, середні, важкі і дуже важкі. Під тимчасовим утримуванням вологи розуміють період часу, протягом якого втрачається дві третини (63 %) кількості вологи, яка може випаритися при стандартних умовах повітряного середовища з даного зразка лісових горючих матеріалів.

$$\text{ТУВ} = 2/3 (M - M_{\text{зрівн}}), \quad (3.1)$$

де: M – вміст вологи ЛГМ у даний момент;

$M_{зрівн.}$ – величина зрівноваженого вмісту води даного ЛГМ для стандартних умов.

В американській національній системі оцінки пожежної небезпеки (NFDRS) стандартними умовами повітряного середовища є: температура повітря 26,5 °C, відносна вологість повітря 20 %. Тимчасове утримування води є постійною величиною для даного зразка (шару ЛГМ) і не залежить від вмісту води в ньому. Це можна пояснити тим, що швидкість висихання прямопропорційна різниці ($M - M_{зрівн.}$). Ця різниця у процесі висихання зменшується (швидкість висихання також зменшується).

До першого класу (легкі ГМ) відносяться лісові горючі матеріали із середнім тимчасовим утримуванням води одна година (0–2 год). До легких ГМ належать сухі дрібні деревні рештки діаметром до 6 мм і суха трав'яна рослинність.

До другого класу (середні ГМ) відносять лісові горючі матеріали із середнім тимчасовим утримуванням води 10 годин (від 2 до 20 год). До середніх ГМ належать опалі сучки діаметром від 6 до 25 мм.

До третього класу (важкі ГМ) відносять лісові горючі матеріали із середнім тимчасовим утримуванням води 100 годин (від 20 до 200 год). До важких ГМ належать грубі деревні рештки від 26 до 75 мм у діаметрі.

До четвертого класу (дуже важкі ГМ) відносять лісові горючі матеріали із середнім тимчасовим утримуванням води 1000 годин (від 200 до 2000 год). До дуже важких ГМ належать грубі деревні рештки від 76 до 200 мм у діаметрі.

Стандартні умови повітряного середовища у природі спостерігаються рідко. На висихання впливає положення лісових горючих матеріалів відносно ґрунту. Сушняк на поверхні ґрунту, висихає повільніше, ніж „не приземлений” сушняк.

В американській національній системі оцінки пожежної небезпеки (NFDRS) живі лісові горючі матеріали поділяють на два класи: 1) трав'яна рослинність; 2) листя, хвоя, гілки діаметром менше 6 мм у кронах дерев. Такий діаметр є верхньою межею живої деревної рослинності, яка згорає під час

пожежі. В американській національній системі оцінки пожежної небезпеки (NFDRS) жива і суха трав'яна рослинність відноситься до класу – „тонкі горючі матеріали”.

3.2. Класифікація шарів лісових горючих матеріалів

За тимчасовим утримуванням вологи в американській національній системі оцінки пожежної небезпеки (NFDRS) надґрунтові шари лісових горючих матеріалів поділяються на чотири класи.

До першого класу відносять горючі матеріали з 1-годинним утримуванням вологи. До цього класу відноситься верхній шар лісової підстилки, товщиною до 6 мм.

До другого класу відносять горючі матеріали з 10-годинним утримуванням вологи. До цього класу відносять шар лісової підстилки на глибині від 6 до 25 мм.

До третього класу відносять горючі матеріали з 100-годинним утримуванням вологи. До цього класу відноситься шар лісової підстилки на глибині від 25 до 100 мм.

До четвертого класу відносять горючі матеріали з 1000-годинним утримуванням вологи. До цього класу належать шари лісової підстилки, перегною, торфу на глибині від 100 до 300 мм.

Склад та режим ґрунтового зволоження, а також структура лісової підстилки (пухка, щільна) впливають на швидкість її висихання. На дренованих ґрунтах висихання лісової підстилки відбувається швидше, ніж на слабкодренованих ґрунтах.

За еталон для оцінки пожежної небезпеки за умовами погоди (підсистема FWI) у канадській системі CFFDRS обраний тришаровий комплекс лісових горючих матеріалів з живим надґрунтовим покривом зеленого моху та опадом соснової хвої з потужним нижнім шаром підстилки (табл. 3.1) [211].

Для оцінки за тимчасовим утримуванням вологи стандартними природними умовами є: полуденна температура повітря 21 °С, відносна вологість повітря 45 %, швидкість вітру 3,3 м·с⁻¹.

Лісові горючі матеріали у канадській класифікації поділяють на три групи [210]:

- 1) ґрунтові – коріння, торф, перегній;
- 2) надґрунтові лісові горючі матеріали – опад хвої і листя, дрібні кущики, трав'яна рослинність, грубі деревні рештки;
- 3) ГМ у кронах – мертві сучки, облістяні гілки і гілки з наявністю хвої.

Таблиця 3.1

**Характеристика еталонного комплексу ЛГМ у канадській системі FWI
(Van Wagner, 1987)**

Показник	Шар		
	верхній (мох з опадом хвої)	середній (рихла лісова підстилка)	нижній (щільна лісова підстилка)
Товщина, см	1,2	7	18
Запас, кг·м ⁻²	0,25	5	25
Щільність, кг·м ⁻³	21	71	139
Вміст вологи, мм	0,6	15	200
Вміст вологи (максимальний), %	240	300	400
Тимчасове утримування вологи	16 год	12 днів	52 дні
Код вмісту вологи	FFMC	DMC	DC

Лісові горючі матеріали за можливістю і характером поширення по них горіння у США поділяють [155]:

- 1) суха трав'яна рослинність;
- 2) кущики;
- 3) лісова підстилка;
- 4) опад;
- 5) порубкові рештки;
- 6) торф, перегній.

У Франції також існує класифікація горючих матеріалів за їх місцезнаходженням у лісовому насадженні [209]. Виділяють п'ять ярусів горючих матеріалів у лісових насадженнях:

- 1) лісова підстилка, до якої належить опад, мохи і лишайники;
- 2) трав'яний ярус, який складається з живої і сухої трав'яної рослинності;
- 3) підріст і підлісок заввишки до 2 м;
- 4) нижній деревний ярус заввишки від 2 до 4 м; 5) верхній деревний ярус висотою більш як 4 м.

Для кожного ярусу встановлюється запас фітомаси в умовних одиницях. Максимально можливий запас кожного ярусу – 10 одиниць. Сума одиниць кожного ярусу визначає пірологічну характеристику фітоценозу у вигляді індексу біомаси. Максимальне значення такого індексу може становити 50 одиниць. Для повнішої характеристики ярусів додатково вказують переважаючі види рослин.

Курбатський М.П. [63, 65], розподіляючи шари лісових горючих матеріалів на групи, враховував місце їх розташування у насадженні та функції, які вони виконують під час пожежі. Курбатський М.П. [65] поділив усі лісові горючі матеріали на сім груп:

- I – лишайники, мохи і дрібні рослинні рештки;
- II – торф, лісова підстилка;
- III – напівкущі і трав'яна рослинність;
- IV – крупні деревні рештки (сухостій, сушняк, пні, порубкові рештки, сухі сучки);
- V – кущі, підріст;
- VI – листя і хвоя ростучих дерев, дрібні гілочки товщиною до 7 мм;
- VII – стовбури ростучих дерев і живі сучки діаметром більше як 7 мм.

Сухостій і сушняк, засмолені і дуплисті стовбури горять поза крайкою пожежі. За пірологічною характеристикою лісові горючі матеріали кожної групи у різних лісових насадженнях можуть мати істотні відмінності. Тому потрібен розподіл лісових горючих матеріалів, які відносяться до однієї групи, на подібні

однотипні комплекси (типи лісових горючих матеріалів). У зв'язку з розвитком картографування ЛГМ, необхідного для прогнозування поведінки лісових пожеж і для оцінки пожежної небезпеки виникла потреба у більш детальній класифікації горючих матеріалів [18]. Класифікувати лісові горючі матеріали необхідно за ознаками, які пов'язані з їх горінням. Курбатський М.П. [63], виходячи з ролі, яку відіграють горючі матеріали у виникненні горіння та його розповсюдженні по лісовій ділянці, поділив їх на три категорії: 1) провідники горіння; 2) підтримуючі горіння; 3) затримуючі горіння.

Провідники горіння – це горючі матеріали, які утворюють суцільний покрив, по якому поширюється горіння. До них відноситься покрив з лишайників, мохів і дрібних рослинних решток – опад, трав'яні та порубкові рештки, які є основними провідниками горіння (ОПГ). Із загоряння ОПГ починається майже кожна пожежа у лісі. Під час низових пожеж по них поширюється полум'яне горіння. До провідників горіння належать перегній, торф, лісова підстилка, дернина, по яких може поширюватися безполум'яне горіння під час ґрунтових пожеж. Хвою у наметі деревостану відносять до провідників горіння, у випадку верхових пожеж [56].

Лісові горючі матеріали, які здатні активно підтримувати горіння провідників відносять до підтримуючих горіння. До цієї групи відносять сушняк, опалі сучки, деякі рослини із живого надґрунтового покриву (верес, багно, брусниця), хвойний підріст і підлісок, засмолені стовбури дерев, сухостій.

До лісових горючих матеріалів, які затримують горіння відносять рослини із живого надґрунтового покриву з високим вміст вологи у момент пожежі або володіють специфічними вогнезатримуючими властивостями (люпин багаторічний багатолістий, котячі лапки, грушанка, мучниця, бадан). Поширення полум'яного горіння стає неможливим, якщо запас трав'яної рослинності, яка знаходиться у стадії вегетації, в абсолютно сухому стані, перевищує запас трав'яних решток [7, 208]. Листя деревних видів у наметі деревостану відіграє затримуючу роль. Поширення верхових пожеж стає неможливим за участі листяних деревних видів у складі хвойних деревостанів

більше 5 одиниць [53]. Виділяють четверту категорію лісових горючих матеріалів, які не беруть участь у горінні. До цієї групи належать горючі матеріали, що перебувають вище або нижче зони горіння в момент пожежі, або горючі матеріали, які не здатні горіти у полум'ї пожежі (деревина стовбурів ростучих дерев, сирі великі стовбури дерев і т.д.) [25]. Лісові горючі матеріали за щільністю шару поділяють на 6 класів (табл. 3.2.) [139].

Таблиця 3.2

**Класифікація шарів лісових горючих матеріалів за їх щільністю
(за М.А. Шешуковим, 1988)**

Клас	Лісові горючі матеріали	Щільність шару, кг·м ⁻³	Переважаюча фаза горіння. Види пожеж	Швидкість поширення пожежі, м·хв ⁻¹
Відкритий	Хвоя і гілки у наметі деревостану	До 0,3	Полум'яна. Верхові	4–300
Рихлий	Опад злаково-різнотрав'яної рослинності	0,3–4	Полум'яна. Низові рухливі	0,3–150
Напіврихлий	Нерозкладений опад листя, лишайники	5–15	Теж саме	0,3–15
Ущільнений	Зелені мохи, сфагн, напіврозкладений опад (середні шари лісової підстилки)	16–30	Різнофазове горіння. Низові стійкі	0,1–4
Щільний	Торф, розкладений опад (нижні шари лісової підстилки)	31–80	Безполум'яна. Торф'яні, підстилкові	0,01–2
Дуже щільний	Деревина, гумус	81–130	Безполум'яна. Підстилково-гумусові, дернові	0,0003–0,008

Вищеописана класифікація має відношення тільки до провідників горіння і відіграє допоміжне значення, так як враховує лише щільність провідника горіння. Шешуков М.А. [139, 143] запропонував „генетичну” класифікацію лісових горючих матеріалів: 1) хвойний тип – опад хвої і лісова підстилка; 2) листопадний тип – опад листя з підстилкою; 3) трав'яний тип – опад трав'яної рослинності з лісовою підстилкою або дерниною; 4) лишайниковий тип – лишайники з лісовою підстилкою; 5) зеленомошниковий тип – зелені мохи з лісовою підстилкою; 6) сфагновий тип – сфагн із рештками торфу; 7) багновий

тип – багно з лісовою підстилкою; 8) бамбуковий тип – бамбук з лісовою підстилкою.

3.3. Класифікація лісових насаджень як складних комплексів лісових горючих матеріалів

У передвоєнні та післявоєнні роки вивчалися питання, які пов'язані з пірологічною характеристикою рослинності. Так, І.С. Мелеховим [75] була складена шкала пожежної небезпеки типів лісу, яка використовується під час протипожежного впорядкування лісового фонду України для визначення ступеня природної пожежної небезпеки [102].

На початку ХХ століття у США, ділянки рослинності поділяли на три типи: кущовий, трав'яний, деревний. З часом концепція пірологічного типу рослинності була змінена в концепцію „типу горючого матеріалу”. Тип ГМ відображав дві характеристики: складність гасіння (чотири градації) і швидкість поширення горіння (чотири градації). Тому було виділено 16 типів ГМ, які відображалися на картах [198].

Національна система оцінки пожежної небезпеки (NFDRS-72), яка з'явилася у 1972 році, передбачала поділ трьох пірологічних типів рослинності на дев'ять моделей горючих матеріалів. Кількість моделей виявилася недостатньою. Для системи BEHAVE північною лабораторією лісових пожеж у штаті Монтана було розроблено набір із 13 моделей лісових горючих матеріалів (табл. 3.3) [201].

Набір моделей у біотичному плані поділяється на чотири групи: трав'яна, кущова, лісова і захаращені зруби, які характеризуються запасом горючих матеріалів, висотою їх шару і критичним вмістом вологи.

**Коротка характеристика моделей лісових горючих матеріалів в
американській системі ВЕНАВЕ**

№ моделі	Опис моделей лісових горючих матеріалів
I. Основний провідник горіння – суха трав'яна рослинність	
1	Невисока трав'яна рослинність. Ділянки, які суцільно вкриті сухою або всихаючою трав'яною рослинністю (переважно злаками) висотою близько 0,3 м. Зімкнутість деревостану і підліска не перевищує 0,3 (трав'яна тундра, луки, савани)
2	Лісова трав'яна рослинність і підлісок. Ділянки з наявністю горючих матеріалів у вигляді сухої трав'яної рослинності і опадів з дерев і кущів. Відкриті кущові ландшафти, сосняки, порослеві дубняки із зімкнутістю намету деревостану 0,3–0,6
3	Висока трав'яна рослинність. Ділянки, які вкриті сухою або всихаючою трав'яною рослинністю заввишки 1,0 м. Ділянки з культурними і дикими злаками, високі травостої на болотах, прерії
II. Основний провідник горіння – намет кущів або їх опад	
4	Високі кущі. Густі зарості кущів заввишки 2,0 м. Ділянки з наявністю густого підросту і підліска. Характеризуються значним запасом надґрунтових горючих матеріалів (суха трав'яна рослинність, опад). Пожежі високої інтенсивності з полум'ям заввишки 6,0 м
5	Невисокі кущі. Зарості молодих (негорючих) кущів або насаджень з густим ярусом негорючого підросту і підліска. Молодняки листяних деревних видів. Провідник горіння – опад
6	Всихаючі кущі і захаращеність твердолистяних деревних видів. Ділянки, які є подібними до ділянок моделі № 4; кущі невисокі, які мають менше ГМ, тому активно горять лише за швидкості вітру більше $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (зарості кущового дуба, ялівцю, старі зруби у насадженнях твердолистяних деревних видів)
7	Зарості кущів, що горять, заввишки від 0,5 до 2,0 м; насадження з невисоким ярусом підросту і підліска
III. Основний провідник горіння – лісовий опад	
8	Закритий лісовий опад. Зімкнуті насадження з короткою хвоєю (сосна біла, модрина, ялина, ялиця). Зімкнуті насадження з берези і осики, а також твердолистяних деревних видів (влітку). ОПГ – ущільнений опад з дерев
9	Опад твердолистяних деревних видів. Зімкнуті насадження з довгою хвоєю (сосна), а також клена і дуба (у зимовий період). ОПГ – рихлий опад дерев
10	Лісовий опад і підлісок. Захаращені насадження внаслідок пошкодження вітром, комахами, старіння. Старі зруби хвойних деревостанів
IV. Основний провідник горіння – порубкові рештки	
11	Легкі порубкові рештки. Зріджені насадження після проведення рубок з наявністю порубкових решток, зазвичай, у хвойних і твердолистяних деревостанах
12	Середні порубкові рештки. Зруби із значним запасом порубкових решток (до $16 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ з товщиною шару 0,7 м). Пожежі плямисті, сильні
13	Важкі порубкові рештки. Зруби із захаращеністю до $90 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. Пожежі плямисті, сильні

У вищеописаних моделях враховується активний запас горючих матеріалів [201]. Пірологічна характеристика цих моделей ЛГМ за середніми запасами горючих матеріалів в межах груп і за характером горіння наведена у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

**Пірологічна характеристика моделей ГМ в американській системі
VENAVE**

Номер моделі	Горючі матеріали						Горіння		
	h_f , м	M_f , кг·м ⁻²	у тому числі:				h_f , м	V_{fr}	
			M_1	M_{10}	M_{100}	M_L		км·год ⁻¹	м·хв ⁻¹
Трав'яна група									
1	0,3	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00	1,2	1,6	27
2	0,3	0,98	0,50	0,24	0,12	0,12	1,8	0,7	12
3	0,8	0,74	0,74	0,00	0,00	0,00	3,6	2,1	35
Кущова група									
4	1,8	3,92	1,23	0,98	0,48	1,23	5,8	1,5	25
5	0,6	0,84	0,24	0,12	0,00	0,48	1,2	0,35	5,8
6	1,9	1,48	0,36	0,72	0,48	0,00	1,8	0,65	11
7	0,8	1,39	0,27	0,31	0,72	0,09	1,5	0,40	6,7
Лісова група									
8	0,06	1,20	0,36	0,24	0,60	0,00	0,3	0,03	0,5
9	0,06	0,96	0,82	0,10	0,04	0,00	0,8	0,15	2,5
10	0,3	2,98	0,83	0,49	1,17	0,49	1,4	0,16	2,7
Група зрубів									
11	0,3	2,80	0,37	1,09	1,34	0,00	1,0	0,12	2
12	0,7	8,49	1,00	3,44	4,05	0,00	2,4	2,6	43
13	0,9	14,30	1,75	5,66	6,89	0,00	3,2	2,7	45

Примітка. h_f – висота шару горючих матеріалів, які горять; M_f – загальний запас горючих матеріалів товщиною до 75 мм; M_1 – запас мертвих горючих матеріалів товщиною до 6 мм; M_{10} – запас мертвих горючих матеріалів товщиною 6–25 мм; M_{100} – запас мертвих горючих матеріалів товщиною 26–75 мм; M_L – запас живих горючих матеріалів товщиною до 6 мм, які горять (дрібні гілки, хвоя, листя); h_f – висота полум'я; V_{fr} – швидкість фронту пожежі за швидкості вітру 2,2 м·с⁻¹ та вологості мертвих горючих матеріалів 8 % і живих горючих матеріалів 100 %.

Вся рослинність району умовно відноситься до однієї з моделей тому, що моделі системи VENAVE призначені для оцінки і прогнозування пожежної небезпеки в цілому за районами. Визначники та фотоеталони розроблені до конкретних ділянок рослинності.

До фотоеталонів додається таксаційно-пірологічна характеристика ділянок за шістьма групами лісових горючих матеріалів: дерева, кущі, трав'яний

ярус, опад (верхня частина лісової підстилки), нижня частина лісової підстилки, сушняк. Для однієї категорії ділянок можна застосовувати моделі різних авторів. До Використовують ті моделі, які найкраще відповідають вирішенню поставлених завдань. Одна модель може точніше характеризувати інтенсивність пожежі, інша – швидкість. Можуть бути застосовані мішані в певному відношенні дві або три моделі. Точніший підбір моделей може бути на підставі аналізу фактичних даних щодо розвитку і поширення пожеж у даних категоріях рослинності.

3.4. Класифікація основних провідників горіння

До основних провідників горіння (ОПГ) належить суцільний покрив лісових горючих матеріалів на поверхні ґрунту, по якому може поширюватися полум'яне горіння. Під суцільним покривом розуміють сукупність частин, які відносяться до різних видів лісових горючих матеріалів. До ОПГ відносять:

- 1) дрібні рослинні рештки, сучки товщиною до 2 см, які можуть горіти під час пожежі;
- 2) лишайники, мохи, які не здатні регулювати вміст вологи у них;
- 3) рослини і їх частини, що знаходяться у покриві основних провідників горіння, трав'яна рослинність та їх рештки, стебла трав, кущиків і самі рослини.

Водний режим лишайників і мохів такий самий як і водний режим рослинних решток, тобто ті та інші є гігроскопічними тілами. Волокітіна А.В. і М.А. Софронов [25] ОПГ поділяють на дві підгрупи: 1) „мохова”, яка об'єднує лишайники і мохи; 2) „опадова”, яка об'єднує опад листя, хвої, суху трав'яну рослинність. Підгрупа поділяється на типи. До одного типу у межах підгрупи відносяться ОПГ, які переходять у горимий стан за однакового класу пожежної небезпеки, якщо висихання відбувається за типових умов: відсутність схилу, повнота деревостану – 0,5–0,7, наявність у наметі деревостану листя і хвої.

Клас пожежної небезпеки (КПН) у лісових насадженнях за умовами погоди визначається залежно від комплексного показника горимості: I КПН – показник

до 400 одиниць; II КПН – від 401 до 1000; III КПН – від 1001 до 3000; IV КПН – від 3001 до 5000; V КПН – більше 5000 одиниць [101].

„Мохова” підгрупа поділяється на типи: 1) лишайниковий тип (Лш), який характеризується сухими ґрунтами і наявністю лишайників у ЖНП; 2) сухомоховий тип (Сх) характеризується перевагою у покриві зелених мохів на дренажних ґрунтах; 3) вологомоховий тип (Вл) характеризується покривом із зелених мохів з домішкою сфагну і рунянки на слабкодренованих ґрунтах; 4) болотно-моховий тип (Бм) характеризується покривом із сфагнових мохів на болотних і заболочених ґрунтах, а також покривом із рунянки, який у свою чергу поділяється на два підтипи: Бм₁ – заболочені ділянки і невеликі болота серед суходолів, які здатні у посушливий період пересихати, а також ділянки з покривом із рунянки; Бм₂ – великі болота, які не пересихають у посушливий період (практично не горять).

„Опадова” підгрупа поділяється на: 1) трав'яно-гілковий тип (Тг), де в опаді переважають сухі рештки злакової або осокової рослинності; 2) рихлоопадовий тип (Рх) характеризується шаром пухкого опадку із хвої сосни, кедр, листя берези або решток різнотрав'я; 3) щільноопадовий тип (Щл) характеризується шаром щільного опадку із хвої модрина, ялини, ялиці, злежалого листя або ущільненого пухкого опадку (в літній період); 4) „безпровідниковий” тип (Бп) об'єднує ділянки основних провідників горіння із запасом менше критичного – менше 0,05–0,20 кг·м⁻², що унеможливує поширення полум'яного горіння. „Безпровідниковий” тип поділяється на два підтипи: Бп₁ – це ділянки з наявністю провідників горіння, що здатні горіти в режимі тління (дернина, лісова підстилка, перегнійний шар), тому в цьому підтипі можуть розвиватися ґрунтові пожежі; Бп₂ – рілля, дороги, піски, галечники, інші ділянки з відсутністю або малим (менше критичного) запасом провідників горіння (такі ділянки не горять) [25]. Характеристика типів основних провідників горіння наведена у табл. 3.5.

При критичних класах пожежної небезпеки можливість горіння типів основних провідників горіння невизначена. При меншому класі пожежної

небезпеки від критичного (ККПН), горіння неможливе зовсім, а при більшому класі пожежної небезпеки – горіння поширюється по площі.

Таблиця 3.5

Характеристика типів основних провідників горіння

Тип основних провідників горіння	Типові ділянки	Нетипові ділянки	Критичний клас пожежної небезпеки (ККПН)
Мохова підгрупа ОПГ			
Лишайниковий (Лш)	У покриві переважають лишайники. Наявність у покриві лишайників на сухих ґрунтах	Дуже сухі, у тому числі кам'янисті ділянки із сосновим опадом	I
Сухо-моховий (Сх)	У покриві переважають зелені мохи, інколи з домішкою лишайників на дренованих ґрунтах		II
Волого-моховий (Вл)	У покриві переважають зелені мохи з домішкою сфагну або рунянки на слабкодренованих ґрунтах	У покриві переважають зелені мохи на дренованих ґрунтах. Товщина моху до 3 см, мох ущільнений	III
Болотно-моховий (Бм)	У покриві переважають гіпн, сфагнові мохи на заболочених і болотних ґрунтах (без значної участі осок і злаків)		IV
Підтип Бм1	Заболочені ліси і невеликі болота серед суходолів з потужністю торфу менше 0,7 м	У покриві переважає рунянка	
Підтип Бм2	Великі болотні масиви і болотні системи		
Опадова підгрупа ОПГ			
Трав'яно-гілчковий (Тг)	Навесні і восени у покриві переважає опад осоково-злакової рослинності	Низові і перехідні осоково-сфагнові болота з розвинутим покривом з осок у весняно-осінній період (влітку – Бм)	I
Рихло-опадовий (Рх)	Навесні і восени у покриві переважає опад різнотрав'я. Навесні і восени у покриві переважає рихлий опад з листя берези, осики та інших листяних деревних видів. У покриві переважає опад сосни і кедра	Навесні і восени у покриві переважають зимньо-зелені осоки. Влітку покрив представлений опадом слабоущільненої осоково-злакової рослинності	II

Продовження таблиці 3.5

Тип основних провідників горіння	Типові ділянки	Нетипові ділянки	Критичний клас пожежної безпеки (ККПН)
Щільно-опадовий (Щл)	У покриві переважає ущільнений опад із хвої ялини, ялиці і модрина. У покриві переважає ущільнений опад із листя берези, осики та різнотрав'я – влітку		III
Безпровідниковий (Бп) Підтип Бп1	Запас основних провідників горіння менше критичного, що виключає розповсюдження полум'яного горіння по площі. Існують інші провідники горіння, (крім ОПГ): лісова підстилка, перегнійний або торф'яний горизонти, дернина – в літній період. Можуть розвиватись підземні пожежі	Запас трав'яної рослинності у стадії вегетації перевищує запас ОПГ (влітку), що виключає розповсюдження полум'яного горіння	IV
Підтип Бп2	Відсутній або дуже малий запас будь-яких провідників горіння: пісок, галька, скелі, рілля, дороги і т.п.		Негоримі

Примітка. Критичний клас пожежної безпеки (ККПН) – клас, при якому досягається стан готовності до горіння даного типу провідника. У таблиці ККПН вказано для типових умов: горизонтальна поверхня ділянки, деревостан з повнотою – 0,5–0,7 в облиствленому стані або з наявністю хвої.

Можливість горіння типів ОПГ при критичних класах пожежної безпеки невизначена. При меншому класі пожежної безпеки від критичного (ККПН), горіння неможливе зовсім, а при більшому класі пожежної безпеки – горіння поширюється по площі.

На ділянках з присутністю основних провідників горіння „опадової” підгрупи швидкість пожежного досягання може відрізнитися протягом пожежонебезпечного періоду під впливом ущільнення та розкладання лісової підстилки (мертвого покриву) в літній період і його відновлення в осінній період. Цей процес розглядають як перетворення одних типів основних провідників горіння в інші. Наприклад, Тг у весняний період переходить у Рх у літній період, а в осінній період – знову у Тг. Таким чином, одна й та ж сама ділянка лісу навесні, в літній період і восени може характеризуватися різними типами основних провідників горіння [25] (табл. 3.6).

Зміна типів основних провідників горіння протягом пожежонебезпечного періоду

„Мохова” підгрупа	Лш	Сх	Вл	Бм ₁	Бм ₂
„Опадова” підгрупа	Тг ↔	Рх ↔	Щл ↔	Бп ₁	Бп ₂
Критичні класи пожежної небезпеки для типів основних провідників горіння	I	II	III	IV	негоримі

Зміна типів ОПГ показує швидкість їх „пожежного досягання” та їх динаміку протягом пожежонебезпечного періоду. Отже, практичною метою є визначення на кожній ділянці рослинності за зовнішніми ознаками ККПН, при яких конкретна ділянка рослинності досягає „пожежної стиглості” на протязі пожежонебезпечного періоду.

3.5. Класифікація груп лісових горючих матеріалів

Лісові горючі матеріали з урахуванням ярусної будови насадження поділяють на три групи, що пов’язані з характером лісових пожеж: наземні, надземні, підземні [4].

До наземних ЛГМ відносять всю органічну масу покриву, яка знаходиться на ґрунтовій поверхні (лишайники, мохи, суха трав’яна рослинність, опад, напівкущі, лісова підстилка), тобто те, що горить при низовій пожежі. ЛГМ цієї групи характеризуються великою гігроскопічністю, що дозволяє їм швидко реагувати на змінні погодні умови. До цієї групи відносять підлісок.

До групи надземних ЛГМ належить підріст, деревостан, лишайники на стовбурах дерев, сучки, гілки, хвоя і листя на ростучих деревах. Ці матеріали мають невелику гігроскопічність та характеризуються незначною зміною вологості під впливом умов погоди.

До підземних ЛГМ відносять торф, органічну частину ґрунту і підземну частину рослин (коріння трав’яної рослинності, дерев, кущів). Ці ГМ характеризуються щільною структурою. Горіння їх найчастіше відбувається в

фазі тління (безполум'яній) [4, 112]. За А.В. Волокітіною, М.А. Софроновим [26] ЛГМ поділяють на 7 груп (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Класифікація лісових горючих матеріалів

Група лісових горючих матеріалів	Підгрупа лісових горючих матеріалів	Тип (і підтип) лісових горючих матеріалів	Характер горіння	Вид і різновидність пожежі
I. Покрив з мохів, лишайників і дрібних рослинних решток (ОПГ)	Мохова	Лишайниковий (Лш) Сухомоховий (Сх) Вологомоховий (Вл) Болотно-моховий (Бм): підтип Бм ₁ підтип Бм ₂	Пм Пм Пм і Тл Пм Негорим.	Н-1 Н-1, Н-2 Н-2 Н-1
	Опадова	Трав'яно-гілковий (Тг) Рихлоопадовий (Рх) Щільноопадовий (Щл) Безпровідниковий (Бп): підтип Бп ₁ підтип Бп ₂	Пм Пм Пм і Тл Тл Негорим.	Н-1 Н-1, Н-2 Н-2 ГТ-8, 9, 11
II. Лісова підстилка, перегнійний і торф'яний горизонти	Лісова підстилка	Мор Модер Муль Дернина	Тл Тл Тл Тл	Н-2, ГТ-8 Н-2, ГТ-8 Н-2, ГТ-8 ГТ-9
	Торф і перегній	Перегнійний горизонт Торф'яний горизонт	Тл Тл	ГТ-10, 11 ГТ-11
III. Трав'яно-кущикові яруси (при проективному покритті 0,5 і більше)	Кущикова	Брусничниковий (Бр) Толокнянковий (Тл) Болотно-кущиковий (Бк)	Пм Пс Пм і Пс	Н Н Н
	Трав'яна	Злаковий (Зл) Осоковий (Ос) Осочковий (Осч) Різнотрав'яний (Рт)	Пс Пс Пм Пс	Н Н Н Н
IV. Крупні деревні рештки	Сухостій і сушняк	Сухостій Сушняк не приземлений Сушняк приземлений	Об, Тл Об Об	Н Н Н
	Порубкові рештки	З наявністю хвої Без наявності хвої	Пм Пс	Н-3 Н-3
V. Ярус із кущів і підросту	Хвойні породи		Пм	Н-1, 2, 4
	Листяні породи		Пс і Пм	Н-1, 2, 4

Група лісових горючих матеріалів	Підгрупа лісових горючих матеріалів	Тип (і підтип) лісових горючих матеріалів	Характер горіння	Вид і різновидність пожежі
VI. Хвоя, листя, гілки, сухі сучки у кронах дерев	Хвойні породи	Крони молодняків	Пм	В-6
		Крони темнохвойних деревостанів	Пм	В-6, 7
	Листяні породи	Крони світлохвойних деревостанів	Пм	В-6
		Крони листяних деревостанів	Пс	В-6
VII. Стовбури і сучки ростучих дерев		Здорові стовбури	Об	Н
		Засмолені стовбури	Пм, Об	Н-5
		Дуплисті стовбури з наявністю трухлявої гнилизни	Об, Тл	Н

Примітка. Характер горіння: Пм – активне полум'яне, Тл – тління, Об – обгорання, Пс – пасивне горіння. Види і різновидності пожеж: Н – низові, у т. ч. рухливі (1), стійкі (2), сушнякові (3), підлісково-кущові (4), стовбурові (5); В – верхові, у т. ч. вершинні (6), повальні (7); ГТ – ґрунтово-торф'яні, у т. ч. підстилкові (8), дернові (9), поверхневі (10), підземні (11).

До II групи лісових горючих матеріалів належить торф, лісова підстилка, перегнійний горизонт, які горять у безполум'яному режимі. До цієї групи відносять не всю лісову підстилку. Верхній шар лісової підстилки (Н₀') разом з сухими рештками трав'яних рослин, а також із шаром лишайників і мохів входить до першої групи лісових горючих матеріалів. Отже, слово „підстилка” вживається для означення двох нижніх її горизонтів: Н₀'' і Н₀''', які можуть горіти у безполум'яному режимі. На ділянках з наявністю осоково-злакової рослинності, подібно до лісової підстилки є дернина, яка може горіти в режимі тління. Тому, М.А. Шешуков [140] виділяв ще дернові лісові пожежі.

Живі рослини трав'яно-кущикового ярусу, підріст, підлісок заввишки до 0,6 м відносять до лісових горючих матеріалів III групи. Кущики характеризуються наявністю здерев'янілих стебел, містять смоли, ефірні масла, вміст вологи 80–150 %, який майже не змінюється протягом доби і пори року. Згоряючи у полум'ї основних провідників горіння, кущики підсилюють полум'я та підтримують його поширення, але самостійне поширення горіння кущиками неможливе [63, 75].

Трав'яна рослинність має високий вміст вологи, яка часто перевищує 200 %, а у весняний період (на початку вегетації) може становити 700 % [118]. Протягом пожежонебезпечного періоду вміст вологи у трав'яній рослинності знижується, а біомаса збільшується. У нічні і ранкові години вміст вологи може істотно підвищуватися. У стадії вегетації всі види трав'яної рослинності затримують поширення горіння [63]. Поширення полум'яного горіння припиняється коли маса трав'яної рослинності у стадії вегетації перевищує масу опаду і трав'яних решток (в абсолютно сухій масі) [7], але можливі підстилкові пожежі.

Серед кущиків можуть траплятися високорослі густі пожежонебезпечні зарості з багна болотного та вересу. При загорянні таких заростей способи гасіння мають бути такими ж самими як у кущових заростях. Отже, зарості з багна та вересу відносять до V групи лісових горючих матеріалів.

До III групи лісових горючих матеріалів відносять рослини, у яких пагони, гілки, листя розташовуються в межах висоти трав'яно-кущикового ярусу. Ця група лісових горючих матеріалів поділяється на дві підгрупи: А) кущикова – переважають кущики і низькорослі кущі; Б) трав'яна – переважають низькорослі напівкущі і трав'яна рослинність.

Кущикову підгрупу лісових горючих матеріалів поділяють на типи: брусничниковий (Бр), чорничниковий (Чр), толокнянковий (Тл), болотно-кущиковий (Бк) з підбілу, лохини, та ін.

Трав'яну підгрупу ЛГМ поділяють на такі типи: злаковий (Зл) (окремо очеретяний – Оч), осоковий (Ос) (окремо осочковий – Осч із зимньо-зелених осок), різнотрав'яний (Рт), включаючи різнотрав'яну, борово-степову, борову, лісостепову і лісолукову рослинність, якщо в ній не переважають злаки і осоки, дрібнотрав'яний (Дт), прирічковий (Пр) гадючник, трав'яно-болотний (Тб), бадановий (Бд).

З практичною метою виділяють лише ті групи лісових горючих матеріалів, органічна маса яких може впливати на характер горіння, або приймає участь у горінні, або створює особливі умови горіння і гасіння.

Якщо проективне покриття трав'яно-кущикового ярусу менше 0,4, то третю групу ЛГМ можна не виділяти.

До IV групи лісових горючих матеріалів належать рештки рослин великих розмірів (опалі сучки, сушняк, пні, сухостій, порубкові рештки), що формують захаращеність, яка підсилює інтенсивність горіння низових пожеж. За А.А. Молчановим [84], у соснових насадженнях із захаращеністю $80 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ спостерігається у 4 рази вищий відпад, ніж при захаращеності $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Охвоєні порубкові рештки на зрубках при рівномірному їх розподілі по площі можуть бути провідниками горіння. Велика захаращеність ділянки може змінювати характер її горіння, тому в класифікації пожеж виділяють особливий вид низових пожеж: „сушнякові”.

Стовбури сухостійних дерев розміщуються в іншому горизонті, ніж сушняк, а тому їх об'єднують із стовбурами ростучих дерев (VII група лісових горючих матеріалів). Під час пожежі у сухостійних стовбурів дерев сильно пошкоджується прикомлева частина, при цьому полум'яне горіння часто переходить у тління. Підгорілий стовбур падає і перетворюється на сушняком. Якщо стовбур щільно прилягає до поверхні ґрунту, то його тління від комля до вершини іноді триває до 2 місяців зі швидкістю 15–20 см за добу. У результаті такого тління від стовбура залишається лише зольний слід на поверхні ґрунту. Під час пожежі стовбури дерев сушняку обгоряють лише зверху.

Четверта група лісових горючих матеріалів поділяється на дві підгрупи і п'ять типів: 1 – сухостій; 2 – не приземлений сушняк; 3 – приземлений сушняк; 4 – охвоєні порубкові рештки; 5 – неохвоєні порубкові рештки. За А.А. Молчановим [84], який вивчав вплив захаращеності на післяпожежний відпад у лісових насадженнях. Четверту групу лісових горючих матеріалів необхідно виділяти при захаращеності більше $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

До V групи лісових горючих матеріалів відносять підлісок, підріст, напівкущі основна маса крон у яких розміщена вище рівня трав'яно-кущикового ярусу, але не вище 3 м. Сюди також належать кущові зарості поза лісом, високі зарості багна болотного і вересу та листяні молодняки заввишки до 3 м.

П'ята група поділяється на дві підгрупи лісових горючих матеріалів: А) з перевагою у складі кущів, які горять, підросту і підліска хвойних деревних видів; Б) з перевагою у складі кущів, які не горять, підросту і підліска листяних деревних видів.

До VI групи лісових горючих матеріалів відносять листя і хвою у наметі деревостану разом з пагонами діаметром до 7 мм, а також сухі сучки. Ця група горючих матеріалів поділяється на чотири типи:

- 1) хвоя у наметі молодняків, для яких характерні верхові пожежі;
- 2) хвоя у наметі темнохвойних насаджень з низько опущеними кронами (кедр, ялина, ялиця) – характеризується повальними верховими пожежами;
- 3) хвоя у наметі світлохвойних насаджень з високопіднятими кронами (модрина, сосна) – характеризується ускладненим загорянням крон;
- 4) листя у наметі листяних насаджень (зазвичай, не горить).

До VII групи лісових горючих матеріалів відносять сучки і стовбури ростучих дерев. Під час сильних пожеж у таких дерев обгоряє верхній шар кори та активно горять смоляні патьоки, кари. Сира деревина ростучих дерев не горить, крім випадків, коли всередній частині стовбура присутнє дупло або порохнява гнилизна. Цю групу поділяють на три типи:

- 1) стовбури, що нормально ростуть;
- 2) стовбури із засмоленою поверхнею;
- 3) стовбури дуплисті або з порохнявою гнилизною.

Останні два типи виділяють, якщо такі стовбури становлять більше однієї третьої частини насадження.

3.6. Характеристика лісових горючих матеріалів

3.6.1. Запас горючих матеріалів у лісі

Для розуміння процесу виникнення і розвитку лісових пожеж, засобів і способів боротьби з пожежами, профілактики, оцінки природної пожежної

небезпеки лісових насаджень, розрахунків можливої поведінки діючих пожеж під час боротьби з ними велике значення мають характеристики лісових горючих матеріалів (запас, вологість, теплотворна здатність, структура) [4, 25].

У *наземній* групі ЛГМ переважає лісова підстилка, опад, трав'яний покрив, які М.П. Курбатський [63] називає провідниками горіння. Вони можуть горіти, виділяючи тепло, якого з надлишком вистачає для поширення і підтримки горіння. Наземні ЛГМ є первинним горючим матеріалом, з якого починається загоряння.

У сухих, свіжих, вологих і сирих соснових борах до V класу віку великої різниці у запасі наземних ЛГМ в абсолютно сухому стані немає. У сухих і сирих соснових борах вище V класу віку запас наземної групи ЛГМ більше, ніж у свіжих і вологих соснових борах [29]. У сухих соснових борах запас наземних ЛГМ становить від $0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ у II класі віку до $1,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ у VII класі віку; у свіжих і вологих соснових борах тих же класів віку запас наземних ЛГМ становить від $0,7$ до $0,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$; у сирих соснових борах з IV по VII клас віку запас наземних ЛГМ становить відповідно від $0,9$ до $1,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ [4].

За даними М.П. Курбатського [63] у сухих соснових борах запас наземних ЛГМ становить від $0,89 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ у IV класі віку до $1,43 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ у VIII класі віку. У сирих соснових борах VI класу віку запас наземних ЛГМ складає $1,27 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$. У мокрих соснових борах V–VI класів віку запас наземних ЛГМ становить від $0,83$ до $1,44 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

За даними М.А. Диченкова [39], запаси надґрунтових горючих матеріалів мають значну географічну неоднорідність. Він вказує, що у свіжому сосновому бору (A_2C), запас горючих матеріалів варіює від $7,5 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ до $41,0 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$.

За дослідженнями А.А. Молчанова [85], у типах лісорослинних умов, які характеризуються надлишковим зволоженням ґрунту, де розкладання органічної речовини відбувається повільно, загальний запас наземних ГМ є більшим. Запас ГМ на ділянці залежить від їх рельєфного положення. У підніжжі північних схилів запас наземних ГМ більший ($2,55 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$), ніж у середній ($2,18 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$) та у верхній ($0,82 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$) частинах схилів.

Протягом пожежонебезпечного періоду запас наземних ГМ в одному і тому ж ТЛУ відрізняється. Менш помітно запас наземних ГМ змінюється у ТЛУ з надґрунтовим покривом із вічнозелених кущиків і мохів та найбільш помітно – у ТЛУ з перевагою трав'яних рослин.

На початку весняного періоду у ЖНП присутній невеликий запас висохлої трав'яної рослинності минулого вегетаційного періоду. Це сприяє поширенню рухливих низових пожеж. Влітку запас зеленої маси ЖНП збільшується, що зменшує пожежну небезпеку в насадженнях. Пожежна небезпека зростає до осені, завдяки висиханню ЖНП.

На запас наземних ЛГМ впливає тривалість періоду після останньої пожежі. Періодичні низові пожежі у сухих борах зменшують запас наземних ЛГМ. Це буде зменшувати інтенсивність горіння пожеж, що повторюються.

Живий надґрунтовий покрив з іван-чаю, гадючника, папоротей унеможливорює поширення лісових пожеж. Грушанка, мучниця, котячі лапки, бадан, плауни, жовтець та інші трав'яні рослини є стійкими проти вогню [59]. При дуже сухій погоді багно разом з лохиною, підбілом, андромедою збільшує полум'я низових пожеж. Це призводить до загоряння крон дерев. Густі зарості з вересу є найбільш пожежонебезпечним ГМ.

Лишайники та деякі мохи характеризуються високою активною поверхнею, від якої залежить їх гігроскопічність, тобто вологість і загоряння. Найменшу активну поверхню має сфагн і рунянка, більшу – плеуроцій Шребера та найбільшу – лишайники. У цій же послідовності встановлена їх пожежна небезпека. Лишайники загоряються найлегше. Рунянка є пожежостійким мохом, завдяки її високій, у порівнянні з іншими мохами, зольності. І навпаки, тканини лишайників відзначаються високим вмістом білкових речовин і дуже малим вмістом золи.

Стан лісової підстилки впливає на інтенсивність горіння у лісі. У чистих хвойних насадженнях формується щільна лісова підстилка, а у хвойно-листяних – більш пухка лісова підстилка. Запас підстилки в насадженнях залежить від

запасу опаду і швидкості його розкладання. Це залежить від клімату, рельєфу місцевості, форми, віку, складу деревостану, густоти підліска та ЖНП.

За дослідженнями А.А. Молчанова [85], запас підстилки у сухому бору (A_1C) становить $2,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$, а у мокрому бору (A_5C) – $27,68 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$.

Об'ємна вага лісової підстилки змінюється в дуже широких межах залежно від типу лісу і експозиції схилу. Це є важливим показником, що характеризує ступінь гігроскопічності лісової підстилки. За дослідженнями М.П. Курбатського [63], об'ємна вага підстилки: для сухих соснових борів (A_1C) варіює від 36 до $106 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$; свіжих соснових борів (A_2C) – від 32 до $101 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$; вологих соснових борів (A_3C) – від 36 до $57 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$; сирих соснових борів (A_4C) – від 31 до $47 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$. У всіх типах лісу товщина лісової підстилки не перевищувала 5 см.

Лісопожежна роль підліска з хвойних деревних видів до кінця не вивчена. Підлісок затінює ґрунт та сприяє збереженню вологи у ЖНП і тим самим зменшує пожежну небезпеку у лісі. З іншого боку, під час пожежі, підлісок є основним ГМ і різко підсилює інтенсивність пожежі у лісі.

Підлісок з бузини, черемхи, горобини, акації жовтої, спіреї, шипшини та ін. завдяки значній зеленій масі, затримує поширення вогню в лісі. У весняний період підлісок впливає на сповільнення танення снігу, чим сприяє зволоженню ґрунту у насадженнях.

Все те, що входить до намету деревостану разом з деревними стовбурами, відноситься до *надземних* ГМ. Об'єктами горіння у надземних ГМ є хвоя та дрібні гілки у наметі деревостану і лише при дуже сильних стійких пожежах загоряються гілки, сучки та частково стовбури.

Процес горіння хвої у наметі лісу і визначення її теплотворної здатності вивчали А.А. Молчанов [84], М.П. Курбатський [63] та ін. Так, у 80-річному сосняку сухого бору (A_1C) з повнотою – $0,7\text{--}0,8$ сумарна вага хвої і охвоєних гілок становить $6,3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а у віці 40–80 років у сосняку свіжого бору (A_2C) такої ж повноти – $6,9\text{--}6,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Найменше з віком змінюється запас охвоєних гілок, а найбільше – хвої [84].

Відстань між поверхнею ґрунту і нижньою межею крон дерев в обох типах лісу із збільшенням віку, збільшується. Із збільшенням віку довжина крон збільшується, а кількість ГМ на одиниці об'єму намету (м^3) зменшується. Поширення горіння в кронах соснових деревостанів зменшується із збільшенням віку, тому що зменшується щільність горючого шару. Хвойні молодняки є найбільш пожежонебезпечними насадженнями.

Запас хвої у соснових насадженнях порівняно із ялиновими є у 2–3 рази нижчим. За дослідженнями В.В. Смірнова [114], у ялиновому лісі вологого сугрудку (вік – 75 років; повнота – 0,7) запас свіжої хвої складає $29,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а в абсолютно сухому стані – $12,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. За дослідженнями Л.К. Позднякова [98], запас хвої варіює у: ялицевих лісах – від 5,7 до $9,6 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, модринових лісах – від 1,8 до $4,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Запас листя у березовому насадженні, в середньому, становить $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Залежно від віку деревостану, ТЛУ, пори року та інших чинників змінюється вологість хвої. У весняний період найменшу вологість має хвоя старшого віку, а найбільшу – понад 300 % має молода хвоя. Із збільшенням віку вологість молоді хвої зменшується і до осені становить 150 %.

Під час сильної пожежі стовбур рідко згоряє повністю, за винятком сухостійних дерев. Полум'я знищує гілки діаметром до 4 см і хвою, сильно обгоряють сучки. У місцях виходу живиці найбільше пошкоджується стовбур. Завдяки високій вологості сирій деревини стовбури дерев не згоряють.

Заболонна частина у деревини хвойних деревних видів має найбільшу вологість. Вологість у заболоні приблизно в 3 рази вища, ніж у ядра. Якщо вогонь проникає у центральну частину стовбура, то ядро може загорятися. Ця сприяє утворення дуплистих дерев, які після пожежі часто зустрічаються у лісі. Протягом року змінюється вологість деревини хвойних деревних видів. У сосняках і модриниках, які ростуть у найбільш пожежонебезпечних ТЛУ, захисні функції проти вогню виконує кірка, яка має низьку теплопровідність. Завдяки високому вмісту зольних речовин кірка дуже повільно горить або майже не загоряється. Кірка розміщується приблизно на 1/3 висоті дерева і поступово

зменшується її товщина. Розподіл температури за висотою під час лісових пожеж пов'язаний із зміною товщини кірки з підняттям її по стовбуру.

Для молодих дерев модрина і сосни характерні низько опущені крони і тонка кора, яка не має захисного коркового шару. У молодому віці сосняки і модринники, як правило, мають велику густоту. Під наметом таких молодняків лишайники і трав'яний покрив, як найбільш пожежонебезпечні ГМ, майже не розвиваються, а присутній лише тонкий шар мертвої хвої.

Із збільшенням віку насадження сосни і модрина зріджуються. Тому запас горючих матеріалів у надґрунтовому покриві збільшується. Це впливає на підвищення інтенсивності горіння та збільшення висоти полум'я. Відстань від поверхні ґрунту до нижньої межі крон з віком також збільшується. Нижні частини стовбурів дерев вкриваються захисною кіркою, а крони дерев стають недосяжними для полум'я низових пожеж. Захисні властивості сосняків і модринників формувалися під впливом лісових пожеж століттями.

В ялини спостерігається пристосованість до захисту від лісових пожеж. Низько опущена крона затінює ЖНП, збільшуючи тим самим його вологість. Хвоя у ялини має значно більшу зольність, ніж у сосни, а тому горить повільніше.

Торф'яний шар на ґрунтах з надлишковим зволоженням і на заболочених ділянках є *підземною* групою ЛГМ. Найчастіше на торф'яних ґрунтах формується сирий сосновий бір (А₄С) низьких (IV–V) класів бонітету. Товщина торфу у такому типі лісу становить від 15 до 60 см. Весь торф'яний шар пронизаний великою кількістю коріння кущів і дерев. За дослідженнями М.П. Єлпатьєвського [43], об'ємна вага торф'яних ґрунтів становить від 40 до 260 г·дм⁻³ і залежить, переважно, від ступеня розкладання торфу.

За дослідженнями С.М. Вонського [29], калорійність торфу для сирого соснового бору (А₄С) становить 5000 ккал·кг⁻¹. Протягом пожежонебезпечного періоду вологість торфу поступово знижується від максимуму у весняний період до мінімуму в осінній період. Це стверджується сталою закономірністю виникнення пожеж на торф'яниках вкінці літа (серпень–вересень) і їх

відсутністю навесні. Тривалі посухи або дощі можуть істотно змінити вологість торфу. Лісова підстилка ізолює торф від атмосферного повітря, а тому торф мало реагує на зміни погоди.

За М.П. Курбатським лісові горючі матеріали **I і II груп** завжди визначаються за запасом, тому що є провідниками горіння. У лісах із суцільним покривом з лишайників і мохів товщина останніх може становити 5 см, що створює запас близько $1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$. Запас $2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ і більше дає лісова підстилка. На опад гілок і сучків припадає не менше $0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ запасу. Таким чином формується шар горючих матеріалів, що не весь згоряє при пожежі, навіть за наявності сильних посух. Тому запас, що згоряє (активний), у покриві горючих матеріалів складає лише частку потенційного запасу. Це також характерно для сирих і мокрих за зволоженням ґрунтових умов.

Визначення загального потенційного запасу втрачає практичний сенс і навіть може відігравати роль дезінформації під час оцінки природної пожежної небезпеки, якщо у надґрунтовому покриві потенційний запас горючих матеріалів завжди вище активного (тобто такого, що згоряє). На таких площах потрібно визначати тільки активний запас горючих матеріалів і його динаміку, яка залежить від типу основних провідників горіння і класу посухи.

У **III групі** лісових горючих матеріалів визначають запас заростей кущиків брусниці, вересу, багна болотного та ін. Запас багна може досягати $0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ і більше, а брусниці – $0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$.

Живий надґрунтовий покрив за умови проективного покриття $0,4$ і більше, особливо осоки і злаки, необхідно брати до уваги, бо вони виконують подвійну роль: під час вегетації затримують горіння, а після їх відмирання збільшують запас основних провідників горіння.

Лісові горючі матеріали **IV групи** (порубкові рештки, сухостій, сушняк) враховують там, де їх запас великий – у перестійних, вітровальних, сухостійних, пошкоджених і всихаючих насадженнях, на згарищах та зрубках. За дослідженнями М.А. Софронова [118], запас дрібних порубкових решток

(сучки, хвоя) на свіжих зрубках високоповнотних соснових деревостанів досягає більше $20 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Запас сушняку і сухостою у вітровальних насадженнях дорівнює запасу деревини в загиблому насадженні з додаванням близько 10 % на запас гілок і сучків. Практично не збільшують інтенсивності пожежі великі сушнякові стовбури в лісі. Якщо вони приземлені, то горять дуже погано і обгоряють лише зовні.

Лісові горючі матеріали **V групи**. Невеликий запас хвої, листя, гілок мають підлісок і підріст під наметом лісу. За дослідженнями І.П. Щербакова та В.М. Михалевої [144], підріст сосни густотою – 7 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$ і висотою 2 м має запас хвої і гілок $320 \text{ кг} \cdot \text{га}^{-1}$. Підріст хвойних деревних видів при зімкнутості намету більше 0,3 сприяє переходу низової пожежі у верхову.

Лісові горючі матеріали **VI групи**. Під час верхових пожеж хвоя є ГМ, а листя поповнею опад в осінній період, тому необхідно проводити їх облік або оцінювання.

Модринові ліси мають найменший запас хвої. Так, середньоповнотні і середньобонітетні насадження у стиглому віці мають запас хвої $1\text{--}2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (абсолютно сухої ваги), запас тонких гілок – $4\text{--}5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. У соснових насадженнях запас хвої більше – $3\text{--}4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а запас тонких гілок (товщиною менше 0,7 см) становить $4\text{--}5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Максимальний запас хвої у ялинових насадженнях середньої повноти становить $10\text{--}12 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а запас тонких гілок досягає $8\text{--}10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Запас листя в березових насадженнях становить $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Отже, запас хвої в кронах разом з тонкими гілками становить $0,5\text{--}2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$. На перших етапах життя насадження проявляється вплив його віку. Так, у соснових насадженнях високої повноти, найбільший запас хвої ($16\text{--}20 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ сирої ваги) спостерігається у віці від 25 до 35 років.

Після самозрідження до 40–50 років запас стає меншим – $11\text{--}15 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ і залишається таким же до віку стиглості. У насадженнях перестійного віку запас зменшується до $9\text{--}10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ [36, 87, 92]. За дослідженнями В.В. Ільїнського [52],

при зміні класу бонітету соснових насаджень з I до IV кількість хвої у них зменшується з 5,2 до 4,6 т·га⁻¹ (в абсолютно сухому стані), тобто близько 10 %.

Таким чином, оцінка запасів лісових горючих матеріалів може бути диференційованою за категоріями горючих матеріалів, з обліком:

- 1) можливості горіння даної категорії горючих матеріалів і умов горіння (виняткові, звичайні, особливі);
- 2) можливості згоряння (часткового, повного);
- 3) характеру горіння (пасивне, активне);
- 4) виду горіння (тління, полум'яне);
- 5) місця горіння;
- 6) ролі в горінні лісових насаджень (провідники горіння, що підтримують і затримують горіння, що не беруть участь у горінні).

Вищеперераховані особливості категорій горючих матеріалів не є постійними. Облік запасів найкраще проводити за групами і типами лісових горючих матеріалів. Це враховує їх особливості [25]. Сума запасів горючих матеріалів із різних груп і використання цих величин у якості пірологічних даних є неприпустимою і дезінформативною.

Таким чином картографування лісових горючих матеріалів не полягає лише у простому картографуванні запасу горючих матеріалів, а сприяє створенню інформаційного банку, що дозволяє оцінювати на кожній ділянці (виділі) не тільки динамічні запаси лісових горючих матеріалів по кожній групі за даних умов, але також і ряд інших характеристик.

3.6.2. Методи дослідження лісових горючих матеріалів

Лісові горючі матеріали у лісонасадженнях можна вивчати за допомогою лінійних методик та методики закладання пробних площадок. До найпростіших лінійних методик вивчення запасу наземних ЛГМ належить методика на базі програмного забезпечення FIREMON (Fire Monitoring and Inventory System), яка розроблена за участі U.S. Forest Service, Missoula Fire Sciences Laboratory у

співпраці з U.S. Geological Survey, National Park Service на кошти Joint Fire Science Program [153, 169, 170]. Методи збору інформації, які використовуються у FIREMON, відносяться до лінійних [124]. За цією методикою на ділянках для обліку лісових горючих матеріалів закладають трансекти (лінії) довжиною 25 м (рис. 3.1), на яких визначають різні фракції лісової підстилки, вимірюють її товщину, визначають проективне покриття та середню висоту ЖНП, зімкнутість намету деревостану та стан для крупних деревних решток.

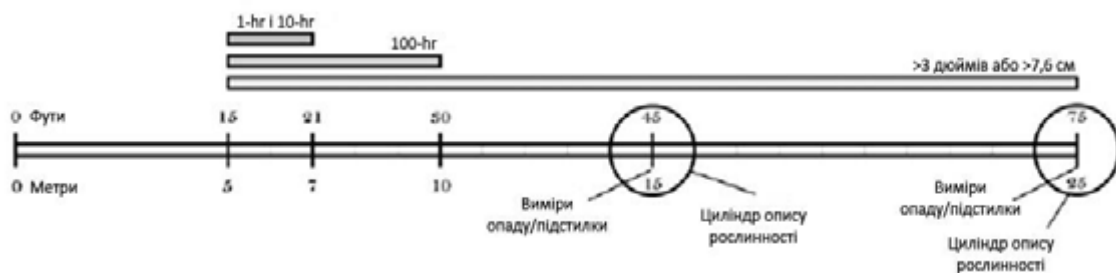


Рис. 3.1. Розміри трансекти і розташування точок обліку лісових горючих матеріалів

Розподіл на фракції проводиться за прийнятою у США класифікацією наземних ГМ, згідно якої виділяють дві категорії ГМ: живі та мертві.

Залежно від швидкості висихання, мертві горючі матеріали поділяють на чотири групи (time lag) [25, 153]:

- легкі (1-hour time lag fuel);
- середні (10-hour time lag fuel);
- важкі (100-hour time lag fuel);
- дуже важкі (1000-hour time lag fuel).

Живі горючі матеріали розподіляють на дві групи: 1) трави і трав'янисті рослини; 2) листя, хвоя і гілки товщиною менше 6 мм у кронах дерев.

За цією методикою на пробних площах закладають 10–15 трансект довжиною 25 м (на площі ділянки більше 20 га для обліку закладають більше 20 трансект), на яких підраховують кількість частинок ГМ кожної фракції, які перетинають трансекту. Підрахунок частинок фракції 1-hr ($d < 0,5$ см) проводиться на перших 2 м трансекти, фракції 10-hr ($d = 0,6–2,5$ см) – на 5 м, фракції 100-hr ($d = 2,6–7,5$ см) – на 10 м, 1000-hr ($d > 7,5$ см) – на всій трансекті

(рис. 3.1). Трансекта повинна перетинати вісь гілки (колоди). Вісь повинна бути над лісовою підстилкою у місці перетину з трансектою. При перетині гілки з трансектою у двох місцях потрібно враховувати кожен перетин окремо. Для фракції 1000-hr записується для кожної частини, яка перетинає трансекту, діаметр гілки (колоди) та клас розкладання.

З метою обліку лісової підстилки та трав'яних рослин у лівій частині трансекти закладають 4 площадки розміром 0,3×0,6 м. Відстань між площадками повинна становити 2–2,5 м. Площадки розміщують квадратом (рис. 3.2), паралельно до схилу, під кутом 90° до трансекти, на відстані 2–2,5 м від початку трансекти.

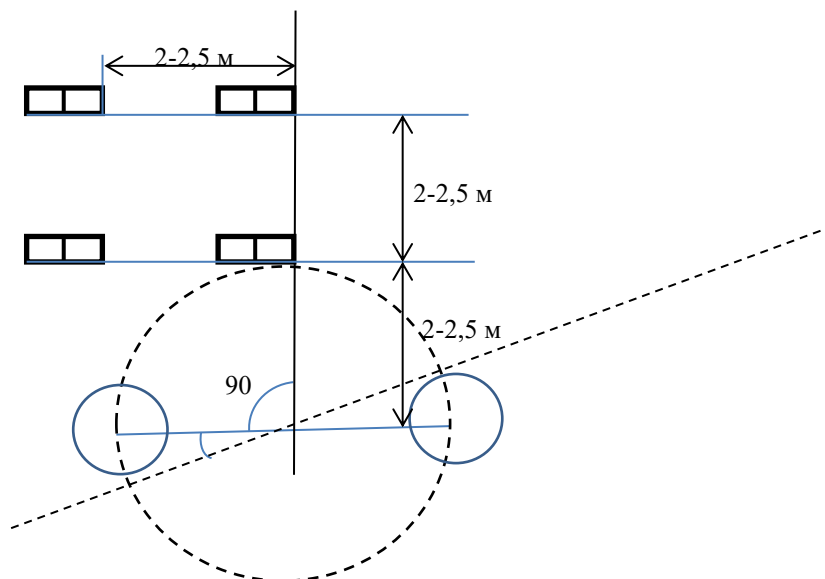


Рис. 3.2. Розміщення площадок для обліку живого надґрунтового покриття та лісової підстилки

За цією методикою необхідно визначити площадку з максимальною вагою рослин і прийняти її за еталон. З метою обліку лісової підстилки використовують праву частину площадки. Необхідно також визначити площадку з максимальною масою лісової підстилки і прийняти її за еталон. На інших площадках відсоток рослин та лісової підстилки визначають відносно еталонної площадки (0–5 %, 6–20 %, 21–40 %, 41–60 %, 61–80 %, 81–95 %, 96–100 %). На всіх площадках окомірно визначають відсоток мертвих рослин та проєктивне ЖНП.

З еталонної площадки збирають трав'яні рослини і лісову підстилку (опад лишають на місці). Зібрані зразки необхідно висушити при температурі 95 °С протягом 24 годин та зважити з точністю до 0,01 г.

Кущі обліковують на двох площадках радіусом 57 см з визначенням деревних видів. Проективне покриття кущів визначають окомірно з поділом на живі та мертві екземпляри. Середню висоту кущів визначають на обох площадках. Кількість стовбурів визначають у відповідних класах розміру – до 0,50 см, 0,51–1,00 см, 1,01–1,50 см, 1,51–2,00 см, 2,01–3,00 см, 3,01–5,00 см, більше 5,00 см. Діаметр стовбурців визначають на висоті 3–5 см від кореневої розетки або поверхні ґрунту. Ці дані будуть слугувати для визначення запасу лісових горючих матеріалів [153].

Програмне забезпечення FIREMON [170] передбачає автоматичне визначення запасу лісових горючих матеріалів і не вимагає закладати облікові площадки. За цією методикою на двох точках трансекти визначають глибину та проективне покриття підстилки, проективне покриття мертвих та живих дерев, трав'яних рослин і кущів, середню висоту дерев, трав'яних рослин і кущів. У кінцевому результаті обробки даних отримуємо запаси окремих фракцій лісових горючих матеріалів, які можуть бути використані для створення моделей динаміки запасу ГМ і поведінки пожеж.

Визначати запас лісових горючих матеріалів та проводити їх облік можна також шляхом закладання площадок розміром 1,0 × 1,0 м [136]. За цією методикою для оцінки наземних ГМ на пробній площі, вздовж довгої її лінії провішують три лінії, які розміщують на однаковій відстані одна від одної. На цих лініях через кожні 10 м закладають пробні площадки розміром 1,0 × 1,0 м. На площадках зважують дрібні і крупні сучки, напівчагарники, трав'яний покрив, лісову підстилку, опад. Для встановлення вологості лісових горючих матеріалів у лабораторних умовах відбирають їх середні зразки. Така методика дозволяє визначити запас наземних ГМ за їх основними видами [63].

3.6.3. Зволоження і висихання лісових горючих матеріалів

Рідкі опади є основним чинником зволоження горючих матеріалів у лісі. У випадку довготривалої відсутності дощів опад із соснової хвої і лишайників може загорятися в будь-який час доби, але невеликий дощ унеможлиблює їх загорання на кілька годин [73]. Лохов В.П. [69], А.А. Лучшев [70], А.А. Молчанов [86], Л.К. Поздняков [97], М.С. Нестеров [90], В.В. Протопопов [105], О.В. Чубатий [137], Л.А. Уваров [131], В.В. Куклін [62], А.І. Грибов [32], М.І. Костюкевич, В.А. Садовський [60] та ін. досліджували проникнення опадів під намет лісу.

Крони дерев затримують частину рідких опадів. Форма, розмір і будова крони впливають на надходження опадів під намет лісу. Якщо рідкі опади випадають вертикально, то вони не затримуються у проміжках крон. Вітер струшує опади з крон дерев, а також сприяє похилому їх випаданню. Величина і напрямок кута нахилу залежать від напрямку і швидкості вітру під час дощу. Це визначає нерівномірний розподіл опадів, що зволожують лісові горючі матеріали. У ялинових насадженнях найбільш виражена нерівномірність розподілу опадів (табл. 3.8) [25].

Рівномірніше опади розподіляються у соснових і модринових лісах. Варіювання опадів під наметом лісу із зростанням їх кількості збільшується абсолютно (s , мм), але зменшується у процентному відношенні (C , %).

За ступенем зменшення нерівномірності розподілу опадів під наметом лісових насаджень їх можна розташувати у такому порядку: ялинові насадження, ялицеві, кедрові, модринові, соснові, березові. У насадженнях високої повноти розподіл опадів більш рівномірний, ніж у насадженнях середньої повноти. Так у сосновому насадженні з повнотою 0,9 середнє квадратичне відхилення при опадах 7 мм складає 13 %, а з повнотою 0,6 – близько 25 %.

У 40-річному сосняку коефіцієнт варіювання розподілу опадів у середньому на 10 % вище, порівняно з насадженнями 70- і 115-річного віку у

тому ж самому типі лісу. Це обумовлено більшим запасом хвої, яка затримує опади, і малим діаметром крон.

Таблиця 3.8

Варіювання опадів, що проникли під намет лісу

Показ- ник	Ялинові і ялицеві насадже- ння з повнотою 0,6–0,8	Кедрові насадження з повнотою 0,6–0,9	Модринові насадження з повнотою 0,5–0,9	Соснові насадження з повнотою 0,7–1,0	Березові насадження з повнотою 0,7–0,9
Опади 1–3 мм					
s, мм	0,2–1,2	0,1–0,9	0,3–0,8	0,2–0,8	0,1–0,7
C, %	60–80	30–60	40–50	30–40	20–35
Опади 4–9 мм					
s, мм	1,2–4,2	0,6–2,5	0,5–1,5	0,3–1,3	0,2–1,0
C, %	50–70	25–40	15–20	12–20	10–15
Опади 10–20 мм					
s, мм	2,5–8,0	1,5–5,0	1,0–2,5	0,6–1,5	0,4–1,5
C, %	40–50	20–30	10–15	7–10	5–10

У ялинових і ялицевих насадженнях характер розподілу опадів є однаковим незалежно від їх кількості і напрямку вітру. Із зміною вітру у соснових і модринових лісах змінюється характер розподілу опадів. Кедрові ліси займають середнє місце.

Із зниженням повноти деревостану вплив вітру в ялинових лісах посилюється. Вплив вітру на розподіл опадів у соснових лісах більш виражений. Незначний вплив вітру на розподіл опадів у ялинових, ялицевих і кедрових лісах обумовлюється тим, що ці види мають низько опущені густі крони великої довжини, які в ялини і ялиці донизу розширюються. Висота до середньої частини крони у ялинових і ялицевих лісах становить від 2,5 до 4,8 м, а їх довжина – 14–16 м за середньої висоти насадження 18–21 м. Низько опущені крони у ялини і ялиці перешкоджають надходженню під них рідких опадів.

Довжина крони у кедрових лісах становить 4–6 м. Крони характеризуються пірамідальною формою та донизу звужуються. Таким чином вплив крон на розподіл опадів у них менший, ніж у ялинових і ялицевих лісах. У соснових і

модринових лісах великий вплив вітру на розподіл опадів зумовлений високо піднятими кронами у сосни і модрини. Висота крон у модринових лісах становить 7–9 м, а у соснових лісах – 13–15 м. У соснових насадженнях висота простору під кронами дерев сосни складає 60–70 %, а у соснових жердняках досягає 85 % висоти насадження; у модринових лісах висота простору під кронами є меншою – приблизно 40 %. Така висота простору від поверхні ґрунту до нижньої частини намету в соснових і модринових насадженнях дозволяє „похилому” дощу з ділянок між кронами потрапляти під крони. Якщо під час дощу був сильний вітер, то у сосняках і модринниках на пристовбурові ділянки може випадати більше опадів, ніж на ділянки між кронами.

під впливом вітру, опади, випадають не вертикально, а похило, і завітрянні сторони прогалин знаходяться у „мертвому просторі”. Таким чином, кількість опадів, які випадають між кронами ялини, складає 80 % опадів, що випадають на відкритому просторі. Кількість опадів, які випадають під краєм крони, спочатку складає 30–40 % опадів на відкритому просторі, а потім по мірі насичення вологою краю крони, швидко зростає. Якщо кількість опадів більше 10 мм, то додається ще і волога, яка стікає по бокових поверхнях крон. Крізь середню густу частину крони проникнення рідких опадів відбувається повільно і лише при опадах більше 10 мм досягає половини цієї величини.

У незначній кількості на пристовбурові ділянки, опади починають попадати вже із самого початку випадання дощу. В ялинниках пристовбурові ділянки зволожуються слабо. Так, при опадах до 15 мм пристовбурові ділянки отримують опадів в 4–6 разів менше, ніж ділянки між кронами, а при опадах 25 мм біля стовбура їх випадає всього 5 мм. Пристовбурові ділянки у соснових і модринових лісах зволожуються краще, отримуючи при цьому опадів в 1,1–1,3 рази менше, ніж ділянки лісу між кронами. У таких насадженнях біля стовбурів, як правило, з навітрянної сторони випадає однакова або більша кількість опадів, ніж між кронами. Швидкість вітру під наметом соснових насаджень у 2 рази більша, ніж під наметом ялинових насаджень [12]. Рівномірний розподіл опадів спостерігається у березових насадженнях. Рівномірному зволоженню в цілому сприяє збільшення зімкнутості і

густоти деревостанів. Помітний перерозподіл опадів спостерігається при зменшенні зімкнутості і густоти насаджень. Наприклад, у низькоповнотному модриновому насадженні з великими кронами на пристовбурові ділянки надходить на 30 % менше опадів, ніж між кронами, тоді, як у зімкнутому модриновому насадженні з невеликими кронами спостерігається рівномірне зволоження. Зволоження дощами пристовбурових ділянок у стиглих насадженнях представлено в табл. 3.9 [25].

Кількість опадів, що випадають між кронами та під кронами, які займають у сумі близько 70 % площі насадження необхідно враховувати під час визначення можливості поширення пожежі і її сили. Сума опадів на них складає близько 90 % від опадів на відкритому просторі і відрізняється від останніх на 10 відсотків.

Сонячна променева енергія є основним чинником, що визначає висихання ЛГМ. Її можна оцінити через вологість і температуру повітря.

У теорії М.П. Курбатського [65] про „пожежне досягання” лісових ділянок ідея про домінуючу роль променевої енергії в процесі висихання ЛГМ знайшла непряме відображення.

Стрімкість та експозиція схилів впливає на надходження прямої сонячної радіації. Найбільш істотна різниця в добових сумах сонячної радіації між південними і північними схилами спостерігається восени та навесні, при невисокому положенні сонця вдень, влітку ж вона зменшується [50].

Велике значення має кут нахилу поверхні: чим стрімкіші схили південної і північної експозицій, тим більша різниця між ними у надходженні прямої сонячної радіації. Мало відрізняються надходженням прямої сонячної радіації схили до 20°.

На відкритих ділянках (зруби, галявини, згарища) небезпека виникнення пожеж раніше з'являється. Для пірологічної оцінки умов висихання лісових горючих матеріалів необхідно знати відносну кількість променевої енергії, що поглинається ГМ під наметом насадження у порівнянні з відкритим місцем. При цьому необхідно враховувати як відбиття частини променевої енергії від горючого матеріалу

(альbedo), так і надходження всієї променевої енергії (тобто для всіх частин спектра) [123].

Таблиця 3.9

Зволоження дощами пристовбурових ділянок та між кронами у стиглих лісових насадженнях, мм

На відкритому просторі	Під наметом лісових насаджень по зонах							
	МК	КК	СК	ПК	МК	КК	СК	ПК
	ялинові насадження							
	з повнотою 0,6–0,7				з повнотою 0,4–0,5			
2	1,4	0,9	0,5	0,1	1,7	1,1	0,7	0,2
5	4,4	3,5	1,8	0,5	4,7	4,5	2,8	0,7
10	9,5	7,6	4,0	1,6	9,7	8,5	5,8	2,0
15	14,5	13,0	6,5	3,0	14,7	14,0	9,0	3,5
20	19,0	20,0	10,0	4,5	19,5	21,5	14,0	5,5
25	24,0	25,0	16,0	7,0	24,5	26,0	20,0	8,0
Пл, %	50	10	35	5	64	8	23	5
	кедрові насадження з повнотою 0,7–0,8				ялицеві насадження з повнотою 0,8–0,9			
2	1,3	1,1	1,1	0,4	1,3	1,3	0,4	0,1
5	3,9	3,1	3,1	1,1	4,3	4,2	1,3	0,4
10	8,2	7,2	7,2	3,7	9,5	9,4	3,5	1,0
15	12,0	11,0	11,5	7,0	13,5	13,0	5,6	2,0
20	15,8	15,3	15,8	9,8	18,0	17,5	13,5	3,0
30	–	–	–	–	28,0	27,5	15,0	6,5
40	35,8	35,3	35,8	21,8	39,0	38,5	30,0	12,5
Пл, %	44	11	39	6	26	16	53	5
	модринові насадження							
	з повнотою 0,8–0,9				з повнотою 0,5–0,6			
2	1,8	1,6	1,4	1,0	1,9	1,5	0,9	0,8
5	4,5	4,3	4,0	3,8	4,7	4,2	3,7	2,0
10	9,0	8,8	8,5	8,0	9,5	8,0	7,0	6,0
15	13,8	13,5	13,2	12,5	14,0	12,8	11,5	11,0
20	18,2	17,2	17,2	16,8	18,7	17,9	17,2	15,0
30	28,0	28,0	27,0	27,0	29,0	29,0	26,0	25,0
40	38,0	38,0	38,0	37,0	40,0	38,0	35,0	34,0
Пл, %	30	35	30	5	59	19	19	3
	соснові насадження з повнотою 0,8–0,9							
2	1,5	1,4	1,3	1,0				
5	3,8	3,4	3,3	2,7				
10	7,5	7,7	7,6	6,7				
20	16,8	17,1	16,7	16,2				
30	27,6	27,8	27,5	26,8				
Пл, %	40	28	30	5				

Примітка. МК – зона між кронами; КК – зона горизонтальних проєкцій країв крон; СК – зона горизонтальних проєкцій середніх частин крон; ПК – зона пристовбурових кругів; Пл – відносна площа зон у насадженні.

За калориметричним методом можна визначити кількість променевої енергії, що поглинається лісовими горючими матеріалами: по різниці температур поверхні на яку потрапляє енергія і навколишнього середовища. Від висоти стояння сонця залежить відносна кількість променевої енергії ($Q_{\text{відн}}$, %) під наметом насадження, що поглинається лісовими горючими матеріалами. Деревостан починає активно випромінювати променеву енергію (в інфрачервоному діапазоні) після обігрівання його сонцем.

На кількість променевої енергії в лісі повнота безпосередньо не впливає, але з повнотою кореляційно пов'язана зімкнутість намету деревостану. Відносна кількість променевої енергії, що поглинається лісовими горючими матеріалами, перебуває в наступній залежності від повноти насадження (Π):

$$1) Q_{\text{відн}} = a [100(1 - \Pi) + b] - \text{в інтервалі повнот від } 0,3 - 0,5 \text{ до } 0,8; \quad (3.2)$$

$$2) Q_{\text{відн}} = a (20 + b) - \text{при повнотах більше } 0,8, \quad (3.3)$$

де: $a = \sin h (\sin 45^\circ)^{-1}$; $b = 3$ (сосна), 36 (модрина), -4 (ялина, кедр), 7 (береза), $\sin h$ – середній за день синус висоти стояння сонця.

При цьому середнє квадратичне відхилення кількості променевої енергії становить ± 7 % для сосни, ялини, кедр, берези і ± 5 % для модрини. За дослідженнями Ю.Л. Цельнікер [134], у тіньовитривалих деревних видів (клен, ялина, липа) коефіцієнт ажурності крон становить $0,05 - 0,07$, а у світлолюбних деревних видів (осика, сосна, береза) він становить $0,30 - 0,38$. Тіньовитривалі деревні види мають більш вузькі і менш розкидисті крони, внаслідок чого зімкнутість намету в них менше, ніж у світлолюбних деревних видів при однаковій повноті деревостану (Π). Поєднання високої зімкнутості і значної ажурності крон у сосни дає таку ж сумарну площу просвітів, як і поєднання меншої зімкнутості і малої ажурності крон у ялини (за умови однакової повноти насадження).

Максимальні температури повітря під наметом насадження можуть перевищувати температуру повітря на відкритому місці: у соснових лісах – на 2–3 °С, а в ялинових лісах – до 6 °С через додаткове опромінення ділянок інфрачервоною радіацією від тіл, що нагрілися. Так і мінімальні температури повітря під наметом насадження можуть бути на 1–2 °С нижче, особливо зранку. Це обумовлюється тим, що в лісі, при відсутності вітру, застоюється холодне повітря.

При збільшенні повноти деревостану (П) до 0,8, відносна (у порівнянні з відкритим простором) кількість променевої енергії зменшується. Кількість променевої енергії залишається однаковою при подальшому збільшенні повноти.

Швидкість висихання лісових горючих матеріалів не залежить від швидкості вітру на місцях, що обігріваються сонцем. У затінених, але відкритих до дії вітру ділянках швидкість висихання лісових горючих матеріалів за швидкості вітру більше 3 м·с⁻¹ може дорівнювати швидкості висихання на незатінених ділянках.

Враховуючи чинники зволоження і висихання горючих матеріалів елементами лісу були розроблені поправки для оцінювання швидкості „пожежного досягання” надґрунтових горючих матеріалів, залежно від фотоперіоду, стрімкості і експозиції схилу та повноти насадження (табл. 3.10) [27].

Таблиця 3.10

Поправки на стрімкість і експозицію схилів у порівнянні з горизонтальними ділянками (для районів 50-60° пн. ш.)

Період	До 30.04 і після 1.12		З 1.05 по 31.08	
	Пн, ПнС		Пд, ПдЗ	Пн, ПнС
Стрімкість схилу, град.	20–30	> 30	> 25	> 30
Пожежне досягання	Пізніше на 1 клас пожежної небезпеки	Пізніше на 2 класи пожежної небезпеки	Раніше на 1 клас пожежної небезпеки	Пізніше на 1 клас пожежної небезпеки

З урахуванням поправок дається оцінка поточній природній пожежній небезпеці лісових ділянок через визначення критичного класу пожежної небезпеки за умовами погоди (табл. 3.11) [27].

Таблиця 3.11

Оцінка поточної природної пожежної небезпеки лісових ділянок

Підгрупи ОПГ		Переважаючі деревні породи				Безлісі ділянки (з відсутністю густого ярусу кущів)
мохова	опадова	С, Ял, Мд, Б, Ос, Яц з наявністю листя (хвої)		Мд, Б, Ос без листя (хвої)		
		Повнота деревостану				
Типи і підтипи основних провідників горіння		0,8 і більше	0,5-0,7	0,4 і менше	будь-якої повноти	
		Критичні класи пожежної небезпеки				
Лш	ТГ	II	I	I	I	I
Сх	Рх	III	II	I	I	I
Вл	Щл	IV	III	III	III	III
Бм ₁	Бп ₁	V	IV (Бп ₁ - V)	IV (Бп ₁ - V)	IV (Бп ₁ - V)	IV (Бп ₁ - V)
Бм ₂	Бп ₂	негоримі				

Отже, під час характеристики лісових ділянок за критичними класами пожежної небезпеки потрібно враховувати:

- 1) тип ОПГ;
- 2) повноту насадження і його стан (наявність хвої або листя чи їх відсутність);
- 3) стрімкість та експозицію схилу;
- 4) пору року.

ЛГМ за режимом вологомісткості поділяють на два класи: 1) негігроскопічні – живі рослини і їх частини, що можуть активно регулювати вміст вологи; 2) гігроскопічні – рослини (мохи, лишайники), які не мають такої здатності, а також решки рослин.

У таких негігроскопічних ГМ, як хвоя вічнозелених деревних видів (ялини, ялиці, сосни, кедр), вміст вологи протягом пожежонебезпечного періоду

коливається від 100 до 130 % з короткочасним зниженням до 80–90 % у весняний період [63]. У листя берези, осики і хвої модрина, у весняний період під час розпускання вміст вологи становить 120–150 %.

Вміст вологи тонких гілок у всіх деревних видів дорівнює близько 120 %, кущиків – приблизно 100 %, соковитих трав'яних рослин у весняний період може становити 1000 %, а з ростом і розвитком зменшується до 500 %. У злакових і осокових рослин вміст вологи варіює від 300–400 % у весняний період до 200 % вкінці літа [118, 125].

Гігроскопічні ГМ – лишайники, мохи і дрібні рослинні рештки, сушняк і сухостій, лісова підстилка можуть зволожуватися за рахунок опадів і капілярного підняття ґрунтової вологи. Капілярне підняття вологи може забезпечувати постійне зволоження ГМ, а опади зволожують ГМ періодично. Гігроскопічні ГМ завдяки своїм гігроскопічним властивостям, можуть поглинати повітряну вологу, але це відбувається тільки після їх висихання до зрівноваженої вологості і має зворотний характер.

Чим менша об'ємна вага лісової підстилки і вологіший тип лісу, тим більше вологи підстилка може утримувати [65]. Особливістю лісової підстилки є її здатність повільно збільшувати свою вологість та повільно віддавати акумульовану в собі вологу. Це пояснюється пошаровою структурою та високою гігроскопічністю лісової підстилки.

Лісова підстилка висихає пошарово і досягає висохлого стану тільки в період сильної посухи. За дослідженнями В.Г. Нестерова [89], за умови звичайної погоди вологість лісової підстилки коливається від 34,2 до 152,2 %. Лісова підстилка не горить при 70 % вологості і вище. Зазвичай, лісова підстилка горить безполум'яним горінням і не впливає на висоту полум'я.

Зволоження ГМ за рахунок капілярного підняття ґрунтової вологи практично відсутнє в основних провідників горіння лишайникового і трав'яного типів. Основні провідники горіння здатні горіти, перебуваючи на мокрій лісовій підстилці, а рештки осокових і злакових рослин – навіть над водою.

Мохи з роду Рунянкові (*Polytrichaceae*) мають водопровідні судини, завдяки яким вони здатні утримувати велику кількість вологи. Тому вони можуть висихати лише після зменшення рівня ґрунтових вод і тоді, коли у лісовій підстилці зникне вільна волога.

Коли рівень ґрунтових вод опуститься нижче 25–30 см від поверхні ґрунту, тоді починається висихання сфагну на болотах [110]. Більш пухку структуру мають зелені мохи. Пористість мохів становить 95 %, тобто менша, ніж у сфагну. Це утруднює капілярне підняття ґрунтової вологи. Випаровування вологи з гігроскопічних ГМ (лишайники, мохи, опад і т.п.) проходить до рівня зрівноваження вологи. Тому лишайники не можуть загорятися при відносній вологості повітря понад 85 %, а плеуроцій Шребера при відносній вологості повітря більше 60 % [47]. Висока вологість повітря сприяє зволоженню лишайників, мохів і опадів до негоримого стану.

На зрубі через 6 днів після дощу, за даними І.С. Мелехова [74], вологість лишайників знижувалася до 13,3 %, зелених мохів – до 20 %, рунянки звичайної – до 44 %. За дослідженнями А.А. Корчагіна [59], лишайники вбирають вологи у 2,5 рази більше своєї повітряно-сухої маси, тому максимальний вміст вологи для цього типу ГМ буде становити приблизно 250 %. Для зелених мохів максимальний вміст вологи становить 500–700 %, а для сфагну – 1500–3100 %. Після тривалої посухи нижній поріг вмісту вологи: для лишайників складає 6–8 %, плеуроція Шребера – 18–22 %, рунянки звичайної – 28–32 % і сфагну – 47–67 %. Надґрунтовий покрив із зелених мохів може утримувати до 10 мм опадів, а з лишайників – до 4,5 мм опадів [63].

Значний інтерес з практичної точки зору має критичний вміст вологи (верхня межа вмісту вологи) ГМ при якій можливе поширення вогню по них. За дослідженнями В.Г. Нестерова [91], межа горимості плеуроція Шребера становить 45 % вмісту його вологи. Мелехов І.С. [75] наводить дослідження Стікеля, за якими небезпека загоряння підстилки унеможливується за наявності вологи 27 %. За даними М.П. Курбатського [64], лишайники, мохи і дрібний опад відіграють роль активних провідників горіння при вмісті вологи

25–40 %. Критичний вміст вологи для трав'яних решток і мохів складає 25 % [118], плеуроція Шребера – 16 %, лишайників – 37 %, трав'яних решток кунічника – 16 %, опаді із соснової хвої – 23 % [47].

При умові, якщо зона полум'я перебуває поза шаром ГМ, то використання тепла на підготовку ГМ до загоряння становить 4–5 %, а тому критичний вміст вологи є низьким, і становить приблизно 25 %. Використання тепла на підготовку ГМ до займання може досягати 60 % під час підземних торф'яних пожеж, внаслідок чого критичний вміст вологи становить 400–500 % [2]; при відкритому тліні критичний вміст вологи зменшується до 200 % [34]. Критичний вміст вологи ГМ, що горять при низових пожежах різної інтенсивності, у найбільш пожежонебезпечних типах лісу представлено у табл. 3.12 [29].

Таблиця 3.12

**Критичний вміст вологи ГМ, які згоряють під час низової пожежі
(за С.М. Вонським)**

Вид ГМ	Критичний вміст вологи ГМ (% сирої маси) у типах лісу		
	сухий сосновий бір (А ₁ С)	вологий сосновий бір (А ₃ С)	сирий сосновий бір (А ₄ С)
Верес	42,7–55,7		43,0–48,8
Багно			52,3–59,7
Брусниця	45,4–57,0	48,4–55,5	50,0–54,0
Вероніка			43,0–56,0
Лишайники	7,7–34,6		
Зелені мохи	9,4–33,0	9,3–32,3	10,0–29,0
Сфагн			17,0–32,2

У вищенаведених типах лісу критичний вміст вологи для мохів і лишайників разом з опадом не перевищує 35 %. Для кущиків (багно, верес, брусниця та ін.) критичний вміст вологи досягає 60 %, що обумовлено великою концентрацією смол та ефірних масел у тканинах рослин. Якщо з-під кущиків прибрати лишайники і мохи з опадом, то полум'я по кущиках не буде поширюватися [65].

Отже, кущики здатні лише підсилувати інтенсивність пожежі. Під час лісових пожеж горять ті рослини із ЖНП, які мають вологість нижче критичної межі. Це відбувається внаслідок неоднорідності ГМ за їх вологістю.

Швидкість висихання різних видів ГМ має істотні відмінності. За даними І.С. Мелехова [74], плеуроцій Шребера висихає за 48 год з 1545 до 30 %, у той час як лишайники можуть висихати з 153 до 17 % за 12 годин. За дослідженнями В.Г. Нестерова [89], вологість (W) лишайників і мохів зменшується із збільшенням показника горимості (Г) за рівнянням гіперболи:

$$W = a/\Gamma + b \quad (3.4)$$

Такий зв'язок М.П. Курбатський [63] запропонував виражати рівнянням прямої:

$$W = a \cdot Z + b, \quad (3.5)$$

де $Z = 1/\Gamma$

Використовуючи дослідження В.Г. Нестерова, М.П. Курбатський [63] визначив значення коефіцієнтів для лишайників ($a = 27068$, $b = 7$), опаду ($a = 17474$, $b = 6$), зелених мохів ($a = 63621$, $b = 8$), сфагну ($a = 33843$, $b = 7$) і рунянки ($a = 110533$, $b = 10$). Коефіцієнти, які визначив М.А. Софронов [119] для опаду і мохів, показують, що швидкість висихання залежить не тільки від виду ГМ, але також і від його запасу та умов висихання (порою року, характером деревостану, місцем розташування і т.п.).

Характерні лінії висихання різних типів ОПГ наведені на рис. 3.3.

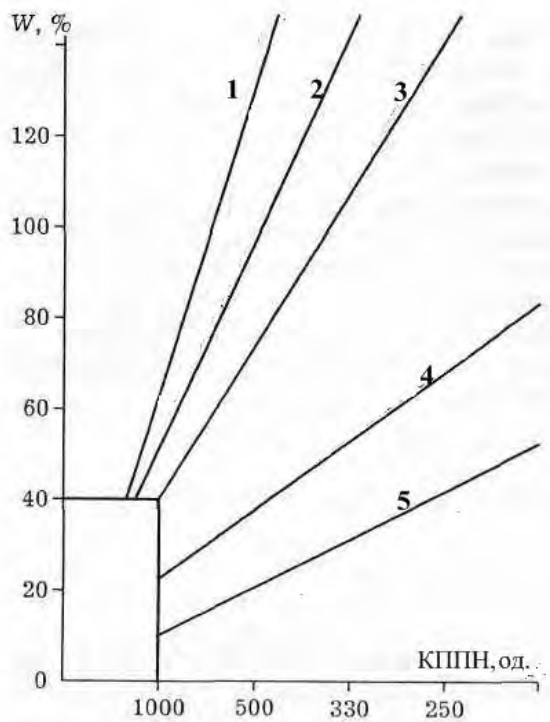


Рис. 3.3. Вміст вологи (W) у різних типах ОПГ залежно від комплексного показника пожежної небезпеки за умов погоди (КППН):
 1 – вологомоховий тип ОПГ потужністю 6–8 см;
 2 – щільноопадовий тип ОПГ потужністю 1 см;
 3 – сухомоховий тип ОПГ потужністю 5–7 см;
 4 – лишайниковий тип ОПГ потужністю 5–7 см;
 5 – рихлоопадовий тип ОПГ потужністю 1,0–1,5 см.

Для розрахунку комплексного показника пожежної небезпеки за умовами погоди В.Г. Нестеров [89], прийняв величину опадів у 5 мм. Нині для розрахунку комплексного показника ця величина зменшена до 3 мм.

Чинниками висихання, які враховують для оцінювання пожежної небезпеки є: 1) температура повітря о 13–14 годинах; 2) характеристика вологості повітря (температура точки роси, дефіцит вологості); 3) тривалість періоду без дощу.

Для оцінки висихання верхнього шару (товщиною 1,2 см) еталонного ГМ у канадській системі FWI враховуються: 1) температура повітря; 2) відносна вологість повітря о 12–13 годинах; 3) тривалість періоду без дощу; 4) вітер на висоті 10 м відкритого простору.

Основні провідники горіння – це комплекси у вигляді шарів різної щільності. При незначній щільності шару ($0,3\text{--}0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$), коли він представлений з відмерлих злакових або осокових рослин, пошарова різниця у швидкості висихання і зволоження відсутня. Ці розходження бувають дуже великі при високій щільності шару. Для розрахунків швидкості поширення горіння і його інтенсивності та для точної оцінки можливості горіння ділянок

рослинності, необхідно досліджувати динаміку пошарового зволоження і висихання ОПГ. Максимальний вміст води нижнього підшару лишайників становить 300 %, а верхнього – 180 %. При 5 мм дощу відбувається насичення лишайників. Максимальний вміст води лісової підстилки становить 162 %, а соснового опаду не перевищує 105 %. Насичення лісової підстилки спостерігається під час опадів близько 15 мм, а висохлого шару опаду – при 3–4 мм. Коли йде дощ, то частина води одразу ж проникає в нижню частину шару опаду або підстилки. Це зменшує контрастність пошарового зволоження. Цьому сприяють крупність крапель і швидкість, з якою вони падають та рихлість шару.

За літературними даними [115], зволоження дощами лишайників і зелених мохів відбувається „порційно” (табл. 3.13) [25]. Короткочасний сильний дощ, інтенсивністю до 25 мм, не в змозі повністю звожити висохлий надґрунтовий покрив. Якщо надґрунтовий покрив не перебуває у стані повного насичення, то розмір цих „порцій, що поглинаються,” залежить від кількості опадів. Кількість води, яка поглинається мохами, спочатку зростає, а потім, починаючи з 5 мм опадів, знижується. Це відбувається тому, що вода насичує спочатку покрив за рахунок змочування його часток з поверхні, а всередину часток вона проникає порівняно повільно. При кількості рідких опадів – 7 мм досягається повне змочування мохів зовні.

Під час дощів вода поглинається спочатку ЖНП, а частина води просочується у підстилку. Тому при невеликих дощах зволожується, як правило, верхній підшар ЖНП, а лісова підстилка залишається відносно висохлою.

Після рясних опадів висихання верхнього шару лишайникового покриву з 150–160 % до 40 % (коли він може загорятися) спостерігається після 8–12 годин (крім нічного часу з 21 до 7 годин). Стійке горіння мохів спостерігається на 5–6 день після дощу, тоді як поверхня мохів може обгоряти на 2–3 день після дощу. Верхівки мохів підсихають при сонячній погоді і можуть обгоряти при загорянні.

На 5–6 день після дощу верхній 2-сантиметровий шар мохів висихає до 20–40 % вологості, але горіння ще не може поширюватися. Горіння може спостерігатися тільки на 6–7 день після дощу. За дослідженнями І.С. Мелехова

[74] плеуроцій Шребера може набувати горимого стану (30 %) за 48 годин після дощу. Висихання 2-сантиметрового опаду сосни від 100 % до 30 % спостерігається за 8–10 годин після дощу.

Дощ поглинається покривом з лишайників, мохів і опаду пошарово. За малої кількості опадів нижні частини шару є сухішими, порівняно з верхніми. Із збільшенням кількості опадів їх частина, що поглинається надґрунтовим покривом, зменшується. Швидкість пошарового висихання від поверхні в глибину не залежить від товщини опаду або мохового покриву. Внаслідок цього у провідників одного виду, різних за запасом, спостерігається однаковий час появи готовності до горіння, і зростання активного запасу, який горить (активного).

3.6.4. Теплотворна здатність лісових горючих матеріалів

Під час горіння одночасно з утворенням продуктів згорання виділяється тепло. Вищою теплотворною здатністю є кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг ГМ в абсолютно сухому стані.

Під час горіння вологих ГМ частина тепла витрачається на випаровування вологи, яка знаходиться в них. У такому випадку кількість теплоти, що виділяється під час горіння, буде меншим, ніж від горіння сухих ГМ. У такому випадку теплотворну здатність ГМ називають нижчою. Отже, вища теплотворна здатність є більше нижчої на кількість теплоти випаровування вологи. Одиницею теплотворної здатності є калорія, що рівна кількості теплоти, яка потрібна для нагрівання 1 кг води на 1 °С у межах температур від 14,5 до 15,5 °С [4].

Вищу теплотворну здатність (Q_v) ГМ можна визначити калориметричним методом або емпіричним шляхом на основі їх елементарного складу. Для деревини вищу теплотворну здатність можна визначити за формулою:

$$Q_v = \frac{8137 C + 3418 O (H - O)}{100}, \quad (3.6)$$

де: С, Н і О – вуглець, водень, кисень, що знаходиться в сухій деревині, %.

Таблиця 3.13

**Зміна вмісту вологи ЖНП і лісової підстилки у дренованих соснових насадженнях зімкнутістю 0,7–0,8 після
випадання дощу**

Вміст вологи до випадання дощу, %	Добова величина дощу на відкритому просторі, мм															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40
	Вміст вологи ЖНП із зелених мохів (%) після випадання дощу															
190	220	230	260	290	310	345	380	380								
120	145	180	205	230	260	280	290	300	305	310	325	350	375	380		
80	110	140	170	205	230	245	265	270	280	285	290	315	325	335	345	350
65	75	110	145	180	200	220	230	235	240	245	260	270	285	290	300	310
35	50	80	120	160	180	195	205	210	215	220	235	245	255	265	270	275
25	35	65	100	140	165	180	190	195	200	205	210	225	235	245	255	265
15	25	50	90	120	155	160	175	180	185	190	200	210	225	235	240	245
	Вміст вологи лісової підстилки (%) після випадання дощу															
190					194	200	205	212	218	224	245	257				
120					130	135	145	155	165	170	190	205	218	220	224	233
80					85	95	115	125	130	135	165	175	185	190	195	200
65					70	75	80	90	95	100	115	120	130	140	145	150

Для встановлення теплового балансу при горінні у лісових насадженнях більше значення має нижча теплотворна здатність (Q_n). Остання відповідає вологості ГМ, які знаходяться у насадженнях. Швидкість підготовки ГМ до займання та швидкість поширення пожежі по лісовій ділянці залежать від кількості тепла, що виділяється при горінні. Для деревини її можна визначити за формулою:

$$Q_n = 81 C + 246 H - 26 O - 6 W, \quad (3.7)$$

де W – процентний вміст вологи в деревині.

Теплотворну здатність ГМ можна визначати не за вищенаведеними формулами, а з використанням спеціального приладу – калориметричної бомби. Під час спалювання зразка в бомбі теплота, яка виділяється, передається воді калориметричної посудини, температура якої вимірюється з високою точністю. Дослідженню теплотворної здатності ЛГМ присвячено багато робіт [2, 29, 129]. Амосов Г.А. [2] наводить більш повні дані про вищу та нижчу теплотворну здатність основних видів ГМ (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

**Теплотворна здатність різних видів горючих матеріалів
(за Г.А. Амосовим), кДж·кг⁻¹**

Вид ГМ	Q_b	Q_n при мінімальній вологості
Молода соснова хвоя	21750	13500
Ялинова хвоя	20600	10800
Кладонія (лишайник)	17800	12400
Плеуроцій Шребера	20000	12500
Верес	22400	13300
Брусниця	21500	11800
Багно звичайне	22600	12500
Сосновий опад	21600	—
Сухі папоротеподібні трав'яні рослини	17000	—
Лісова підстилка	18200	11000
Торф	21100	13200

ЛГМ є однорідними за теплотою згоряння (17–21 МДж·кг⁻¹). Це пояснюється подібністю їх хімічного складу, у середньому С₆Н₉О₄. Виключенням є смолисті лісові горючі матеріали (засмолені пні і т.п.). Виділення тепла горючими матеріалами залежить від вмісту в них вологи, структури шарів, місця розташування їх у лісі, умов та характеру їх горіння і т.п.

У процесі горіння під час низових пожеж середньої інтенсивності приймає пасивну або активну участь не більше 10 % горючих матеріалів від їх сумарного запасу у лісі.

Якщо горіння переходить у насадження з ЖНП із багна звичайного, то його інтенсивність різко зростає. При цьому виділяється темний та щільний дим, у якому містяться продукти згоряння ефірних олій. Швидкість розповсюдження вогню значно знижується, якщо вогонь на своєму шляху зустрічає ділянки з ЖНП із папоротеподібних трав'яних рослин.

Залежно від вмісту в деревині живиці, теплотворна здатність деревини кожного деревного виду є різною. Так в 1 м³ соснової деревини вміст живиці складає 48 кг, модрина – 42 кг, ялиці – 10 кг, ялини – 17 кг. Отже, деревина ялиці містить найменше смоли. Хвоя ялиці є вогнебезпечною, бо містить більше терпентину (19 %), ніж у соснової хвої – 13,6 %. Теплотворна здатність соснової живиці складає 35000 кДж·кг⁻¹ [4].

За дослідженнями І.С. Мелехова [71], в зоні пожежної підсушини смолистість деревини сосни згодом (через п'ять років після пожежі) збільшується з 14 до 31 %. Тому ділянки, у яких була пожежа, характеризуються підвищеною пожежною небезпекою. Теплотворна здатність у деревини сосни, яка уражена грибом *Peridermium pini* (Willd.) Lev.et Kleb. (який збільшує захисну реакцію смоловиділення) є вищою, ніж у здорової соснової деревини (табл. 3.15) [15].

Вища теплотворна здатність соснової деревини є прямопропорційною в ній вмісту смоли. Ось чому уражені грибом *Peridermium pini* (Willd.) Lev.et Kleb. або запідсочені соснові насадження відносяться до найбільш пожежонебезпечних ділянок.

**Вища теплотворна здатність здорової та ураженої деревини сосни грибом
Peridermium pini (Willd.) Lev.et Kleb.**

Деревина	Смолистість, %	Вища теплотворна здатність	
		ккал·кг ⁻¹	%
Здорова	2,4	4872	100
Уражена	13,5	5323	109,26
	20,0	5645	115,8
	45,3	6253	127,34

Зміни нижчої теплотворної здатності ГМ спостерігаються при зміні їх вологості. Якщо вологість лісової підстилки і лишайників збільшується з 3–6 до 40 %, то це призводить до зниження теплотворної здатності цих ГМ на 30 %. За даними Г.А. Амосова [2], сильне зниження нижчої теплотворної здатності 1 кг ЛГМ із збільшенням їх вологості не призводить до сильного зниження теплотворної здатності маси ГМ на лісовій площі.

При змінах вологості на ділянці запас сухої частини ГМ залишається незмінною. При цьому витрати тепла на випаровування додаткової вологи складають наближено 6 % при зростанні вологості на 50 %. Зниження інтенсивності вогню у насадженні із зростанням вологості ГМ пов'язано не із зниженням його теплотворної здатності, а із зникненням частини ГМ із процесу горіння при зростанні вологості.

Вонський С.М. [29] вказує, що у сухому сосновому бору (А₁С) запас ГМ з віком стає більшим, а теплотворна здатність має пряmolінійну залежність і зростає з 14500 кДж·кг⁻¹ у II класі віку до 32000 кДж·кг⁻¹ у VII класі віку. Залежність є нелінійною в інших типах лісу.

При пожежі пожежі в лісовому насадженні ми маємо справу не з горінням одного якого-небудь виду ГМ, а з комплексом різних ГМ. Тому для вирішення практичних задач, необхідно мати дані про сумарну теплотворну здатність усіх ГМ у даному типі лісу.

3.6.5. Запас горючих матеріалів у лісах зони відчуження Чорнобильської АЕС

3.6.5.1. Коротка характеристика лісів зони відчуження

Ліси зони відчуження Чорнобильської АЕС загальною площею 240570 га знаходяться на території державного спеціалізованого комплексного підприємства (ДСКП) «Чорнобильська Пуща». Останнє складається з семи лісництв [100]. Площа лісових ділянок ДСКП становить 211,4 тис. га (83,1 %), а нелісових – 29,2 тис. га (12,1 %). Площа вкритих лісовою рослинністю ділянок становить 151,0 тис. га (74,1 %). Площа неvkритих лісовою рослинністю ділянок становить 60,4 тис. га (25,9 %). Перелогам з багаторічною трав'яною рослинністю та природним поновленням лісу належить більша частина неvkритих лісовою рослинністю ділянок – 93,2 % (56,3 тис. га). Цю особливість потрібно враховувати при організації охорони лісів від природних пожеж. Тому, що ГМ перелогів характеризуються високою пожежною небезпекою, ніж ГМ у лісових насадженнях.

Склад деревних порід є одним з основних факторів, від якого залежить природна пожежна небезпека поряд із ТЛУ, категорією ділянок та віком насадження. Лісові насадження ДСКП «Чорнобильська Пуща» належать до лісів Центрального Полісся України і характеризуються типовим для цієї зони поділом лісових насаджень за групами деревних видів: хвойні – 89,9 тис. га (59,5 % вкритих лісовою рослинністю ділянок), твердолистяні – 8,2 тис. га (5,4 %), м'яколистяні – 52,9 тис. га (35,1 %).

Сосна звичайна є найбільш поширеним деревним видом у лісових насадженнях ДСКП. Площа соснових насаджень складає 89,7 тис. га (59,4 %), а загальний запас 24,6 млн. м³ (73,2 %). Площа насаджень берези повислої становить 38,8 тис. га (25,7 %), а запасом її деревини – 4,9 млн. м³ (14,6 %). Якщо участь сосни у складі деревостану не перевищує 4–5 одиниць, то березняки характеризуються низькою пожежною небезпекою. В якості елементів

протипожежних бар'єрів можуть використовуватись насадження вільхи чорної (6,6 % вкритих лісовою рослинністю ділянок; 5,8 % запасу), дуба звичайного (4,7 % вкритих лісовою рослинністю ділянок; 4,6 % запасу) та інших деревних видів, які є відносно стійкими до пожеж.

Площа соснових насаджень, які уражені кореневою губкою становить 12,3 тис. га (8,3 % вкритих лісовою рослинністю ділянок). Насадження, які мають сильний ступінь ураження має 8,5 %, середній – 46,5 %, слабкий – 45,1 % вищевказаної площі. Відносна повнота уражених соснових насаджень – 0,82, а середній вік – 51 рік. У лісовому фонді ДСКП деревостанам з повнотою 0,7–0,8 належить 57,9 % вкритих лісовою рослинністю ділянок. У випадку наявності ураження їх кореневою губкою або шкідниками лісу, пожежна небезпека у таких насадженнях зростає.

У лісах ДСКП «Чорнобильська Пуща» переважають насадження середнього віку (61,9 % вкритих лісовою рослинністю ділянок). Молоднякам належить 17,3 %, пристигаючим насадженням – 11,9 %, стиглим та перестійним – 8,9 % [100]. Молодняки та середньовікові деревостани мають переважно штучне походження. У ДСКП «Чорнобильська Пуща» переважаючими ТЛЮ є свіжий бір (A_2), свіжий суббір (B_2) та вологий суббір (B_3) (табл. 3.16), які належать, у більшості випадків, до першого та другого класів природної пожежної небезпеки.

Важливою умовою для визначення ймовірності виникнення катастрофічної пожежі є санітарний стан лісових насаджень та їх захаращеність. Вид пожежі та її характеристики залежать від особливостей ЛГМ. На лісових ділянках, які мають щільність забруднення радіонуклідами більше $15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^{-2}$, забороняється проведення лісогосподарських заходів. Збільшення інтенсивності внутрішньовидової конкуренції і стагнації росту дерев відбувається внаслідок відсутності рубок догляду. У лісах зони відчуження накопичується значна кількість ослаблених (8–23 %) і сухостійних (10–37 %) дерев, погіршується ценотична структура лісових насаджень. У найближчі роки загальний потенційний відпад у лісах зони відчуження досягне 9–26 м^3 на одному гектарі.

**Розподіл площі, вкритої лісовою рослинністю ділянок ДСКП «Чорнобильська
Пуща» за ТЛУ**

Тро- фотоп	Од. ви- міру	Ступінь зволоження ґрунту						Разом
		0	1	2	3	4	5	
А	га	181,5	4368,8	24957,3	1884,6	142,4	18,0	31552,6
	%	0,1	2,9	16,5	1,2	0,1	0,0	20,9
В	га	0,0	261,7	49748,1	30837,4	4074,3	525,6	85447,1
	%	0,0	0,2	32,9	20,4	2,7	0,3	56,6
С	га	0,0	94,0	4 914,2	17759,2	10558,5	442,3	33768,2
	%	0,0	0,1	3,3	11,8	7,0	0,3	22,4
D	га	0,0	0,0	16,0	144,3	77,4	0,0	237,7
	%	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2
Всього	га	181,5	4724,5	79635,6	50625,5	14852,6	985,9	151005,6
	%	0,1	3,1	52,7	33,5	9,8	0,7	100,0

За період з 1993 по 2011 рр. у зоні відчуження зареєстровано 1035 випадків пожеж на площі понад 2600 га. Це свідчить про постійну наявність джерел займання та високу пожежну небезпеку на радіоактивно забруднених ділянках. Середня площа пожежі у зоні відчуження складає 2,54 га. Ця площа перевищує середню площу пожежі (1,0 га) у лісах Держлісагентства України [220]. Така ситуація пояснюється низькою у 5–6 разів питомою кількістю лісової охорони у зоні відчуження, обмеженістю фінансування охорони лісів від пожеж та ін.

3.6.5.2. Запас наземних лісових горючих матеріалів

Лісові насадження зони відчуження Чорнобильської АЕС характеризуються високою пожежною небезпекою. Це пов'язано з обмеженим проведенням лісогосподарських заходів, у зв'язку з високим рівнем забруднення радіоактивними речовинами.

Важливою складовою ефективної системи охорони лісів є відомості про запас та фракційний склад наземних ЛГМ, як головних чинників, що визначають поведінку пожежі. Пожежа у лісі починається із загоряння дрібного опаду,

підстилки або ЖНП, які належать до групи наземних лісових горючих матеріалів.

Точніше прогнозувати головні характеристики лісової пожежі і її наслідки, планувати заходи по її гасінню можна тоді, коли відомі запас і склад наземних лісових горючих матеріалів. У найбільш поширених ТЛУ зони відчуження нами було встановлено запас наземних ЛГМ.

Запас наземних ЛГМ залежить від ряду факторів: вік та санітарний стан насадження, ТЛУ тощо. Збір та обробку даних виконували з використанням методики на базі програмного забезпечення FIREMON [169, 170]. Запас наземних ЛГМ у чистих насадженнях сосни свіжих борів (A_2) та субборів (B_2) наведено у табл. 3.17.

Таблиця 3.17

Запас наземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових насадженнях свіжих борів (A_2) та субборів (B_2)

ТЛУ	Вік деревостану, роки	Середні		Повнота	Запас, $m^3 \cdot га^{-1}$	Кількість дерев на 1 га, шт.	Товщина лісової підстилки, см	Запас підстилки, $t \cdot га^{-1}$	Запас деревного відпаду, $t \cdot га^{-1}$	Запас ЖНП, $t \cdot га^{-1}$
		діаметр (D), см	висота (H), м							
A_2	22	12,8	13,0	0,70	198	1670	4,2	7,5	4,5	0,15
	37	10,2	11,5	1,06	206	3617	8,5	24,0	5,5	0,10
	37	9,8	11,2	0,98	199	4080	5,4	11,0	2,0	0,00
	40	13,9	14,5	1,17	353	2850	4,7	10,5	7,5	0,25
	40	13,0	13,9	1,22	315	3080	8,3	15,0	2,5	0,40
	44	17,7	17,0	1,10	407	1670	6,9	15,0	10,5	0,10
	48	15,5	15,5	1,16	379	2213	7,3	21,5	7,0	0,04
	53	21,3	20,0	1,10	468	1300	9,2	19,5	11,0	0,10
	53	14,8	17,2	1,20	393	2520	1,9	5,0	6,0	0,55
	58	13,6	16,8	1,10	361	2640	8,3	17,5	4,0	0,29
	60	14,5	15,8	1,15	329	2360	1,4	2,5	4,5	0,40
	64	19,3	18,5	1,10	405	1417	9,8	23,5	8,0	0,11
70	20,2	20,0	1,03	397	1210	8,3	20,0	2,5	0,16	

ТЛУ	Вік деревостану, роки	Середні		Повноота	Запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Кількість дерев на 1 га, шт.	Товщина лісової підстилки, см	Запас підстилки, $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	Запас деревного випаду, $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	Запас ЖНП, $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$
		діа- метр (D), см	висо- та (H), м							
В ₂	38	11,7	13,7	1,00	263	3080	3,8	9,5	4,5	0,31
	40	11,7	11,8	1,00	194	2880	5,7	14,0	4,0	0,29
	40	12,4	15,2	1,02	307	3000	7,1	16,5	4,0	0,32
	42	12,3	14,8	1,01	278	2620	6,8	16,0	6,0	0,25
	44	19,6	19,0	1,06	453	1510	11,6	30,0	10,5	0,25
	47	15,4	18,0	1,07	385	1800	9,8	24,5	10,5	0,55
	50	14,1	16,4	1,01	321	2260	3,0	8,5	8,5	0,58
	52	16,5	18,8	1,10	435	1940	7,8	16,5	8,5	0,28
	53	14,7	18,4	0,91	310	1910	4,5	11,5	6,5	0,37
	55	25,3	22,0	1,09	509	928	9,7	23,0	7,0	0,20
	60	19,8	19,0	1,15	449	1342	8,0	21,0	6,0	0,25
	64	18,1	18,6	1,11	400	1540	8,8	19,0	5,5	0,24
65	28,1	25,8	1,33	761	827	8,8	27,5	7,5	0,90	

На запас наземних лісових горючих матеріалів та їх фракційний склад впливають багатство та вологість ґрунту, вік деревостану. Запас наземних лісових горючих матеріалів збільшується із покращенням багатства ґрунту (рис. 3.4). Це пояснюється тим, що зростає запас лісової підстилки і ЖНП.

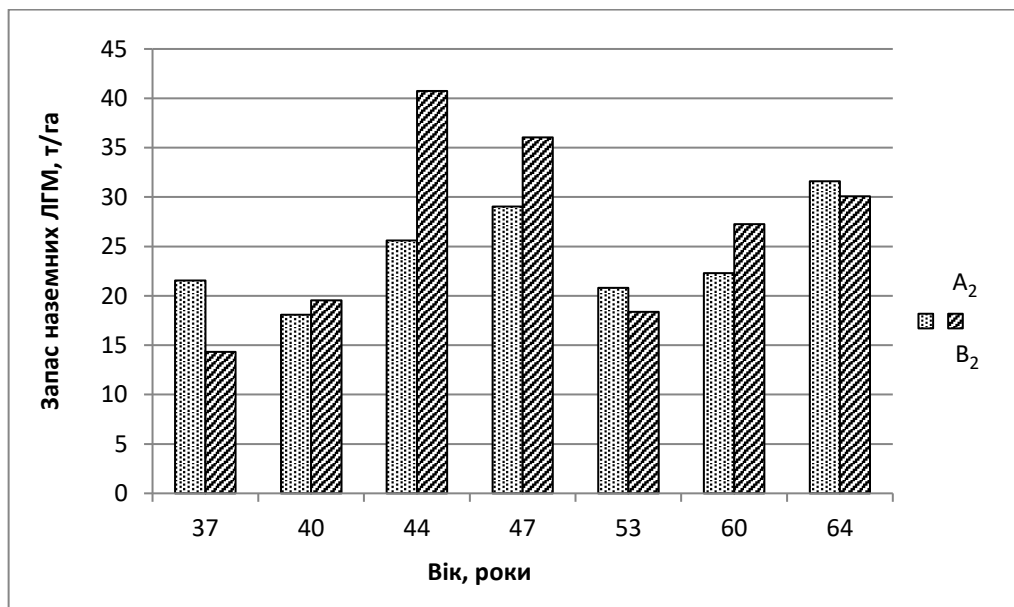


Рис. 3.4. Запас наземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових насадженнях різного віку свіжого бору (A₂) та свіжого субору (B₂)

У свіжих суборах (B_2) загальний запас наземних лісових горючих матеріалів більший на 16 %, ніж у свіжих борах (A_2). Різниця у запасі наземних лісових горючих матеріалів має значні коливання. У віці насадження 53 роки ця різниця становить 7 %, а у 44 роки ця різниця становить 37 %. Такі коливання запасу наземних лісових горючих матеріалів спостерігаються завдяки лісівницьким особливостям окремого насадження (санітарний стан дерев, повнота, пошкодження шкідливими комахами та хворобами лісу, ЖНП тощо). Так, за однакових ТЛУ та віці деревостанів різниця запасу наземних лісових горючих матеріалів може становити 45 %. При цьому лісова підстилка може становити більше 70 % загального запасу наземних лісових горючих матеріалів.

Запас лісової підстилки у свіжих суборах (B_2) вищий, ніж у свіжих борах (A_2), і становить у середньому 73,6 % і 71,8 % відповідно від загального запасу наземних лісових горючих матеріалів. У складі лісової підстилки свіжих борів (A_2) опад становить в середньому 52 %, ферментативний і гумусний горизонти – 48 %, а у суборах (B_2) – 32 % і 68 % – відповідно. Це обумовлюється різними процесами розкладання опадів і запасом ЖНП.

Крім загального запасу наземних лісових горючих матеріалів, що визначає під час пожежі інтенсивність горіння, потрібно також враховувати фракційний склад лісових горючих матеріалів (рис. 3.5).

У свіжих суборах спостерігається менший запас деревного відпаду (24,9 %), ніж у борах (27,5 %). Запас дрібних гілочок (1–hr $d < 0,6$ см) у свіжих суборах (B_2) і борах (A_2) є однаковим і становить у середньому 2,1 %. Запас частинок 10–hr і 1000–hr (гілочки $d = 0,6-2,54$ см і $d > 7,62$ см відповідно) більший у свіжих борах на 1–2 %, а частинок 100–hr (гілочки $d = 2,54-7,62$ см) більший у свіжих суборах на 0,6 %.

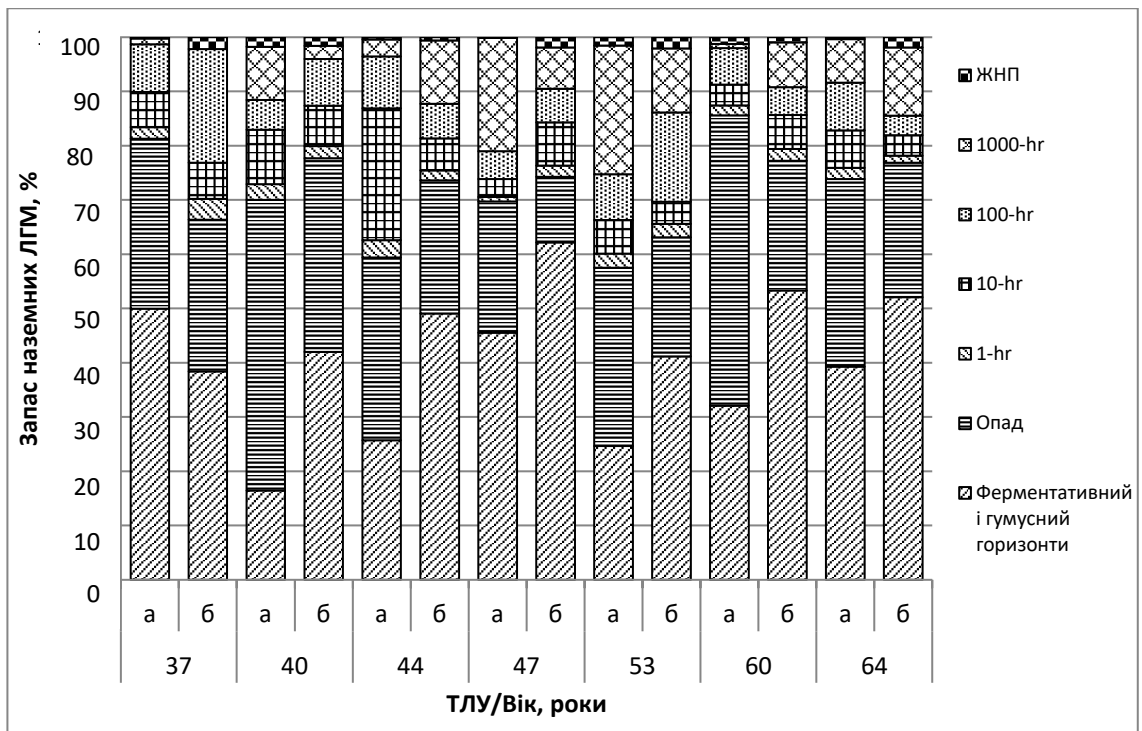


Рис. 3.5. Фракційний склад наземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах різного віку (а – свіжий бір (A_2); б – свіжий суббір (B_2))

Запас ЖНП (1,5 % загального запасу наземних лісових горючих матеріалів) у 2 рази більший у свіжих суборах (B_2), ніж у свіжих борах (A_2).

Запас наземних ЛГМ зростає із збільшенням віку деревостану (рис. 3.6). Це пояснюється, насамперед, накопиченням лісової підстилки з віком деревостану (рис. 3.7).

Із збільшенням віку деревостану зростання запасу наземних лісових горючих матеріалів є нерівномірним, особливо, у свіжих суборах (рис. 3.6). Це пояснюється лісівницькими особливостями кожного насадження. Завдяки збільшенню запасу хвої у кронах відбувається збільшення запасу лісової підстилки з віком (рис. 3.8) та зменшення швидкості її розкладання. Це пояснюється зміною реакції ґрунтового середовища завдяки його підкисленню хвойним опадом.

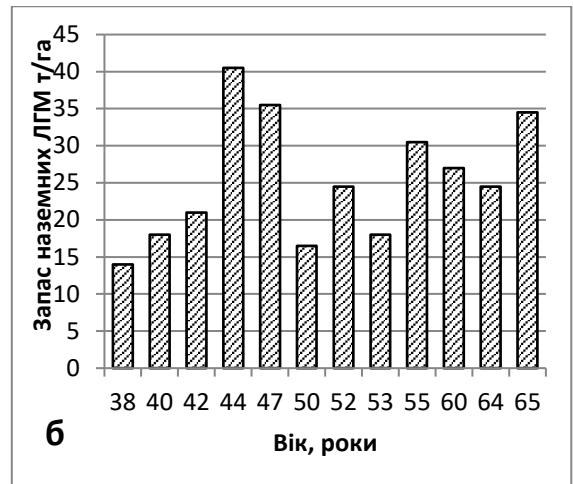
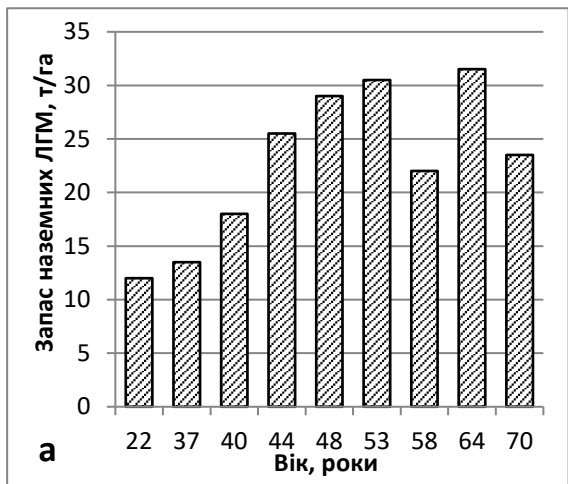


Рис. 3.6. Зміна запасу наземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах залежно від віку (а – свіжий бір (A₂); б – свіжий суббір (B₂))

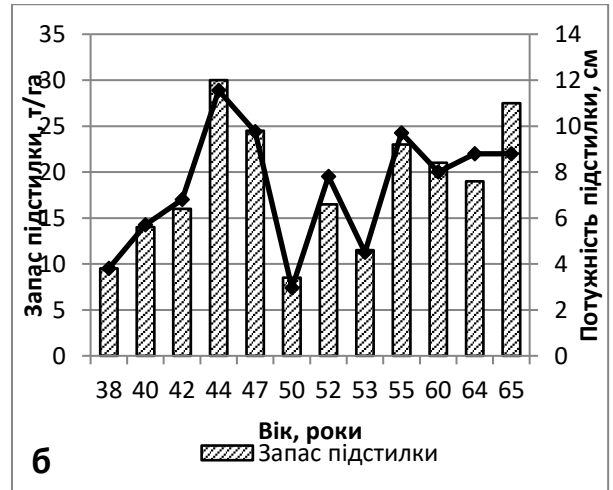
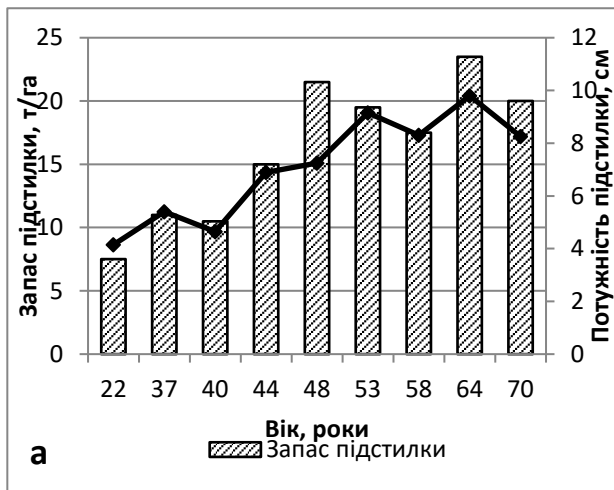


Рис. 3.7. Зміна запасу і потужності лісової підстилки у чистих соснових деревостанах залежно від віку (а – свіжий бір (A₂); б – свіжий суббір (B₂))

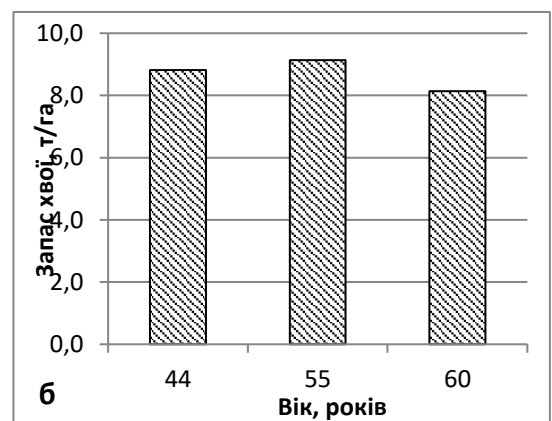
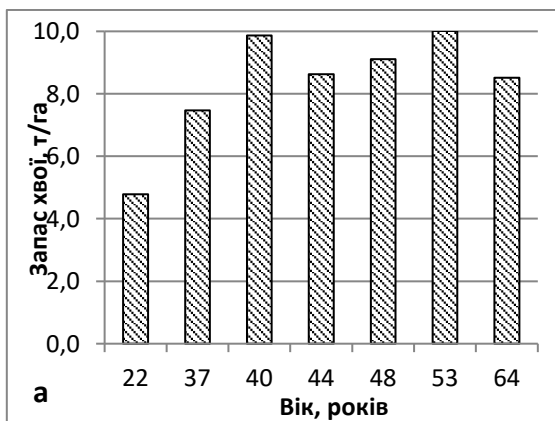


Рис. 3.8. Запас хвої у кронах чистих соснових деревостанів (а – свіжий бір (A₂); б – свіжий суббір (B₂))

Зниження активності ґрунтової мікро- та мезофауни спостерігається завдяки кислій реакції ґрунтового середовища. Типу лісорослинних умов і вік деревостану впливають на фракційний склад, потужність та запас лісової підстилки.

Зміна фракційного складу і збільшення запасу лісової підстилки спостерігаються із збільшенням віку деревостану та багатства ґрунту (рис. 3.9, 3.10).

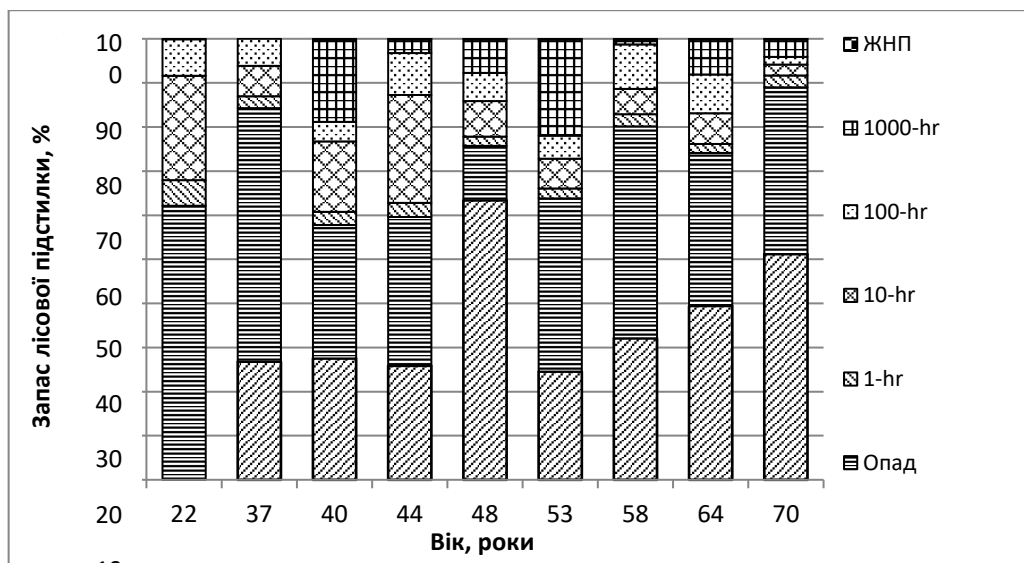


Рис. 3.9. Фракційний склад лісової підстилки у чистих соснових деревостанах свіжого бору (A₂)

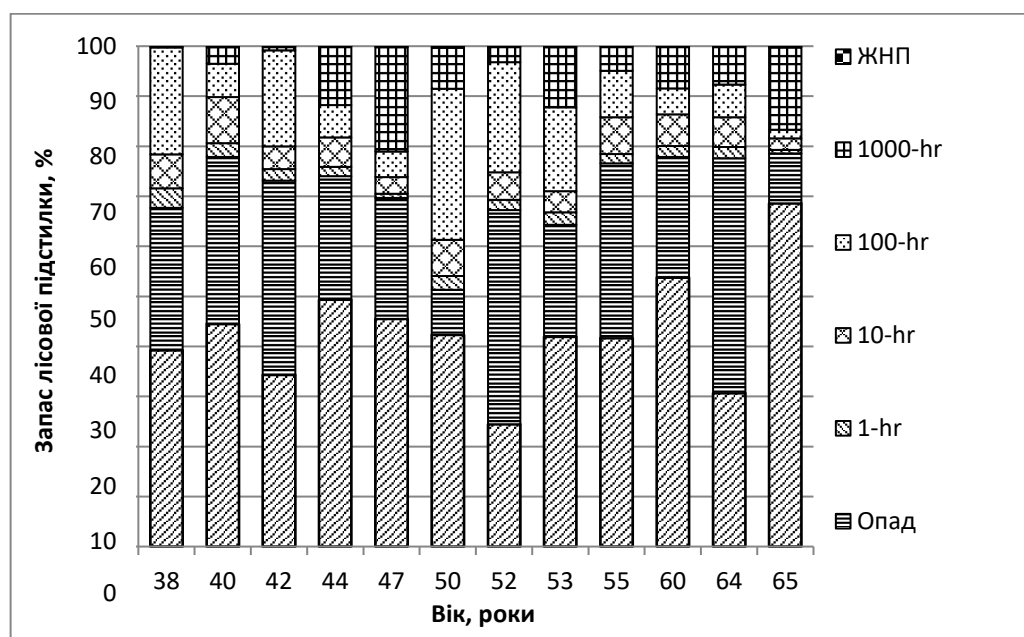


Рис. 3.10. Фракційний склад лісової підстилки у чистих соснових деревостанах свіжого субору (B₂)

У соснових деревостанах чистого складу 50–60-річного віку свіжого бору (A_2), участь фракції 1-hr у складі лісової підстилки знижується на 1–3 %, фракції 10-hr зменшується на 10–14 %, у порівнянні з 30-40-річними сосновими деревостанами. У складі лісової підстилки участь гумусного і ферментативного горизонтів збільшується з 25–30 % у віці 40 років, до 40–50 % у віці 60–70 років. Участь решти фракцій не має чіткого збільшення чи зменшення та часто змінюється в широких межах. Це обумовлюється відсутністю проведення доглядових рубань та збільшенням захаращеності у лісі. Подібна характеристика фракційного складу лісової підстилки спостерігається у свіжих суборах (B_2). Із збільшенням віку насадження спостерігається зниження участі у складі підстилки фракції 1-hr на 2–3 %, зростання участі ферментативного і гумусного горизонтів з 40–50 % у деревостанах 40–45 років до 55–65 % у деревостанах 60–65 років.

Інтенсивність та поведінку пожежі визначає фракційний склад лісової підстилки. Виникненню і поширенню рухливих пожеж низької або середньої інтенсивностей сприяє перевага дрібних фракцій у складі лісової підстилки. Розвитку стійких пожеж високої інтенсивності, що значною мірою впливають на пошкодження деревостану та емісію радіонуклідів під час пожежі сприяють перевага крупних фракцій та ферментативного і гумусного горизонтів лісової підстилки.

3.6.5.3. Запас надземних лісових горючих матеріалів

Для визначення запасу надземних лісових горючих матеріалів були побудовані моделі запасів їх фіто маси, що дозволяє дати оцінку фракційній структурі надземних лісових горючих матеріалів. Надземні ЛГМ поділяли на групи: деревина, деревна кора, листя (хвоя) у кронах дерев, гілки. Запас надземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах свіжих борів (A_2) та суборів (B_2) наведено на рис. 3.11.

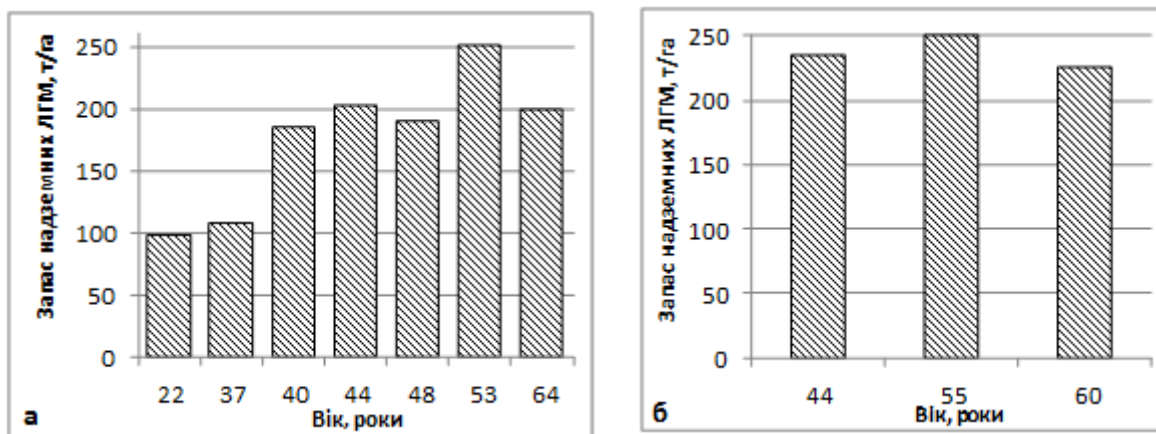


Рис. 3.11. Зміна запасу надземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах з віком (а – свіжий бір (A₂); б – свіжий суббір (B₂))

Запас надземних лісових горючих матеріалів зростає із збільшенням віку деревостану. Це процес є закономірним, який сприяє зростанню запасу фітомаси і не впливає на пожежну небезпеку у лісі. При верхових пожежах хвоя приймає активну участь у горінні. Крони дерев стають недосяжними для полум'я низових пожеж із збільшенням віку соснового насадження. Молодняки, які мають низько опущені крони, насадження низької повноти, насадження з густим підліском та підростом хвойних деревних видів є найбільш небезпечними. Фракційна структура надземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах свіжих борів (A₂) та суборів (B₂) представлена на рис. 3.12.

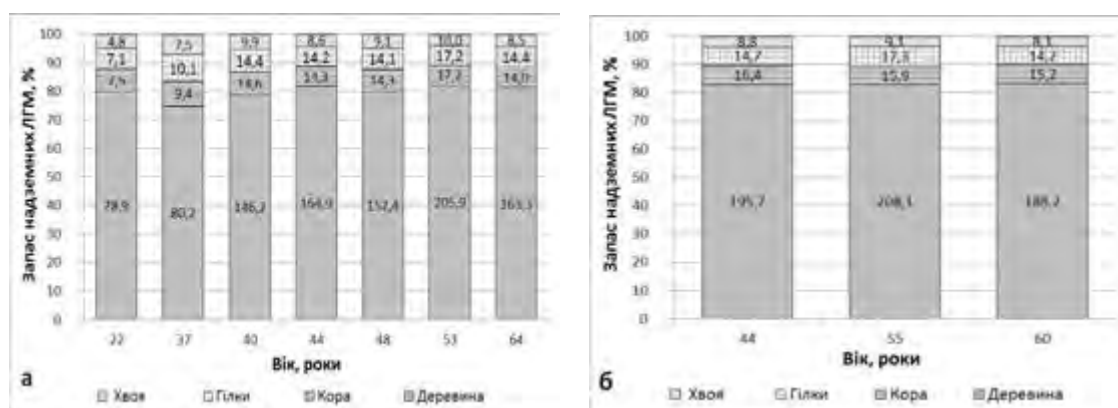


Рис. 3.12. Фракційна структура надземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових деревостанах (а – свіжий бір (A₂); б – свіжий суббір (B₂))

У складі надземних лісових горючих матеріалів деревина становить 75–85 % загального запасу горючих матеріалів. Хвоя у кронах дерев має найменший запас – 3,5–7 % ($5\text{--}10 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$). Хвоя виступає підтримувачем і провідником горіння під час верхових пожеж та головним джерелом емісії радіонуклідів. На фракційну структуру надземних лісових горючих матеріалів трофність ґрунту не має значного впливу. Моделі для визначення запасу фітомаси використовували з метою отримання загальної картини запасу і структури надземних лісових горючих матеріалів. Таким чином, було отримано загальний запас ГМ та їх щільність. Запас надземних лісових горючих матеріалів зростає до 9-10 класів віку, після чого знижується. Розподіл запасу надземних лісових горючих матеріалів відповідає закономірностям росту та розвитку деревостанів, коли до певного віку приріст дерев за об'ємом знижується, а відпад дерев зростає. Це сприяє зниженню загального запасу надземних лісових горючих матеріалів. У насадженнях з високою пожежною небезпекою (1-4 класи віку) запас надземних лісових горючих матеріалів досягає до $8 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ (рис. 3.13).

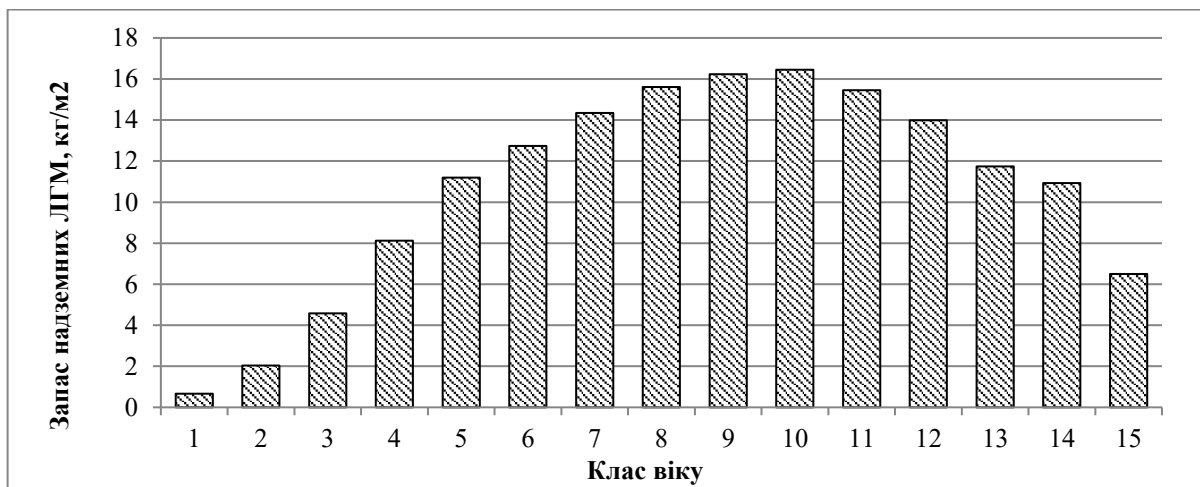


Рис. 3.13. Запас надземних лісових горючих матеріалів у соснових деревостанах за класами віку

Розподіл запасу надземних лісових горючих матеріалів за фракціями у розрізі класів віку наведено на рис. 3.14.

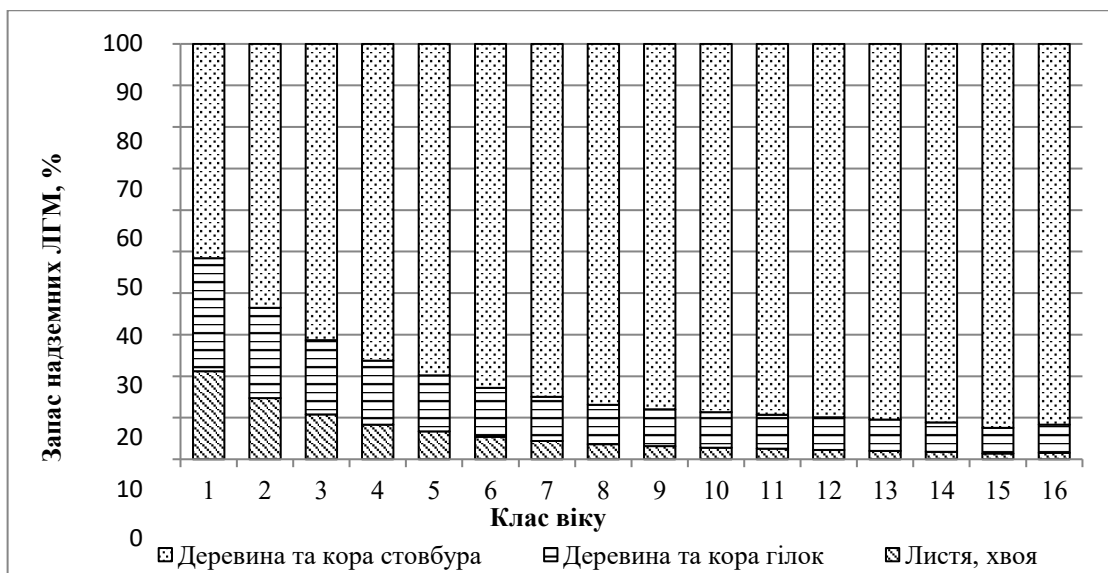


Рис. 3.14. Розподіл запасу надземних лісових горючих матеріалів по фракціях за класами віку

Фракційна структура надземних лісових горючих матеріалів змінюється із зростанням класу віку – зменшується участь деревини та кори гілок, хвої, у запасі надземних лісових горючих матеріалів. У молодих насадженнях запас хвої знижується з 22 % у першому класі віку до 8 % – у четвертому класі віку. Поширенню верхових пожеж сприяє збільшення хвої у кронах дерев.

Запас надземних лісових горючих матеріалів зростає із збільшенням повноти деревостану (рис. 3.15, 3.16). Це пояснюється меншою кількістю дерев у низькоповнотних деревостанах та більшою – у високоповнотних.

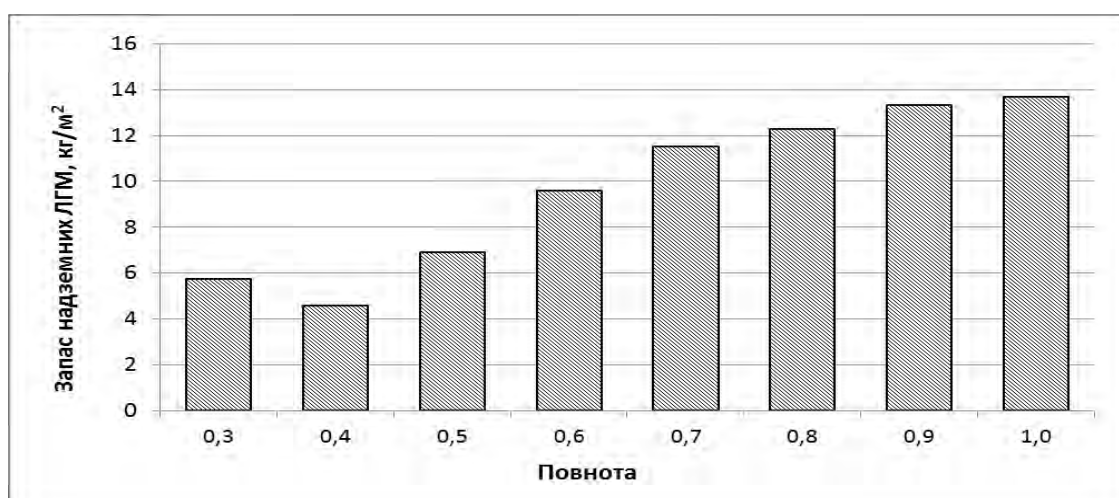


Рис. 3.15. Запас надземних лісових горючих матеріалів у соснових деревостанах різної повноти

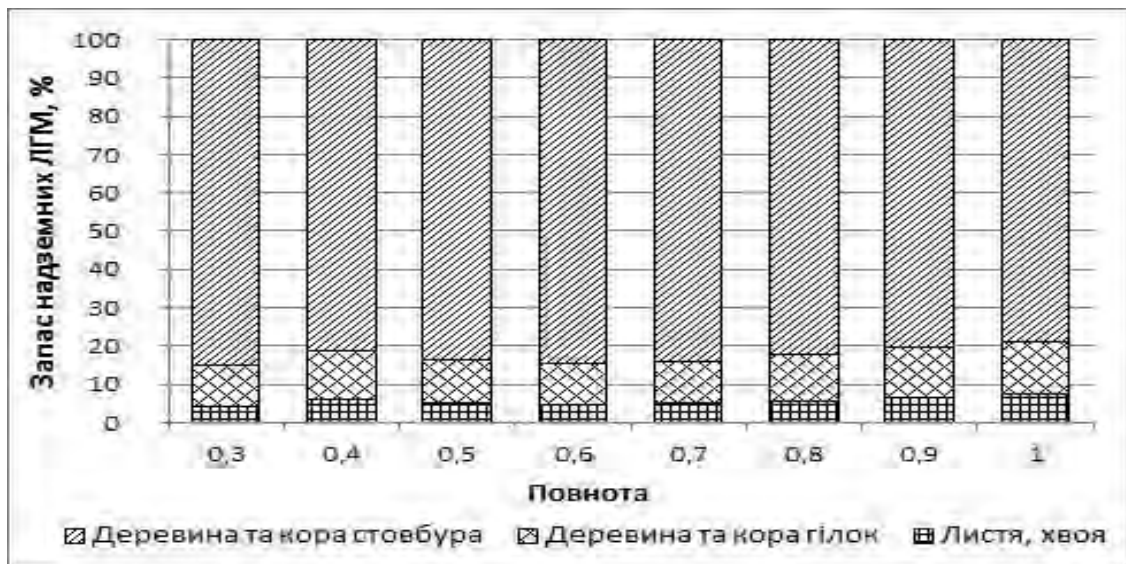


Рис. 3.16. Розподіл запасу надземних лісових горючих матеріалів по фракціях у соснових деревостанах різної повноти

У низькоповнотних деревостанах запас надземних лісових горючих матеріалів становить – 4,5–7,0 кг·м⁻², а у високоповнотних – 12–14 кг·м⁻². Підвищений ризик виникнення пожежі ранньою весною, в кінці літа та восени спостерігається у низькоповнотних деревостанах, які характеризуються низько опущеними кронами дерев і наявністю добре розвинутого ЖНП з осоково-злакової рослинності. У насадженнях низької повноти існує високий ризик переходу низових пожеж у верхові. Розподіл запасу надземних лісових горючих матеріалів по фракціях у соснових деревостанах різної повноти змінюється у незначних межах. Запас хвої змінюється в межах від 3 % до 7 %, кори й деревини гілок – від 8 % до 12 % та стовбура – від 79 % до 85 % запасу надземних лісових горючих матеріалів.

На пожежну небезпеку та перерозподіл радіонуклідів у лісових насадженнях впливає тип лісорослинних умов (рис. 3.17).

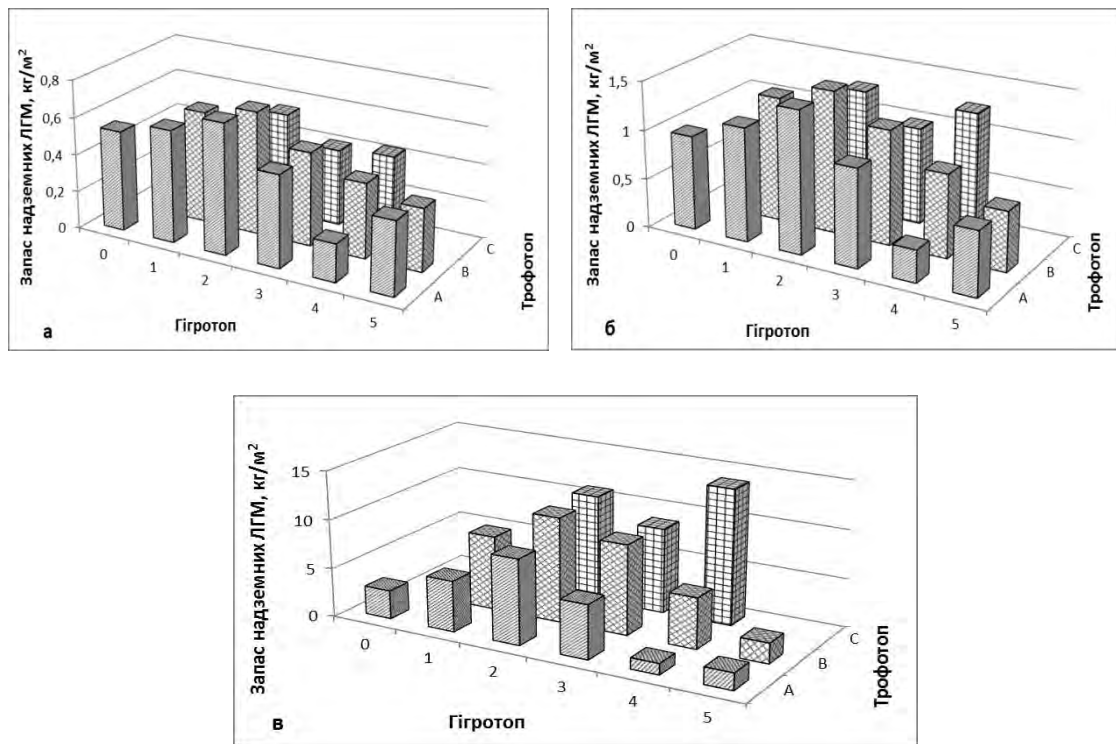


Рис. 3.17. Запас фракцій надземних лісових горючих матеріалів у соснових деревостанах різних ТЛУ (а – хвоя у кронах дерев; б – деревина та кора гілок; в – деревина та кора стовбура)

Запас усіх фракцій у соснових деревостанах збільшується із збільшенням ступеня вологості ґрунту від дуже сухого (0) до свіжого (2). Із збільшенням зволоженості ґрунту, запас фракцій надземних лісових горючих матеріалів зменшується. Це пояснюється різною продуктивністю соснових насаджень, яка є максимальною у свіжому (2) гіротопі та мінімальною у мокрому (5) гіротопі. Із збільшенням трофності ґрунту запас хвої у кронах дерев зменшується. У суборах спостерігається максимальний запас гілок.

Запас надземних лісових горючих матеріалів з віком збільшується із зростанням повноти деревостану і залежить від продуктивності деревостану та типу лісорослинних умов.

3.7. Запас горючих матеріалів у лісах гірського Криму

З точки зору охорони лісів від пожеж ліси гірського Криму відносяться до критичних регіонів України. Під загрозою лісових та польових пожеж

знаходиться 812 тис. га АР Крим (29,6 % її загальної площі). Особливо пожежонебезпечними ділянками республіки є її ліси, яким належить 331,2 тис. га (11 % площі АР Крим). Ялтинський гірсько-лісовий природний заповідник становить серйозну загрозу, де щорічно виникає близько 30 % пожеж від їх загальної кількості. Лісові насадження гірського Криму виконують важливі соціальні та рекреаційні функції та відіграють важливу роль у регулюванні водного балансу регіону. Щороку більше 5 мільйонів туристів відвідують Крим. Пожежі у гірських лісах завдають значних економічних та екологічних збитків, тому важливим є попередження виникнення лісових пожеж.

Дев'яносто два відсотки лісових насаджень АР Крим відносяться до гірських лісів. У лісах переважають листяні деревні види – дуб скельний *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. Та дуб пухнастий *Quercus pubescens* Willd. (57,1 % території), бук східний *Fagus orientalis* Lipsky (12,8 %) [96, 99]. Хвойні лісові насадження представлені сосною звичайною *Pinus sylvestris* L., сосною кримською *Pinus nigra var pallasiana* Lamb., сосною Станкевича *Pinus stankewiczii* (Sukacz.) Fomin, яким належить 19,8 % площі лісового фонду АР Крим. У хвойних лісових насадженнях виникає 84 % пожеж.

Виникненню пожеж, особливо сприяють природні умови південного берега Криму. АР Крим належить до одного з найбільш сонячних регіонів Східної Європи. Середньорічна тривалість сонячних днів у АР Крим складає 2180–2470 годин. Середньорічна температура повітря коливається від +5 °С до +8 °С. Середня температура липня складає +15,6 °С, а на південному березі – +21,2 °С. Тривалість періоду з температурою повітря більше +20 °С коливається від 70–80 днів до 88–103 днів на південному березі Криму. Змінний рельєф АР Крим впливає на розподіл опадів, які змінюються від 250 мм на рік у степу і до більше 1000 мм у гірській місцевості [96].

Висока горимість Ялтинського заповідника обумовлюється великою кількістю хвойних лісів – 50 % загальної площі заповідника, недостатнім проведенням лісгосподарських заходів на території заповідника та відвідуванням населення лісових насаджень.

Для удосконалення системи охорони лісів від пожеж та створення карт пожежних ризиків в Ялтинському гірсько-лісовому заповіднику було вивчено структуру лісових горючих матеріалів їх запас та створено відповідні моделі лісових горючих матеріалів. У зв'язку з великою трудомісткістю та зміною таксаційних показників лісових насаджень (вік – від 10 до більше 250 років та повнота від 0,3 до 1,0), для оцінки лісових горючих матеріалів у кожному насадженні закладали чотири площадки розміром 0,25 × 0,25 м. Площадки розміщали по кутах квадрата розміром 5,0 × 5,0 м. Опад на площадках розподіляли за розмірами згідно методики FIREMON та важили з точністю до 0,01 грама. Також визначали масу і потужність лісової підстилки. ЖНП розподіляли на живий або мертвий і визначали його масу. Встановлювали склад кущів та природного поновлення лісу висотою до 1 м з розподілом їх на мертві або живі. Масу листя або хвої встановлювали окремо. Для визначення маси лісових горючих матеріалів у абсолютно сухому стані з чотирьох площадок відбирали середні зразки. У результаті проведених досліджень було розроблено 11 моделей лісових горючих матеріалів (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Моделі ЛГМ Ялтинського гірсько-лісового заповідника

№ моделі	Маса, т·га ⁻¹				Потужність лісової підстилки, см	Маса підстилки, т·га ⁻¹
	мертві лісові горючі матеріали			живі		
	1-год	10-год	100-год	(d<6 мм)		
1	0,6	1,1	0,6	0,2	3,7	42,4
2	0,3	0,9	0,5	5,1	5,5	44,9
3	0,4	0,9	0,0	0,0	7,1	36,4
4	0,4	1,5	0,0	0,0	14,4	125,9
5	0,8	2,7	0,0	0,0	24,4	213,7
6	1,1	1,8	0,0	0,1	4,2	31,6
7	1,6	2,2	0,0	5,3	4,2	29,1
8	2,5	2,9	0,0	11,2	4,2	44,7
9	0,8	0,3	1,1	0,0	1,7	11,8
10	0,8	2,5	0,0	0,0	2,8	18,2
11	1,6	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0

У моделях враховували: переважаючий деревний вид, вік і повноту насадження, наявність підросту та підліска, фракційний склад та масу опаду, потужність і масу лісової підстилки.

Розроблені моделі разом з картами рельєфу та гідрології після їх картування, дають можливість при використанні програмного забезпечення FARSITE проводити оцінку пожежних ризиків та моделювати поведінку лісових пожеж.

Характеристика моделі №1: стиглі або перестиглі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету деревостану $< 0,6$. У ЖНП переважає осокова трав'яна рослинність з проективним покриттям більше 40 % (рис. 3.18). У таких лісах виникають лише низові пожежі.



Рис. 3.18. Стиглий деревостан сосни кримської

Характеристика моделі № 2: стиглі або перестиглі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету деревостану $> 0,7$ та наявністю підліска (рис. 3.19). Зімкнутість підліска коливається від 0,3 до 0,8. Осокова трав'яна рослинність переважає на відкритих лісових ділянках. Підлісок обмежує поширення пожежі.



Рис. 3.19. Стиглий деревостан сосни кримської з наявністю підліска

Характеристика моделі №3: стиглі або перестиглі деревостани сосни звичайної із зімкнутістю намету $> 0,7$ (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Стиглий деревостан сосни звичайної

У насадженнях можуть зустрічатися дерева бука і граба. ЖНП рідкий. Відсутній підріст хвойних деревних видів. У таких лісах виникають, як правило, низові пожежі.

Характеристика моделі №4: стиглі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету $> 0,6$ та дуже густим природним поновленням сосни кримської (до 30 тис. шт. на 1 га), яке має висоту від 1,0 м до 3,0 м (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Стигле насадження сосни кримської з дуже густим природним поновленням

Природне поновлення сосни характеризується різним віком та нерівномірним розміщенням. Середня товщина лісової підстилки становить 15 см. Для таких лісів характерна висока ймовірність переходу низової пожежі у верхову. Це обумовлюється наявністю вертикальної структури насадження. Після низової пожежі збільшується захаращеність таких лісів. Цьому сприяє повна загибель підросту товщиною до 6 см, що підвищує пожежну небезпеку таких лісів. Значне пошкодження дерев першого ярусу можливе при стійкій низовій пожежі.

Характеристика моделі №5: стиглі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету $> 0,6$ на кам'яних розсипах (рис. 3.22).



Рис. 3.22. Стиглий деревостан сосни кримської на кам'яних розсипах

У таких лісах присутні великого розміру каміння. Лісова підстилка накопичується та повільно розкладається. Це пояснюється швидким проходженням вологи через лісову підстилку у ґрунт та затриманням підстилки камінням. Запас підстилки складає більше $200 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, потужність – від 15 см до 50 см. У таких лісах виникають, як правило, низові пожежі. Сильне пошкодження деревостану можливе за умови стійкої низової пожежі.

Характеристика моделі №6: середньовікові або пристигаючі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету $> 0,7$ та значною кількістю дрібного опаду ($d > 2,5 \text{ см}$) (рис. 3.23). ЖНП рідкий або відсутній. У таких лісах виникають, переважно, низові пожежі. Лише на стрімких схилах можливий перехід низової пожежі у верхову. Значне пошкодження деревостану можливе при стійкій низовій пожежі.



Рис. 3.23. Середньовіковий деревостан сосни кримської

Характеристика моделі №7: середньовікові або пристигаючі деревостани сосни кримської із зімкнутістю намету $> 0,7$, як правило, штучного походження з наявністю підліска. останній має зімкнутість – $0,3-0,8$ (рис. 3.24).



Рис. 3.24. Середньовікове насадження сосни кримської з наявністю підліску

Підлісок, інколи, штучного походження. ЖНП рідкий або відсутній. Підлісок листяних деревних видів перешкоджає поширенню пожежі.

Характеристика моделі №8: середньовікові або пристигаючі деревостани сосни звичайної із зімкнутістю намету $> 0,7$ та наявністю підліска (рис. 3.25).



Рис. 3.25. Середньовіковий деревостан сосни звичайної з наявністю підліска

Такі деревостани, переважно, зростають на висоті більше 600 м над рівнем моря, і мають, як правило, штучне походження. У лісах присутній підлісок із зімкнутістю – 0,3–0,8, який, інколи, штучного походження. Для таких лісів характерним є накопичення дрібного опаду до 0,6 см. ЖНП є рідким. Велика кількість лишайників спостерігається на деревах при підвищеній вологості повітря. Підлісок перешкоджає розвитку пожежі.

Характеристика моделі №9: дубові або грабові деревостани незалежно від віку із зімкнутістю намету $> 0,7$ з невеликою товщиною та незначним запасом підстилки (рис. 3.26).



Рис. 3.26. Дубово-грабовий деревостан

Характеристика моделі №10: букові деревостани незалежно від віку із зімкнутістю намету $> 0,7$. Переважно, це насадження різного віку та високої повноти з великою кількістю опаду, які зростають на висоті більше 600 м над рівнем моря (рис. 3.27).



Рис. 3.27. Буковий деревостан

Характеристика моделі № 11: трав'яна рослинність на яйлах (рис. 3.28).



Рис. 3.28. Трав'яна рослинність на яйлі

3.8. Горіння лісових горючих матеріалів

Під час пожеж вся органічна маса лісових горючих матеріалів згоряє дуже рідко. Від властивостей горючих матеріалів (кількості, структури, вологості, хімічного складу) залежать повнота згорання, швидкість поширення, інтенсивність та інші характеристики. Першим етапом дослідження природи лісових пожеж є вивчення вищезазначених властивостей лісових горючих матеріалів та їх динаміки [63].

Енергія, яка виділяється при горінні, зазвичай, є меншою енергії, яка розрахована за теплотворною здатністю палива, внаслідок його неповного згорання. Окис вуглецю, водень, часточки вугілля у вигляді диму завжди присутні у продуктах горіння. Таке явище отримало назву „хімічного недопалу” [37]. Хімічний недопал у лісових насадженнях не більше 15–20 % [13].

Лісові горючі матеріали у пірологічному відношенні відрізняються за: 1) характером горіння, 2) швидкістю висихання до критичного вмісту вологи, 3) запасом, 4) сезонними змінами перерахованих характеристик. Від умов

накопичення лісових горючих матеріалів залежать їх запаси. Під час пожежі у результаті пошарового висихання згоряє тільки певна частина загального запасу. До основних характеристик лісової пожежі належить: 1) інтенсивність (сила, потужність), 2) її вид, 3) швидкість поширення.

Потужність (сила) пожежі виражається інтенсивністю фронтальної крайки, тобто, кількістю тепла, що виділяється з одиниці довжини крайки ($\text{кДж} \cdot (\text{с} \cdot \text{м})^{-1}$ або $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-1}$). Найчастіше швидкість поширення пожежі виражають у $\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$, але при гасінні для практичних розрахунків її можна виражати у $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$ або $\text{км} \cdot \text{год}^{-1}$, а при наукових дослідженнях – у $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ або $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$.

У міру розвитку посухи у лісі відбувається пошарове висихання горючих матеріалів та з'являється можливість їх загорання. Поступово зростають активний (який згоряє) запас ЛГМ, швидкість поширення горіння й інтенсивність крайки та кількість тепла, що виділяється при їхньому горінні. Щоб прогнозувати поведінку пожеж і оцінити природну пожежну небезпеку, необхідно знати закономірності змін вищезазначених показників у зв'язку з погодними умовами, ходом посухи і фенологічними змінами у лісах.

3.8.1. Характеристика низової пожежі

Використовуючи три базові величини можна отримати повну характеристику низової пожежі,: 1) поверхневу теплоту згорання шару ($Q_{\text{ш}}$, $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-2}$), 2) період згорання шару ($T_{\text{ш}}$, с), 3) базову швидкість поширення горіння (V_0 , $\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$ або $\text{см} \cdot \text{с}^{-1}$) з урахуванням схилу поверхні, вологості повітря, швидкості вітру [125].

Поверхнева теплота згорання шару – це кількість тепла, що виділяється з одиниці поверхні шару при згорянні активної частини шару (окремо: у безполум'яному і полум'яному режимах).

Якщо відомі: запас ГМ, що згоряє (активний запас), його теплота згорання (теплотворна здатність) і вміст вологи, то можна розрахувати поверхневу теплоту згорання шару. Активний запас є величиною, яка змінюється. У

найменшому значенні він є рівним критичному запасу, а у максимальному значенні – запасу всього шару лісових горючих матеріалів. Під час пробних запалювань за глибиною прогорання і щільності шару можна визначити активний запас. Активний запас при цьому виділити важко, що відповідає полум'яному режиму горіння.

Період згорання шару, в безполум'яному і полум'яному режимах – це час, протягом якого згоряють горючі матеріали або відношення ширини крайки до швидкості поширення крайки.

Базова („штильова”) швидкість поширення горіння – це швидкість поширення полум'я по шару основних провідників горіння даного типу при таких умовах: 1) горизонтальна ділянка; 2) післяполуденний час; 3) відсутність вітру (штиль); 4) відносна вологість повітря 40 %. По кожній категорії ділянок для кожного класу пожежної небезпеки за умов погоди необхідно знати базову швидкість поширення горіння.

Знаючи базову швидкість для даного типу основних провідників горіння при даному класі пожежної небезпеки за умов погоди, можна прогнозувати швидкість поширення крайки низової пожежі (V) з урахуванням схилу поверхні, швидкості вітру, відносної вологості повітря.

Інтенсивність крайки пожежі ($I_{кр}$, $\text{кВт}\cdot\text{м}^{-1}$ або $\text{кДж}\cdot(\text{с}\cdot\text{м})^{-1}$) можна розрахувати знаючи швидкість поширення крайки низової пожежі (V) і поверхневу теплоту згорання шару ($Q_{ш}$) у полум'яному режимі:

$$I_{кр} = Q_{ш} \cdot V. \quad (3.8)$$

Характеристикою крайки пожежі також є кількість тепла, яке виділяється з одиниці площі крайки за одиницю часу (при тлінні і при полум'яному горінні), тобто інтенсивність тепловиділення (I_s , $\text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$). Остання визначається за поверхневою теплотою згорання шару і періоду згорання шару:

$$I_s = Q_{ш} / T_{ш}. \quad (3.9)$$

Можливу силу (потужність) лісової пожежі визначає інтенсивність тепловиділення при горінні надґрунтового покриву з урахуванням швидкості вітру і схилу поверхні. Більше половини енергії (близько 60 %) виділяється у фазі тління при висиханні надґрунтового покриву, коли поверхнева теплота згоряння шару перевищує $4 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$.

У вищезазначеній формулі період згоряння шару є постійною величиною для даного виду покриву. Тому основна увага спрямована на вивчення динаміки і величини поверхневої теплоти згоряння шару.

Висихання до стану горіння у більшості типів основних провідників горіння відбувається пошарово і поступово. Тому необхідно знати, як з величиною комплексного показника пожежної небезпеки за умов погоди у них змінюються: 1) товщина шару, що здатний горіти; 2) його запас; 3) період згоряння шару; 4) вміст вологи; 5) інтенсивність тепловиділення; 6) поверхневу теплоту згоряння шару. За чотирма типами основних провідників горіння у результаті проведених експериментів були отримані наступні характеристики [25] (рис. 3.29–3.32).

Знаючи поверхневу теплоту згоряння шару і швидкість крайки пожежі можна прогнозувати висоту полум'я і інтенсивність крайки і т.д. Всі інші характеристики низової пожежі можна розрахувати за двома величинами (період згоряння шару – $T_{ш}$, с, поверхнева теплота згоряння шару – $Q_{ш}$, $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-2}$).

За умови великого вмісту вологи всього шару основних провідників горіння шар, що згоряє, (активний запас) є відсутнім. Критичне (мінімальне) значення активного запасу дорівнює $0,1\text{--}0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$. Найбільша величина активного запасу шару основних провідників горіння спостерігається, коли нижня частина цього шару висохне до критичного вмісту вологи.

За даними Е.В. Конєва та ін. [38], період згоряння шару є постійною величиною для кожного виду покриву („постійна згоряння”). Так, період згоряння шару лишайникового типу основних провідників горіння є практично однаковим – 60 с при будь-якій товщині шару, що згоряє. Із збільшенням товщини шару, що згоряє, спостерігається слабка тенденція зростання тривалості горіння – від 55 до 65 с.

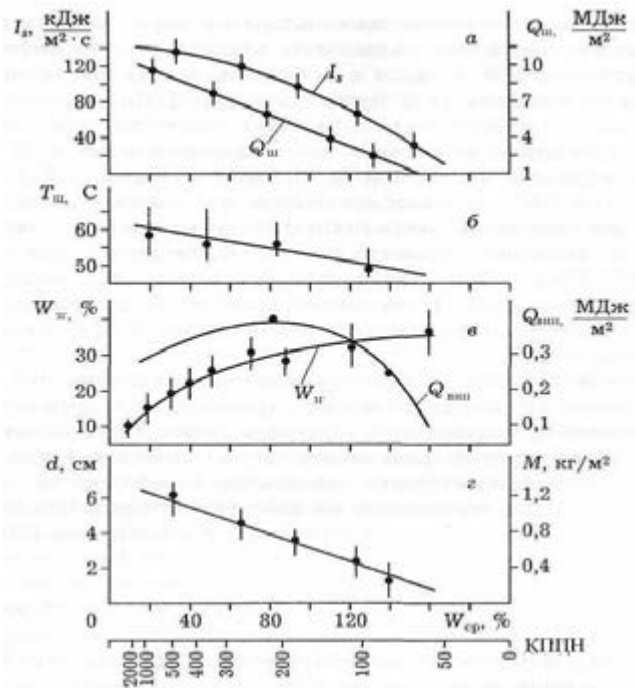


Рис. 3.29. Залежність від комплексного показника пожежної небезпеки та вмісту води всього шару лишайникового покриву (W_{cp}) наступних характеристик:
 а – інтенсивності тепловиділення (I_s) і поверхневої теплоти згоряння шару ($Q_{ш}$);
 б – періоду згоряння шару $T_{ш}$;
 в – вмісту води шару, який згоряє ($W_{зг}$), і теплоти, витраченої на випаровування води із шару ($Q_{вип}$);
 г – товщини шару (d) і запасу (M), який згоряє.

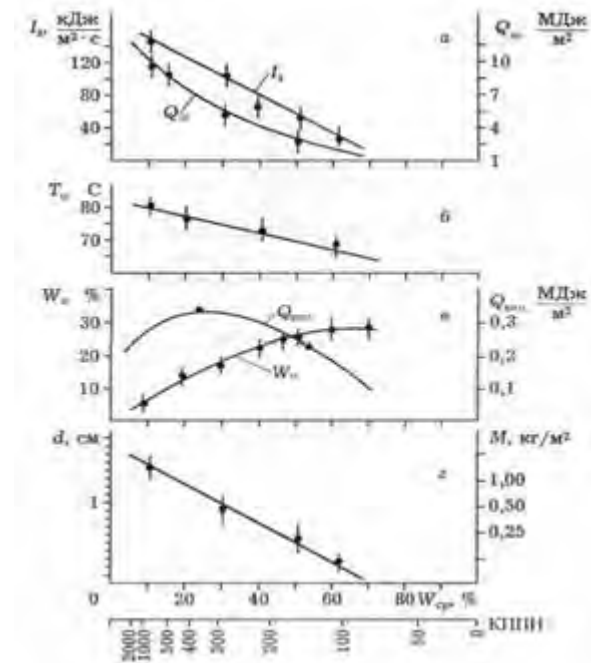


Рис. 3.30. Залежність від комплексного показника пожежної небезпеки та вмісту води всього шару рихлоопадового покриву (W_{cp}) наступних характеристик:
 а – інтенсивності тепловиділення (I_s) і поверхневої теплоти згоряння шару ($Q_{ш}$);
 б – періоду згоряння шару ($T_{ш}$);
 в – вмісту води шару, який згоряє ($W_{зг}$), і теплоти, витраченої на випаровування води із шару ($Q_{вип}$);
 г – товщини шару (d) і запасу (M), який згоряє.

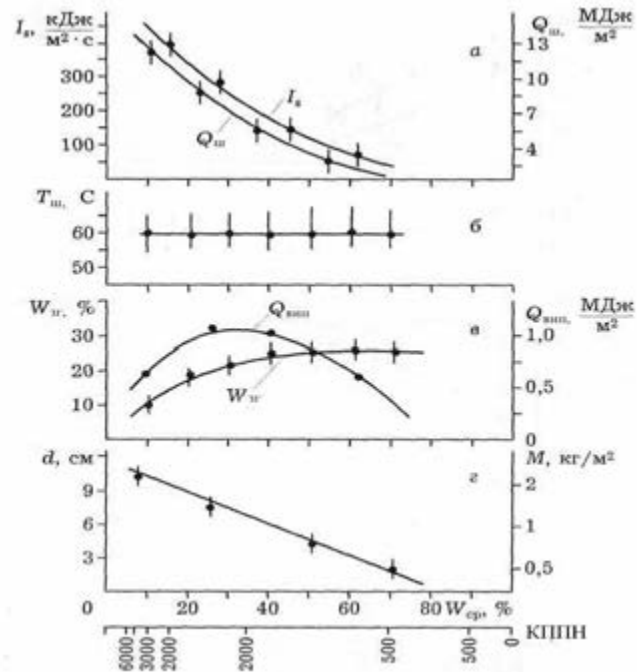


Рис. 3.31. Залежність від комплексного показника пожежної небезпеки та вмісту води всього шару сухомохового покриву ($W_{сп}$) наступних характеристик:

- а – інтенсивності тепловиділення (I_s) і поверхневої теплоти згоряння шару ($Q_{ш}$);
- б – періоду згоряння шару ($T_{ш}$);
- в – вмісту води шару, який згоряє $W_{зг}$, і теплоти, витраченої на випаровування води із шару ($Q_{вип}$);
- г – товщини шару (d) і запасу (M), який згоряє.

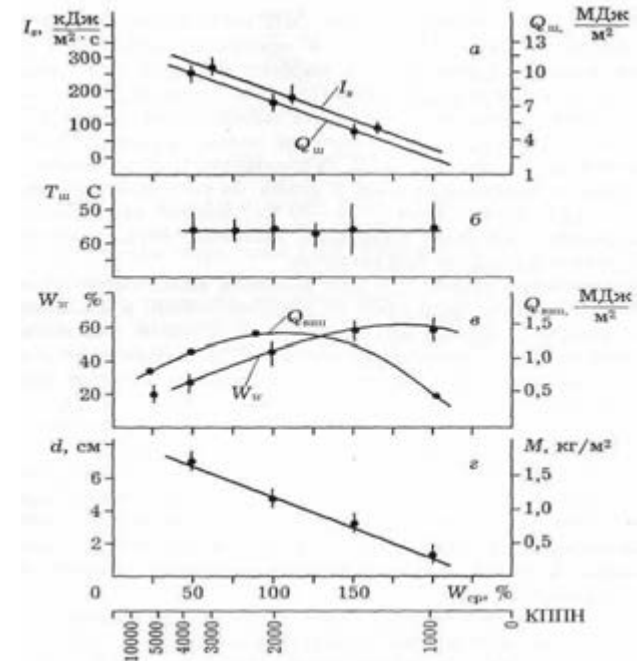


Рис. 3.32. Залежність від комплексного показника пожежної небезпеки та вмісту води всього шару вологомехового покриву ($W_{сп}$) наступних характеристик:

- а – інтенсивності тепловиділення (I_s) і поверхневої теплоти згоряння шару ($Q_{ш}$);
- б – періоду згоряння шару ($T_{ш}$);
- в – вмісту води шару, який згоряє $W_{зг}$, і теплоти, витраченої на випаровування води із шару ($Q_{вип}$);
- г – товщини шару (d) і запасу (M), який згоряє.

Період полум'яного згоряння шару у рихлоопадового типу основних провідників горіння зростає від 65 до 83 с і складає у середньому 75 с. У сухомохового і вологомохового типів основних провідників горіння він становить приблизно 40 с. Період згоряння шару варіює від 10 до 200 с і залежить від розміру часток і щільності шару. Горіння тривалістю більше 100 с є характерним для рихлоопадового типу основних провідників горіння, коли разом з тонким опадом згоряє в полум'яному режимі висохла лісова підстилка із щільністю близько $160 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Поверхнева теплота згоряння шару ($Q_{\text{ш}}$) знаходиться у зворотній лінійній залежності від вмісту вологи усього шару покриву, подібно товщині шару, що згоряє, і його запасу.

Більше 80 % тепла виділяється в полум'яній фазі при горінні лишайникового покриву. У покриві сухомохового типу частина тепла, що виділяється при тлінні, збільшується з 40 до 60 %.

3.8.2. Вплив відносної вологості повітря на інтенсивність горіння ОПГ

Вологість лишайників, мохів і рослинних решток, які є гігроскопічними тілами, завжди прямує до зрівноваження з відотною вологістю повітря. Зрівноважений вміст вологи у мохів і лишайників влітку, при температурі повітря $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 60 %, дорівнює 16, а у хвойного опаду – 11 %. При збільшенні відносної вологості повітря до 90 % зрівноважений вміст вологи зростає: до 40 % у лишайників і мохів і до 26 % у хвойного опаду. Чим більша різниця між фактичним і зрівноваженим вмістом вологи, тим швидше відбувається зволоження або висихання лишайників, мохів і опаду [47].

Середньодобова відносна вологість повітря поступово знижується протягом тривалих періодів без дощу. Добова різниця відносної вологості повітря виражаються в її значному збільшенні вночі і вранці, як правило, до 100 %, і різкому зменшенні вдень. Вміст вологи в основних провідниках горіння й інтенсивність їх горіння характеризуються добовою циклічністю. Цю

особливість використовують при боротьбі з лісовими пожежами. Вночі або рано вранці, коли горіння слабке, намагаються зупинити сильні лісові пожежі. Але це відбувається не завжди. Так, коли триває посуха, амплітуда добових коливань вологості повітря зменшується за рахунок її меншого збільшення вночі.

Якщо відносна вологість повітря вночі не перевищує 85 %, то поверхнева теплота згоряння шару, що виділяється під час горіння лишайникового покриву, протягом доби мало змінюється. Інтенсивність горіння лишайникового покриву швидко знижується коли відносна вологість повітря підвищується до 90 % і більше. Це пояснюється підвищенням на 20–25 % зрівноваженої вологості лишайників у даному інтервалі величин відносної вологості повітря. Лишайниковий покрив може горіти і при 95 % відносної вологості повітря з виділенням енергії до 6 МДж·м⁻².

Завдяки своїй підвищеній щільності і малій потужності рихлоопадовий тип основних провідників горіння (опад із соснової хвої) має більшу чутливість до добових коливань вологості повітря. При відносній вологості повітря близько 80 % його горіння припиняється.

Горіння ЖНП із зелених мохів є дуже чутливим до добових коливань відносної вологості повітря. Це пояснюється тим, що зелені мохи здатні засвоювати вологу з лісової підстилки, а вночі при зменшенні випаровування швидко збільшують свій вміст вологи і це виключає можливість загоряння. Таке спостерігається у періоди без дощу від двох до трьох тижнів. Зелені мохи можуть горіти вночі, коли лісова підстилка суха, а вологість повітря вночі не перевищує 80 %.

Таким чином, інтенсивність горіння основних провідників горіння, які предсталені гігроскопічними рослинними ГМ (зелені мохи, опад, лишайники) знижується при відносній вологості повітря більше 80 %, але особливо активно – в інтервалі від 90 до 100 %. Надґрунтовий покрив не може висихати до горимого стану, якщо відносна вологість повітря перевищує 85 %.

При рівномірному висиханні лишайників, горіння починається тоді, коли запас висохлого шару становить 0,1–0,2 кг·м⁻². При загорянні він відразу дає 2–4

МДж·м². Мохи висихають нерівномірно, і поширення горіння по їх поверхні носить спочатку мозаїчний характер. Тому середня глибина прогорання на всій площі і поверхнева щільність енергії можуть бути малими [25].

Під час горіння в природних умовах середня величина енергії „хімічного недопалу” для різних основних провідників горіння дорівнює 60 ± 20 %. Нестача кисню в зоні горіння є основною причиною „хімічного недопалу”. Кисню важко проникати в зону горіння, чим щільніший шар ГМ. Нижні шари ЖНП і лісової підстилки завжди мають підвищений вміст вологи. Витрати енергії на її випаровування вологи є незначними і при критичному вмісті вологи – 40 % не перевищують 7 % від теплотворної здатності ЛГМ. Перетворюючись у пару, вода, збільшує свій об’єм майже в тисячу разів і витісняє із зони горіння кисень. При цьому утворюється пароповітряна суміш, яка максимально сприяє „хімічному недопалу”.

Оцінювання поверхневої теплоти згорання шару в лісових насадженнях дозволяє уточнити коефіцієнт повноти згорання шару основних провідників горіння. Цей коефіцієнт, в середньому, становить 0,4. Таке значення коефіцієнту пояснюється наявністю значного (60 ± 20 %) „хімічного недопалу” під час горіння основних провідників горіння на лісовій підстилці і вологому ґрунті. Цей коефіцієнт беруть до уваги при оцінюванні розрахунковим способом інтенсивності крайки пожежі і поверхневої теплоти згорання шару.

3.9. Картографування лісових горючих матеріалів

Під поняттям „картографування” розуміють підготовку інформаційних (у тому числі в системі ГІС) банків даних для оперативного виготовлення карт. Завданням картографування лісових горючих матеріалів є надання кожній лісовій ділянці характеристику, яка є достатньою для прогнозування наслідків і поведінки пожеж (з урахуванням погодних умов і феноперіодів).

Картографування лісових горючих матеріалів може здійснюватися за двома методологічними підходами: 1) виділення пірологічних категорій

рослинності як типових комплексів лісових горючих матеріалів. Лісові ділянки, які віднесені до однієї категорії, отримують однакову (типову) характеристику лісових горючих матеріалів; 2) шляхом індивідуальної характеристики кожної лісової ділянки.

При цьому типова характеристика лісових горючих матеріалів на ділянках може бути тільки наближеною. Точним є великомасштабне картографування шляхом індивідуальної характеристики малих ділянок, яке потребує значних фінансових витрат. Тому перший підхід у картографуванні лісових горючих матеріалів отримав подальший розвиток, що передбачає виділення і картографування певних категорій з типовими характеристиками.

З ім'ям L.G. Hornby [183] пов'язаний початок картографування рослинних горючих матеріалів. Його методика передбачає поділ території на частини за швидкістю поширення пожежі і за складністю їх контролювання. Стандартними умовами для характеристики за швидкістю є полуденний час і місячна посуха. Оцінювання за швидкістю проводиться експертним шляхом враховуючи стрімкість схилу, зімкнутість намету, кількості „важкого” і „тонкого” ГМ. При оцінюванні складності контролювання пожежі необхідно враховувати ґрунтові умови, схил поверхні, кількість сушняку і кущів. Залежно від району виділялося від 38 до 70 „типів ГМ”. При складанні карт рослинних горючих матеріалів з 1941 р. використовували аерофотознімки. Оцінка „типів ГМ” у 1950 р була включена до програми лісоінвентаризаційних робіт.

Недоліком таких карт був значний суб'єктивізм при виділенні на практиці „типів ГМ”, а також характеристика їх за швидкістю поширення пожежі тільки для умов сильної посухи. Це унеможливлювало при різній погоді прогнозування поведінки пожежі. Цей метод називають експертно-емпіричним.

Метод картографування з характеристикою рослинних горючих матеріалів розроблявся у Каліфорнії на основі аналізу спостережень за поведінкою пожеж. Цей метод називають емпірично-статистичний. Цей метод використовується у Канаді при складанні карт рослинних горючих матеріалів для різних класів посухи у вигляді карт природної пожежної небезпеки.

Метод фізико-математичного моделювання пожеж почав активно розроблятися у США з початку 1940-х років. Створення його теоретичної бази було завершено розробкою моделі Ротермела [200]. Ця модель характеризує сучасну американську класифікацію рослинних горючих матеріалів, яка передбачає їх поділ на чотири класи за тимчасовим утриманням вологи з виділенням „моделей ГМ” як типових комплексів рослинних горючих матеріалів: 20 „моделей” для оцінки пожежної небезпеки в системі NFDRS і 13 „моделей” з метою прогнозування поведінки пожеж у системі BEHAVE.

Картографування лісових горючих матеріалів у розрізі „моделей ГМ” практично не проводиться через те, що в системі NFDRS однією „моделлю” характеризують райони, а в системі BEHAVE не важко визначити номер „моделі” для ділянки за інформацією на картах у ГІС, оскільки лісові насадження поділяються на три „моделі”, кущові зарості – на 4, а зруби – на 3.

Прогнозування поведінки конкретної пожежі може бути недостатньо точним, тому, що істинні пірологічні характеристики ділянок рослинності, що характеризують одну „модель”, можуть значно відрізнятися від типових характеристик цієї „моделі”. У системі BEHAVE для усунення цього недоліку розроблені комп’ютерні програми по адаптації типових „моделей” до конкретних характеристик ділянок, а також передбачене створення нових „моделей” з використанням програм TSTMDL і NEWMDL [155]. З метою отримання істинних характеристик лісових горючих матеріалів для конкретних ділянок, необхідно мати дані картографування лісових горючих матеріалів не у вигляді типових, а у вигляді індивідуальних характеристик ділянок рослинності. Мається на увазі не створення звичайних карт на папері, а поступове накопичення потрібної інформації з конкретних ділянок у пам’яті комп’ютера шляхом використання даних про ці ділянки, а також шляхом спеціального збору даних у природних умовах з використанням вдосконаленої методики [155]. З цією метою дані інвентаризації лісових насаджень використати складно, оскільки вони містять лише характеристику запасу якості і деревини.

Прогнозування поведінки пожеж у США підтверджує, що типові пірологічні характеристики є недостатньо точними і коректними для прогнозування поведінки пожеж на конкретних ділянках рослинності. Тому потрібні індивідуальні характеристики ділянок.

Із західноєвропейського досвіду картографування для району південної Франції площею 625 тис. га відома великомасштабна карта рослинних горючих матеріалів (масштаб 1:25000) [209]. Її основою є групи рослинних горючих матеріалів, які частково співпадають з групами лісових горючих матеріалів, які виділяв М.П. Курбатський [63, 65]: лісова підстилка, мохи й лишайники, трав'яно-кущиковий ярус, нижній і верхній деревні яруси. В умовних балах дається оцінка всієї біомаси по ярусах. Максимальний індекс біомаси на карті за всіма ярусами дорівнює 50. Кожен ярус може бути максимально оцінений десятьма балами.

У кожному виділі відповідними символами записуються основні види лісових горючих матеріалів. З метою легкого читання карти верхній деревний ярус позначають двома великими буквами, а нижній деревний ярус позначають великою буквою і прописною. Двома прописними буквами позначаються види трав'яної рослинності. У легенді (формулі) види лісових горючих матеріалів перераховані у порядку зменшення їх значення.

Символом „А” на карті позначається доступність ділянок для будь-яких транспортних засобів (відстань від дороги до даної площі не повинно бути більше 50 м). Символом „М” на карті позначається можливість пересування наземних транспортних засобів по площі, а символом „Р” позначається можливість проникнення на ділянку, тобто можливість для людини пересуватися по ділянці без використання допоміжних засобів.

Різні комбінації, що характеризують складність боротьби з пожежами, позначаються врикінці легенди римськими цифрами від I до VIII, відповідно до збільшення складностей, що зустрічаються, у природних умовах:

I – у насадженні можливі всі операції;

II – доступна і рівна ділянка, але проникнення ускладнене;

III – доступна ділянка з перешкодами для транспортних засобів;
IV – доступна ділянка з важкими умовами для боротьби з пожежею;
V – важкодоступні ділянки, які мають сприятливі умови для боротьби з пожежею;

VI – важкодоступні насадження, але засоби транспорту можуть пересуватися;

VII – важкодоступні насадження, які мають перешкоди для пересування засобів транспорту, пересуватися можна тільки пішки;

VIII – у всіх відношеннях насадження недоступне.

На карті додатково позначаються молодняки – „R”, нові житлові райони – „L”, площадки для гелікоптерів – „H”. Відсутність пірологічної оцінки ярусів рослинності є недоліком такої карти.

У Росії М.А. Шешуков [141] запропонував складати „пожежні карти”, на яких для кожного таксаційного виділу вказується типова характеристика за „класом пожежної небезпеки” і „тип ГМ”. Для Далекого Сходу на підставі розробленої автором класифікації лісових ділянок запропоновані великомасштабні „пожежні карти”. Ці карти використовувалися з метою більш об’єктивного протипожежного впорядкування території. За допомогою таких карт прогнозувати поведінку пожеж важко. Тому, що „типи ГМ” не мають кількісних пірологічних характеристик, а поділ на „класи пожежної небезпеки” є суб’єктивним.

Софронов М.А. [25] запропонував більш сучасну методику складання „лісопожежних карт”. За цією методикою лісопожежна карта є копією лісовпорядного планшету (тобто є великомасштабною, від 1:10000 до 1:25000), на якій у кожному таксаційному виділі формула виділу доповнена позначеннями: 1) пірологічного типу мохово-лишайникового або мертвого покриву, 2) класу черговості загоряння – відповідно до розробленої автором „шкалою черговості загоряння лісових ділянок”, 3) деревні види, які переважають, 4) можливість загибелі насаджень або сильного їх пошкодження у випадку пожежі при наявності однієї з наступних характеристик виділу:

	Насадження сосни, модрини і листяних порід	Насадження ялини, ялиці
1. Вік	до 40 років	до 80 років
2. Повнота	до 0,4	до 0,6
3. Захаращеність	більше 50 м ³ ·га ⁻¹	більше 25 м ³ ·га ⁻¹
4. Густих хвойний підріст або наявний другий ярус з ялини		
5. Пірологічні типи покриву Зм, Сф, Дм		
6. Схили південної і західної експозицій при стрімкості більше 25°		

3.9.1. Великомасштабне картографування лісових горючих матеріалів

Для встановлення просторових закономірностей поведінки пожеж потрібно великомасштабне картографування ЛГМ (у масштабі 1:10000–1:50000). Це дозволить спростити процес прогнозування поведінки пожеж і їх наслідків та підвищити точність прогнозу. Для цього потрібним є створення регіональних інформаційних баз, основою для яких є великомасштабні карти лісових горючих матеріалів.

Прогноз поведінки пожежі необхідний: при складанні оптимального плану для контролю великої пожежі; у випадку наявності великої кількості пожеж і необхідності визначення найнебезпечніших пожеж з метою їх першочергової ліквідації; у випадку виникнення надзвичайних ситуацій від лісових і степових пожеж.

3.9.2. Метод типової та індивідуальної характеристики лісових ділянок

Лісові ділянки поєднуються в пірологічно однотипні категорії при типовому методі. За цим методом ділянки, які віднесені до однієї категорії,

отримують однакову (типову) пірологічну характеристику. Різноманітність рослинності є дуже великою, а кількість категорій і, відповідно, типових характеристик є обмеженою, тому типова характеристика окремих ділянок не може бути точною, а внутрішня пірологічна однорідність виділених категорій – високою.

Складання пірологічних характеристик для типів лісу відносять до типового методу. Розрізняють більше сотні типів лісу, а якщо врахувати їх географічні варіанти і варіанти за віком, складом, повнотою і будовою насадження, які мають пірологічні відмінності, то кількість категорій буде визначатися тисячами.

Часто застосовується об'єднання типів лісу у великі пірологічні категорії з типовими пірологічними характеристиками. Прикладом може бути поділ ділянок лісового фонду за п'ятьма класами природної пожежної небезпеки. Це використовується під час протипожежного впорядкування лісів [102].

Якщо потрібно мати спрощену пірологічну оцінку великим, внутрішньо неоднорідним ділянкам, наприклад, цілим кварталам під час протипожежного впорядкування, то використання типових характеристик (під час поділу лісових ділянок на обмежену кількість категорій) є виправданим. При прогнозуванні поведінки пожеж і їх наслідків типові характеристики для конкретних однорідних ділянок, що призводить до помилок у прогнозах є неточними.

Пірологічна характеристика повинна містити: тип основних провідників горіння, запас (потужність) ОПГ, наявність хвойного підліска (підросту), його густоту і висоту, склад за фенологічними періодами трав'яно-кущикового ярусу, запаси сухостою і сушняку, хвої у кронах дерев (про деревостан можна судити за його висотою, повнотою, складом), товщину лісової підстилки, торфу або перегною, умови проникнення вітру і променевої енергії у лісовому насадженні в різні фенологічні періоди (про які можна судити за висотою і зімкнутістю (повнотою) ярусів), стрімкість схилу.

За складом, повнотою (зімкнутістю, густотою, проективному покриттю) ярусів (з урахуванням фенологічного стану) можна судити про запаси лісових горючих матеріалів різних груп. Пірологічна характеристика містить тільки ті

групи лісових горючих матеріалів, які можуть мати помітний запас у даному виділі: підлісок і підріст – із зімкнутістю крон не менше 0,3, сушняк і сухостій із запасом не менш як $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, трав'яна частина трав'яно-кущикового ярусу – при його проективному покритті не менше 0,4.

Умови висихання основних провідників горіння обов'язково вказуються у пірологічній характеристиці: стрімкість і експозиція схилу; наявність трав'яного ярусу; загальна затіненість від деревостану, підліска і підросту залежно від їх складу і зімкнутості (повноти) для весняного і для літнього періодів.

Практично індивідуальні характеристики кожної ділянки представлені різним поєднанням типових елементів опису, тому цей підхід називають індивідуально-типовим.

Такий опис відображає у собі наступну інформацію:

1) характеристику комплексу ЛГМ по всіх групах лісових горючих матеріалів, які присутні на даній ділянці (включаючи сезонну динаміку цієї характеристики);

2) оцінювання умов висихання ОПГ на ділянці, яка зумовлена умовами надходження променевої енергії: стрімкістю і експозицією схилу, ступенем затіненості деревним та іншими ярусами рослинності (по періодах сезону);

3) дані про умови горіння лісових горючих матеріалів на ділянці: про зімкнутість (повноту, густоту) ярусів рослинності і про схил, що безпосередньо впливає на швидкість поширення горіння;

4) відомості про умови поширення горіння на території: про її пірологічну розчленованість, яка обумовлена присутністю бар'єрів, перешкод для поширення вогню і негорючих ділянок;

5) характеристику рослинності, що дозволяє оцінити можливості пошкодження і загибелі деревостану та наслідки від пожежі. Сюди належать відомості про наявність захаращеності, ярусу ГМ – підросту або підліска, кар на стовбурах, таксаційна характеристика деревостану (вік, склад, висота, діаметр, повнота або густота) і т.п.

Помістити безпосередньо на карті лісових горючих матеріалів вищезазначений перелік інформації неможливо. Тому застосовують спосіб, який використовується при лісовпорядкуванні під час інвентаризації земель, а саме: сполучення плану (карти) і детального опису її виділів (контурів), який прикладають до карти. У кожного виділу є свій індивідуальний номер, тому індивідуальною є характеристика виділів [18, 22, 24, 48, 212].

При великомасштабному картографуванні ЛГМ складають: 1) карти лісових горючих матеріалів, 2) пірологічні описи ділянок (виділів), які прикладають до карт, 3) спеціальні таблиці, які дозволяють при допомозі пірологічних описів і даних про погоду прогнозувати можливі наслідки горіння і його характер.

3.9.3. Методика безпосередньої та непрямой індивідуальних пірологічних характеристик лісових ділянок

Аналіз даних, які представлені в індивідуальній характеристиці ділянок лісу, показує, що з таксаційного опису можна отримати достатню інформацію про всі групи лісових горючих матеріалів, за винятком першої (ОПГ) і другої (торф, лісова підстилка, перегній) груп.

На лісовій ділянці найважливішою є характеристика основного провідника горіння, насамперед, визначення його типу, а також можливих змін типу основного провідника горіння на протязі пожежонебезпечного періоду [213].

Даючи характеристику основним провідникам горіння спочатку визначають підгрупу. Якщо менше половини площі вкрито мохами і лишайниками, то це „опадова” підгрупа, а якщо більше половини площі вкрито мохами і лишайниками, то це „мохова” підгрупа. Необхідно також враховувати, що в „моховій” підгрупі властивості основних провідників горіння впродовж пожежонебезпечного періоду майже не змінюються, а в „опадовій” підгрупі тип основних провідників горіння може змінюватися. Якщо протягом пожежонебезпечного періоду критичний клас

пожежної небезпеки за умов погоди змінюється, то основні провідники горіння насадження необхідно відносити до „опадової” підгрупи.

На характер мохово-лишайникового і мертвого покриву та на режим зволоження ґрунту звертають увагу під час визначення типів основних провідників горіння. При визначенні типів основних провідників горіння складність полягає у великій різноманітності компонентів, що утворюють лісові горючі матеріали. Провідник може бути одночасно з ознаками двох, трьох і чотирьох типів основних провідників горіння. При визначенні типів основних провідників горіння необхідно також прогнозувати їх сезонну динаміку, особливо, коли один тип основних провідників горіння переходить в інший.

Так, у лісових насадженнях з перевагою ділянок із трав'яним покривом, які різняться не тільки за типами основних провідників горіння, але і за їх динамікою, не можна обмежуватися на даний момент безпосереднім визначенням типу основних провідників горіння. За непрямими ознаками необхідно прогнозувати його динаміку, завдяки умовам надходження рослинних решток у шар основних провідників горіння в осінній період, навесні і умови їх розкладання в літній період. Непрямими ознаками є: наявність трав'яної рослинності у стадії вегетації, її склад та участь в останньому осокових і злакових; переважання у складі насадження видів, у яких хвоя (листя) відсутня взимку.

У низинних і перехідних болотах моховий покрив часто поєднується із злаковими і осоковими трав'яними рослинами. Осокові і злакові рослини (після їх висихання) вони можуть бути провідниками горіння за умови їх рівномірного розподілу. Такі ділянки в осінній і весняний періоди потрібно відносити до трав'яно-гілкового типу і до болотно-мохового типу лише в літній період.

Великі болотні системи являють собою складні комплекси. Наприклад, грядово-мочажинні болота, у яких на грядах можуть бути лишайники і зелені мохи, а сфагни – в мочажинах. Якщо гряди являють собою окремі острівці серед мочажин, то основні провідники горіння характеризуються підтипом Бм₂, а якщо

гряди з'єднуються між собою і по них може поширюватися горіння, то тип основних провідників горіння визначається характером покриву на грядах [15].

Оцінювання типів другої групи лісових горючих матеріалів є нескладним, тому, що будь-який лісівник може розрізнити типи лісової підстилки (мор, муль, модер), торф'яний і перегнійний горизонти.

Важливою пірологічною характеристикою є потужність шару основних провідників горіння, лісової підстилки і органічних шарів. За цією характеристикою можна судити про запаси лісових горючих матеріалів. Оскільки поверхня шару основних провідників горіння є нерівною, то потужність шарів необхідно визначати від межі з мінеральним шаром ґрунту до верхньої межі.

Пірологічний опис повинен закінчуватися встановленням критичного класу пожежної небезпеки за умов погоди і його динаміки впродовж пожежонебезпечного періоду для ділянки з обліком: типу основних провідників горіння і його динаміки, зімкнутості (повноти) ярусів деревостану, підліска і підросту, їх складу, експозиції і стрімкості схилу.

Складання великомасштабної карти лісових горючих матеріалів методом безпосередньої індивідуальної пірологічної характеристики ділянок лісу є трудомістким і вимагає великих витрат коштів, а також має високу точність. Таким методом складати карти лісових горючих матеріалів доцільно на площі, де планується проведення цільових палів, а також на площі, що межують із селищами та іншими об'єктами у лісових насадженнях (склади, бурові вежі і т.п.). Для державних підприємств лісового господарства або лісництв складання великомасштабних карт лісових горючих матеріалів таким методом з економічних причин є складним. На окремі ділянки, де виникають пожежі, складання карт лісових горючих матеріалів таким методом також є важким через фактор часу, тому, що карти потрібно виготовляти дуже швидко.

Суть методу непрямой індивідуальної пірологічної характеристики передбачає максимальне використання при картографуванні лісових горючих матеріалів даних лісовпорядня. За основу для карти лісових горючих матеріалів

беруть незабарвлений план лісових насаджень (лісовпорядний планшет). На основі таксаційного опису роблять пірологічний опис таксаційних виділів.

Таксаційний опис представляє індивідуально-типову характеристику кожного виділу. Опис дає достатню інформацію з III-VII груп лісових горючих матеріалів і за умовами висихання надґрунтових лісових горючих матеріалів. Але опис не містить інформацію про найважливішу першу групу лісових горючих матеріалів (тобто ОПГ) у плані визначення типів основних провідників горіння і їх динаміки по сезонах. Тому для визначення типів основних провідників горіння за типами лісу застосовують існуючі описи типів лісу даного району і виконується їх аналіз. Інформація про характер опаду і лісової підстилки в описах типів лісу відсутня, тому бажані доповнення і уточнення описів на практиці.

3.9.4. Пірологічна характеристика типів лісу

Робоча таблиця складається для пірологічної характеристики типів лісу, куди вписуються по кожному типу лісу інформація, яка потрібна для встановлення типів основних провідників горіння, а саме: режим зволоженість ґрунту (тимчасово надлишковий, постійно надлишковий, сухий, недостатній, нормальний, підвищений), клас бонітету, трофність ґрунту (оліго-, мезо- і мегафільні), переважаючі деревні види, поширеність типів лісу (по кожному виду, у відсотках від вкритої площі), опис ЖНП за чотирма категоріями: а) кущики, б) осоки і злаки, в) інша трав'яна рослинність, г) лишайники і мохи (з вказівкою ступеня покриття і рясності).

Підгрупи і типи основних провідників горіння визначаються по кожному типу лісу. Це робиться для найпоширеніших у державному підприємстві лісового господарства типів лісу, а також для ділянок, які унеможливають поширення пожежі (наприклад, типи лісу, які мають вологі ґрунти).

Для визначення підгрупи основних провідників горіння спочатку аналізується поширення лишайників і мохів. За режимом зволоження і видовим складом мохів у межах мохово-лишайникової підгрупи встановлюються типи

основних провідників горіння. Тимчасово-надлишкове і підвищене зволоження характерно для вологомохового (Вл), постійне надлишкове – для болотно-мохового (Бм), нормальне і недостатнє – для сухомохового (Сх) типів основних провідників горіння. Лишайниковий (Лш) тип основних провідників горіння характерний для сухого режиму зволоження [15].

В опадівій підгрупі, де шар основних провідників горіння представлений з дрібних рослинних решток, впродовж пожежонебезпечного періоду його запас, швидкість і склад „пожежного досягання” змінюються завдяки різниці у швидкості розкладання і надходження рослинних решток, які швидко розкладаються в літній період. При ущільненні шар основних провідників горіння із трав’яних решток перетворюється з одного типу основних провідників горіння в інший: з трав’яно-гілкового у весняний період – у рихлоопадовий у літній період, а в осінній період знову перетворюється у трав’яно-гілковий; рихлоопадовий у весняний період перетворюється у щільноопадовий в літній період і знову перетворюється в рихлоопадовий в осінній період; щільноопадовий у весняний період перетворюється у безпровідниковий в літній період.

У хвойних деревостанах високої повноти (0,8 і більше) з нерозвиненим моховим покривом або з покривом тільки із кущиків тип основних провідників горіння встановлюється характером опадів дерев: у ялицевих і ялинових насадженнях – щільноопадовий, у соснових насадженнях – рихлоопадовий. Протягом пожежонебезпечного періоду тип основних провідників горіння не змінюється. Рештки трав’яної рослинності в інших випадках відіграють значну роль.

Якщо у складі ЖНП переважають осоки і злаки, то тип основних провідників горіння у весняний і осінній періоди – трав’яно-гілковий, в літній період – рихлоопадовий. Якщо кількість осокових і злакових є значною, то вони можуть розростатися у зріджених деревостанах аналогічного типу лісу. У весняний і осінній періоди вони характеризуються трав’яно-гілковим типом, в літній період – рихлоопадовим або щільноопадовим (у багатих ТЛУ) або

безпровідниковим (на зволжених багатих ґрунтах). Протягом пожежонебезпечного періоду такий же характер має динаміка типів основних провідників горіння на старих зрубках, галявинах, згарищах. Практично негорима суміш створюється тоді, коли запас трав'яної рослинності у стадії вегетації (абсолютно-сухої маси) перевищує запас рослинних решток, що умовно позначається безпровідниковим типом (підтип Бп₁).

Насадження, де у покриві переважають зимньо-зелені осоки відносяться у весняний період до рихлоопадового типу, а в літній період – до щільно опадового типу. На зволжених багатих ґрунтах навесні папоротеподібні і крупнотрав'яні типи лісу можна характеризувати щільноопадовим типом, а в літній період – безпровідниковим типом (підтип Бп₁). Розкладання рослинних решток на багатих ґрунтах, особливо з підвищеною вологістю, влітку проходить дуже швидко, майже до повного зникнення шару опаду, тобто до підтипу Бп₁.

Типи лісу, де у ЖНП переважає суміш із дрібнотрав'я, різнотрав'я, кущиків, осок і злаків характеризуються у весняний період рихлоопадовим типом, а в літній період щільноопадовим або навіть безпровідниковим (підтип Бп₁) типом (на багатих ґрунтах) [15].

Типам лісу, у надґрунтовому покриві яких поєднуються ознаки різних типів основних провідників горіння пірологічну характеристику давати складно. Так, на деяких перехідних і низинних болотах суцільний покрив із сфагну поєднується з розвиненим трав'яним ярусом з осоки. Тому у весняний і осінній періоди тип основних провідників горіння буде трав'яно-гілковий, а в літній період – болотно-моховий. Якщо зроблена оцінка деяких типів лісу за типами основних провідників горіння викликає сумнів або якщо в описі типів лісу наводиться характеристика не всіх типів, то необхідно відвідати таксаційні виділи, де вказані такі типи лісу, і безпосередньо визначити їх в натурі. Необхідно також виконати огляд нелісових площ (болота) і непокритих лісом ділянок – зруби і старі згарища, характеристика яких є неповною у таксаційних описах. У підсумку для кожного типу лісу за фенологічними періодами

складається таблиця, в якій вказуються типи основних провідників горіння (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Характеристика (фрагмент) типів лісу за типами ОПГ

Тип лісу	Пірологічні феноперіоди		
	„гола весна”, „глибока осінь”	„зелена весна”, „золота осінь”	літо
Соснові насадження			
Сухий сосновий бір (A ₁ C)	Лш	Лш	Лш
Свіжий сосновий бір (A ₂ C)	Сх	Сх	Сх
Вологий сосновий бір (A ₃ C)	Рх	Рх	Рх
Сирий сосновий бір (A ₄ C)	Бм ₁	Бм ₁	Бм ₁

У грубому варіанті використовуються дві градації: 1) весна, осінь; 2) літній період. У точному варіанті використовується п'ять пірологічних фенологічних періодів: 1) „гола весна”, 2) „зелена весна”, 3) „літо”, 4) „золота осінь”, 5) „глибока осінь” [19, 125].

3.9.5. Складання великомасштабної карти лісових горючих матеріалів

З метою оперативного складання великомасштабної карти лісових горючих матеріалів на обмежену площу (наприклад, на площу навколо діючої пожежі) спочатку готують основу карти, тобто на дану площу знімають копію з лісовпорядних планшетів. Після цього складають пірологічний опис всіх таксаційних виділів, які присутні на карті. З цією метою використовують: 1) таксаційний опис виділів лісництва; 2) таблицю із сезонною характеристикою типів лісу за типами основних провідників горіння; 3) таблиці для визначення критичних класів пожежної небезпеки за умовами погоди для виділів [15].

Форму таксаційного опису можна використати як форму пірологічного опису, доповнивши її графами для оцінки типу основних провідників горіння і критичного класу пожежної небезпеки (ККПН) за умовами погоди. У пірологічному описі кожного виділу спочатку проставляють типи основних

провідників горіння відповідно до фенологічного періоду і типу лісу. Після цього встановлюють критичні класи пожежної небезпеки. У кожному виділі на карті вказують позначення літерами типів основних провідників горіння. Потім карту лісових горючих матеріалів видозмінюють на карту поточної природної пожежної небезпеки шляхом розфарбування або штрихування. З цією метою у кожному виділі дають оцінку стану готовності до горіння (стан „пожежної стиглості”) основних провідників горіння, порівнюючи його критичний клас пожежної небезпеки (ККПН) за умовами погоди з поточним класом пожежної небезпеки (КПН) за умовами погоди для даного району на цей день. Якщо критичний клас пожежної небезпеки у виділі більше, ніж сьогоденній клас пожежної небезпеки за умовами погоди у районі, то виділ ще не здатний до загоряння. Якщо критичний клас пожежної небезпеки у виділі менше класу пожежної небезпеки, то виділ здатний до загоряння. Якщо критичний клас пожежної небезпеки і клас пожежної небезпеки є однаковими, то виділ перебуває у перехідному невизначеному стані відносно можливості його загоряння. За вищевказаними трьома градаціями розфарбовують або штрихують всі виділи на карті лісових горючих матеріалів (рис. 3.33– 3.38).

На картах поточної природної пожежної безпеки (рис. 3.34–3.38) стан пожежної стиглості виділів: 14 – негоримі, 15 – пожежно досягаючі, 16 – горимі. Контур (крайка) діючої пожежі обов’язково наноситься на карту. При огляді території з повітря і в ході наземного рекогносцирування карти доповнюють і уточнюють. На карті при цьому позначають усі просіки, річки, дороги, тобто все що може бути опорними лініями під час гасіння пожежі або допомагати орієнтуватися у лісових насадженнях. У лісових насадженнях гірської місцевості на карті потрібно схематично зобразити вододіли, хребти, лощини.

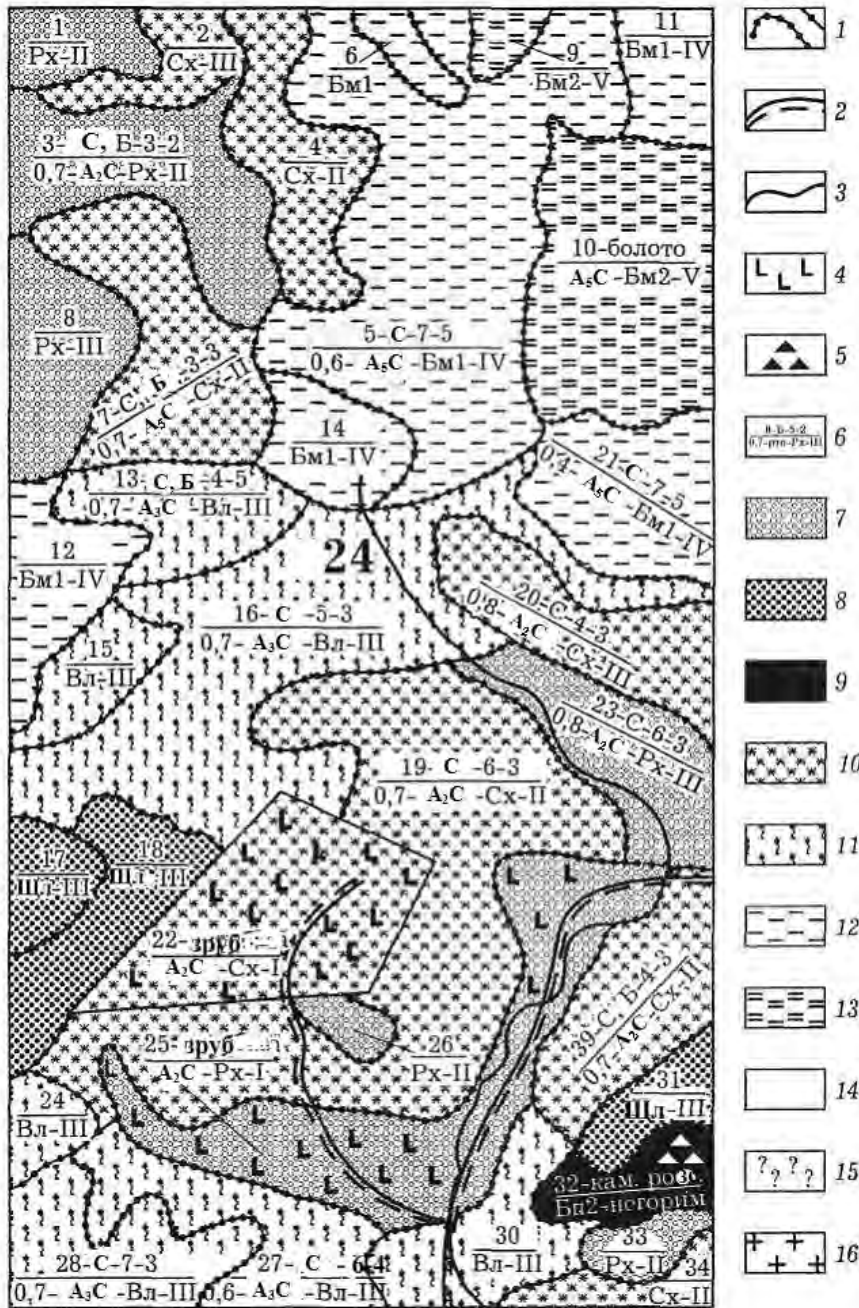


Рис. 3.33.
Фрагмент
великомасштабної
карти ЛГМ
(М 1:25000)

Умовні позначення: 1 – межі виділів, 2 – дороги, 3 – ручаї, 4 – зруби, 5 – кам’янисті розсипи, 6 – формула виділу (чисельник: 8 – номер виділу, Б – переважаюча порода, 5 – клас віку, 2 – бонітет; знаменник: 0,7 – повнота, А₂С – шифр типу лісу, Рх – шифр ОПГ, Ш – ККПН). У скороченій формулі – чисельник: номер виділу; знаменник – шифр ОПГ і ККПН), 7–13 – типи ОПГ (опадова група: 7 – рихлоопадовий, 8 – щільноопадовий, 9 – безпровідниковий; мохова підгрупа: 10 – сухомоховий, 11 – вологомоховий, 12 – болотно-моховий-1, 13 – болотно-моховий-2).

Рис. 3.34. Фрагмент карти поточної природної пожежної небезпеки (весна / осінь). I клас пожежної небезпеки за умовами погоди. М 1:25000. Умовні позначення на рис. 3.33

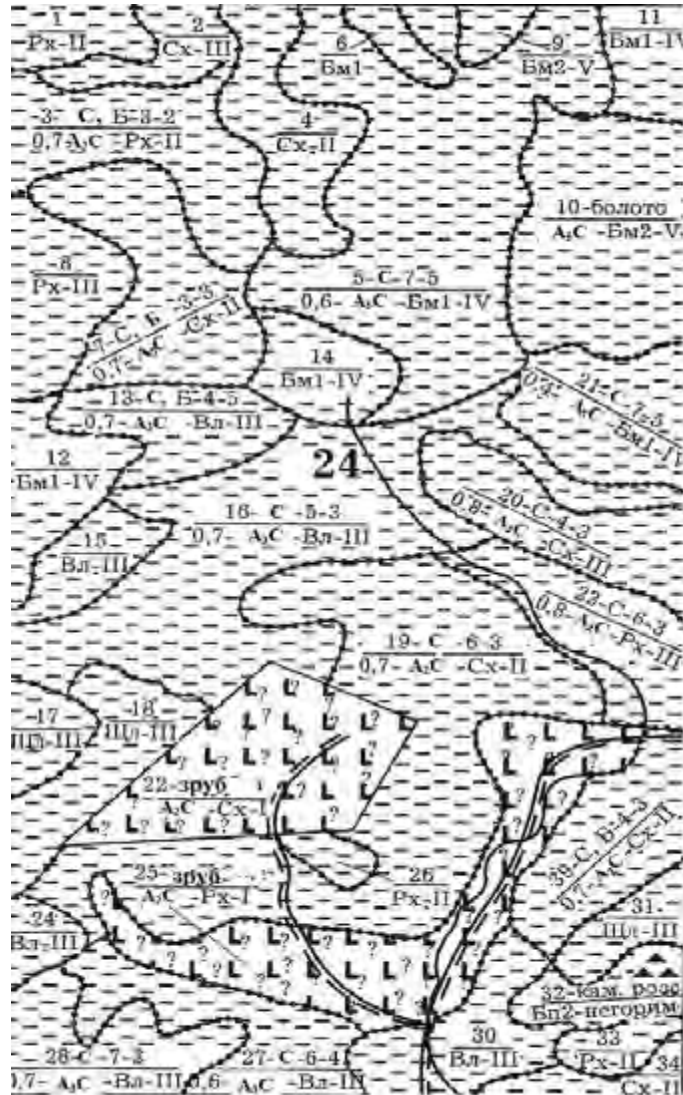


Рис. 3.35. Фрагмент карти поточної природної пожежної небезпеки (весна / осінь). II клас пожежної небезпеки за умовами погоди. М 1:25000. Умовні позначення на рис. 3.33

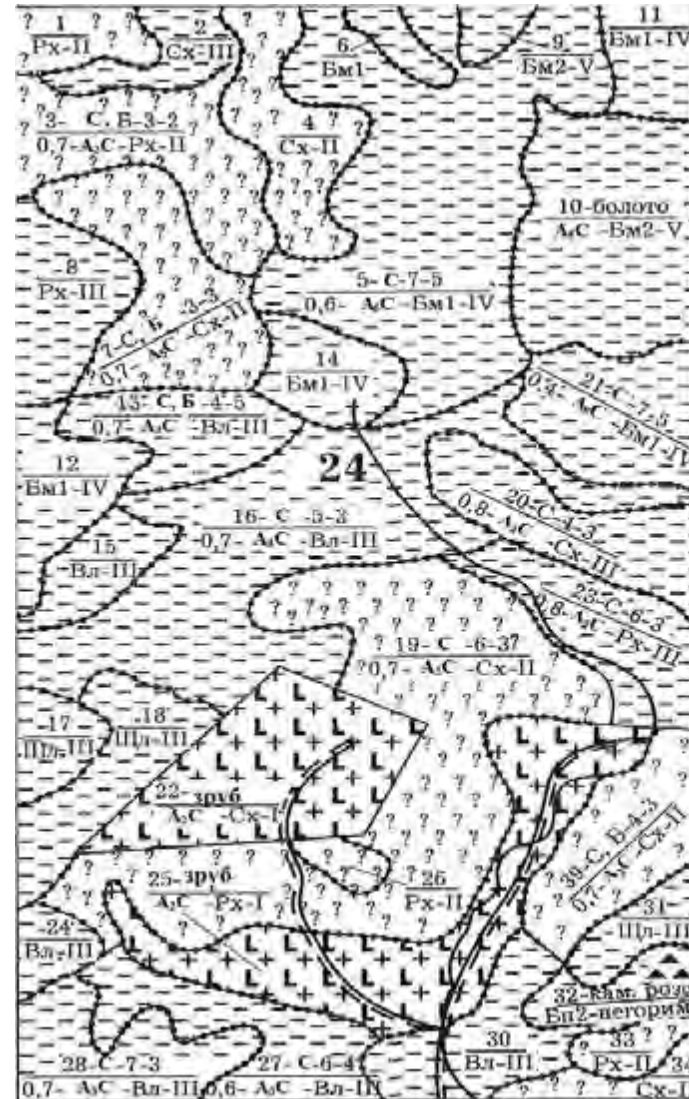


Рис. 3.36.
Фрагмент
карти
поточної
природної
пожежної
небезпеки
(весна /
осінь).
III клас
пожежної
небезпеки
за умовами
погоди.
М 1:25000.
Умовні
позначення
на рис. 3.33

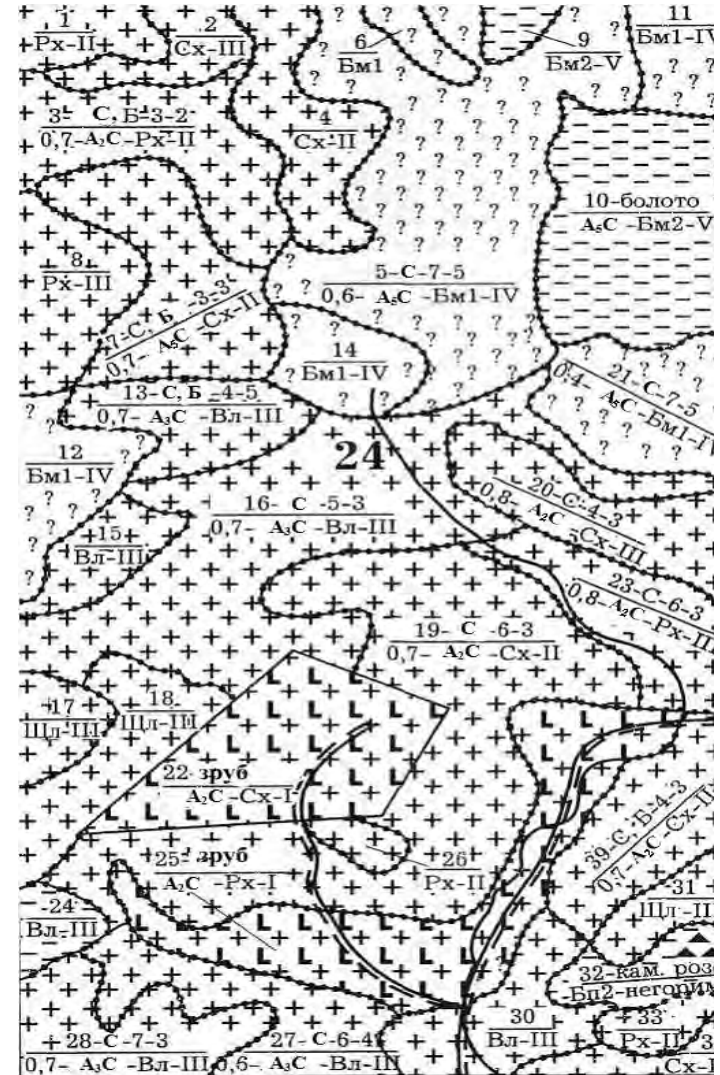
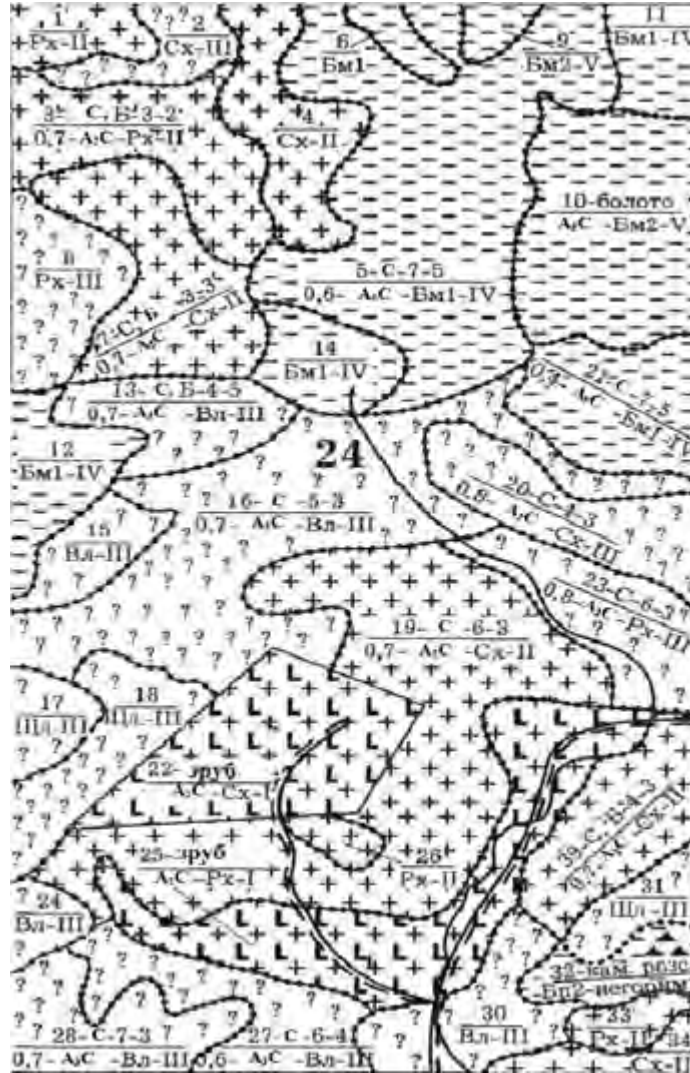


Рис. 3.37.
Фрагмент
карти
поточної
природної
пожежної
небезпеки
(весна /
осінь).
IV клас
пожежної
небезпеки
за умовами
погоди.
М 1:25000.
Умовні
позначення
на рис. 3.33

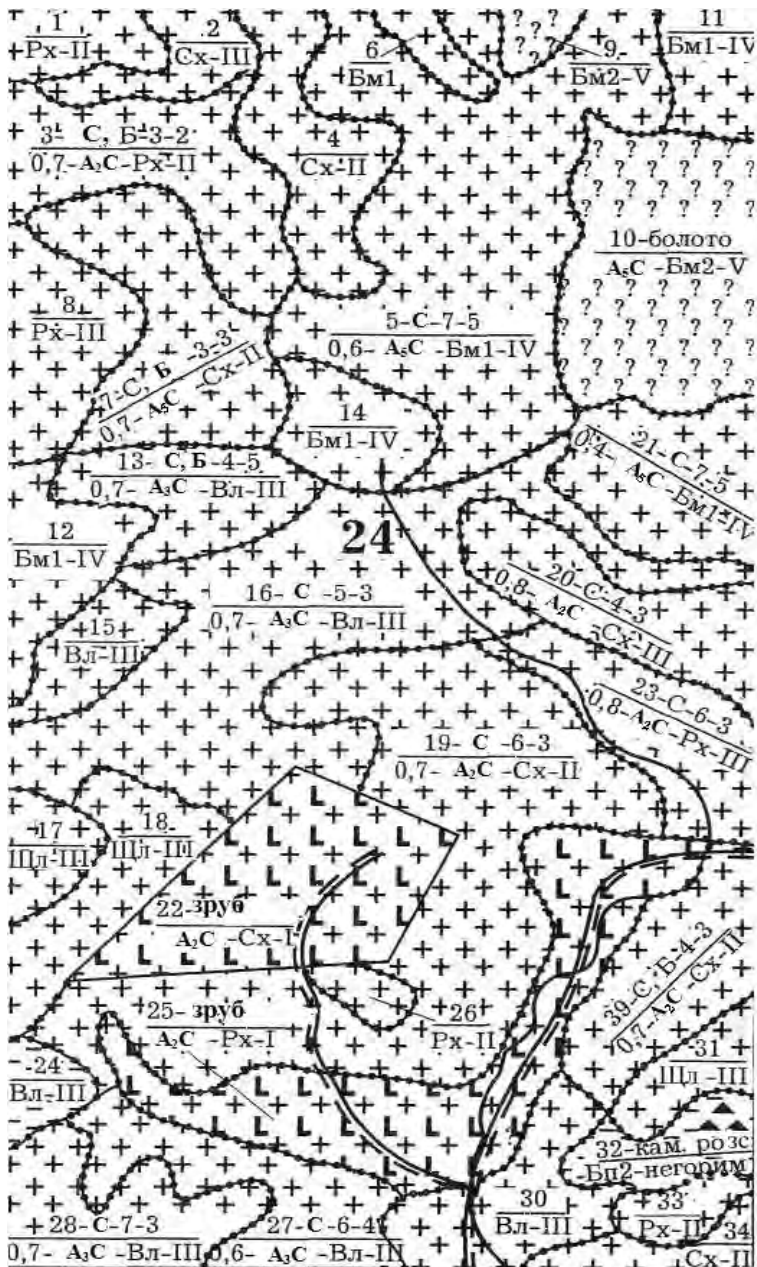


Рис. 3.38. Фрагмент карти поточної природної пожежної небезпеки (весна / осінь).

V клас пожежної небезпеки за умовами погоди.

M 1:25000. Умовні позначення на рис. 3.33

3.9.6. Технологія великомасштабного картографування лісових горючих матеріалів з використанням комп'ютерних програм

Таксаційні описи при лісовпорядкуванні записують на електронних носіях. Це дозволяє робити пірологічні описи на лісництво або підприємство лісового господарства. Пірологічний опис може зберігатися в роздрукованому вигляді або на електронних носіях. Пірологічний опис разом з комплектом планшетів лісовпорядкування представляє собою інформаційний банк для швидкого виготовлення карт лісових горючих матеріалів на потрібні ділянки [28, 116, 214].

Пірологічний опис з картою-основою у якості незабарвленого плану лісових насаджень може бути включений до геоінформаційних систем і таким чином виготовлення карт лісових горючих матеріалів буде автоматизованим на потрібні площі. Приклад пірологічного опису представлено у табл. 3.13 [25]. Розрахунок за оцінкою ступеня загального затінення від деревних і кущових ярусів також включено до пірологічного опису. Це дозволяє більш об'єктивно встановлювати для кожного виділу критичні класи пожежної небезпеки за умовами погоди.

До пірологічного опису додається довідковий матеріал:

1. Деревостан і підріст поділяють на хвоєлистопадну (лс : оп) і хвоєвічнозелену (хв : вз) частини.

2. У колонці „тип лісу” наведено його шифр:

A₁C – сухий сосновий бір;

A₂C – свіжий сосновий бір;

A₃C – вологий сосновий бір;

і т.д.

3. У колонці „тип основних провідників горіння” представлено лише його позначення:

Лш – лишайниковий;

Сх – сухомоховий;

Вл – вологомоховий;

Бм – болотно-моховий;

Тг – трав'яно-гілковий;

Рх – рихлоопадовий;

Щл – щільноопадовий;

Бп – безпровідниковий.

Таблиця 3.13

Пірологічний опис (фрагмент)

Лісництво	Квартал	Виділ	Площа, га	Експозиція	Стрімкість, град.	1 ярус					2 ярус					Бонітет
						повнота	висота, м	вік, роки	хвоєвічнозелені, од. у складі	листопадні, од. у складі	повнота	висота, м	вік, роки	хвоєвічнозелені, од. у складі	листопадні, од. у складі	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	3	16	3,0	ПнЗ	7	0,4	18	55	0	10	0,0	0	0	0	0	Ш
2	3	17	16,0	Пн	5	0,6	23	75	5	5	0,0	0	0	0	0	І
2	3	19	14,0	ПдС	5	0,5	22	70	0	10	0,0	0	0	0	0	ІІ
2	3	20	12,0	ПдЗ	7	0,7	18	50	2	8	0,0	0	0	0	0	ІІ

Продовження таблиці 3.13

Підріст			Сушняк	Сухостій	Зімкнутість		Затіненість		Тип лісу	Тип основних провідників горіння		Критичний клас пожежної небезпеки за умовами погоди	
хвоєвічно-зелені, од. у складі	листопадні, од. у складі	висота, м			підріст	підлісок	весна і осінь	літо		весна і осінь	літо	весна і осінь	літо
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0	0	0	0	0,0	0,5	0,2	0,6	A ₃ C	Щл	Щл	III	III
10	0	20	0	0	0,5	0,0	0,6	0,7	A ₂ C	Px	Px	II	II
8	2	25	0	0	0,5	0,0	0,4	0,6	A ₃ C	Щл	Щл	III	III
3	7	25	0	0	0,5	0,0	0,3	0,7	A ₂ C	Px	Px	I	II

4. У колонках „затіненість”, „тип основних провідників горіння” і „критичний клас пожежної небезпеки” позначення (в : о) розшифровуються як „весна” і „осінь”.

Додатковою величиною до відносної кількості світлової радіації є затіненість. Остання проникає крізь яруси, і встановлюється за спеціальною схемою. Зімкнутість підросту і підліска розраховують по вказаній у таксаційному описі висоті і густоті і сумарну зімкнутість даного ярусу (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Зімкнутість намету підліска і підросту

Середня висота, м	Густота підросту, тис. шт. на 1 га					
	3	4	5	6	7	8
	Зімкнутість намету підросту					
1	–	–	–	–	–	0,1
2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
4	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9

Примітка. Зімкнутість намету густого підліска приймається рівною 0,3; при середній густоті – 0,1; у рідкого підліска зімкнутість практично відсутня.

Для хвоєлистопадної і хвоєвічнозеленої частин кожного ярусу встановлюється зімкнутість або повнота (у підросту і підліска). Для цього потрібно помножити зімкнутість (повноту) ярусу на долю участі (в одиницях) кожної частини в складі ярусу. Результат записується до десятих одиниць. Зімкнутість і повнота переводяться в затіненість від кожного ярусу (абл. 3.15) [25].

Для кожного фенологічного періоду загальна затіненість від усіх ярусів (З, %) розраховується за законами проникнення світла через багатошарову напівпрозору перешкоду: $Z_T = (Z'_{Т.Л} + Z'_{Т.Х}) + (Z''_{Т.Л} + Z''_{Т.Х}) [100 - (Z'_{Т.Л} + Z'_{Т.Х}) + (Z'''_{Т.Л} + Z'''_{Т.Х})] \times \{100 - (Z'_{Т.Л} + Z'_{Т.Х}) - (Z''_{Т.Л} + Z''_{Т.Х}) [100 - (Z'_{Т.Л} + Z'_{Т.Х})]\}$, (3.10)

де $Z'_{Т.Л}$ і $Z'_{Т.Х}$ – затіненість від хвоєвічнозеленої і хвоєлистопадної частин верхнього ярусу відповідно; $Z''_{Т.Л}$ і $Z''_{Т.Х}$ – затіненість від хвоєвічнозеленої і хвоєлистопадної частин другого ярусу відповідно.

Затіненість від ярусів деревостану, підліска і підросту

А. Деревостан										
Переважаюча порода у деревостані (ярусу)	Повнота деревостану (ярусу)									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
	Затіненість від намету деревостану, %									
Ялина, ялиця	15	25	35	45	55	65	75	85	90	
Сосна	10	20	25	35	45	55	65	75	80	
Модрина влітку	4	7	10	2	15	25	35	45	50	
Модрина навесні і восени	2	4	6	8	10	12	15	20	25	
Береза, осика влітку	10	20	25	35	45	55	65	75	80	
Береза, осика навесні і восени	3	6	10	15	20	25	30	35	40	
Б. Ярус підросту і підліска										
Склад ярусу підросту і підліска	Зімкнутість намету									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
	Затіненість від ярусу підросту і підліска, %									
Всі породи в літній період	5	10	20	30	35	40	50	55	60	
Хвоелистопадні у весняний і осінній періоди	2	4	6	8	10	12	15	20	25	

Таке оцінювання загальної затіненості збільшує точність встановлення критичних класів пожежної небезпеки для лісових ділянок (табл. 3.16) [25].

Таблиця 3.16

Оцінка критичних класів пожежної небезпеки за умов погоди за загальною затіненістю

Загальна затіненість, %	Типи ОПГ									
	Лш	Сх	Вл	Бм ₁	Бм ₂	Тг	Рх	Щл	Бп ₁	Бп ₂
	Критичні класи пожежної небезпеки (ККПН)									
76–100	II	III	IV	V	негор	II	III	IV	V	негор
46–75	I	II	III	IV	негор	I	II	III	IV	негор
0–45	I	I	III	IV	негор	I	I	III	V	негор

Для кожного фенологічного періоду на ділянці встановлюється критичний клас пожежної небезпеки ділянки (виділу) за типом основних провідників горіння і розрахованою загальною затіненістю (не беручи до уваги склад і повноту деревостану).

Перед складанням пірологічного опису потрібна адаптація програми до запису таксаційного опису даного підприємства лісового господарства та до умов природи даного підприємства лісового господарства у якості підготовки і включення в програму таблиці для характеристики таксаційних виділів за типами основних провідників горіння.

З метою вирішення такого завдання можна застосувати три способи:

1) визначення типів основних провідників горіння через типи лісу. Зв'язок між типами лісу і типами основних провідників горіння визначається за описом останніх;

2) через типи лісу визначають типи основних провідників горіння, але зв'язок між типами лісу і типами основних провідників горіння визначається шляхом спеціальних польових досліджень;

3) характеристика ділянок (виділів) за типами основних провідників горіння робиться безпосередньо під час наземної таксації і при дешифрування аерофотознімків у процесі лісовпорядкувальних робіт.

Менш трудомістким є перший спосіб – експертний, камеральний. На початку проводять аналіз лісотипологічних схем. Лісотипологічну схему останнього лісовпорядкування беруть за основу. Вияснюють: що було прототипом схеми, якщо теперішнім лісовпорядкуванням використовується схема типів лісу минулого лісовпорядкування, те що було прототипом колишньої схеми типів лісу; до якого району належить прототип; які зміни в прототип включили лісовпорядники (додавання або виключення типів лісу, їх по'єднання в господарські групи, зміни назв і т.п.). З'ясовують чи немає для даного району інших лісотипологічних схем, чим вони різняться, встановлюють в різних схемах аналогічні типи лісу. Крім того, з'ясовують за літературними та іншими джерелами характеристики типів нелісових фітоценозів підприємства

лісового господарства (луків, боліт, старих згарищ і т.п.). У підсумку визначають максимально повний опис типів нелісових ділянок і типів лісу підприємства лісового господарства і проводять його пірологічний аналіз. Труднощі пірологічної характеристики типів лісу зростають тому, що описи типів лісу завжди неповні в пірологічному плані: у них немає характеристики рослинних решток, ступеню покриття трав'яною рослинністю і мохами і т.д. Крім того, описи відносяться до типових ділянок, яким належить незначна частка у типі лісу. Це вказує на те, що камеральний спосіб характеристики типів лісу за типами основних провідників горіння є недостатньо точним.

Другий спосіб передбачає характеристику типів лісу за типами основних провідників горіння через уточнення в натурі, шляхом їх опису, огляду виділів і пробних запалювань. Ландшафтна неоднорідність території враховується при виборі ключових ділянок. У першу чергу профілі повинні проходити по виділах, у яких для даного природно-територіального комплексу (ПТК) відзначені найпоширеніші типи лісу. Дуже важливо профілями перетинати виділи, що можуть слугувати перешкодами для поширення пожежі (долинні, прирічкові, заболочені типи лісу), а також нелісові ділянки, особливо низинні і перехідні болота. Для профілів застосовують таксаційні візирі або кварталні просіки. Від сезонної динаміки властивостей ОПГ залежить час польових робіт.

При першому і другому способах однакова типова характеристика за типами основних провідників горіння дається всім виділам, які під час таксації були віднесені до одного типу лісу. До помилок в оцінці типів основних провідників горіння призводить неточне визначення типу лісу (особливо при дешифруванні).

Третій спосіб, відрізняється від перших двох, тим, що передбачає більш точну індивідуальну характеристику виділів за типами основних провідників горіння при лісовпорядкуванні. З цією метою потрібні зручні і прості визначники типів основних провідників горіння, які також включають систему дешифрувальних ознак для них (переважаючі деревні породи, місце розташування або характер нелісової рослинності, бонітет і вік деревостану,

його повноту або зімкнутість). Це виконують з метою встановлення родючості ґрунту, умов зволоження та умов освітленості, які визначають (у межах кожного району) типи основних провідників горіння. Знаючи місцеві умови можна точніше визначити типи основних провідників горіння з урахуванням вищезазначених ознак. При цьому звертається увага на те, що типи основних провідників горіння „опадової” підгрупи під впливом надходження і розкладання рослинних решток змінюються впродовж пожежонебезпечного періоду.

Приклад регіонального визначника типів основних провідників горіння для використання під час проведення лісовпорядних робіт з виділенням 12 категорій лісових ділянок, які відрізняються за типами основних провідників горіння, по їх сезонній динаміці і характеру насаджень [20] представлено у табл. 3.17.

Таблиця 3.17

Пірологічні категорії лісових ділянок та їх характеристика

Пірологічна категорія лісових ділянок	Місце розташування	Деревостан	Зволоження (режим)	Живий і мертвий надґрунтовий покрив	Тип ОПГ влітку – навесні (восени)
Сухі сосняки з лишайниковим покривом	Підвищене	Сосна, інколи з березою	Недостатнє	Покрив із лишайників (покриття 0,6-0,8)	Лш–Лш
Сосняки без домішки темнохвойних із зеленомошниковим покривом	>>	Сосна, інколи з березою, осикою і модриною	Недостатнє і нормальне	Покрив із зелених мохів, інколи з домішкою лишайників	Сх–Сх
Сосняки з домішкою і підростом темнохвойних порід та із зеленомошниковим покривом	Рівне і підвищене	Сосна з домішкою темнохвойних і берези	Нормальне	Покрив із зелених мохів	Вл–Вл

Продовження таблиці 3.17

Пірологічна категорія лісових ділянок	Місце розташування	Деревостан	Зволоження (режим)	Живий і мертвий надґрунтовий покрив	Тип ОПГ влітку – навесні (восени)
Сосняки (пройдені пожежами) без мохово-лишайникового покриву	Підвищене	Сосна, інколи з березою і осикою	Недостатнє і нормальне	Відсутність покриву із мохів і лишайників	Рх–Рх
Темнохвойні, березові і мішані насадження з покривом із зелених мохів	Рівне	Темнохвойні, а також березняки з темнохвойними у складі, II ярусі, підрослі	Нормальне, рідше підвищене	Покрив із зелених мохів	Вл–Вл
Листяні і мішані насадження з покривом із осоки і злаків, з наявністю дернини	Підвищене	Листяні, інколи з темнохвойними	Нормальне	Покрив з перевагою осоки і злаків, які утворюють дернину	Рх–Щл
Березняки різнотрав'яні з куртинами осоки і відсутністю опаду влітку	Рівне	Березняки, інколи з темнохвойними	>>	Покрив із різнотрав'я з куртинами осоки; опад перетворився у верхній шар підстилки	Рх–Бп ₁
Березняки з рідким покривом із різнотрав'я та з відсутністю опаду влітку	>>	Березняки з домішкою осоки і темнохвойних	>>	Слабкорозвинений покрив із різнотрав'я; опад перетворився у верхній шар підстилки	Щл–Бп ₁
Осичники без опаду влітку	>>	Осичники, інколи з березою і темнохвойними	>>	Негустий покрив із дрібнотрав'я і різнотрав'я; опад перетворився у верхній шар підстилки	Щл–Бп ₁
Купинові лощини	Лощини	Рідколісся і рідини, крім сосни	Надлишкове	Купини з осокою або злаками	Тг–Бп ₁

Пірологічна категорія лісових ділянок	Місце розташування	Деревостан	Зволоження (режим)	Живий і мертвий надґрунтовий покрив	Тип ОПГ влітку – навесні (восени)
Куничникові і осоково-куничникові зруби, недоруби, молодняки	Підвищене і рівне	Зруби, негусті молодняки і рідини	Нормальне і недостатне	Суцільний покрив із злаків і осок	ТГ-Рх
Свіжі згарища і пройдені пожежею насадження з трав'яним покривом і недостатнім опадом	Підвищене і рівне	Зріджені пожежею насадження	Нормальне і недостатне	Різнотрав'яний з перевагою злаків і осок; влітку – відсутній або незначний запас опаду	ТГ-Бп ₁

3.9.7. Методи середньомасштабного картографування лісових горючих матеріалів

Середньомасштабне (1:500000–1:1000000) картографування лісових горючих матеріалів з пірологічною характеристикою рослинного покриву інформує про можливий характер горіння і його наслідки, а також про природну пожежну безпеку та її динаміку. Такі карти лісових горючих матеріалів характеризуються недостатньою „роздільною здатністю” для прогнозування поведінки пожеж. Їх використовують для моніторингу пожежної безпеки. Оцінювання середньої природної пожежної безпеки також можливе за класами, які доцільно застосовувати при протипожежному впорядкуванні території.

На карті зображається вся інформація у даному масштабі. Для кожної ділянки вказують переважаючі типи ОПГ (включаючи їх сезонну динаміку). Додатково вказується наявність ярусу або кущів, переважаючі деревні види. Зображується обов'язково дорожня, гідрографічна і квартальна мережі. Для складання середньомасштабних карт ЛГМ використовуються два методи [23, 122, 125].

Перший метод („автономний”) передбачає використання космічних знімків для виділення природно-територіальних комплексів (ПТК), які в межах природних районів по зображенню рослинності на знімках поєднуються в категорії-аналоги. Польові дослідження на ключових ділянках з використанням аерофотознімків проводяться для характеристики ПТК-аналогів. При „автономному” методі складання карти ускладнюється легенда і збільшується її навантаження. До карти додається пірологічний опис ПТК-аналогів, у якому наводиться пірологічна розчленованість території, структура їх рослинного покриву, найбільш імовірні наслідки пожеж, типові ландшафтні форми поведінки пожеж у різні періоди сезону і т.д.

Другий метод („сполучений”) представляє собою сполучену карту лісових горючих матеріалів і є оціночним. Складання такої карти зводиться до пірологічної характеристики виділів карти-основи (геоботанічної, лісотипологічної, ландшафтної, лісового фонду та ін.), аналізуючи легенду карти-основи та іншу необхідну інформацію.

3.9.8. Метод „автономного” складання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів

Метод „автономного” складання карт ЛГМ передбачає такі етапи: підготовчий (який передбачає підбір матеріалів), пірологічне районування, виділення контурів природно-територіальних комплексів (ПТК) на знімках, попереднє дешифрування контурів (складання прекарти) і підбір ключових ділянок, польові дослідження (робота на ключових ділянках і аеровізуальний огляд), уточнення прекарти і складання карти. При цьому використовуються космічні знімки і аерофотознімки різного масштабу, карти рослинності, карти лісів, топокарти, ландшафтні і т.п.

За Софроновим М.А. [125] природне пірологічне районування полягає у виділенні великих ПТК, які відрізняються пірологічною розчленованістю території і своєрідністю морфологічної структури рослинного покриву. На пірологічну

характеристику ПТК мають вплив зонально-кліматичні чинники (особливості макрорельєфу, географічна широта, висота над рівнем моря), азональні чинники (особливості мезорельєфу, ґрунтотворні породи), екзогенні чинники, які впливають на зміни корінних типів рослинності похідними (діяльність людини, пожежі, пошкодження ентомошкідниками).

Аналізуючи зональні чинники потрібно звертати увагу на довжину картографуємої території в меридіальному напрямку. Якщо довжина перевищує 300 км, то це говорить про наявність значних зональних розходжень у кліматі. Висоти над рівнем моря в межах території аналізуються за допомогою гіпсометричної карти (або топокарти). Якщо різниця перевищує 300 м, то це вказує на значну кліматичну неоднорідність.

Будова макрорельєфу впливає на місцеві особливості клімату. Ці особливості можна встановити, якщо по кожній метеостанції на території визначити і порівняти, застосовуючи кліматичні довідники, річний гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянінова, а також середній комплексний показник В.Г. Нестерова за кожний місяць протягом пожежонебезпечного періоду.

На необхідність поділу території на пірологічні райони може вказувати лише аналіз зонально-кліматичних чинників. Але використовуючи ці чинники не можна визначити межі районів. Межі великих ПТК визначають, аналізуючи вплив інших чинників (екзогенних та азональних). Зовні воно виявляється у розміщенні на території різних рослинних формацій і типів рослинності та їх характерних сполучень, а також гідрографічної мережі. Для цього проводять аналіз карти рослинності і карти лісів. Найкраще великі ПТК визначати на ранньовесняних або зимових космічних знімках у масштабі 1:10000000, де чітко помітні непокриті і покриті ділянки лісу, листяні і хвойні ліси. Звертають особливу увагу на пірологічну розчленованість площі залісненими річковими заплавами і системами верхових боліт.

Під час районування необхідно виділяти спочатку ПТК з чіткими природними межами, включати суміжні з картографуємою площею

території. Виділення ПТК виконують шляхом оконтурювання на чорно-білих космічних знімках масштабу 1:1000000 або 1:500000 (ранньовесняних або зимових) ділянок з однорідною структурою рослинного покриву. Мінімальний розмір контуру становить 1 см².

Для виявлення пірологічної розчленованості території за рахунок річок використовують літні чорно-білі космознімки, які мають ширину (разом із заплавою) більше 0,5 км. Схематично наносять річки, спрямовуючи їх звивини. Вузкі верхів'я рік не показують. У результаті маємо скорочену гідрографічну мережу, яка буде являти собою мережу протипожежних бар'єрів. Для виділення як ПТК, так і гідрографічної мережі краще використовувати весняні або літні кольорові (відразу після сходу снігу) космічні знімки.

Попереднє дешифрування використовують з метою визначення в контурах фонові типи основних провідників горіння, де переважають кущові і деревні види, зімкнутість їх намету.

Ліси є відкритими об'єктами, які видно на знімках. На спектрзональних знімках легко визначити їх породний склад. Типи боліт також дешифруються по знімках. Лишайниковий покрив видно у соснових рідинах і т.д.

При дешифруванні типів основних провідників горіння основними індикаторами є місце розташування на рельєфі (з урахуванням характеру ґрунтоутворних порід даного ПТК), повнота (зімкнутість), висота, бонітет, склад деревостану. Зв'язок індикаторів з типами основних провідників горіння має порайонні розходження. Крім спектрзональних знімків масштабу 1:200000 для попереднього дешифрування при складанні прекарти, краще використовувати характеристики типів лісу (включаючи пірологічні), а також матеріали лісовпорядкування (таксаційні описи, плани лісонасаджень). За рахунок виявлення серед ПТК аналогів, обсяг робіт при дешифруванні можна скоротити.

Прекарта складається за результатами попереднього дешифрування. Топокарта масштабу 1:1000000 є її топоосновою. На прекарту гідрографічна мережа наноситься в „обмеженому” і схематизованому вигляді. Тобто показуються тільки широкі частини рік, які виділені на космічних знімках як

протипожежні бар'єри, з випрямленням дрібних закрутів. На прекарті для гірських територій необхідно показувати рельєф. Горизонталі можна перенести з топооснови або зобразити штриховими знаками вододіли, стрімкі схили, хребти, лощини і т.п.

За допомогою розфарбування у контурах варто позначити фонові типи основних провідників горіння, які є характерними в даному районі для пожежонебезпечного періоду. Найкращі кольори для типів основних провідників горіння: сухомоховий (Сх) – світло-зелений, болотно-моховий (Бм) – синій, рихлоопадовий (Рх) – оранжевий, лишайниковий (Лш) – червоний, вологомоховий (Вл) – темно-зелений, трав'яно-гілковий (Тг) – жовтий, „безпровідниковий” (Бп) – сірий, щільноопадовий (Щл) – коричневий; тон фарбування повинен бути блідим. Якщо впродовж пожежонебезпечного періоду основні провідники горіння змінюють свій тип, то ці типи відображають у контурах при допомозі суцільного рідкого штрихування контурів, наприклад: Рх – вертикальна суцільна, Тг – вертикальна штрихова, Щл – похила, Бм – горизонтальна штрихова, Бп – горизонтальна суцільна. Раціональним є складання для кожної пори року окремих карт лісових горючих матеріалів [15].

Широко розповсюджені типи основних провідників горіння в даному ПТК позначають умовними знаками. Переважаючі деревні породи, зарості кущів і т.п. вказують типовими умовними знаками. Світло-блакитними кольорами зображуються всі річки і озера. Темно-коричневими крапками позначається наявність перегнійно-торф'яного шару (крім ПТК із типами Вл і Бм).

На карті всі контури бажано пронумерувати. Межі пірологічних районів (округів) також варто нанести на карту. Найважливішим моментом у підготовці до польових досліджень є вибір ключових ділянок. Ключові ділянки повинні бути репрезентативні. Для цього на території, яку картографують у межах кожного пірологічного району виділяються ПТК-аналоги. Останні поєднують в групи. У першу чергу до складу ділянок включаються представники самих великих за площею груп. Намічені ділянки потрібно забезпечити матеріалами

лісовпорядкування та аеро- і космічними знімками. Транспортна доступність відіграє велику роль у виборі ключових ділянок.

На карті масштабу 1:1000000 ПТК-виділи мають значні розміри, які вимірюються десятками кілометрів. З метою скорочення обсягу польових досліджень, ПТК-виділи варто поділити на більш дрібні ПТК (у ранзі урочищ) на території ключових ділянок, визначити серед них аналоги, згрупувати їх, а після цього встановити на карті для кожного ПТК-виділу фонові і близькі до фонового угруповання. Звертають особливу увагу на угруповання, що забезпечують пірологічну розчленованість всередині виділів, тобто болота та заболочені ділянки. На спектрзональних або синтезованих космічних знімках масштабу 1:200000 бажано виділяти дрібні ПТК. Обстеження необхідно планувати тільки в тих дрібних ПТК, які являють угруповання фонові, близькі до фонових, а також у тих, які в пірологічному плані розчленовують територію.

Маршрутні описи є основною формою польових досліджень. По квартальних просіках і таксаційних візирах намічають маршрутні ходи, які наносять на знімки. Наявні пікетажі, крокомір і видимі на знімках орієнтири використовують для прив'язки точок опису. Не рідше, ніж через 200 м роблять точки опису. Якщо приналежність основних провідників горіння до типу не встановлена і необхідні пробні запалювання, то точку опису фіксують кілочком з номером. У фітоценозах з розвиненим трав'яним покривом фіксація точок є обов'язковою, де опис роблять двічі: в літній і весняний періоди (або в осінній період). Від маршрутних описів краще утриматися у перехідний період між весною і літом („зелена весна” і „раннє літо”). Опис проводиться окомірно, використовуючи бусоль (у гірській місцевості) висотомір-екліметр, повнотомір Біттерліха.

Під час маршрутних обстежень схема пірологічного опису точок спостереження складається з таких даних [15]:

1. Державне підприємство лісового господарства, лісництво.
2. Дата.
3. Прив'язка (номер кварталу, номер виділу, відстань від квартального

стовпчика).

4. Місце розташування, стрімкість схилу (град), експозиція.

5. Нанорельєф (нанопідвищення, купини, мочажини, гряди). Визначення фонових елементів нанорельєфу, які встановлюють можливість поширення горіння по ділянці.

I група лісових горючих матеріалів

6. Мохово-лишайниковий покрив: ступінь покриття (С), склад, товщина шару (Т, см), розміщення.

7. Мертвий надґрунтовий покрив: а) трав'яні рештки, тобто висохла трав'яна рослинність – ступінь покриття (С), висота шару, розміщення, склад, у тому числі частка висохлих осок і злаків, можливість поширення горіння по шару під час його висихання; б) шар із трав'яних решток і опад, що перегниває – ступінь покриття, склад, щільність шару, ступінь розкладання, товщина (Т, см), розміщення по площі і за елементами нанорельєфу.

II група лісових горючих матеріалів

8. Лісова підстилка: склад (з трав'яної рослинності, опаду), щільність, товщина, тип підстилки (мор, муль, модер, дернина). Наявність торф'яного і перегнійного шару, його товщина.

9. Ґрунт: механічний склад ґрунтоутворюючої породи (супісок, легкий суглинок, пісок, важкий суглинок), режим зволоження (постійно-надлишкове, тимчасово-надлишкове, сухе, підвищене, недостатнє, нормальне).

III група лісових горючих матеріалів (трав'яно-кущиковий ярус; при проективному покритті не менш 40 % включається в опис).

10. Кущики, включаючи дрібний підлісок, підріст – склад, ступінь покриття (С), розміщення за елементами нанорельєфу і по площі, висота (Н, м). До V групи лісових горючих матеріалів необхідно відносити густі зарості вересу і багна болотного.

11. Трав'яна рослинність – розміщення, висота, склад, ступінь покриття (С), у тому числі частка осок і злаків.

Примітка: 1) висоту кущиків і ярусів трав'яної рослинності встановлюють від поверхні мохів, лишайників, опаду; 2) окремо описують покрив мікропідвищень і мікропонижень при різко вираженій мозаїчності надґрунтового покриву.

IV група лісових горючих матеріалів

12. Захаращеність (при запасі не менш $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) – вид (порубкові рештки, сучки, сушняк), запас ($\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), розташування (не приземлений, приземлений), крупність, стан.

13. Сухостій (при запасі не менш $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) – порода, середній діаметр, запас ($\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

V група лісових горючих матеріалів (а також VI група, при умові, якщо ярус складається з молодняку хвойних порід)

14. Деревно-кущиківий ярус при середній висоті в межах 0,6–3,0 м (при загальній зімкнутості намету не менш 0,3). Сюди належить великий підлісок і підріст, напівкущики, кущові зарості, густі зарості вересу і багна болотного, молоді насадження висотою до 3 м. Опис: розміщення, склад, зімкнутість (З), середня висота (Н, м)

VI, VII групи лісових горючих матеріалів

15. Опис деревних ярусів із середньою висотою більше 12 м і повнотою $> 0,1$: склад, повнота (П), зімкнутість, середня висота (Н, м) і висота до крон (К, м), стан стовбурів (наявність кар і підсушин, засмоленість кори, дуплистість і т.п.), характер розміщення дерев (рівномірно, куртинами, нерівномірно), сухостій (запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), товщина кори.

Примітка: на згарищах вказують давність пожежі, склад зрубаного деревостану, його повноту і висоту, стан відмерлих дерев, висоту нагару, відсоток відпаду.

16. Опис деревних або кущових ярусів з середньою висотою в межах від 3 до 12 м і повнотою (або зімкнутістю) $> 0,1$. (Опис аналогічно п. 15).

Оцінка класу природної пожежної небезпеки ділянки

17. Тип основного провідника горіння (ОПГ) і можливі сезонні його зміни, критичні класи пожежної небезпеки за умовами погоди (ККПН), класи природної пожежної небезпеки (КППН) впродовж пожежонебезпечного періоду.

18. Результати пробних запалювань: дата, клас пожежної небезпеки, час запалювання, елемент нанорельєфу, оцінка поширення горіння, запаси лісових горючих матеріалів, у тому числі активний запас лісових горючих матеріалів, тобто, який при запалюванні згоряє (вказати загальну товщину основних провідників горіння і товщину шару, що згоряє).

При поділі основних провідників горіння на типи, головним критерієм є тривалість пожежного досягання, тобто зв'язок можливості горіння з класом пожежної небезпеки за умовами погоди. Частими є випадки, коли надґрунтовий покрив має риси подібності з двома-трьома типами основних провідників горіння. Питання про належність до певного типу основних провідників горіння вирішується шляхом встановлення критичного класу пожежної небезпеки (ККПН) шляхом пробних запалювань покриву. Можливість поширення горіння є невизначеною при зазначених критичних класах пожежної небезпеки. Горіння є неможливим при меншому класі пожежної небезпеки від критичного класу, а при більшому класі пожежної небезпеки від критичного класу, горіння поширюється.

Вдень у періоди між 14 і 18 год за місцевим часом проводять пробні запалювання. На кожний день комплексний показник пожежної небезпеки можна отримати у державному підприємстві лісового господарства або оперативному авіаційному відділенні. Цей показник можна визначити самостійно, використовуючи добову суму опадів, температуру і вологість повітря у післяполудневі години. Ці дані отримують на найближчій метеостанції або на метеопункті.

Проводити повторні пробні запалювання при інших класах пожежної небезпеки потрібно тоді, коли вирішити питання однократним запалюванням не вдається. Перед запалюванням розсовують покрив до підстилки, збирають сухі

гілки і запалюють зібраний горючий матеріал. Пробне запалювання не проводять тоді, коли можливість або неможливість поширення горіння по покриву очевидна і без запалювання.

Ділянки, де запас основних провідників горіння менше критичного характеризуються „безпровідниковим” типом основних провідників горіння. Критичний запас в абсолютно сухому стані коливається від 200 (мохи) до 40 г·м² (висохлі дрібні злаки). Влітку ділянки з розвиненим травостоєм можна умовно характеризувати „безпровідниковим” типом, де запас трав’яних рослин (в абсолютно сухому стані) перевищує запас основних провідників горіння. При такому співвідношенні поширення горіння звичайно не спостерігається.

Пірологічна характеристика ПТК-контур не повинна обмежуватися визначенням тільки типів основних провідників горіння. З позиції можливостей виникнення, поширення і розвитку пожеж та їх наслідків треба охарактеризувати внутрішню структуру ПТК. На ключових ділянках У процесі робіт необхідно виявляти сполучення видимих аеровізуально і на знімках ознак-індикаторів для дешифрування типів основних провідників горіння. З повітря необхідно також оглянути і обстежити наземним способом великі згарища, провести аналіз поведінки пожеж, час і умови, при яких вони відбувалися. Такі дані потрібні для складання пірологічних описів ПТК-контурів до карти лісових горючих матеріалів.

Під час камеральних робіт проводять аналіз результатів польових досліджень у такому порядку:

1. Уточнення пірологічної характеристики типів лісових і нелісових біогеоценозів за типами основних провідників горіння і за іншими групами лісових горючих матеріалів (у межах кожного природного пірологічного округу);

2. Складання таблиці дешифрувальних ознак типів основних провідників горіння та інших груп лісових горючих матеріалів;

3. Складання пірологічних описів ПТК-контурів (просторова структура ПТК, характеристика її за типами основних провідників горіння і за умовами

виникнення та поширення пожеж, характеристика за іншими групами лісових горючих матеріалів і за умовами розвитку пожеж, за формами поведінки пожеж при різних класах пожежної небезпеки за умовами погоди, а також за наслідками пожеж);

4. Складання уточненого варіанту прекарти лісових горючих матеріалів;

5. Складання легенди карти, включаючи пірологічний опис ПТК-контурів, що показані на карті.

Важливою інформацією про ландшафтні форми поведінки пожеж є пірологічний опис ПТК-контурів, що прикладається до карти масштабу 1:1000000 (або 1:500000).

3.9.9. Метод сполученого складання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів

Сполучена карта лісових горючих матеріалів є оціночною. Її складання полягає у пірологічній характеристиці готових виділів основи (лісотипологічної, ландшафтної, геоботанічної та ін.) шляхом проведення аналізу описів, а також безпосередньої характеристики при польових дослідженнях типових виділів. Організація робіт при цьому є наступною [15]:

1. Аналізують і підбирають матеріал по загальній природній характеристиці території (з урахуванням природного районування);

2. Обирають основу. Підбирають і аналізують матеріал для опису виділів основи. Для виявлення свіжих згарищ, зрубів, нових сільгоспугідь проводять аналіз аерокосмознімків;

4. Складають прекарту лісових горючих матеріалів;

5. З метою уточнення пірологічних характеристик у найпоширеніших категоріях виділів підбирають ключові ділянки для польових досліджень;

6. Проведення польових досліджень;

7. Уточнення прекарти. Аналіз польових матеріалів;

8. Оформлення карти і її легенди.

Матеріали, що використовуються:

1. Дані літературних джерел;
2. Загальногеографічні (топографічні) карти;
3. Свіжі чорно-білі космічні знімки у масштабі 1000000–5000000 і спектрональні у масштабі 1:200000;
4. Свіжі аерофотознімки на ключові ділянки.

Головною метою аналізу матеріалів по загальній природній характеристиці території є виділення природних районів і виявлення неоднорідності території. Для цього використовують наявні природні районування, наприклад, пірологічне та лісорослинне.

Вибір основи. Обирається основа, яка є найбільш відповідною за масштабом, що містить більш повний опис виділів, у тому числі більш повний опис рослинності і особливо ЖНП. Для складання карт лісових горючих матеріалів потрібні: 1) загальні описи рослинності регіону та залежно від рельєфу, закономірності розподілу рослинності по території; 2) для даного району потрібен опис типів лісу; 3) для даного регіону потрібні матеріали пірологічної характеристики типів лісу; 4) матеріали горимості лісів даного регіону.

Аналіз аерокосмознімків. Згарища, зруби, сільгоспугіддя, площі листяних молодняків, які не відображені на карті-основі, на космічних знімках оконтурюються. Характер змін рослинності шляхом їхнього дешифрування уточнюється по аерофотознімках.

Складання прекарти включає: 1) у заданому масштабі складають контурну основу карти; 2) проведення аналізу легенди карти-основи і додаткових матеріалів для складання пірологічної характеристики категорій виділів карти-основи (оцінювання за типами основних провідників горіння по їх сезонній динаміці); 3) розроблення легенди карти; 4) з урахуванням інформації космознімків вносять зміни і доповнення у контурну основу; 5) відповідно до пірологічної характеристики на основі розробленої легенди проводять розфарбування прекарти.

Підбір ключових ділянок. Ключові ділянки для польових досліджень обираються на основі аналізу прекарти та інших матеріалів. Ділянки повинні бути доступними і зручними для роботи та найбільш типовими. На ключові ділянки підбирають аерофотознімки.

Підготовка до польових досліджень включає: 1) на місце робіт виготовляють копії з фондів матеріалів (таксаційних описів, планів лісонасаджень);
2) про горимість району збирають необхідну інформацію.

Польові дослідження включають: опис профілів і маршрутних ходів; на маршрутах і профілях за спеціальною формою проводять пірологічні описи точок; на профілях підбираються пробні площі і поблизу їх влаштовується метеопункт у випадках необхідності проведення стаціонарних спостережень за пожежним досяганням ділянок (типів лісу) і визначення запасів лісових горючих матеріалів [27].

Аналіз польових матеріалів включає: 1) використовуючи спектрозональні космознімки здійснюють пошук відповідності між маршрутними описами і картою-основою та вносять правки на прекарту; 2) для типів лісу та інших категорій ділянок на основі маршрутних описів і пробних запалювань уточнюють типи основних провідників горіння та їх сезонну динаміку; 3) уточнення таблиці зв'язку типів основних провідників горіння із типами лісу; 4) виправлення прекарти.

Оформлення карти ЛГМ та її легенди. Відповідно до існуючих правил оформляється авторський макет карти лісових горючих матеріалів.

3.9.10. Використання середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів

Середньомасштабна карта лісових горючих матеріалів дає характеристику середній природній пожежній небезпеці території, яку потрібно знати під час складання генеральних схем протипожежного впорядкування лісів областей та

під час планування освоєння нових районів і розміщення різних об'єктів господарювання, а також при прогнозованих екологічних експертизах, які пов'язані з лісовими пожежами.

Основою для моніторингу за пожежною безпекою може бути середньомасштабна карта лісових горючих матеріалів. Карта лісових горючих матеріалів повинна поєднуватися з картою безпеки загорянь та з характеристикою погодних умов і їх прогнозуванням [78]. З метою оптимізації маршрутів авіапатрулювання для керування катастрофічними пожежами потрібен моніторинг реальної пожежної безпеки лісів на основі середньомасштабних карт лісових горючих матеріалів.

Прогнозування поділу реальної пожежної безпеки по території району проводиться на базі сполученої контурної карти, на якій вказані: 1) з карти лісових горючих матеріалів межі виділів із вказівкою типів основних провідників горіння; 2) метеостанції – з метеокarti та зони обслуговування метеостанцій; 3) з карти безпеки загорянь – контури площ із різними рівнями безпеки загорянь.

На карту-основу під час складання карти безпеки загорянь наносять за останні 10 років місця виникнення пожеж. Після цього площу карти поділяють на клітинки по 10000 га. Клітинки поділяють за п'ятьма градаціями безпеки загорянь: I – 0,05 загорянь і менше; II – 0,06–0,2; III – 0,21–0,7; IV – 0,71–2,0; V – більше 2,0 загорянь. Сусідні клітинки, які мають однакові градації безпеки загорянь поєднують в загальні контури. Градації в контурах позначаються штрихуванням або фоновими позначеннями. Для весняно-осіннього і літнього сезонів такі карти необхідно мати окремо.

Для того щоб оцінити готовність до загоряння лісових ділянок (виділів з карти лісових горючих матеріалів), потрібно на сполученій контурній карті для метеовиділу кожної метеостанції вказати (за величиною комплексного показника) клас пожежної безпеки за умовами погоди. У кожному виділі карти лісових горючих матеріалів, знаючи тип основних провідників горіння і клас пожежної безпеки, проводять оцінку при допомозі таблиці, яка прикладена до

карти, стан готовності до загоряння кожного виділу (горимий стан, негоримий стан, перехідний стан) і після цього трьома кольорами розфарбовують виділи. Готовність виділу до загоряння характеризує сполучення кольорів, а ступінь реальної пожежної небезпеки характеризує позначення (або штрихування), що визначають рівень небезпеки загорянь (табл. 3.18).

На кожен день патрулювання повинні складатися карти поточної пожежної небезпеки. Аналізуючи проблему пожеж у лісах і світовий досвід пожежної лісової охорони можна сказати, що вирішити проблему можливо у формі управління пожежами на основі вдосконалення і широкого застосування методів прогнозування поведінки пожеж і їх можливих наслідків та пожежної небезпеки.

Таблиця 3.18

Оцінка поточної пожежної небезпеки ділянок лісу

Стан готовності до горіння	Градації небезпеки загорянь				
	I	II	III	IV	V
	Ступінь поточної пожежної небезпеки				
Горимий	II	II	III	IV	V
Перехідний	I	II	II	II	III
Негоримий	I	I	I	I	I

Прогнозування поведінки степових, кущових, лісових та інших пожеж рослинності, потрібен під час управління ними, і є надзвичайно важкою справою. Правильність такого прогнозування визначається детальністю, повнотою і достовірністю, насамперед, базової інформації про пірологічну характеристику ділянок рослинності. Причому в регіонах, де пожежі завдають значної шкоди необхідно мати характеристику всіх ділянок рослинності. Не має великого практичного значення характеристика тільки окремих ділянок або тільки окремих категорій ділянок, оскільки пожежі можуть поширюватися і виникати практично в будь-якій частині території.

Світовий досвід показує, що чіткий прогноз поведінки пожеж можливо лише під час використання всебічної індивідуальної характеристики ділянок рослинності, а не спрощеної типової. Індивідуальна всебічна характеристика

ділянок рослинності може бути реалізована, якщо вона є (індивідуально-типовою) поєднанням типових елементів з їх типовими характеристиками.

Великомасштабні карти ЛГМ можуть мати індивідуально-типову характеристику ділянок рослинності разом з інформацією про місце розташування і контурів ділянок. Отже, карти ЛГМ повинні становити головну частину інформаційної бази для прогнозування поведінки і наслідків пожеж рослинності при управлінні ними.

Істотним внеском у формуванні інформаційної бази для вітчизняної системи прогнозування поведінки і наслідків лісових пожеж рослинності є розроблені наукові основи і практична технологія по картографуванню ЛГМ.

3.10. Прогнозування поведінки та наслідків пожеж

На базі фізико-математичної моделі Ротермела у світовій практиці широко використовується американський метод комп'ютерного прогнозування поведінки пожеж [200]. Згідно з цією моделлю „мертві” лісові горючі матеріали розподіляються за їх „тимчасовим зволоженням” на чотири класи, а рослинність розподіляється на типові комплекси лісових горючих матеріалів – „моделі ГМ”.

Ця модель відповідає характеру будови фітоценозів як комплексів лісових горючих матеріалів та особливостям їх горіння тільки у небореальній зоні Північної Америки, Австралії, Африки і т.д. – тобто скрізь, де ОПГ виступає шар мертвих лісових горючих матеріалів із часток різних за розміром (висохла трав'яна рослинність, ярус кущів з мертвими гілками у наметі, шар порубкових решток на зрубі або шар опадів в лісі). Їх висихання залежить від температури і вологості повітря, а зволоження – від змочування дощем.

Основним провідником горіння у бореальній зоні є мохово-лишайниковий покрив. Зволоження і висихання останнього відбуваються пошарово з різною швидкістю на різних ділянках. На ці процеси впливають вологість ґрунту та атмосферні умови. Фаза тління відіграє значну роль у процесі горіння. У таких випадках модель Ротермела не є коректною. Тому в Канаді не використовується

американська система BEHAVE, а застосовується оригінальна система FBR, у якій використовуються емпіричні дані про параметри горіння при різних погодних умовах у виділених типових комплексах лісових горючих матеріалів.

Американська система BEHAVE з її класифікацією лісових горючих матеріалів за класами і „моделями” для бореальної зони є малоприматною і може застосовуватися тільки у лісах з відсутністю мохового покриву.

Починаючи з кінця 50-х років, у Росії, проводили дослідження поширення пожеж і закономірностей горіння лісових горючих матеріалів, розроблялися експериментально-статистичні і фізико-аналітичні моделі таких процесів [42]. Таким чином розрізняють: 1) аналітичні моделі, які показують теплофізичні процеси під час горіння лісових горючих матеріалів [2, 38, 66, 127, 128]; 2) експериментально-статистичні моделі поширення горіння на частинах крайки низової пожежі [55, 58, 118]; 3) моделі поширення контуру пожежі [30, 40, 41]; 4) моделі розвитку низової пожежі у верхову [33]. Моделі другої групи є найбільш практичними для прогнозування поведінки пожеж.

Простою для прогнозування швидкості поширення крайки низової пожежі є модель М.А. Софронова [118]. Ця модель являє собою базову швидкість, що помножена на змінні коефіцієнти відносного впливу на цю швидкість таких чинників (швидкості вітру, відносної вологості повітря та схилу поверхні).

3.10.1. Прогнозування поведінки низової пожежі

У практиці лісової пожежної охорони існують ситуації, коли потрібно прогнозувати поведінку і наслідки пожеж:

1) під час виникнення великої кількості пожеж. Для вчасної ліквідації пожеж не вистачає засобів і сил, а тому потрібно виявити найнебезпечніші (особливо у випадку загрози цінним об'єктам і населеним пунктам) і найбільш складні відносно боротьби пожежі;

2) під час складання оптимального плану управління великою пожежею (включаючи її ліквідацію і контролювання), коли потрібно врахувати і передбачити небезпечні ситуації і тенденції у її розвитку і поширенні;

3) при складанні сценарію поширення пожежі і її наслідків на певній площі під час різних погодних умов. Це потрібно для вибору оптимального часу і технології проведення цільових палів [121, 126].

Тільки на основі великомасштабної карти ЛГМ (разом з пірологічним описом виділів) і метеорологічної інформації можливий ефективний прогноз поведінки і наслідків пожежі. Оскільки близько 80 % всіх пожеж рослинності є низовими, то найбільше значення має прогнозування поведінки саме низових пожеж. З низових пожеж розвиваються практично всі верхові пожежі.

На моделі пожежі базується прогноз поведінки низової пожежі. Вибір моделі повинен визначатися реальною можливістю отримання інформації для моделювання і точністю цієї інформації. Так як низька точність оцінювання хоча б одного значного чинника визначає малу точність всього результату моделювання і вона не може бути компенсована високою точністю оцінювання інших чинників [25].

Під час прогнозу поведінки пожеж з малою точністю відомості про лісові горючі матеріали відрізняються внаслідок їх значного коливання в просторі (за шарами, площею) і в часі (за феніперіодами), а також метеоінформація. Таким чином була відібрана модель М.А. Софронова [118, 125], яка є простою. Цей метод прогнозування поведінки пожежі базується на використанні простих емпіричних залежностей, таблиць і великомасштабних карт лісових горючих матеріалів,.

Прогноз поведінки пожежі здійснюється в декілька етапів:

- 1) з урахуванням комплексного показника оцінюється стан готовності до горіння ділянок лісу навколо пожежі;
- 2) з урахуванням метеопрогнозу прогнозують швидкість поширення та інтенсивність горіння на ділянках;

- 3) з урахуванням інтенсивності пожежі і таксаційної характеристики деревостану на кожній ділянці оцінюють можливі наслідки від пожежі для кожного виділу;
- 4) приймають рішення гасити або не гасити пожежу. Оптимальну кількість гасильників і техніки залежно від площі пожежі і швидкості її поширення на кожній стадії визначають під час планування гасіння пожежі.

Пірологічний опис, метеорологічний прогноз і комплект розроблених таблиць та формул використовують при оцінюванні поширення і швидкості інтенсивності пожежі. Під час прогнозування поширення контуру пожежі беруть до уваги не тільки негоримі ділянки, але й лінійні перешкоди (дорожня мережа, річки, струмки і т.п.). При цьому потрібно дотримуватися певного порядку і послідовності операцій [21, 53].

Постійну та оперативну інформацію використовують під час прогнозування поведінки пожеж. До постійної інформації належать:

- банк даних для оперативного складання великомасштабних карт лісових горючих матеріалів;
- великомасштабні карти лісових горючих матеріалів (на основі пірологічного опису таксаційних виділів з банку даних та лісовпорядних планшетів);
- клас пожежної небезпеки за умовами погоди [101];
- оцінювання інтенсивності тепловиділення (I_s), поверхневої теплоти згоряння шару ($Q_{ш}$) і базової („штильової”) швидкості (V_0) низової пожежі залежно від комплексного показника за типами ОПГ (табл. 3.19) [25];

Таблиця 3.19

Пірологічні характеристики ОПГ

Комплексний показник, одиниць			Пірологічні характеристики			
від	до	тип	$Q_{ш}$, МДж·м ⁻²	I_s , кВт·м ⁻²	V_0 , м·хв ⁻¹	V_0 , м·с ⁻¹
Лишайниковий тип основних провідників горіння (Лш)						
40	300	100	4,0	68	0,20	0,003
70	600	200	5,0	80	0,25	0,004
100	900	300	6,5	105	0,32	0,005
130	1200	400	7,5	121	0,40	0,007
160	1500	500	8,5	136	0,46	0,008
200	2000	700	9,0	140	0,54	0,009
300	3000	1000	9,5	148	0,60	0,010

Продовження таблиці 3.19

Комплексний показник, одиниць			Пірологічні характеристики			
від	до	тип	$Q_{ш}$, МДж·м ⁻²	I_s , кВт·м ⁻²	V_0 , м·хв ⁻¹	V_0 , м·с ⁻¹
600	6000	2000	10,0	156	0,64	0,011
1000	9000	3000	10,0	156	0,64	0,011
1300	12000	4000	10,0	156	0,64	0,011
1600	15000	5000	10,0	156	0,64	0,011
Сухомоховий тип основних провідників горіння (Сх)						
160	1500	500	3,5	80	0,14	0,002
200	2000	700	5,3	100	0,16	0,002
300	3000	1000	10,0	230	0,19	0,003
600	6000	2000	16,0	370	0,25	0,004
1000	9000	3000	20,0	450	0,27	0,004
1300	12000	4000	22,0	480	0,29	0,005
1600	15000	5000	24,0	510	0,30	0,005
Вологомоховий тип основних провідників горіння (Вл)						
300	3000	1000	2,3	50	0,15	0,003
600	6000	2000	8,8	190	0,22	0,004
1000	9000	3000	12,0	260	0,27	0,004
1300	12000	4000	13,2	290	0,30	0,005
1600	15000	5000	14,4	310	0,33	0,006
Рихлоопадовий тип основних провідників горіння (Рх)						
200	2000	700	4,0	57	0,10	0,002
300	3000	1000	7,5	100	0,20	0,003
600	6000	2000	10,0	132	0,30	0,005
1000	9000	3000	11,0	140	0,40	0,006
1300	12000	4000	11,5	146	0,44	0,007
1600	15000	5000	12,0	150	0,50	0,008
Щільноопадовий тип основних провідників горіння (Щл)						
300	3000	1000	3,0	70	0,20	0,003
600	6000	2000	9,0	210	0,23	0,004
1000	9000	3000	12,0	280	0,26	0,004
1300	12000	4000	13,5	310	0,29	0,005
1600	15000	5000	15,0	330	0,32	0,005
Трав'яно-гілковий тип основних провідників горіння (Тг) (під наметом лісу)						
100	900	300	(9,0)	–	0,30	0,005
130	1200	400	(10,0)	–	0,33	0,005
160	1500	500	(10,0)	–	0,35	0,006
200	2000	700	(10,0)	–	0,38	0,006
300	3000	1000	(10,0)	–	0,40	0,007
600	6000	2000	(10,0)	–	0,40	0,007
1000	9000	3000	(11,0)	–	0,40	0,007
1300	12000	4000	(11,0)	–	0,40	0,007
1600	15000	5000	(11,0)	–	0,40	0,007

Примітка. Тип – умови висихання відповідають типовим: „від” – умови висихання на ділянці краще типових настільки, що критичний клас пожежної небезпеки менше класу, типового для даного типу ОПГ; „до” – умови висихання настільки ж гірше типових. Типе –

експериментальні дані відсутні, у дужках – оціночні дані. Болотно-моховий (Бм) і „безпровідниковий” (Бп) типи ОПГ практично негоримі, тому вони відсутні у таблиці.

- коефіцієнти відносного впливу основних чинників (відносної вологості повітря, швидкості вітру та схилу поверхні) на швидкість поширення крайки низової пожежі [118, 125] (табл. 3.20);

Таблиця 3.20

Коефіцієнти відносного впливу чинників на швидкість поширення горіння низових пожеж

Вплив швидкості вітру, W												
W, м/с	<u>0,0</u>	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	5,0
K_w	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0	10,0
K'_w	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8
K''_w	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,5
Вплив схилу поверхні, j												
J	-40°	-30°	-20°	-10°	<u>0°</u>	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
K_j	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	4,0	6,0	12,0
Вплив відносної вологості повітря, r												
r, %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
K_r	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3

Примітка. Підкреслені ті величини чинників, при яких відносний вплив останніх приймається за одиницю. W – швидкість вітру на висоті 2 м; K_w – для фронту; K'_w – для тилу і флангу; K''_w – для флангу при інтенсивному горінні (за Е.В. Конєвим, 1984).

- коефіцієнти впливу повноти деревостану на швидкість вітру під наметом лісу [55] (табл. 3.21).

Таблиця 3.21

Коефіцієнти K_c для визначення швидкості вітру W під наметом лісу на висоті 2 м

Повнота деревостану	K_c	Повнота деревостану	K_c	Повнота деревостану	K_c
0,0	0,77	0,4	0,38	0,8	0,11
0,1	0,70	0,5	0,30	0,9	0,07
0,2	0,60	0,6	0,23	1,0	0,05
0,3	0,48	0,7	0,16	–	–

До оперативної інформації відносять:

- абрис контуру пожежі з прив'язкою до квартальної мережі та інших орієнтирів вказуючи при цьому точний час складання абрису;
- великомасштабну карту ЛГМ (з пірологічним описом виділів карти), яка оперативно складена на територію дії пожежі;
- метеоінформацію з найближчої (не далі 25 км) метеостанції, що повинна містити: відомості про величину комплексного показника на сьогоднішній день і за попередні дні. Якщо таких даних немає, то їх необхідно отримати для розрахунку комплексного показника. Для цього потрібні: дані про температуру повітря і точки роси на 13–15 год і дані про опади (час випадання, кількість) від дня з випаданням останнього дощу більше 3 мм і до сьогоднішнього дня; відомості за останні 1–2 доби про відносну вологість повітря та про напрямок вітру і його швидкість за весь термін спостереження;
- метеоропрогноз для даного району (на 1–3 доби).

При прогнозуванні поведінки пожежі спочатку визначають клас пожежної небезпеки за умовами погоди на сьогоднішній день за величиною комплексного показника (КП). Після цього карту лісових горючих матеріалів перетворюють у карту поточної природної пожежної небезпеки. З цією метою для кожного виділу карти лісових горючих матеріалів за трьома градаціями проводять оцінку стану готовності до загоряння. Для цього виконують порівняння класу пожежної небезпеки за умовами погоди на сьогоднішній день з критичними класами пожежної небезпеки, які вказані в пірологічному описі для кожного виділу. Якщо клас пожежної небезпеки менше критичного класу, то стан визначається як „негоримий”, якщо більше критичного – „горимий”, якщо дорівнює критичному – „перехідний”. Виділи на карті лісових горючих матеріалів штрихують або розфарбовують згідно з трьома градаціями: 1) готові до загоряння, 2) не готові до загоряння, 3) які характеризуються невизначеним (перехідним) станом. У підсумку отримуємо карту поточної природної пожежної небезпеки (рис. 3.39).

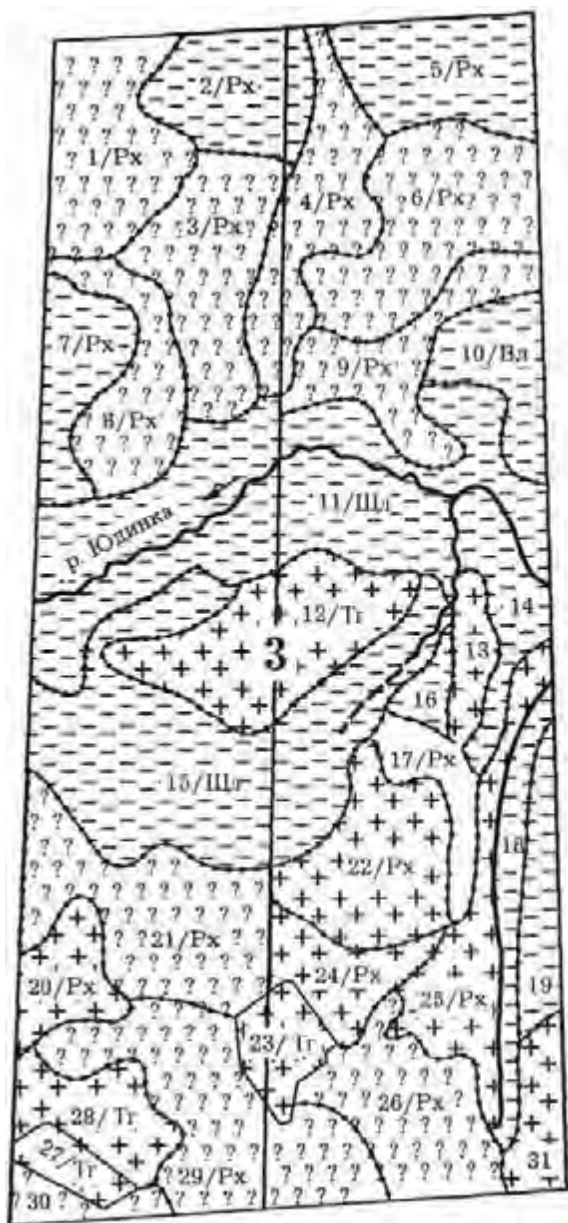


Рис. 3.39. Фрагмент карти поточної природної пожежної небезпеки при II класі пожежної небезпеки за умовами погоди (весна), який виконано на основі карти ЛГМ.

Стан пожежної стиглості виділів:

- 1 – виділи, які досягнули готовності до загоряння;
- 2 – виділи, які знаходяться у стадії пожежного досягання;
- 3 – негоримі виділи;
- 4 – номер виділу / тип основних провідників горіння

Використовуючи професійний досвід і різну додаткову інформацію (облік характеру виділів, які пройдені вогнем даної пожежі або на сусідніх пожежах і т.п.) можна усунути невизначеність в оцінці стану виділів експертним шляхом. Контур пожежі з абрису наносять на карту поточної пожежної небезпеки та вказують напрямок вітру (стрілкою), після чого позначають чотири напрямки (з центра пожежі), за якими прогнозується поширення пожежі: 1) фронтальне, яке співпадає з напрямком вітру; 2) тилове – у протилежному напрямку; 3) правофлангове; 4) лівофлангове, перпендикулярні напрямку вітру.

Від контуру великої пожежі вказують потрібну кількість напрямків, які є перпендикулярними крайці, і відносно напрямку вітру встановлюють їх характер. Під час наземного виявлення пожеж (з пожежних спостережних пунктів) пожежа фіксується в момент її виникнення, тому прогноз поширення пожежі здійснюється не від контуру пожежі, а від місця (точки) її виникнення.

Прогноз пожежі здійснюється за обраними тимчасовими етапами. Під кінець кожного тимчасового етапу розраховується контур пожежі (на задану годину певного дня). Першим етапом є час „вільного” поширення пожежі: від моменту її виявлення (складання абрису пожежі) до розрахункового часу прибуття лісової пожежної команди [15].

Прогноз вітрового режиму (швидкості і напрямку вітру) і прогноз динаміки відносної вологості повітря за встановленими термінами необхідно складати на весь період прогнозування поведінки пожежі. Прогнозування вологості повітря і швидкості вітру за термінами складається з використанням даних, які отримують на метеорологічній станції, про фактичну динаміку таких факторів по термінах за попередні 1–2 доби, враховуючи при цьому прогноз погоди. Краще щоб таке прогнозування по термінах спостережень проводили на метеорологічних станціях. Форма запису прогнозованих метеопказників представлена в табл. 3.22.

1. Дата і час виявлення (складання абрису): дата 17 травня р. години і хвилини 14.20
2. Етапи розрахункового періоду: від ____ до (дати, години, хвилини):
1) 17 травня з 14.20 до 18.00, 2) _____, 3) _____
3. Величина КП на дати: 1) на 25 травня – 1830 од.,
2) на 17 травня – 2250 од., 3) _____
4. Клас пожежної небезпеки за умовами погоди на дати:
1) на 16 травня – III, 2) на 26 травня – III, 3) _____

Метеорологічна інформація (форма запису)

Добова динаміка (у т.ч. прогнозована):						
а) напрямку і швидкості вітру (W , $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$), б) відносної вологості повітря (r , %) і коефіцієнта K_r						
Дата	16 травня					
Години спостережень на метеостанції	9	12	15	18	21	24
Вітер: напрямок	ПнС	ПнС	ПнС	ПнС	–	–
Швидкість W , $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	2	5	8	4	0	0
Відносна вологість r , %	56	40	35	62	80	90
K_r	0,7	1,0	1,1	0,7	0,5	0,3

Продовження табл. 3.22

17 травня (прогноз)								
Години спостережень на метеостанції	3	6	9	12	15	18	21	24
Вітер: напрямок	–	–	ПнС	ПнС	ПнС	ПнС	–	–
Швидкість W , $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	0	0	3	6	9	4	0	0
Відносна вологість r , %	95	87	55	40	35	60	80	90
K_r	0,0	0,3	0,7	1,0	1,1	0,7	0,5	0,3

У межах кожного тимчасового етапу прогнозування виконується розрахунок ймовірної швидкості розповсюдження низової пожежі і сили пожежі (інтенсивності крайки), спочатку – у напрямку поширення фронту пожежі, потім – у напрямках тилу і флангів.

Модель М.А. Софронова використовується для прогнозування швидкості розповсюдження крайки пожежі (V_x , $\text{м}\cdot\text{хв}^{-1}$):

$$V_x = V_o \cdot K_\phi \cdot K_r \cdot K_w, \quad (3.11)$$

де V_o – базова (штильова) швидкість, яка відповідає типу основних провідників горіння виділу і комплексного показника (КП) для даного дня; K_ϕ – коефіцієнт впливу схилу поверхні, який вказано в пірологічному описі, експозиції схилу і напрямку поширення горіння (якщо горіння поширюється вгору по схилу, то кути є позитивними, якщо вниз по схилу, то кути є негативними, а якщо впоперек схилу, то кути є нульовими); K_r – коефіцієнт

впливу відносної вологості повітря по термінах відповідно до прогнозованої відносної вологості повітря (r , %); K_w – коефіцієнт впливу вітру відповідно до напрямку і швидкості вітру відносно крайки пожежі (тил, фронт, фланг).

Швидкість вітру під наметом лісового насадження (W) розраховують за формулою:

$$W = W_m \cdot K_c, \quad (3.12)$$

де W_m – швидкість вітру на метеорологічній станції, $m \cdot s^{-1}$; K_c – коефіцієнт повноти деревостану.

Усі вихідні і підсумкові дані для зручності розрахунків заносяться в спеціальну форму (табл. 3.23). До кінця першого етапу прогнозування (наміченого часу даного дня) проводиться розрахунок по кожній тактичній частині пожежі (або напрямку). Для того щоб встановити, до якої точки надійде крайка пожежі в останньому виділі до наміченого часу, у формулі береться до уваги тривалість поширення пожежі в останньому виділі:

$$L_n = (V_x)_n \cdot (\Pi_p - \Pi_{n-1}), \quad (3.13)$$

де L_n – відстань, яку подолає крайка пожежі в останньому виділі до кінця наміченого етапу прогнозування, м; $(V_x)_n$ – розрахункова швидкість поширення крайки пожежі в останньому виділі, $m \cdot x \cdot h^{-1}$; Π_p – час закінчення етапу прогнозування, хв, год; Π_{n-1} – час закінчення поширення пожежі в передостанньому виділі, хв, год.

У кожному напрямку на шляху поширення пожежі можуть зустрічатися перешкоди у вигляді негоримих на даний час виділів і перешкоди у вигляді струмків, річок і доріг. Якщо на шляху поширення пожежі є негоримий виділ, то розповсюдження пожежі у такому напрямку зупиняється, якщо перешкода є ширшою за поперечник пожежі. У іншому випадку пожежа обходить бар'єр зі сторін. Для того щоб оцінити у напрямку перешкоди, поперечник пожежі, то

спочатку необхідно здійснити прогноз розповсюдження пожежі в різних напрямках (фронт, фланги, тил).

У випадку, якщо на шляху розповсюдження пожежі знаходиться виділ, що перебуває в „перехідній” стадії, тобто можливість його загорання якого у даний момент є невизначеною, то стан „пожежної стиглості” виділу оцінюють експертним шляхом або розраховують два варіанти розповсюдження пожежі: 1) припускаючи, що даний виділ є горимим і 2) припускаючи, що даний виділ є негоримим.

Якщо на шляху пожежі є перешкода (струмок, річка, дорога і т.п.), то вона, зазвичай, зупиняє флангові і тилову крайки пожежі, а фронтальна крайка, високоінтенсивна або особливо довга (більше 100 м), здатна подолати такі перешкоди (крім річок завширшки 50 м і більше, при цьому до ширини річки включають негоримі ділянки її заплави).

Для оцінки сили пожежі та для визначення можливих наслідків необхідно проводити прогнозування інтенсивності крайки пожежі. Інтенсивність крайки визначають за формулою:

$$I_{кр} = Q_{ш} \cdot V_x, \quad (3.14)$$

де $Q_{ш}$ – поверхнева теплота горіння шару (величину $Q_{ш}$ беруть згідно типу основних провідників горіння у кожному виділі у заданому напрямку і значення комплексного показника), МДж·м⁻².

На практиці за висотою полум'я (h , м) на фронтальній крайці оцінюють силу низових пожеж: слабкі – до 0,5 м; середньої сили – 0,5–1,5 м; сильні – більше 1,5 м [65]. Висота полум'я на крайці пожежі пов'язана з інтенсивністю крайки ($I_{кр}$, кВт·м⁻¹). Тому в кожному виділі силу пожежі можна також визначати і за прогнозованою інтенсивністю крайки (слабкі – до 35, середні – 35–120 і сильні – більше 120 кВт·м⁻¹).

Прогноз поведінки низової пожежі (форма запису)

1	Тактична частина пожежі (фронт, правий фланг, лівий фланг, тил)	фр	фр	фр	прав. фл.	прав. фл.	лів. фл.	лів. фл.	тил	тил
2	Квартал і номер виділів на карті	4 / 13	4 / 17	4 / 20	4 / 13	4 / 12	4 / 13	4 / 18	4 / 13	4 / 8
3	Протяжність виділу, м	140	120	640	120	500	80	210	100	370
4	Тип основних провідників горіння	Тг	Рх	Рх	Тг	Рх	Тг	Рх	Тг	Щл
5	Критичний клас пожежної небезпеки (ККПН)	I	II	II	I	II	I	III	I	III
6	V_0 (базова швидкість), $\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$	0,40	0,30	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,23
7	Експозиція схилу / стрімкість схилу, град	Пн / 1	Пн / 5	Пд3 / 2	Пн / 1	Сх / 5	Пн / 1	Зх / 11	Пн / 1	Пн3 / 7
8	K_ϕ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1
9	Повнота деревостану (або затіненість)	0	0,6	0,5	0	0,6	0	0,8	0	0,2
10	K_c (для вітру під наметом лісу)	0,74	0,23	0,30	0,74	0,23	0,74	0,11	0,74	0,60
11	W , $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ (швидкість вітру під наметом лісу)	5,1	1,8	1,2	1,1	1,3	5,1	1,0	5,1	3,0
12	K_w	10,0	2,4	1,7	1,8	1,1	1,8	1,1	1,8	1,4
13	V_x (швидкість крайки пожежі), $\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$	4,0	0,8	0,36	0,7	0,26	0,7	0,36	0,7	0,25
14	$Q_{ш}$, $\text{МДж} \cdot \text{м}^{-2}$	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	9,0
15	$I_{кр}$, $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-1}$ (інтенсивність крайки)	67	13	6	12	4	12	8	12	4
16	Період поширення виділом у хвиликах / до (год, хв)	$\frac{35}{14.55}$	$\frac{150}{17.25}$	$\frac{35}{18.00}$	$\frac{170}{17.10}$	$\frac{50}{18.00}$	$\frac{115}{16.15}$	$\frac{105}{18.00}$	$\frac{143}{16.43}$	$\frac{77}{18.00}$
17	Відстань, яку пройшла крайка / у т.ч. зростаючим підсумком, м	$\frac{140}{140}$	$\frac{120}{260}$	$\frac{13}{273}$	$\frac{120}{120}$	$\frac{14}{134}$	$\frac{80}{80}$	$\frac{40}{120}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{19}{119}$

З метою виконання оптимального плану гасіння пожежі наприкінці кожного тимчасового етапу прогнозування необхідно також оцінювати периметр пожежі (П, м або км) і швидкість зростання периметра (крайки) пожежі ($\Delta П$, $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$). Розрахунковим шляхом можна визначити прогнозований периметр пожежі за наступною формулою [125]:

$$П = 3/2 (L_{ф-т} + L_{ф-ф}) - K_{зв}, \quad (3.15)$$

де $L_{ф-т}$ – поперечник пожежі в напрямку фронт–тил;
 $L_{ф-ф}$ – поперечник пожежі в напрямку правий фланг – лівий фланг;
 $K_{зв}$ – коефіцієнт звивистості крайки (у середньому 1,5).

Безпосередньо по карті можна оцінити периметр пожежі. Через точки на карті, які пожежа повинна подолати за розрахунковий час у кожному напрямку, встановлюється прогнозований контур пожежі, з урахуванням масштабу визначається довжина контуру і множиться на коефіцієнт звивистості.

Швидкість збільшення периметра пожежі ($\Delta П$) визначається швидкістю поширення крайки пожежі і не залежить від площі пожежі. За швидкістю фронтальної крайки можна оцінити швидкість збільшення периметра пожежі ($\Delta П$) (табл. 3.24) [25].

Таблиця 3.24

Швидкість збільшення периметра пожежі ($\Delta П$) залежно від швидкості фронтальної крайки

$V_{фр}$, $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$ або	25	40	70	120	200
$\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$	0,4	0,7	1,2	2,0	3,3
$\Delta П$, $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$	200	300	400	700	1000

Під час прогнозування поведінки пожежі джерелами помилок можуть бути:

- 1) нерівномірність розподілу опадів по площі. Це обумовлює неточності

встановлення значення комплексного показника і класу пожежної небезпеки за умовами погоди, особливо на відстані від метеорологічної станції більш, ніж 25 км;

- 2) мала точність метеопрогнозу;
- 3) помилки на карті лісових горючих матеріалів, що зумовлені неточностями інформації лісовпорядкування;
- 4) зміна напрямку вітру, яка впливає на фронтальну крайку пожежі, завдяки проходженню вітру над поверхнею пожежі, яка є нагрітою;
- 5) помилки у нанесенні на карту лісових горючих матеріалів крайки пожежі.

Частина помилок і неточностей може взаємно компенсуватися, але деякі з них можуть викликати великі відхилення, оскільки контур пожежі є інтегральним підсумком його розповсюдження. Тому рекомендується в процесі контролювання пожежі регулярно оновлювати і корегувати прогнозування поведінки пожежі.

3.10.2. Прогнозування наслідків низової пожежі

Загибель дерев, післяпожежний відпад у деревостанах є найбільшим наслідком низової пожежі у лісі. Процес такого відпаду може тривати на протязі декількох років, а тому потрібно знати його прогноз.

Войновим Г.С. та М.А. Софроновим [17] проводилися багаторічні спостереження за післяпожежним відпадом у деревостанах ялини, модрина, сосни і берези. В якості чинників були взяті висота нагару на стовбурах і діаметр стовбурів. У результаті проведених досліджень були розроблені математичні моделі залежності відсотку відпаду за рівнями товщини деревостанів від висоти нагару.

Амосовим Г.А. [1] встановив зв'язок між висотою нагару на стовбурах (H_n , м) та висотою полум'я на крайці пожежі (h , м):

$$H_n = 2,06h - 0,14. \quad (3.16)$$

Александром М.Є. [148] була встановлена емпірична степенева залежність висоти полум'я на крайці пожежі (h , м) від інтенсивності (потужності) крайки ($I_{кр}$, кВт·м⁻¹):

$$h=(I_{кр})^{0,46}. \quad (3.17)$$

Застосування таких залежностей дозволяє пов'язати висоту нагару на стовбурах з інтенсивністю крайки пожежі і на графіках післяпожежного відпаду і у таблицях замінити „висоту нагару” на „інтенсивність крайки пожежі” (табл. 3.25, рис. 3.40) [25].

Таблиця 3.25

Зв'язок інтенсивності крайки пожежі ($I_{кр}$) з висотою нагару (H_n) на стовбурах дерев

$I_{кр}$, кВт·м ⁻¹	5	10	20	50	100	200	500
H_n , м	0,5	0,8	1,2	1,9	2,8	4,0	6,4

Отже, післяпожежний відпад у деревостанах можна спрогнозувати за інтенсивністю крайки низової пожежі.

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.

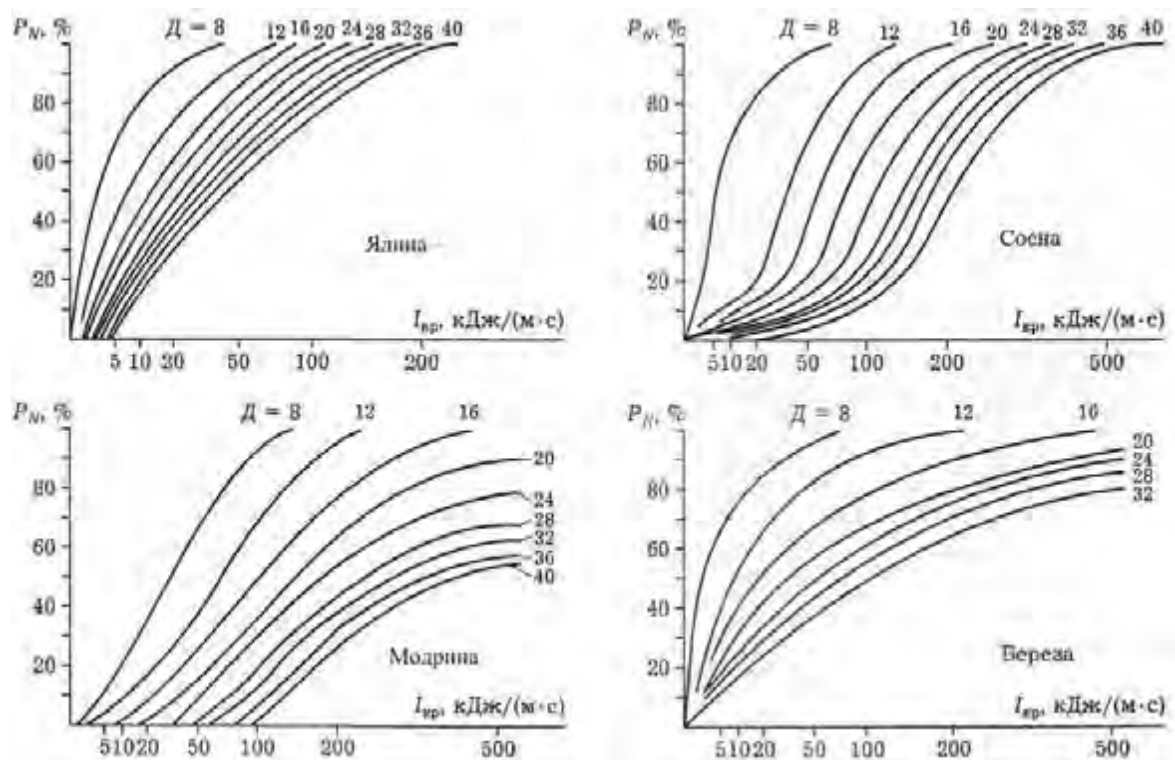


Рис. 3.40. Прогнозований відпад за числом стовбурів ($P_N, \%$) в межах ступенів товщини ($D, \text{см}$) залежно від інтенсивності крайки пожежі ($I_{кр}, \text{кДж}\cdot(\text{м}\cdot\text{с})^{-1}$)

3.11. 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 [180]. 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 [180]. 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 неvkриті (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 неvkритих лісової рослинністю ділянок для території полісся України [67]. Результати обробки глобальної карти *GFC* відображено на рис. 3.41.

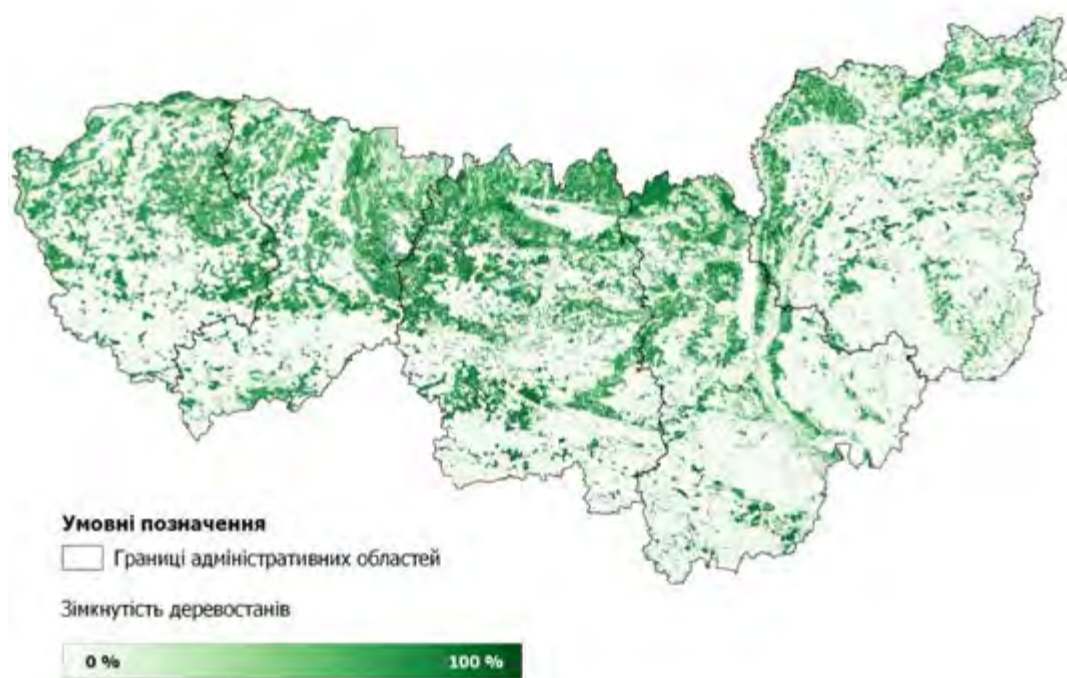


Рис. 3.41. Зімкнутість деревостанів території Полісся України відповідно до даних глобальної карти *GFC* за 2015 рік

3.12. 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 «Укрдержліспроект», 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 включені до зазначеної бази даних, не мають такої інформації. Іншими двома важливими показниками, що використовуються 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)* [190]. 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. 3.42).



Рис. 3.42. 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.

3.13. 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 [146] та методи машинного навчання, зокрема алгоритм *Random Forest* [151]. 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 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 виконувалося 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. 3.43).

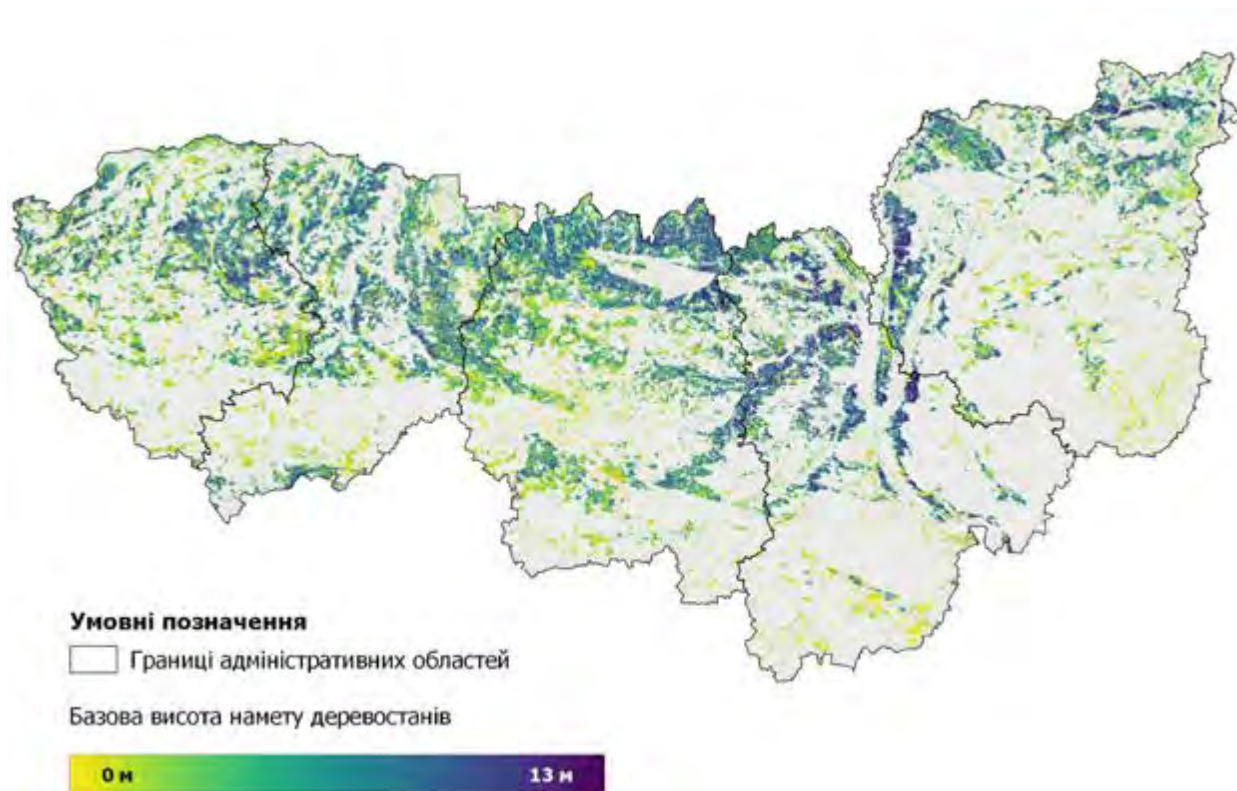


Рис. 3.43. Базова висота намету деревостанів території Полісся України, одержана на основі даних ДЗЗ

3.14. 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. 3.44. Відповідно до них середня щільність запасу горючих матеріалів у кроні деревостанів на території Полісся України (за просторового розрізнення 90 м) може досягати $0,135 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.



Рис. 3.44. 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 супутниковими знімками 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*).

РОЗДІЛ 4

ПОЖЕЖНІ РЕЖИМИ ТЕРИТОРІЇ

4.1. 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.

В умовах відсутності достовірних географічно орієнтованих даних про пожежі єдиним доступним джерелом інформації залишаються дані ДЗЗ. Існуючі 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. Такі інформація відіграє неабияку роль у відтворення 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 імовірність виявлення активної пожежі залежить від низки факторів, серед яких визначальними є температура горіння та положення супутника. Розробники цього алгоритму гарантують, що знімальна система *MODIS* з імовірністю 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. Обробка даних здійснювалася в програмному середовищі *Google Earth Engine (GEE)*, яка забезпечує прямий доступ до даних, а також являє собою один із найпотужніших обчислювальних хмарних ресурсів. Обробка даних виконується 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. виконується системою *GEE* протягом відносно нетривалого проміжку часу (не більше 1 години). При цьому алгоритму необхідно відповідним чином проаналізувати близько 6000 тематичних шарів, що виконати засобами персонального комп'ютера надзвичайно складно.

Просторовий розподіл загорань за даними ДЗЗ відображено на рис. 4.1. 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 ковзаючому вікні розміром 15000 x 15000 м. Для завдань моделювання представлена на рис. 4.1 інформація визначає геометричну ймовірність повторного виникнення пожеж на території досліджень.

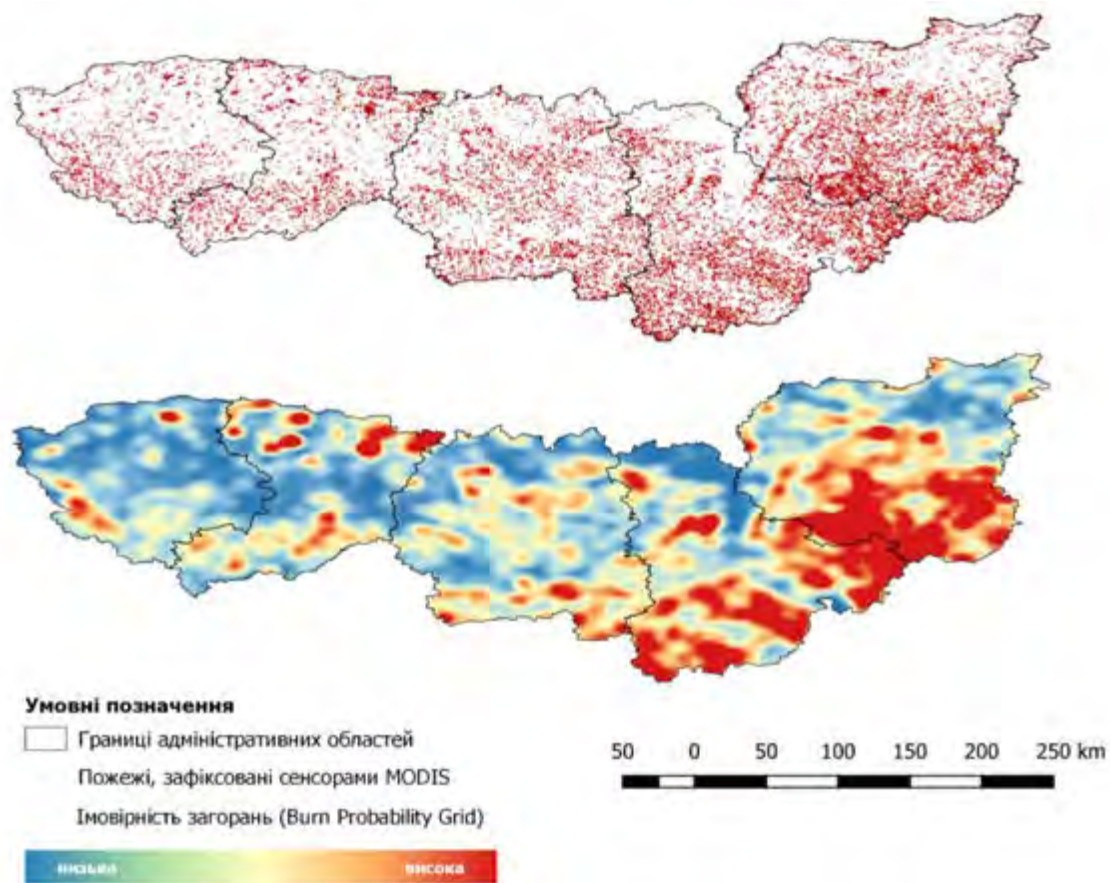


Рис. 4.1. Просторовий розподіл пожеж та карта ймовірності загорань на території досліджень

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. 4.2 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. 4.3). Відповідно до цього найбільша кількість спрацювань системи відбулась у серпні – 1255, вересні – 583 та березні – 160.

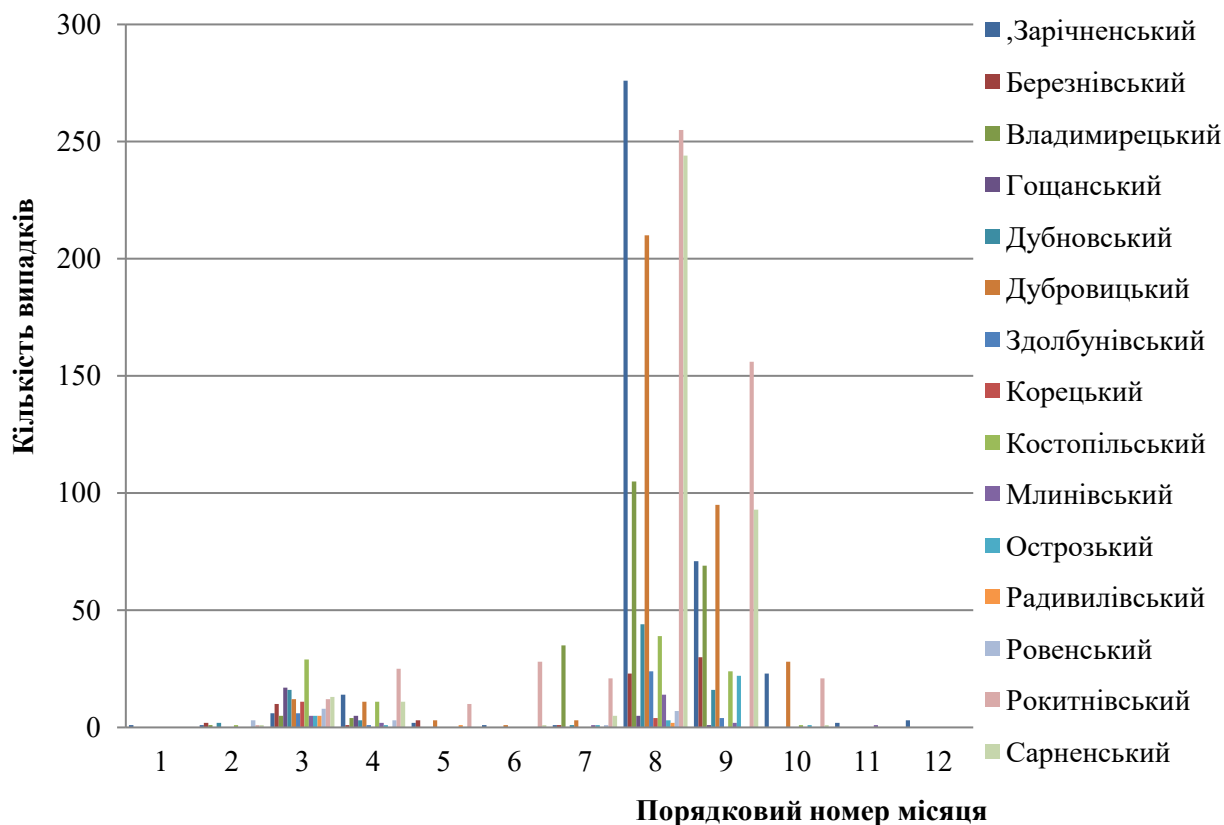


Рис. 4.2. Кількість спрацювань системи MODIS за місяцями 2015 року та районами Рівненської області

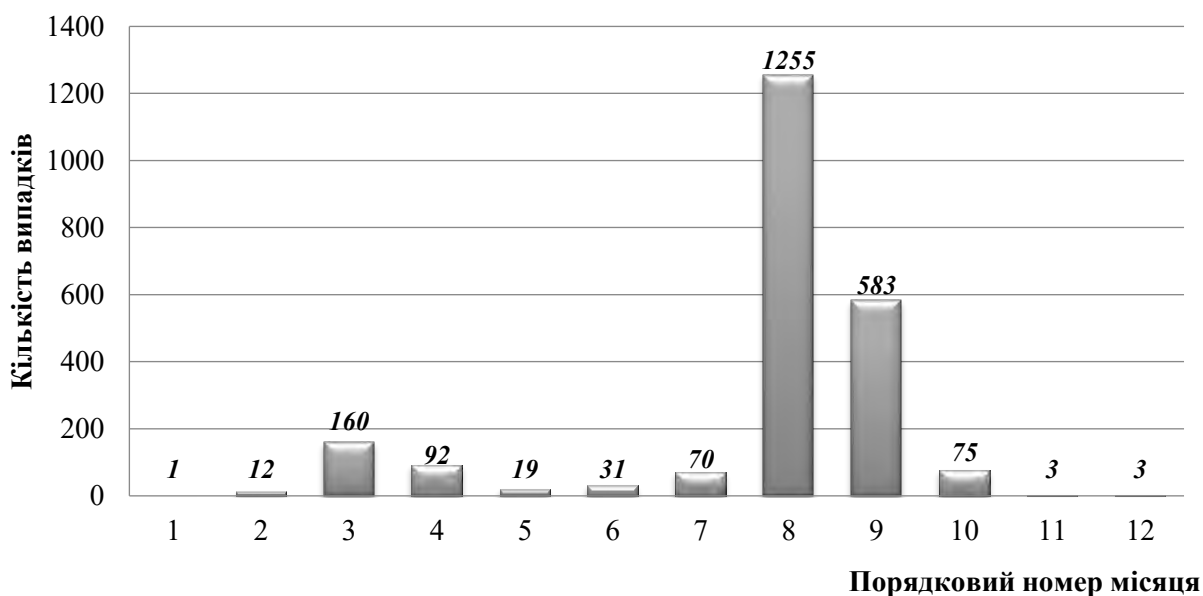


Рис. 4.3. Кількість спрацювань системи MODIS на території Рівненської області за місяцями 2015 року

Кількість активних пожеж, зареєстрованих сенсором MODIS, окремо за районами області відображено на рис. 4.4. 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.

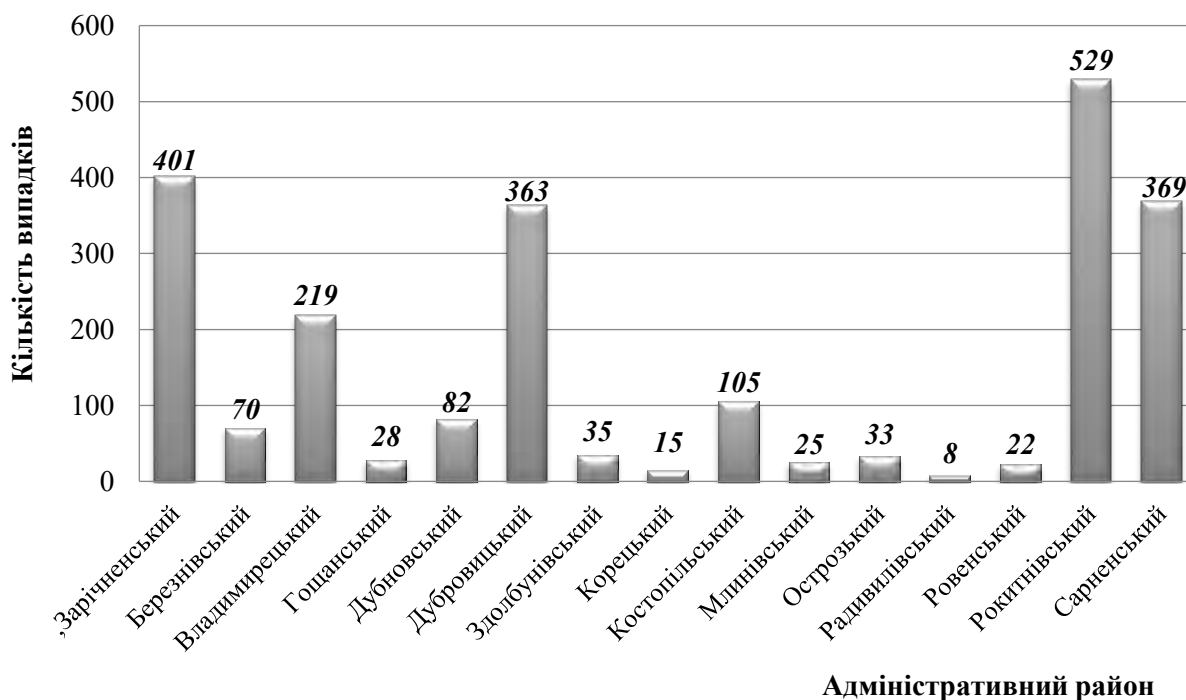


Рис. 4.4. Кількість спрацювань системи *MODIS* по районах

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. 4.5). 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.



Рис. 4.5. 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 по відношенню до аналізу термальних аномалій не відбулося. Треба констатувати, що більшість пожеж відбулося протягом березня, серпня та вересня (відповідно 75, 67 та 63).

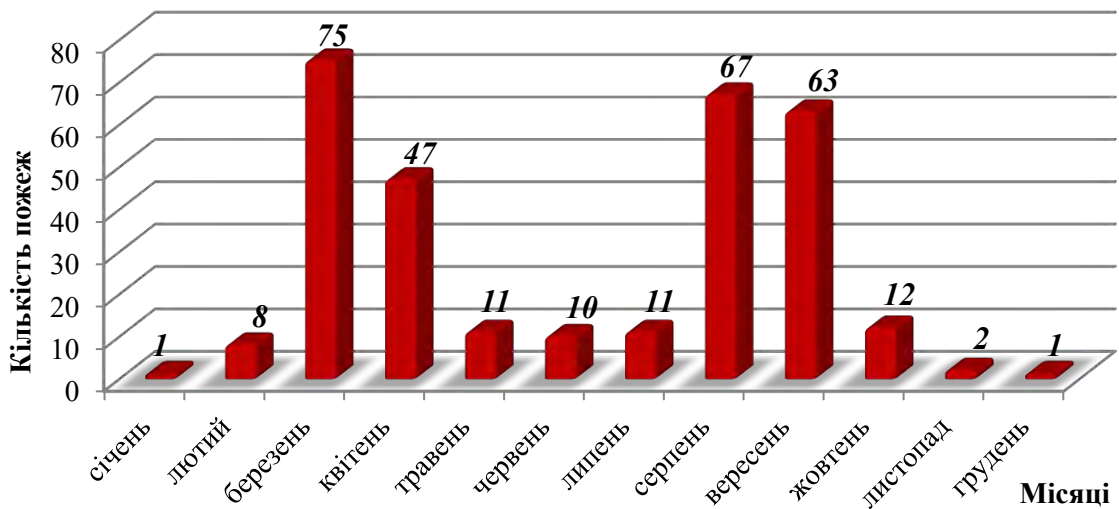


Рис. 4.6. Розподіл пожеж, що відбулися протягом 2015 року на території Рівненщини, за місяцями

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 при збільшенні температури повітря. Певний вплив здійснює ранній початок (середина березня) пожежонебезпечного періоду у порівнянні з 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 фактор. 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 за територією країни, так і в часі. Перший літній місяць також характеризувався нестійким температурним режимом та вкрай

нерівномірним розподілом опадів за територією 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 переважній 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 загорання та тління торфовищ на значній території.

Після обробки даних про термальні аномалії не відбулося суттєвого перерозподілу кількості пожеж за адміністративними районами Рівненщини (рис. 4.7). 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.

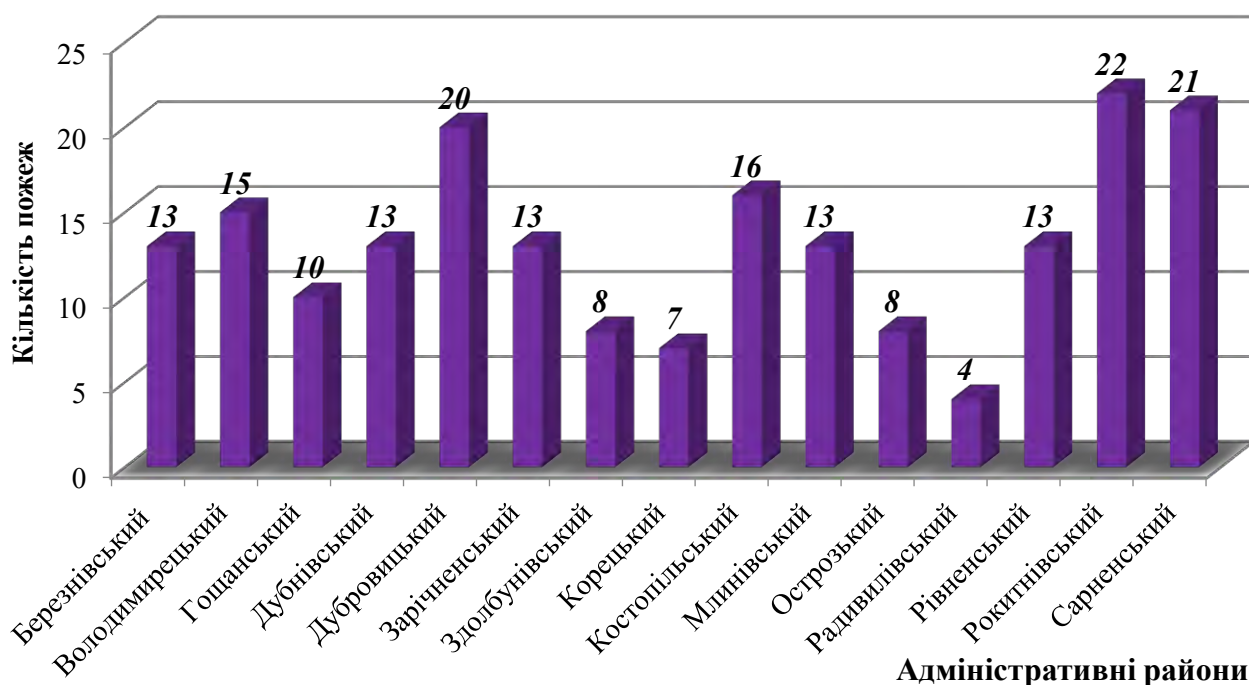


Рис. 4.7. Розподіл пожеж, що відбулися протягом 2015 року на території адміністративних районів Рівненської області

4.2. 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 закартографовано просторовий охват і орієнтовну дату пожеж із просторовим розрізненням 500 м. По відношенню до свого раннього аналога, алгоритм картографування згарищ *MCD64A1* зазнав істотного вдосконалення [177].

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 визначається дата 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 даним 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

спутників *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 обробляються з просторовим розрізненням 500 м в синусоїдальній проекції для гранул розміром 1100 x 1100 км. Алгоритм проходить кілька етапів (рис. 4.8), метою якого є відрізнити зміни в структурі земного покриву, викликані пожежами та іншими факторами. 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.

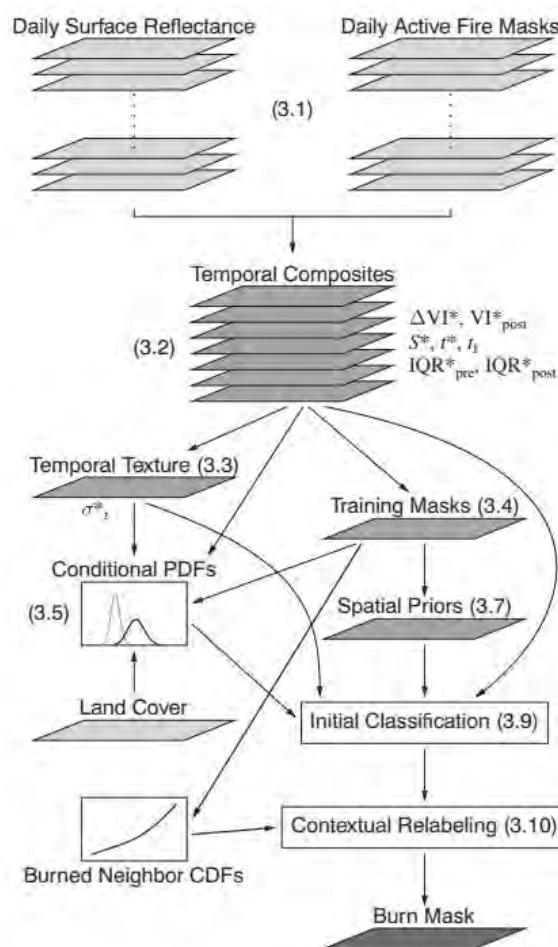


Рис. 4.8. Блок-схема картографування згарищ за алгоритмом *MCD64A1* колекції С6 (Giglio et al., 2018) [176]

Із метою відтворення історичного розподілу згарищ 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.anyMinZero());
    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, у яких у бінарному форматі закодовано згарища для кожного календарного місяця зазначеного часового періоду (рис. 4.9). 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.

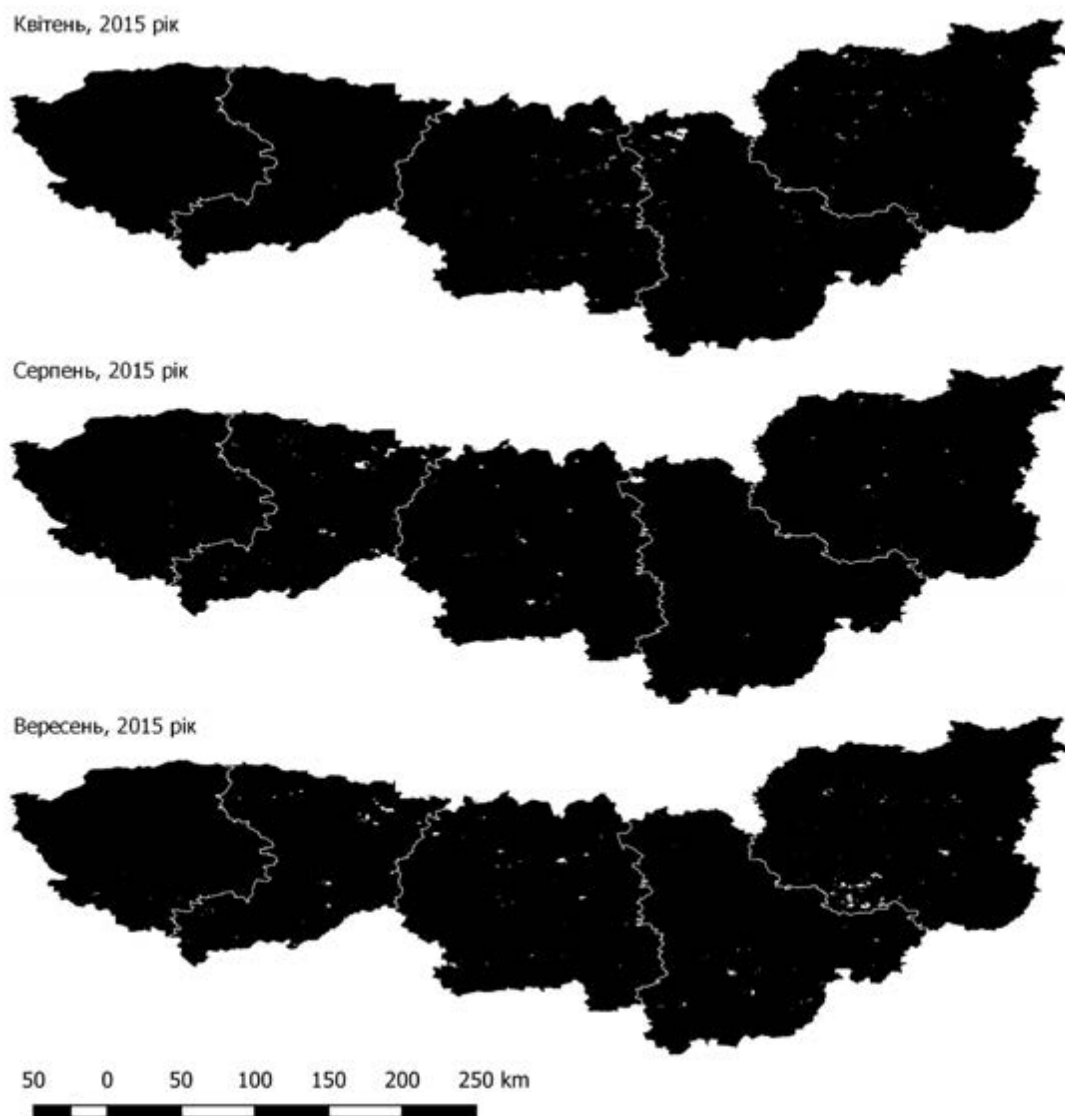


Рис. 4.9. Просторово-часовий розподіл великих пожеж для окремих місяців 2015 року

У контексті моделювання сценаріїв розвитку пожеж подібна інформація має важливе значення для калібрування алгоритмів. Зокрема, контури згарищ від найбільших пожеж використовується для того, що оцінити на скільки точно імітаційне моделювання відтворює реальні параметри пожеж. Крім судо

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 (дод. 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 дод. 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. 4.10).

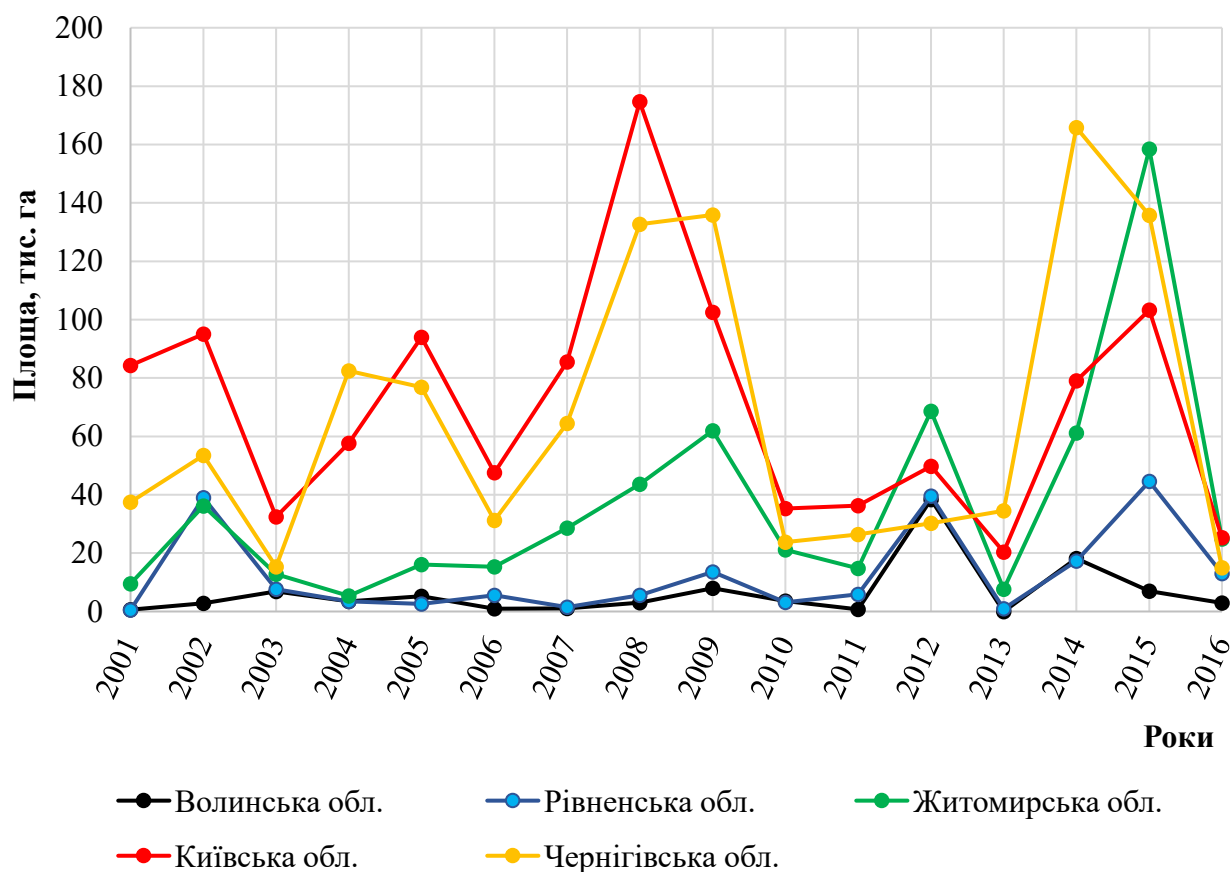


Рис. 4.10. Динаміка площі пожеж за адміністративними областями, в межах регіону досліджень, за період 2001-2016 рр.

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, як правило співпадають у різних адміністративних областях регіону дослідження. Для аналізу сезонної динаміки пожеж за адміністративними областями було побудовано графік (рис. 4.11), який відображає сумарну площу пожеж, за період 2001-2016 рр., у відсотках за місяцями.

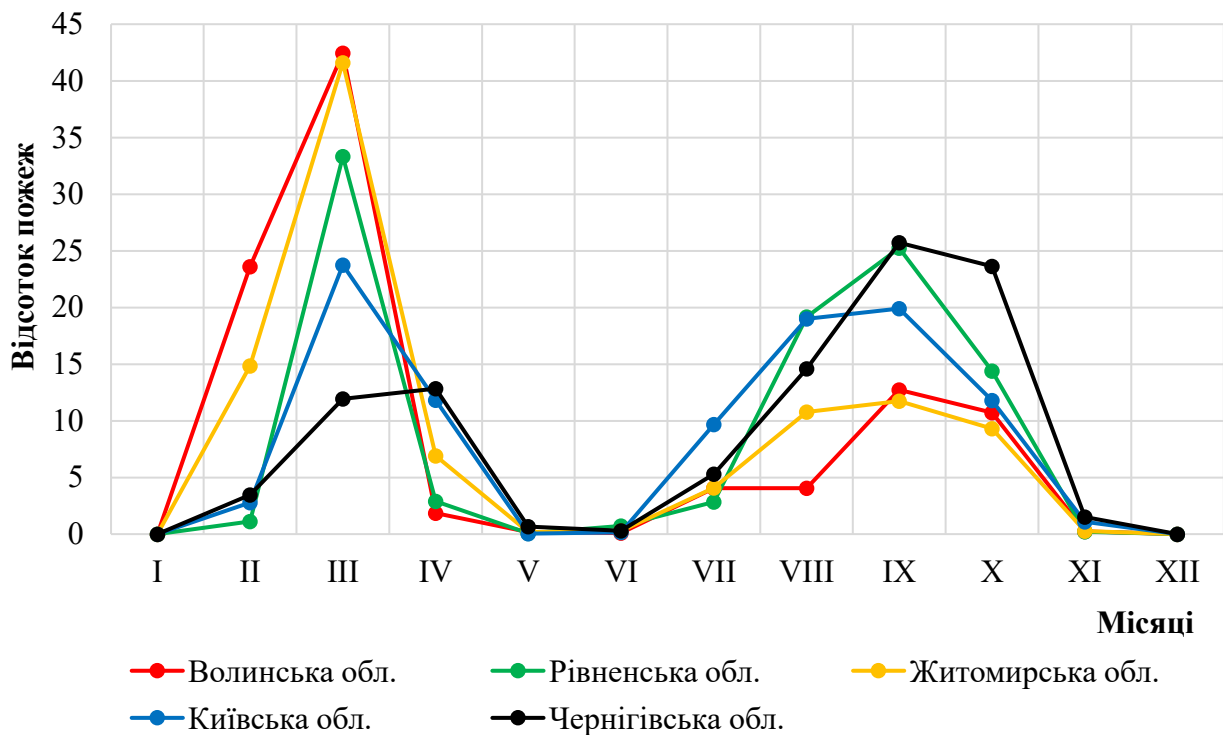


Рис. 4.11. Сезонна динаміка площі пожеж за адміністративними областями (сумарна площа за період 2001-2016 рр., виражена у відсотках)

На основі даних, зображених на рис. .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. 4.12 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 дуже 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 відношенні виявився 2015 рік.

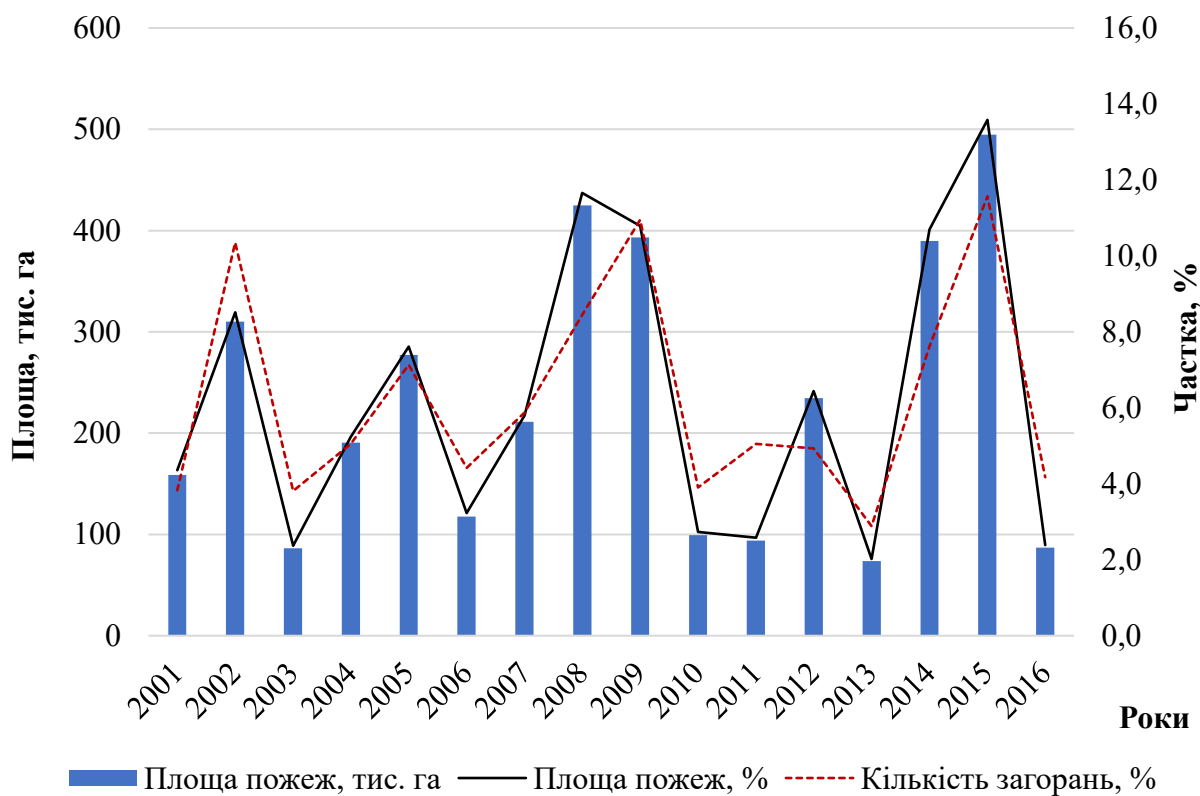


Рис. 4.12. Річний розподіл кількості та площі пожеж на території досліджень відповідно до даних супутникової зйомки

У часовому відношенні також відзначається бімодальний розподіл за місяцями календарного року (рис. 4.13). 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 випаляється на полях.

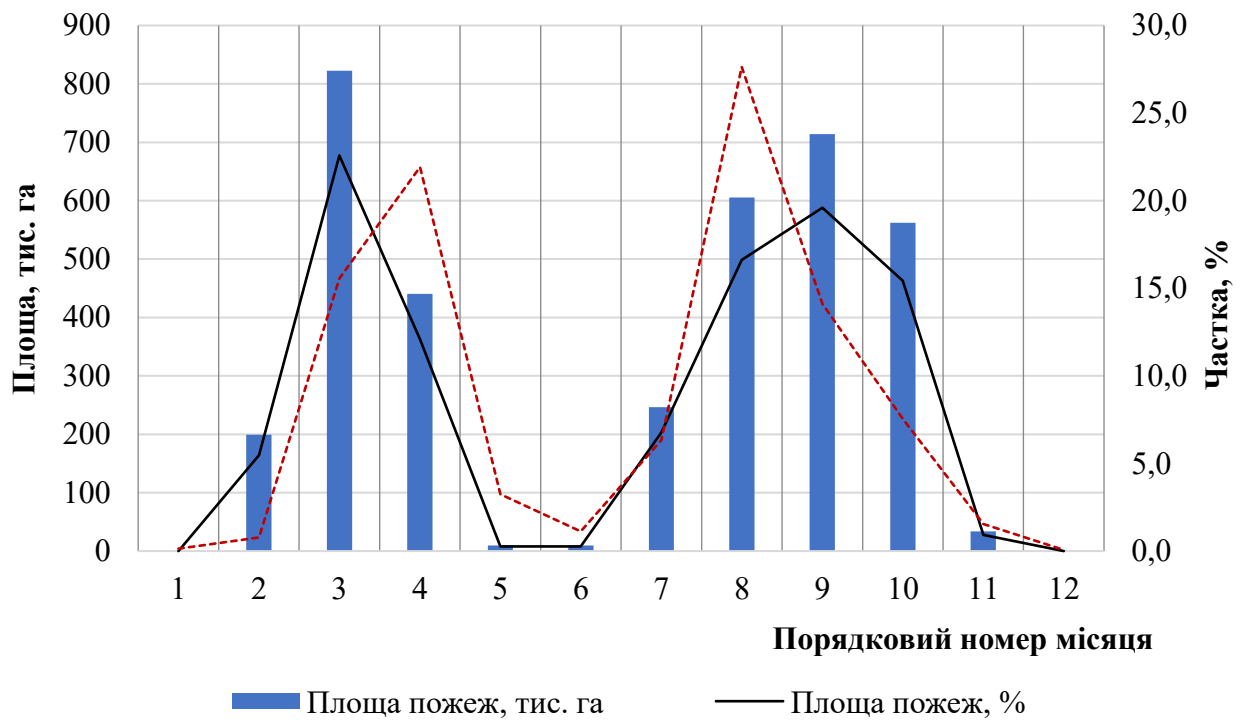


Рис. 4.13. Помісячний розподіл кількості та площі пожеж на території досліджень за даними супутникової зйомки

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.

4.3. Погодні умови території

Із метою формування файлу погодних умов, на основі якого визначаються найімовірніші сценарії розвитку пожежі, для території досліджень одержано інформацію про ключові показники руху атмосфери, зафіксовані з 2004 по 2010 рр. низкою метеостанції (до 2013 року – для м. Сновськ та м. Семенівка). До них, в першу чергу відносяться, 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 переважаючий напрям вітру не вдалося.

Із аналізу табл. 4.1 можна зробити висновок про відсутність екстремальних регіонів з точки зору наявності різючих відмінностей в показниках стану атмосфери.

Таблиця 4.1

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 4.1

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 4.1

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 4.1

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 4.1

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 4.1

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 4.1

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

Числові спостереження вказують на існування незначного широтного градієнта в розподілі середньодобової температури повітря, а також швидкості вітру.

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 $10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) зафіксовані метеостанціями Овруча, Тетерева, Києва та Ніжина. Проте для них відзначається дещо вище середнє значення добової температури повітря. У часовому відношенні закономірностей розподілу швидкості за місяцями не виявлено.

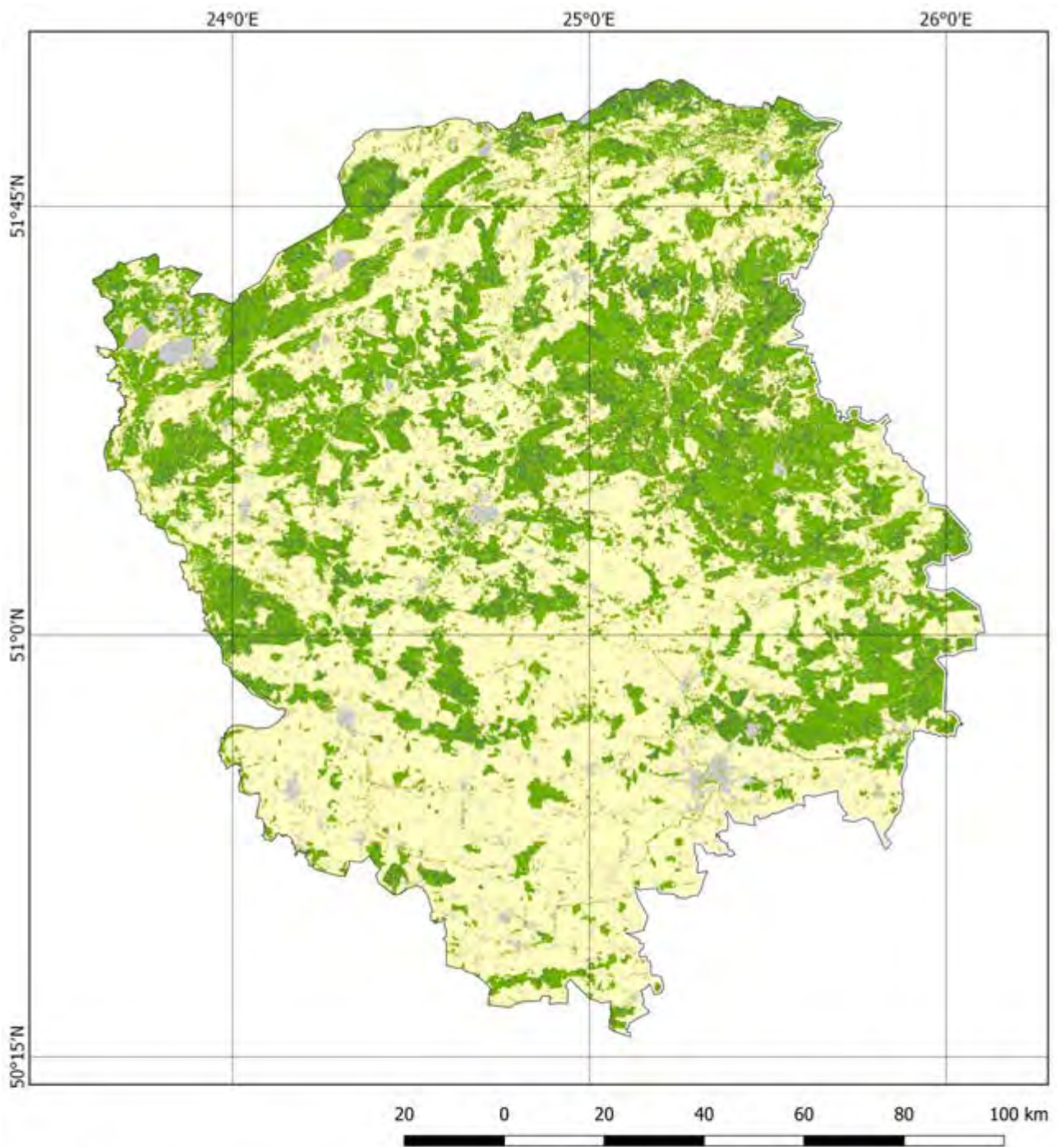
4.4. Моделі горючих матеріалів

З метою перетворення карти земного покриття в растрове покриття моделями горючих матеріалів [204] застосовано обґрунтовану раніше схему класифікації (табл. 4.2), яку застосовано для перекодування карт землекористування в карти моделей горючих матеріалів (рис. 4.14–4.18).

Таблиця 4.2

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

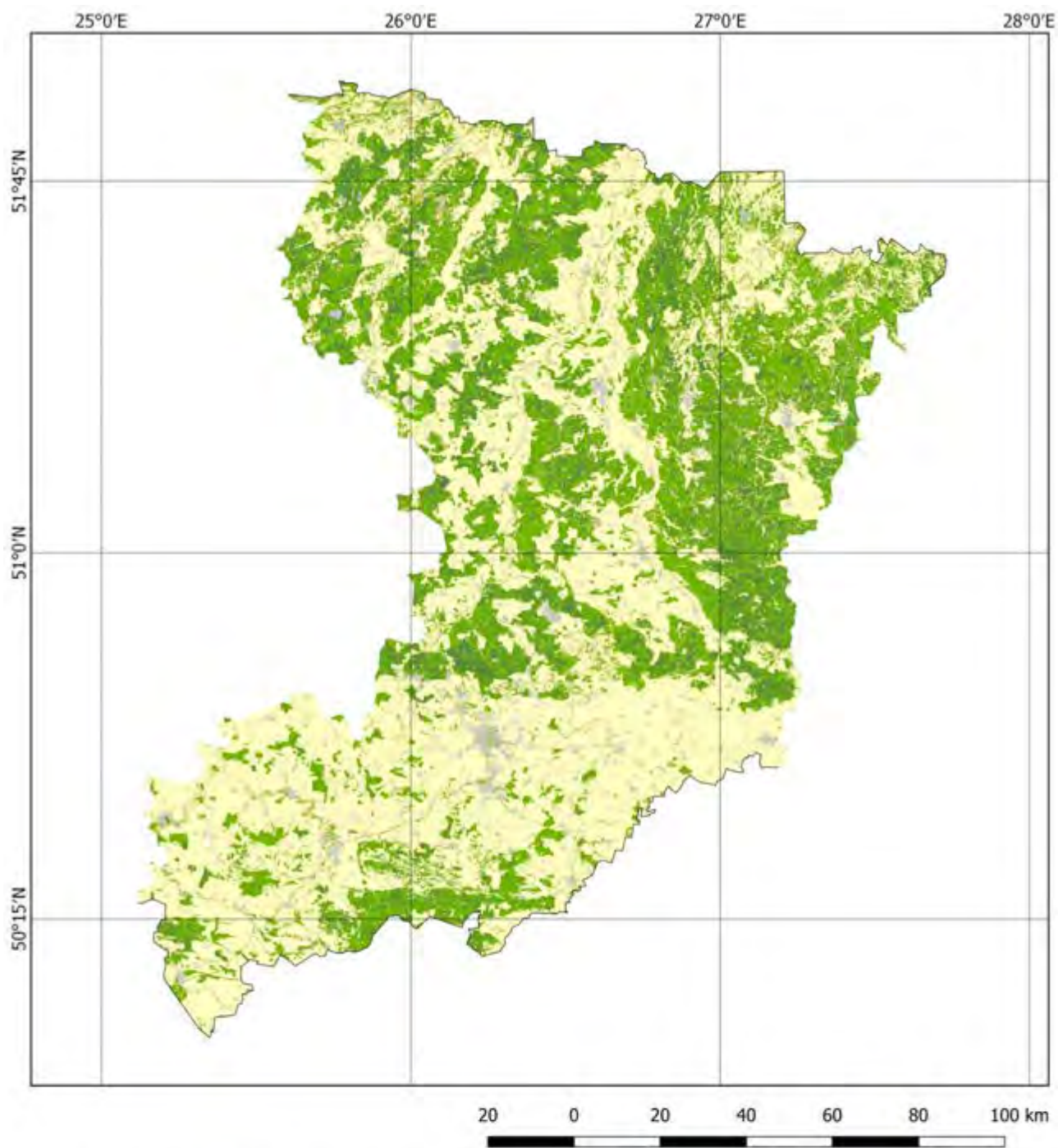


Група моделей горючих матеріалів:

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



Рис. 4.14. Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Волинської області

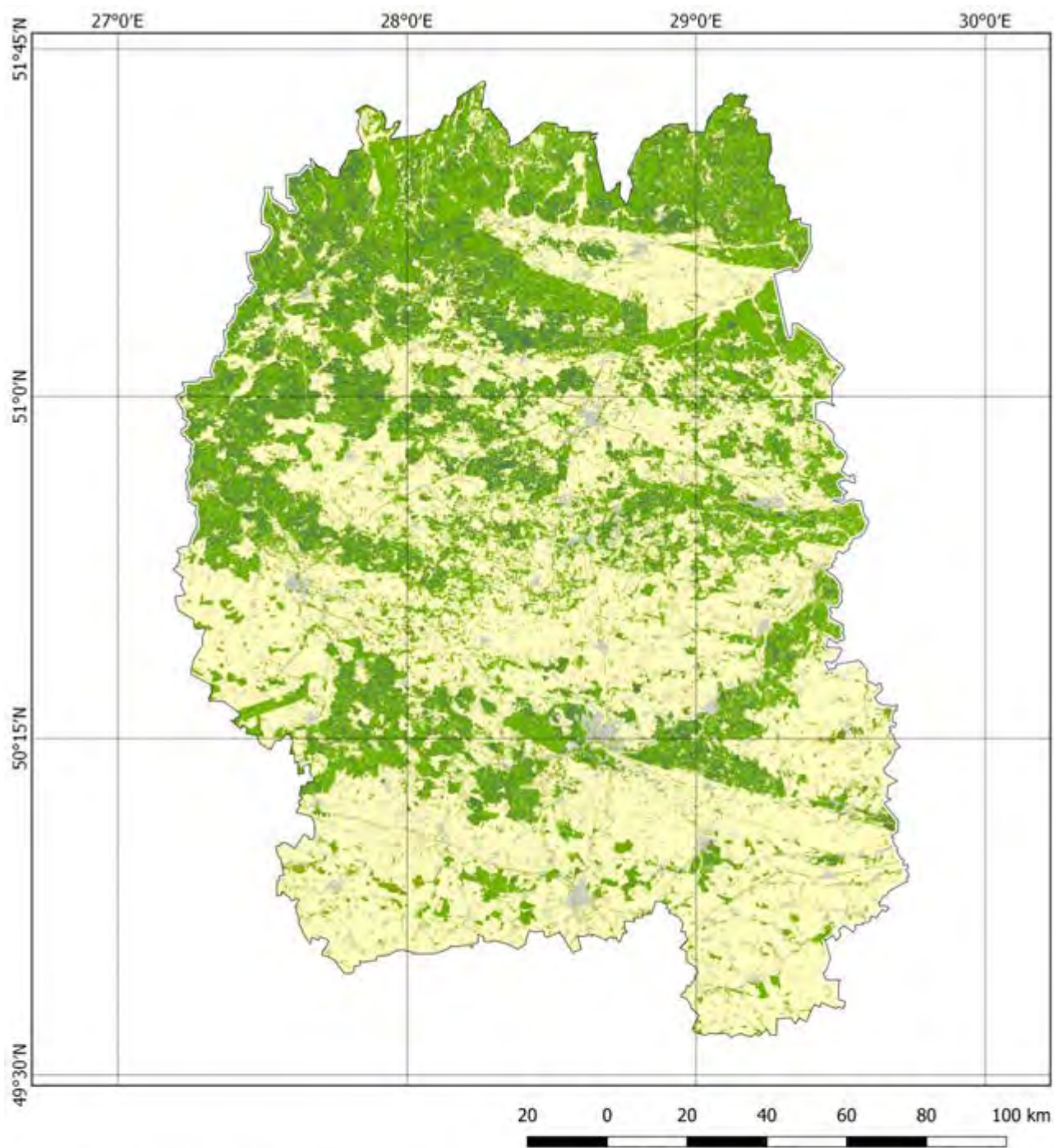


Група моделей горючих матеріалів:

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



Рис. 4.15. Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Рівненської області

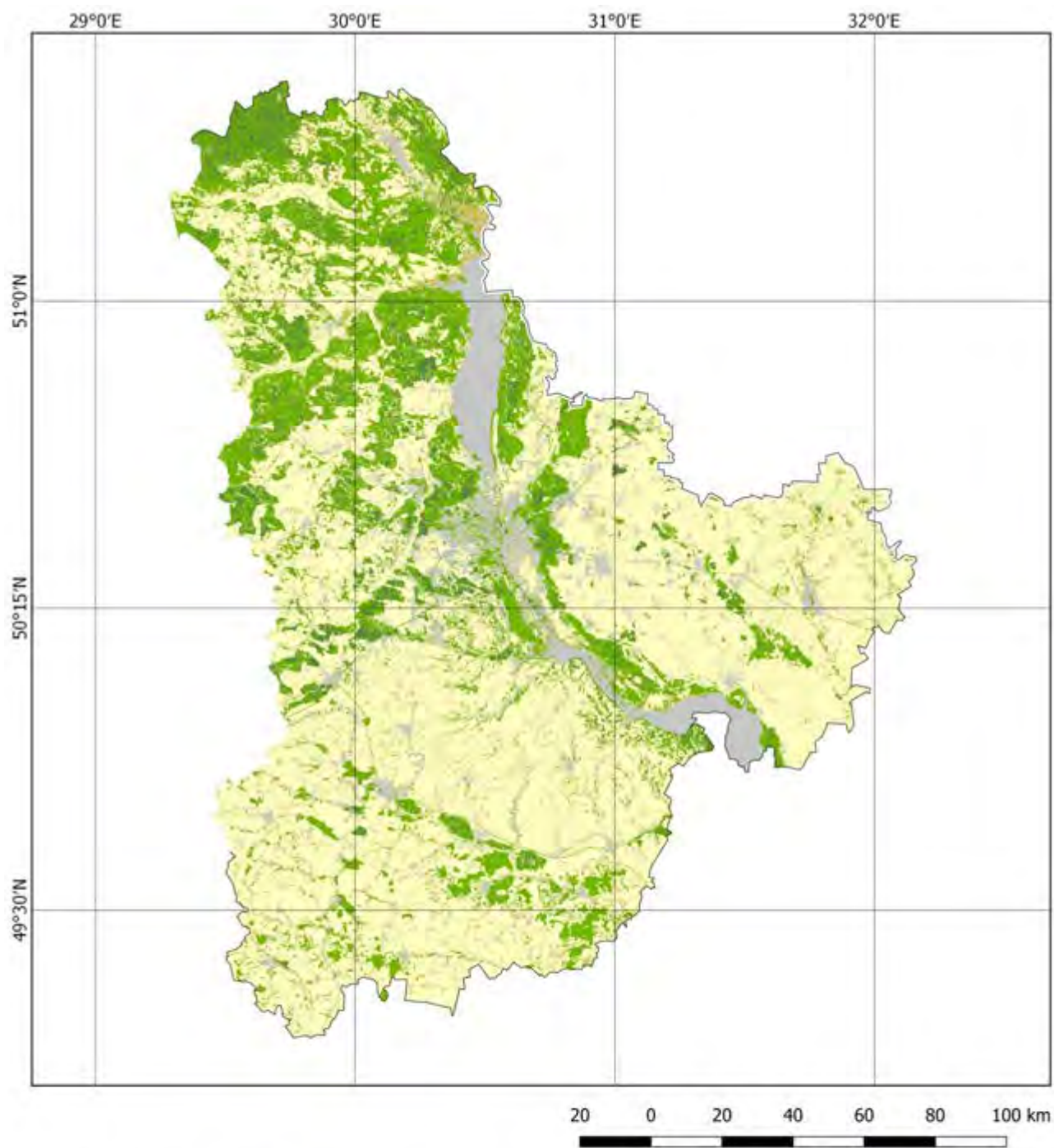


Група моделей горючих матеріалів:

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



Рис. 4.16. Типи горючих матеріалів (групи моделей) на території Житомирської області

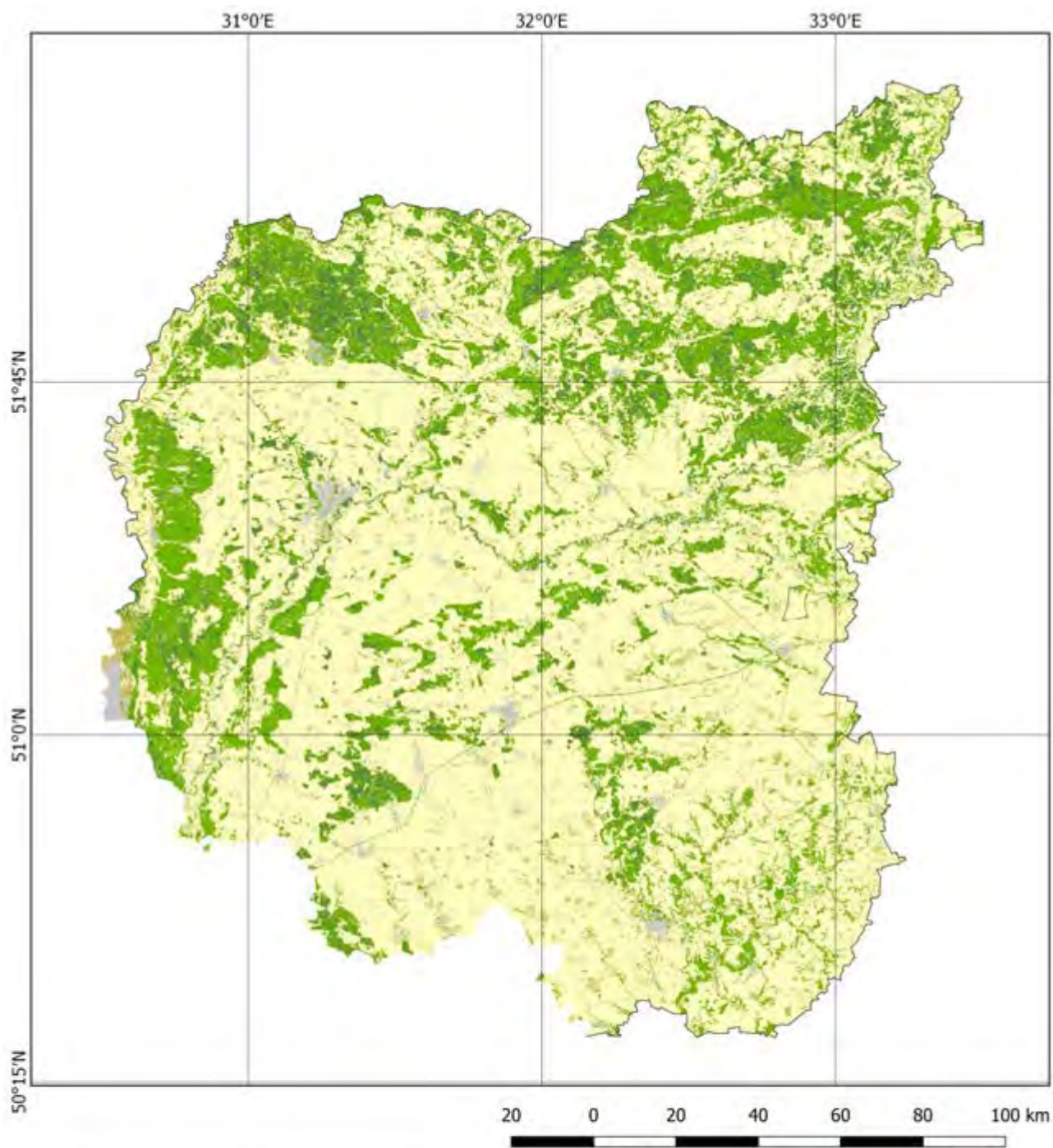


Група моделей горючих матеріалів:

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



Рис. 4.17. 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



Рис. 4.18. Типи горючих матеріалів на території Чернігівської області

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ГЕОПОРТАЛУ

5.1. Програмні компоненти віртуального хостингу

Виклик домашньої сторінки геоportалу «Ландшафтні пожежі» здійснюють введенням у адресній строчці будь-якого веббраузера адреси <http://wildfires.org.ua>. Нижче наведено вигляд домашньої сторінки геоportалу у браузері Firefox (рис. 5.1).

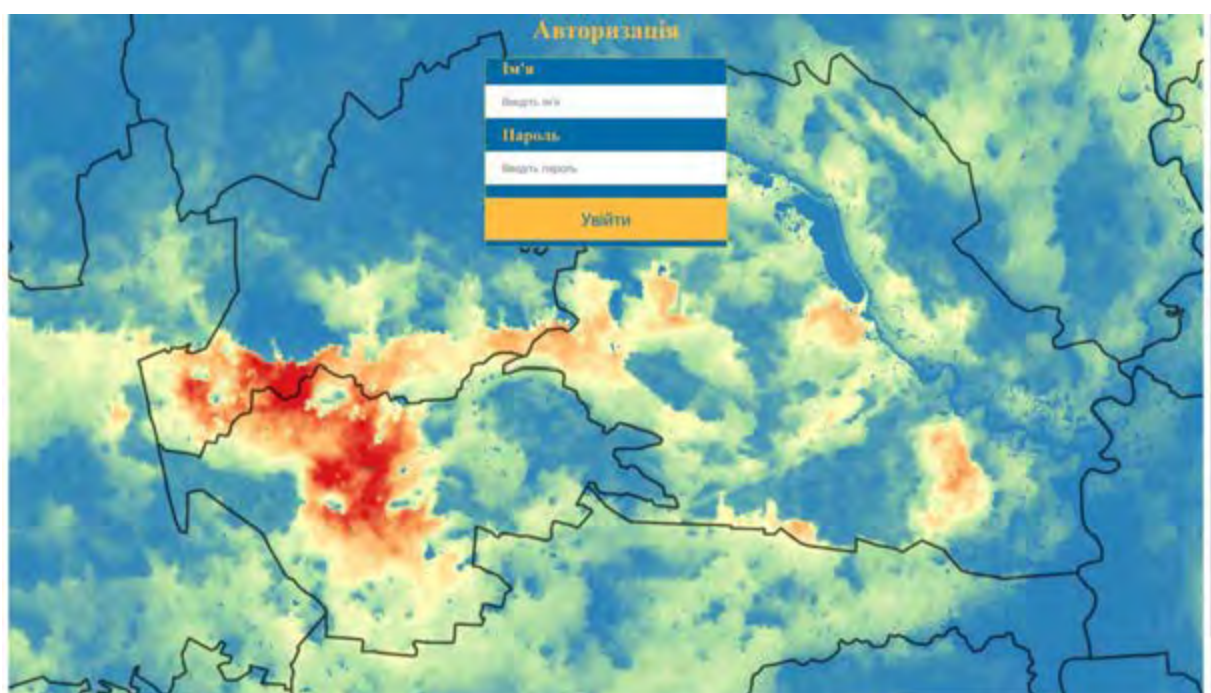


Рис. 5. Домашня сторінка геоportалу «Ландшафтні пожежі»

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).

Розгортання геоportалу «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* проектів, 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. 5.2.

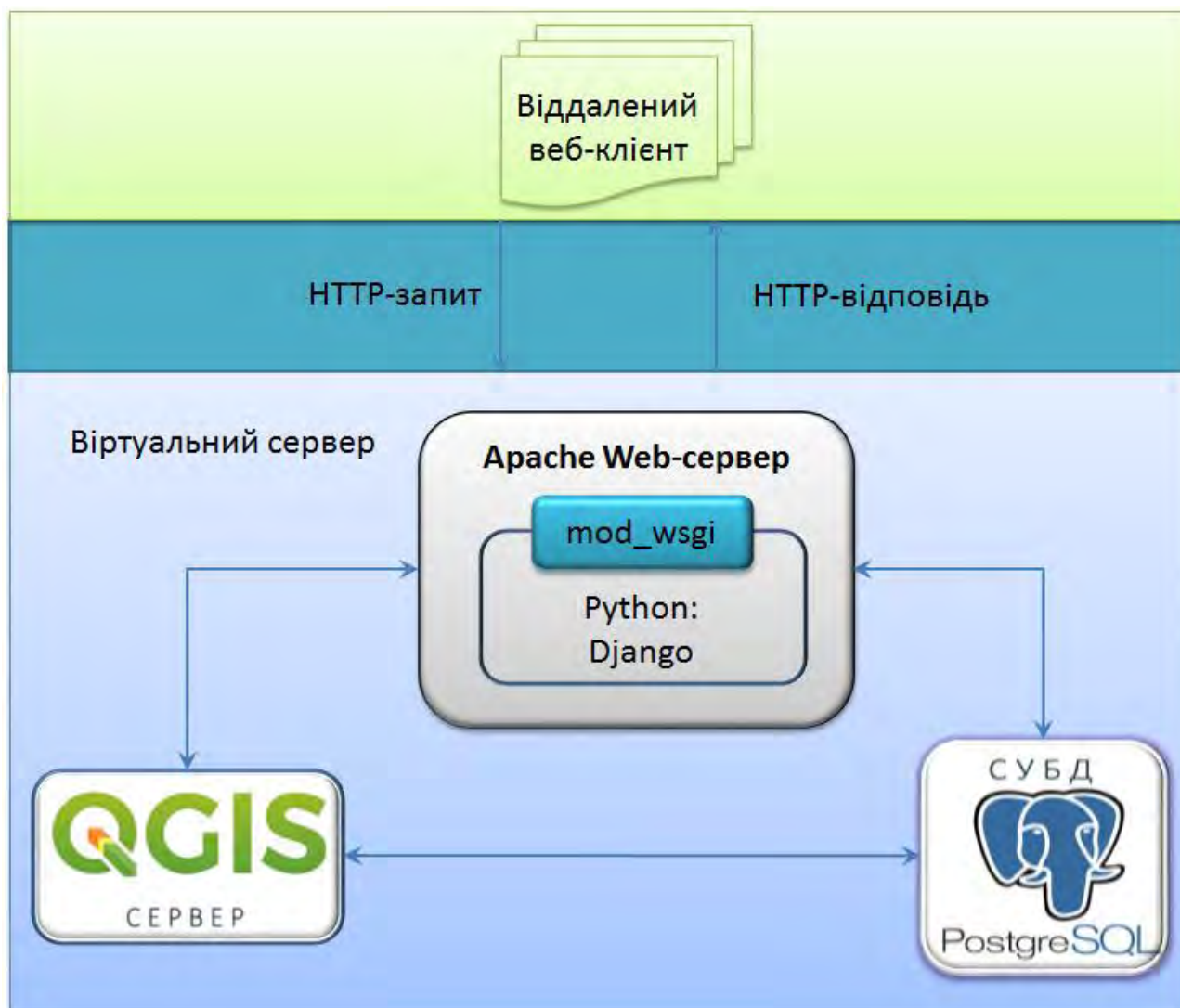


Рис. 5.2. Архітектура програмних компонентів на віртуальному сервері

Користувач (віддалений клієнт) геопорталу шляхом взаємодії з його вебсторінками надсилає запити до веб-серверу. Веб-сервер перенаправляє запити або до *qgis*-серверу, 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 геомеричних полів бази даних PostgreSQL з розширенням *Postgis*.

5.2. Модулі розширення на мові Python

Значну частину функцій геопорталу реалізовано на стороні серверу шляхом використання функцій модулів розширення (*site packages*), а саме: *Django*, *Numpy* та інших (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Характеристика розширень Python

№ п/п	Назва модуля	Призначення	Розробник	Ліцензія
1	Django	Високорівневий відкритий Python-фреймворк для розробки веб-додатків	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

№ п/п	Назва модуля	Призначення	Розробник	Ліцензія
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	Jenksy	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

5.2.1. Каркас веб-застосунків 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 веб-сервер для розробки. Сервер автоматично визначає зміни в файлах вихідного коду проекту 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.

5.2.2. Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4, GDAL, OGR, OSR

Розширення Python NumPy, SciPy, netCDF4 використовують для згущення ґриду 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 ґриду з розміром комірки 500 м з використанням інтерполяції методом кубічного сплайну. Для цього викликаємо метод `MakeSourceData` з параметрами ТН, 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 ґрід. У результаті отримуємо ґрід, який відображається у вигляді карти температур (рис. 5.3).

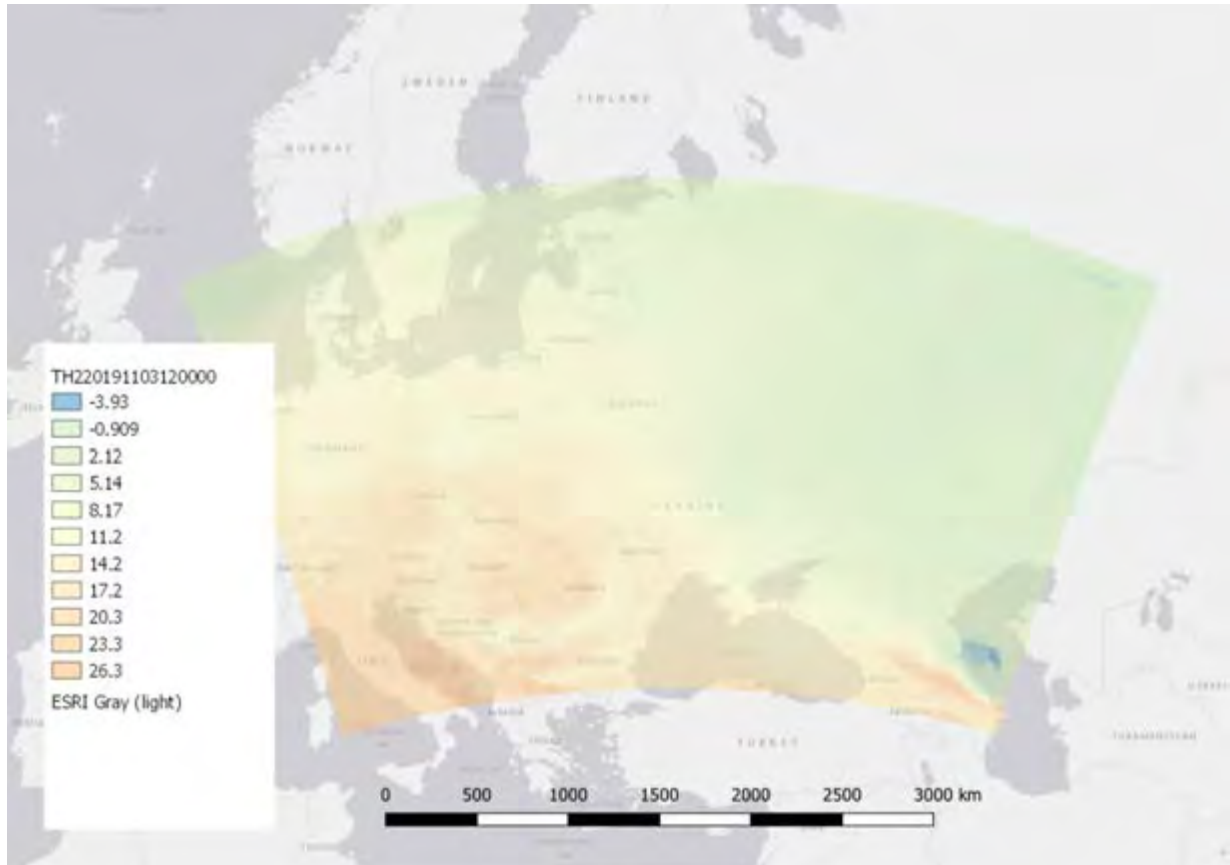


Рис. 5.3. Ґрід температур на 12 год. 00 хв. 3 грудня 2019 р.

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 відображається згідно із стандартною шкалою температур (рис. 5.4).

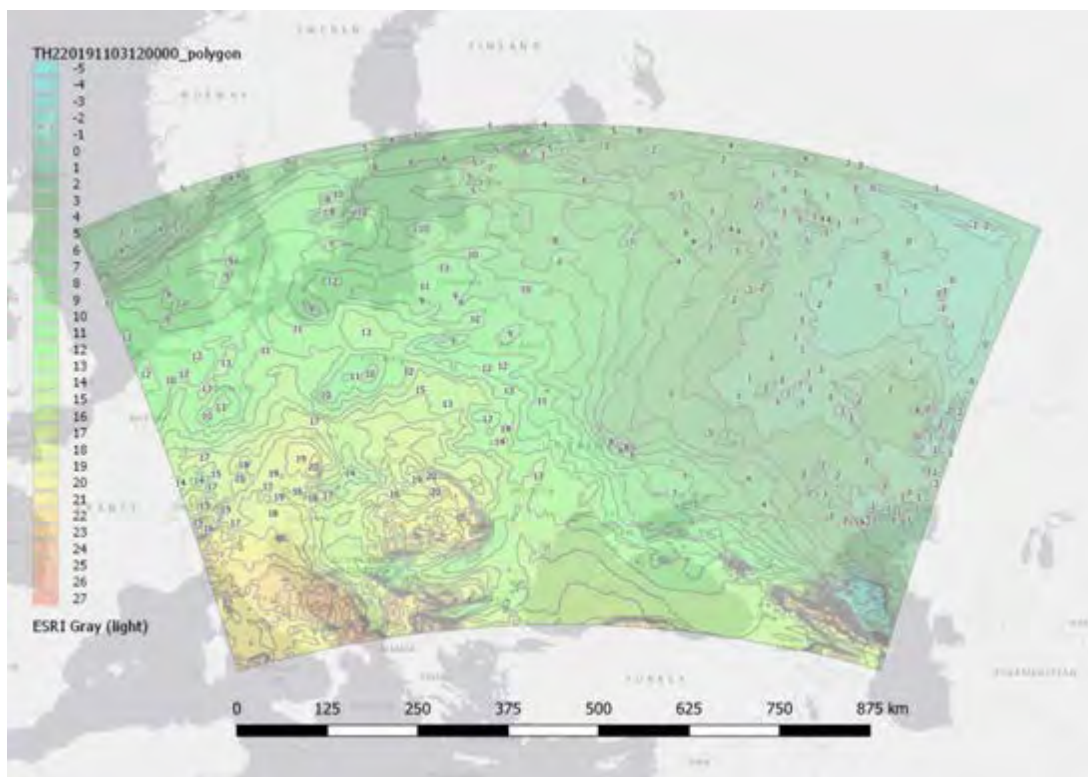


Рис. 5.4. Карта полігонів температур на 12 год. 00 хв. 3 грудня 2019 р.

5.3. Реалізація QGIS серверу

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 рис. 5.5.

```

-<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>

```

Рис. 5.5. Результат запиту *getcapabilities* до *WMS QGIS* серверу

Управління шарами і призначення стилів їх відображення здійснюють засобами додатку QGIS версії не нижче за 2.18, який може бути встановлено на комп'ютері під керуванням операційних систем *Window*, *macOS* і *Linux* (рис. 5.6).

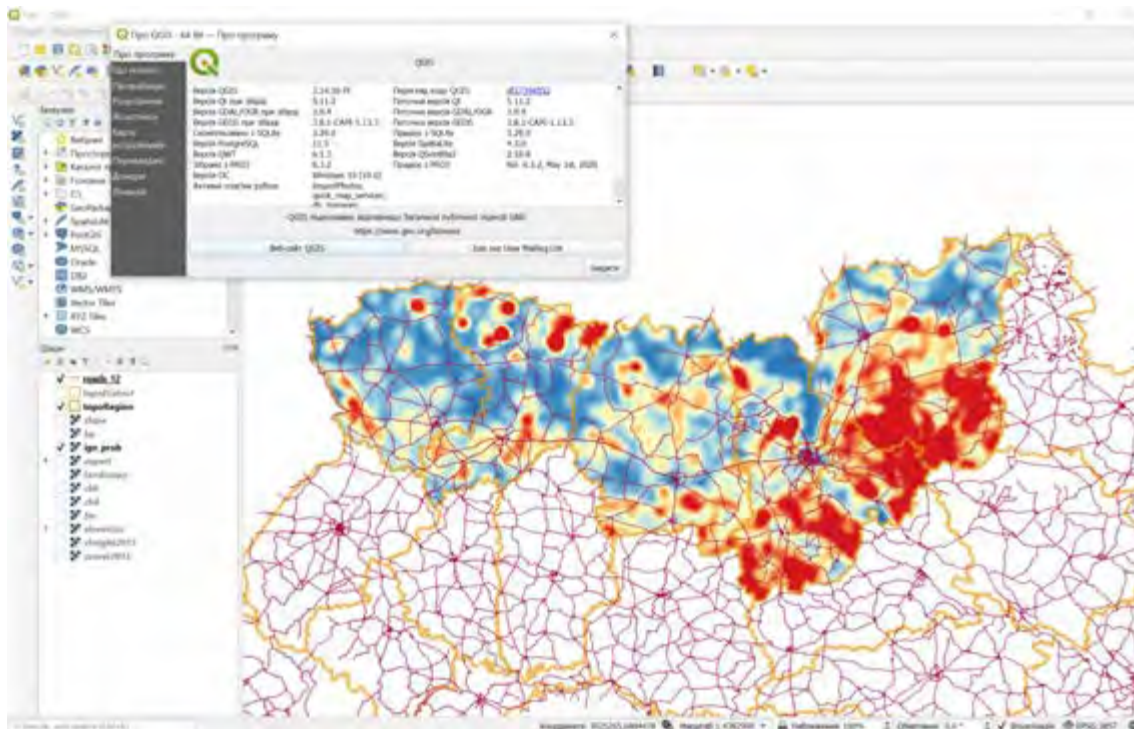


Рис. 5.6. Настроювання шарів у проекті *wf.qgs*, як джерела сервісу *WMS* за допомогою *QGIS* версії 3.14 на комп'ютері з операційною системою *Windows 10*

Перелік шарів, що наведено у лівій нижній панелі, можна вибрати за допомогою вебінтерфейсу, що реалізовано на лівій панелі геопорталу (рис. 5.7). У табл. 5.2 встановлено відповідність назви шару у проекті *wf.qgs* і на геопорталі.

Таблиця 5.2

Відповідність назв шарів у проекті *QGIS*, що відображуються за посиланням *WMS* і на сторінці геопорталу

№ п/п	Назва шару у проекті <i>wf.qgs</i>	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	сcover2015	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	Вр	Імовірн. поширення пожеж

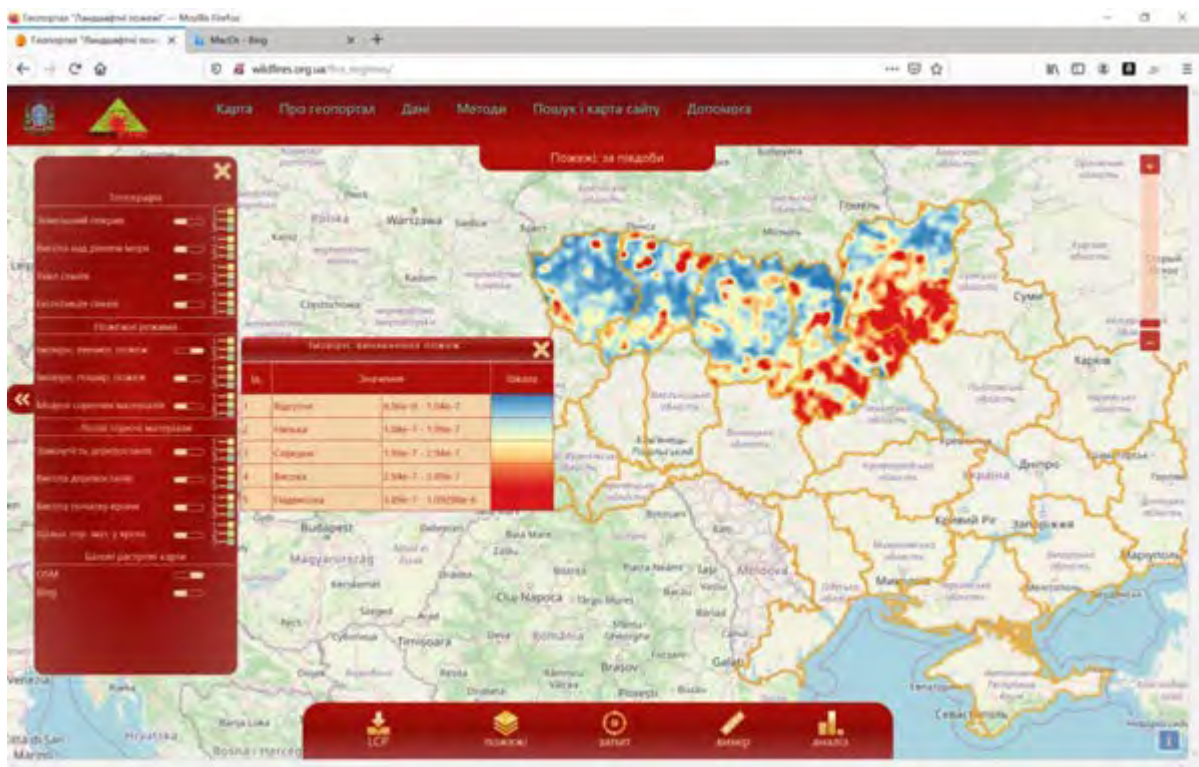


Рис. 5.7. Управління шарами на геопорталі (шар ландшафту на фоні знімків *Bing Satellite*)

Слід також зазначити, що вихідні дані для одинадцяти растрових шарів, що перелічено у табл. 5.2, 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 8го до 15го рівнів зуму (масштабу). Шкали кольорів наведено у табл. 5.3.

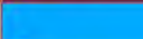
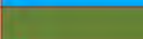






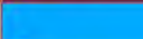
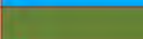






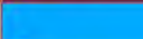
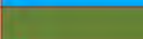




































Слід зазначити, що у 9-ти шарах ми маємо справу з так званими градуйованими шкалами, де безперервний перехід від одного значення показника до іншого супроводжується плавним переходом кольорів. Так висоти над рівнем моря від 90 до 397 м супроводжується переходом кольору від зеленого через жовтий до червоного. 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.

Кольорові шкали до растрових шарів

№ п/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 °	
3	Експозиція схилу	Ід.	Значення	Шкала
			0 °	
		1	89 °	
		2	179 °	
		3	269 °	
		4	360 °	

№ п/п	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																																	
4	Модель горючих матеріалів	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 409 754 477">Ід.</th> <th data-bbox="754 409 1265 477">Значення</th> <th data-bbox="1265 409 1409 477">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="683 477 754 521">91</td> <td data-bbox="754 477 1265 521">NB1-Негорючі території</td> <td data-bbox="1265 477 1409 521"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 521 754 566">98</td> <td data-bbox="754 521 1265 566">NB8-Негорючі території</td> <td data-bbox="1265 521 1409 566"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 566 754 611">99</td> <td data-bbox="754 566 1265 611">NB8-Негорючі території</td> <td data-bbox="1265 566 1409 611"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 611 754 656">101</td> <td data-bbox="754 611 1265 656">GR1-Трав'яниста рослинність</td> <td data-bbox="1265 611 1409 656"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 656 754 701">102</td> <td data-bbox="754 656 1265 701">GR2-Трав'яниста рослинність</td> <td data-bbox="1265 656 1409 701"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 701 754 745">121</td> <td data-bbox="754 701 1265 745">GS1-Трав'янисто-чагарникова рослинність</td> <td data-bbox="1265 701 1409 745"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 745 754 790">142</td> <td data-bbox="754 745 1265 790">SH2-Чагарникова рослинність</td> <td data-bbox="1265 745 1409 790"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 790 754 835">161</td> <td data-bbox="754 790 1265 835">TU1-Піднаметова рослинність</td> <td data-bbox="1265 790 1409 835"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 835 754 880">182</td> <td data-bbox="754 835 1265 880">TL2-Деревний опад</td> <td data-bbox="1265 835 1409 880"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 880 754 925">188</td> <td data-bbox="754 880 1265 925">TL8-Деревний опад</td> <td data-bbox="1265 880 1409 925"></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="683 958 754 1048">Ід.</th> <th data-bbox="754 958 1265 1048">Значення</th> <th data-bbox="1265 958 1409 1048">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="683 1048 754 1093"></td> <td data-bbox="754 1048 1265 1093">13 %</td> <td data-bbox="1265 1048 1409 1093"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1093 754 1137">1</td> <td data-bbox="754 1093 1265 1137">26 %</td> <td data-bbox="1265 1093 1409 1137"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1137 754 1182">2</td> <td data-bbox="754 1137 1265 1182">39 %</td> <td data-bbox="1265 1137 1409 1182"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1182 754 1227">3</td> <td data-bbox="754 1182 1265 1227">52 %</td> <td data-bbox="1265 1182 1409 1227"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1227 754 1272">4</td> <td data-bbox="754 1227 1265 1272">65 %</td> <td data-bbox="1265 1227 1409 1272"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1272 754 1317">5</td> <td data-bbox="754 1272 1265 1317">78 %</td> <td data-bbox="1265 1272 1409 1317"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1317 754 1361">6</td> <td data-bbox="754 1317 1265 1361">90 %</td> <td data-bbox="1265 1317 1409 1361"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1361 754 1406">7</td> <td data-bbox="754 1361 1265 1406">100 %</td> <td data-bbox="1265 1361 1409 1406"></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 %																																		

№ п/п	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																							
6	Висота деревостану	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="667 353 746 443">Ід.</th> <th data-bbox="746 353 1273 443">Значення</th> <th data-bbox="1273 353 1426 443">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="667 862 746 952">Ід.</th> <th data-bbox="746 862 1273 952">Значення</th> <th data-bbox="1273 862 1426 952">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="667 1438 746 1527">Ід.</th> <th data-bbox="746 1438 1273 1527">Значення</th> <th data-bbox="1273 1438 1426 1527">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																								

№ п/п	Назва шару на сторінці геопорталу	Вигляд																																				
9	Земельний покрив	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 418 751 479">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="751 418 1267 479">Значення</th> <th data-bbox="1267 418 1410 479">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="683 479 751 517">1</td> <td data-bbox="751 479 932 517">Водойми</td> <td data-bbox="932 479 1267 517"></td> <td data-bbox="1267 479 1410 517"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 517 751 555">2</td> <td data-bbox="751 517 1018 555">Воддно-болотні угіддя</td> <td data-bbox="1018 517 1267 555"></td> <td data-bbox="1267 517 1410 555"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 555 751 593">3</td> <td data-bbox="751 555 948 593">Населені пункти</td> <td data-bbox="948 555 1267 593"></td> <td data-bbox="1267 555 1410 593"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 593 751 631">4</td> <td data-bbox="751 593 1043 631">Інші непродуктивні землі</td> <td data-bbox="1043 593 1267 631"></td> <td data-bbox="1267 593 1410 631"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 631 751 669">5</td> <td data-bbox="751 631 1075 669">Сільськогосподарські угіддя</td> <td data-bbox="1075 631 1267 669"></td> <td data-bbox="1267 631 1410 669"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 669 751 707">6</td> <td data-bbox="751 669 900 707">Травостої</td> <td data-bbox="900 669 1267 707"></td> <td data-bbox="1267 669 1410 707"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 707 751 745">7</td> <td data-bbox="751 707 884 745">Чагарники</td> <td data-bbox="884 707 1267 745"></td> <td data-bbox="1267 707 1410 745"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 745 751 784">8</td> <td data-bbox="751 745 948 784">Лісовий покрив</td> <td data-bbox="948 745 1267 784"></td> <td data-bbox="1267 745 1410 784"></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	Імовірність виникнення пожеж	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 871 751 931">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="751 871 1267 931">Значення</th> <th data-bbox="1267 871 1410 931">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="683 931 751 969">1</td> <td data-bbox="751 931 868 969">Відсутня</td> <td data-bbox="868 931 1267 969">8.96e-9 - 1.04e-7</td> <td data-bbox="1267 931 1410 969"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 969 751 1008">2</td> <td data-bbox="751 969 852 1008">Низька</td> <td data-bbox="852 969 1267 1008">1.04e-7 - 1.99e-7</td> <td data-bbox="1267 969 1410 1008"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1008 751 1046">3</td> <td data-bbox="751 1008 852 1046">Середня</td> <td data-bbox="852 1008 1267 1046">1.99e-7 - 2.94e-7</td> <td data-bbox="1267 1008 1410 1046"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1046 751 1084">4</td> <td data-bbox="751 1046 852 1084">Висока</td> <td data-bbox="852 1046 1267 1084">2.94e-7 - 3.89e-7</td> <td data-bbox="1267 1046 1410 1084"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1084 751 1122">5</td> <td data-bbox="751 1084 884 1122">Надвисока</td> <td data-bbox="884 1084 1267 1122">3.89e-7 - 1.09298e-6</td> <td data-bbox="1267 1084 1410 1122"></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	Імовірн. поширення пожеж	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="683 1274 751 1335">Ід.</th> <th colspan="2" data-bbox="751 1274 1267 1335">Значення</th> <th data-bbox="1267 1274 1410 1335">Шкала</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="683 1335 751 1373">1</td> <td data-bbox="751 1335 868 1373">Відсутня</td> <td data-bbox="868 1335 1267 1373">0 - 0.000375</td> <td data-bbox="1267 1335 1410 1373"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1373 751 1411">2</td> <td data-bbox="751 1373 852 1411">Низька</td> <td data-bbox="852 1373 1267 1411">0.000375 - 0.00075</td> <td data-bbox="1267 1373 1410 1411"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1411 751 1449">3</td> <td data-bbox="751 1411 852 1449">Середня</td> <td data-bbox="852 1411 1267 1449">0.00075 - 0.00113</td> <td data-bbox="1267 1411 1410 1449"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1449 751 1487">4</td> <td data-bbox="751 1449 852 1487">Висока</td> <td data-bbox="852 1449 1267 1487">0.00113 - 0.0015</td> <td data-bbox="1267 1449 1410 1487"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="683 1487 751 1525">5</td> <td data-bbox="751 1487 884 1525">Надвисока</td> <td data-bbox="884 1487 1267 1525">0.0015 - 0.0023</td> <td data-bbox="1267 1487 1410 1525"></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																																				

5.4. Система управління базами даних

В якості системи управління базами даних (СУБД) було вибрано *Postgresql 9.6*. Крім того, використовуються кілька розширень, які додають деякі нові типи даних і функціональність в стандартну установку *Postgresql* (табл. 5.4).

Розширення *Postgresql*

№ п/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	підключається 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 відносяться до лісовпорядної бази даних. У другій (пожежній схемі даних) містяться таблиці з даними, які відображаються на геопорталі за допомогою *WMS* (табл. 5.1), про термальні аномалії, що були визначені супутниками *NASA Terra, Aqua, SUOMI NPP, NOAA-20*, а також дані про згарища радіометра *MODIS* [177].

5.4.1. Моделі даних

Таксаційна схема містить в собі таблиці, наповнення яких відбувається ВО Укрдержліспроєкт при проведенні базового і безперервного лісовпорядкування. При виконанні робіт щодо створення геопорталу було використано дані лісовпорядкування 2016 року. ER-діаграма³ бази даних відображена на рис. 5.8. У табл. 5.5 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

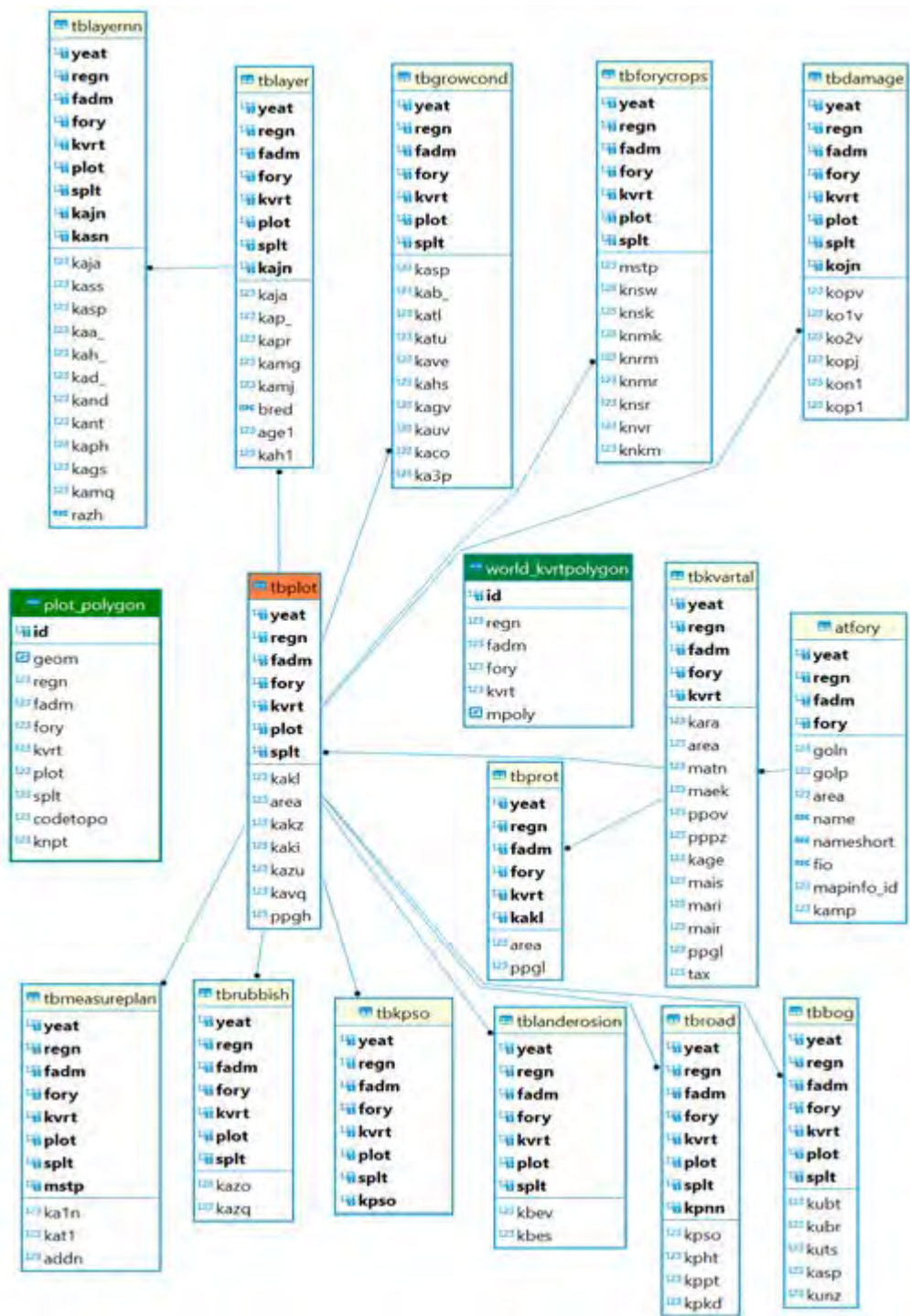


Рис. 5.8. ER-діаграма таксаційної схеми даних

Характеристика таблиць таксаційної схеми даних

№ п/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, tbkps, 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 щодо запроєктованих лісгосподарських заходів	10475	
14	tblanderosion	Дані про ерозію ґрунту	157	
15	tbkps	Дані про особливості виділу	44451	
16	tbrubbish	Дані про захаращення	9948	
17	world_kvrtpolygon			

Пожежна схема бази даних (рис. 5.9) складається із семи таблиць, дані про які наведено у табл. 5.6.

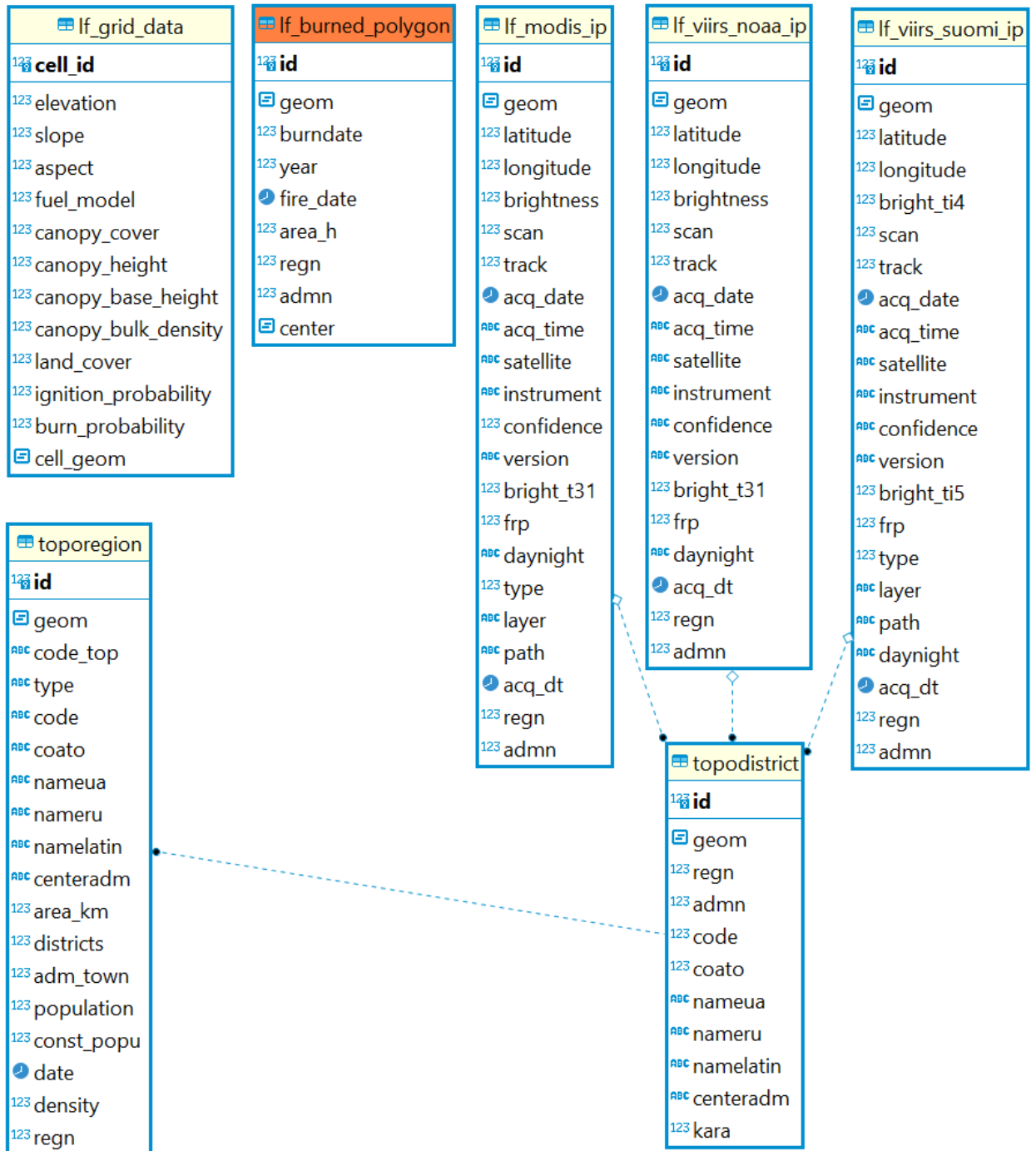


Рис. 5.9. ER-діаграма пожежної схеми даних

Характеристика таблиць пожежної схеми даних

№ п/п	Назва таблиці	Зміст інформації	Кількість записів	Об'єм дискової пам'яті, мегабайт	Часовий діапазон
1	toporegion	Дані про адміністративні області	27	2.1	перепис населення 2001 р.
2	topodistrict	Дані про адміністративні райони	1309	6.1	перепис населення 2001 р.
3	lf_grid_data	Дані у ґріді з коміркою 100x100 м на території Волинської, Рівненської, Житомирської, Київ-вської, і Чернігівської областей	40,599,284	7168	дані за 2015 р.
4	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
5	lf_modis_ip	Дані радіометра MODIS про загорання із супутників Terra і Aqua	618,726	285	01.11.2001-07.12.2020
6	lf_viirs_noaa_ip	Дані радіометра VIIRS про загорання із супутника NOAA-20	128,370	46	23.12.2019-07.12.2020
7	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 *bal.geog.umd.edu*. Кінцева дата даних про згарища у каталозі Collection6 цього ресурсу обмежується 30 червня 2020 року. Фактично це так званий продукт *MCD64A1* [177], що побудовано на ґріді з коміркою 463 м. У кожній комірці записано номер дня пожежі у діапазоні 1–365 для невисокосного року. Перевід номера дня у дату виконується 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 8му і 15му регіонах. Тому перед завантаженням дані цих двох регіонів спочатку були об'єднані, а потім очищені від даних за межами України.

5.4.2. Оптимізація запитів

Для прискорення виконання запитів було створено і протестовано 29 індексів (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Індекси пожежної схеми даних

№ п/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 використовуються для аналізу даних про займання і згарища (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Показники продуктивності виконання запитів

№ п/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

При виконанні розподілу площ згарищ за алгоритмом Дженкса, яка виконується на стороні серверу, спостерігається зростання часу виконання розподілу за гіперболічним законом. Було проведено 15 вимірів продуктивності виконання розподілу, які відображено у табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Виміри продуктивності виконання розподілу Дженкса

№ п/п	Початкова дата	Кінцева дата	Кількість пожеж	Час, с
1	01.05.2020	30.06.2020	930	1,684
2	01.03.2020	30.06.2020	4257	1,728
3	01.11.2019	30.06.2020	6149	1,376
4	01.10.2019	30.06.2020	27419	8,105
5	01.09.2019	30.06.2020	30279	9,757
6	01.08.2019	30.06.2020	37249	13,571
7	01.07.2019	30.06.2020	44295	18,639
8	01.06.2019	30.06.2020	47525	20,731
9	01.03.2019	30.06.2020	49603	22,802
10	01.06.2018	30.06.2020	64786	37,089
11	01.03.2018	30.06.2020	72590	46,154
12	01.09.2017	30.06.2020	81233	59,874
13	01.08.2017	30.06.2020	98410	83,69
14	01.06.2017	30.06.2020	122729	131,578
15	01.03.2017	30.06.2020	132406	154,747

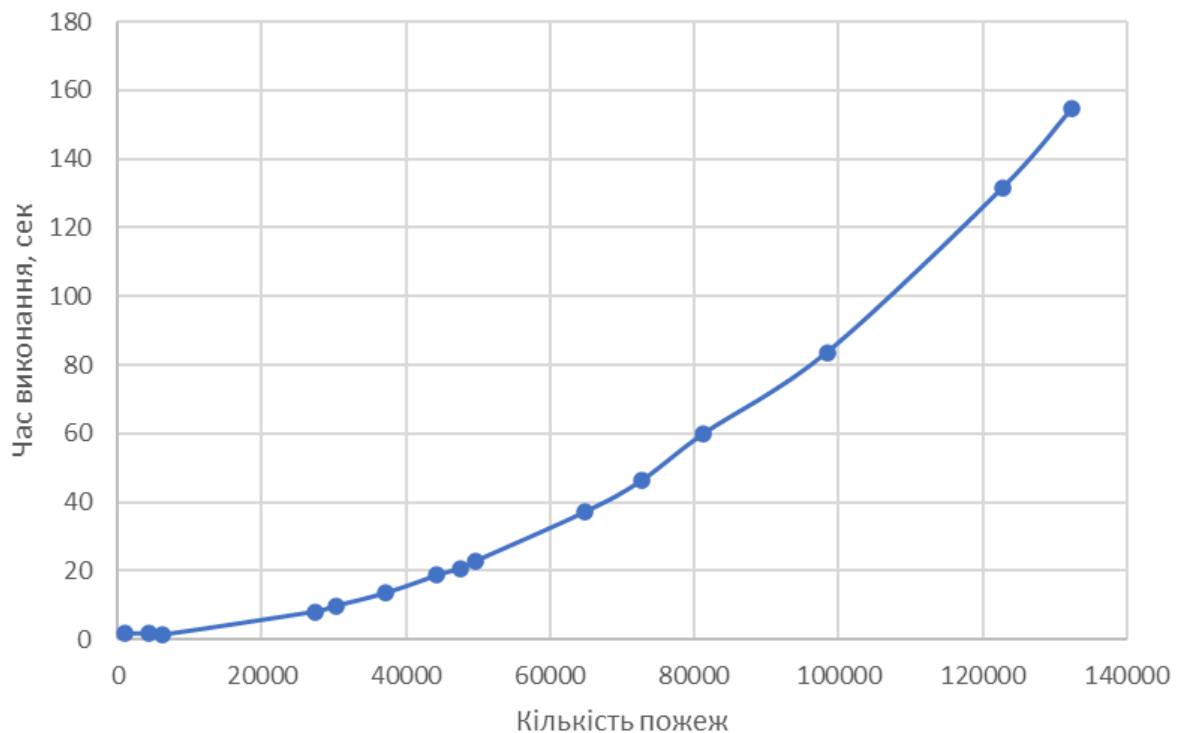


Рис. 5.10. Залежність часу виконання розподілу площ пожеж на класи за Дженксом від кількості даних вибірки

Апроксимація залежності, зображеної на рис. 5.10, як параболічної з коефіцієнтом кореляції 0,999853 виражається у вигляді формули 5.1.

$$Y = 0.000\ 000\ 008\ 7 * X^2 - 0.000\ 003\ 483\ 6 * X + 1.2788522834 \quad (5.1)$$

Для зменшення часу виконання розподілу площ на класи за Дженксом пропонується встановити поріг у кількості пожеж (наприклад, $N = 30000$ для забезпечення часу виконання процедури не більше 10 секунд). При перевищенні 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.

5.5. Модель інформаційних потоків односторінкового веб-додатку

Для розробки веб-додатку геопорталу було застосовано підхід під назвою односторінковий додаток (*single page application*), який проілюстровано на рис. 5.11. Цей підхід передбачає спільне використання серверної і клієнтської частини. Використовуючи їх взаємодію, створюється додаток, яке працює без перезавантаження сторінки в браузері.

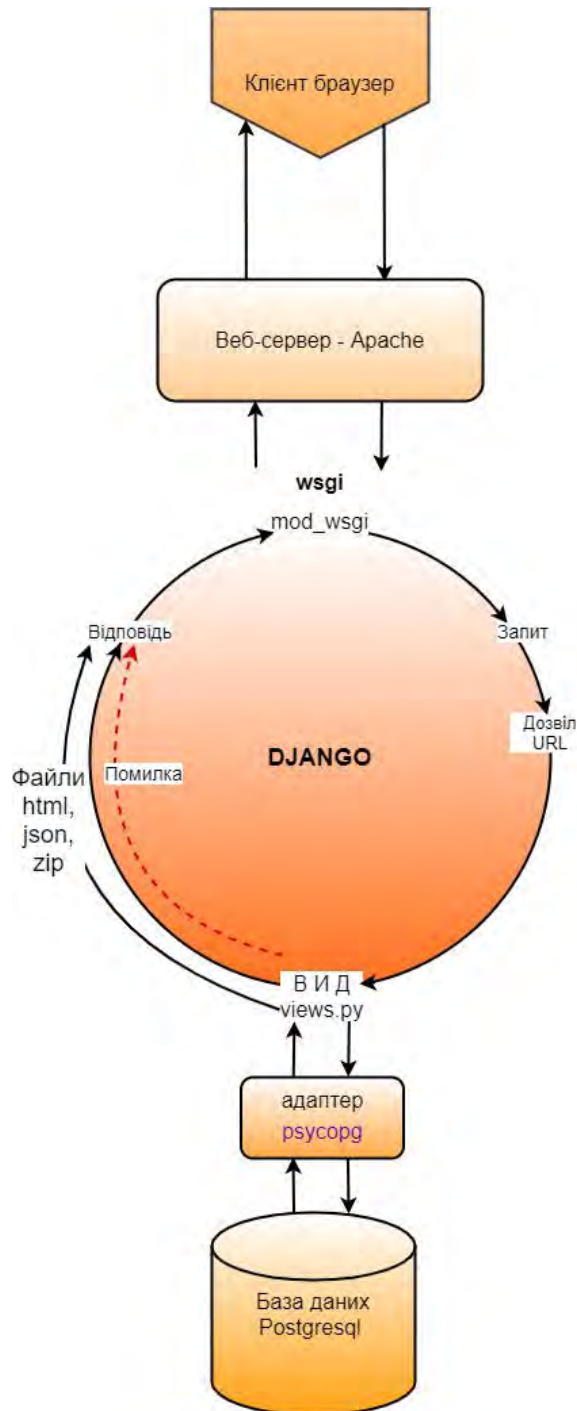


Рис. 5.11. Схема взаємодії компонентів при роботі веб-додатку

Розглянемо роботу односторінкового додатку 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*-елементу *div* на вкладці «Згарища» задає початкову і кінцеву дату (рис. 5.12).

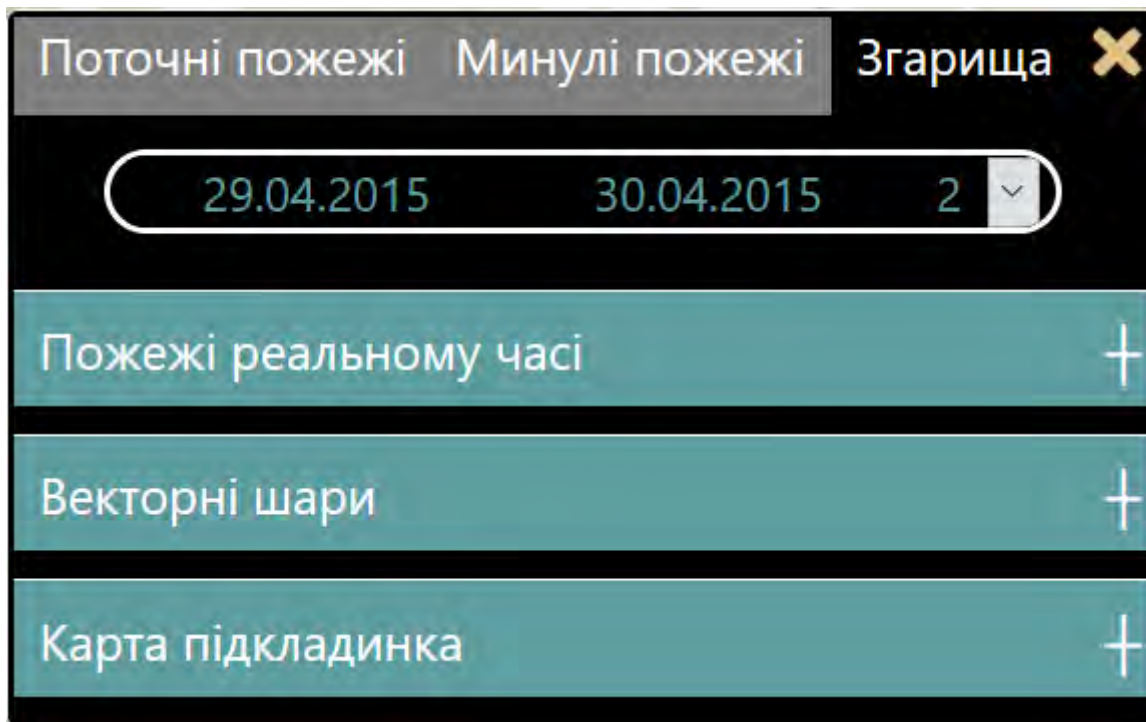


Рис. 5.12. Визначення періоду появи згарищ

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 веб-сервером *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*.

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

```
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 використовуються для відображення згарищ на карті (рис. 5.13).

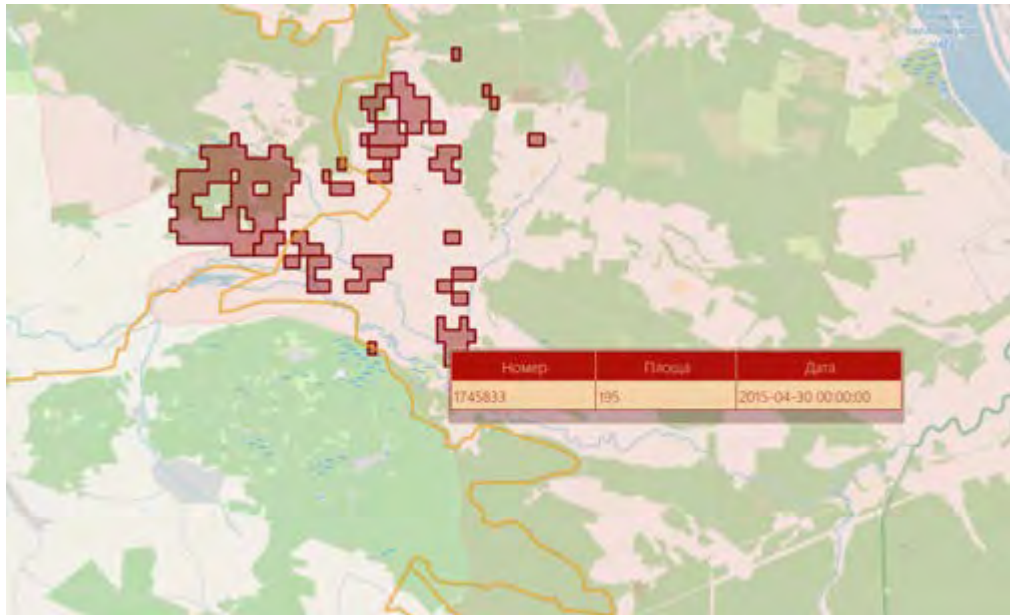


Рис. 5.13. Результат виконання запиту про наявність згаріщ за період з 29 по 30 квітня 2015 р. у Чорнобильській зоні відчуження

5.6. Склад веб-сторінок геопорталу (результати 2020 р.)

Після введення імені і паролю відбувається перехід на сторінку веб-додатку з відображенням меню геопорталу (рис. 5.14). Сторінка веб-додатку викликається з інших сторінок вибором пункту меню «Карта». Крім того, окремі сторінки викликаються при виборі решти пунктів меню:

- про геопортал (рис. 5.15);
- дані (рис. 5.16);
- методи (рис. 5.17).

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

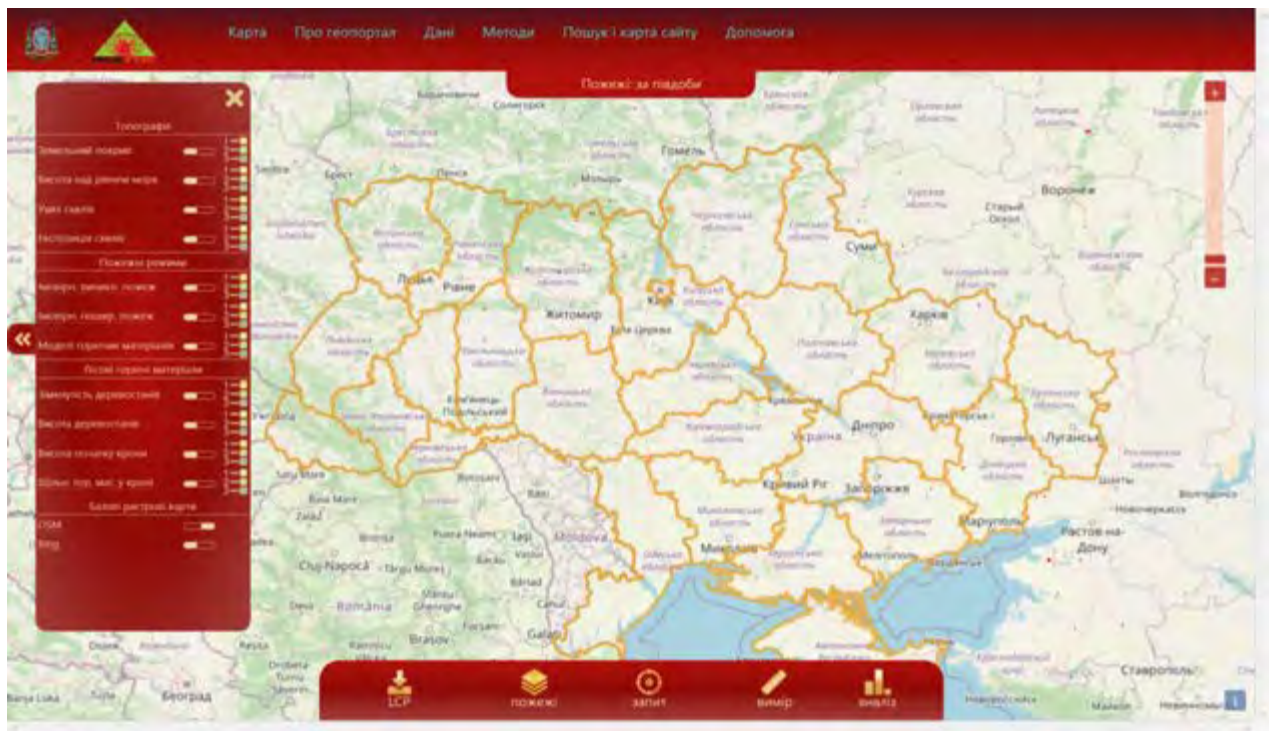


Рис. 5.14. Веб-додаток з головним меню



Рис. 5.15. Веб-сторінка «Про геопортал»

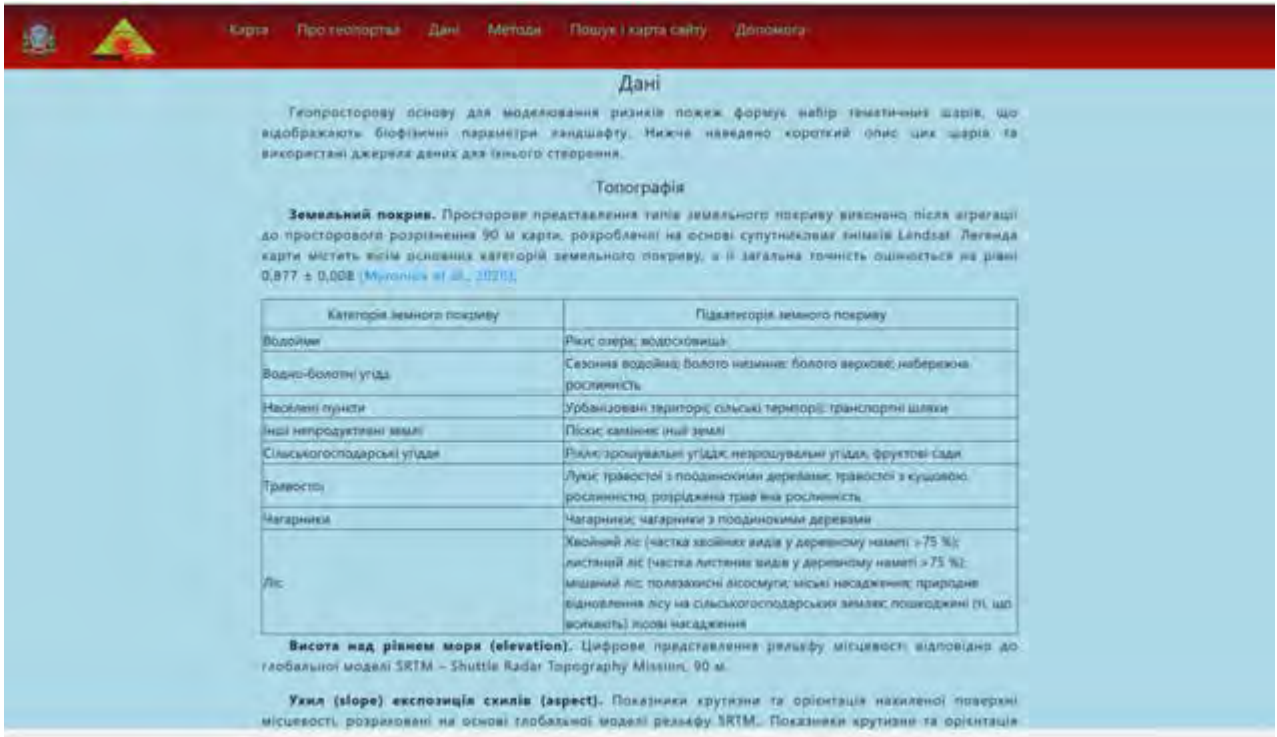


Рис. 5.16. Веб-сторінка «Дані»



Рис. 5.17. Веб-сторінка «Методи»

5.7. Дизайн веб-додатку (результати 2020 р.)

Веб-додаток складається із ряду діалогових вікон, які у свою чергу складаються із елементів управління.

Елементи управління веб-додатку 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.

5.7.1. Меню веб-додатка

Меню у нижній частині вікна веб-додатку і його елементи у вигляді кнопок з різними піктограмами слугує для виклику інших діалогових вікон (рис. 5.18). Всі три пункти підменю *LCP* слугують для виклику діалогу запиту фрагменту *LCP* на задану територію (див. розділ 6).



Рис. 5.18. 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 при натисканні на карту. Так після натискання кнопки «Інформація про згарища» курсор переходить у режим виводу відповідних даних і при натисканні лівої кнопки миші на зображенні згарища виводиться його номер, площа і дата (рис. 5.19).

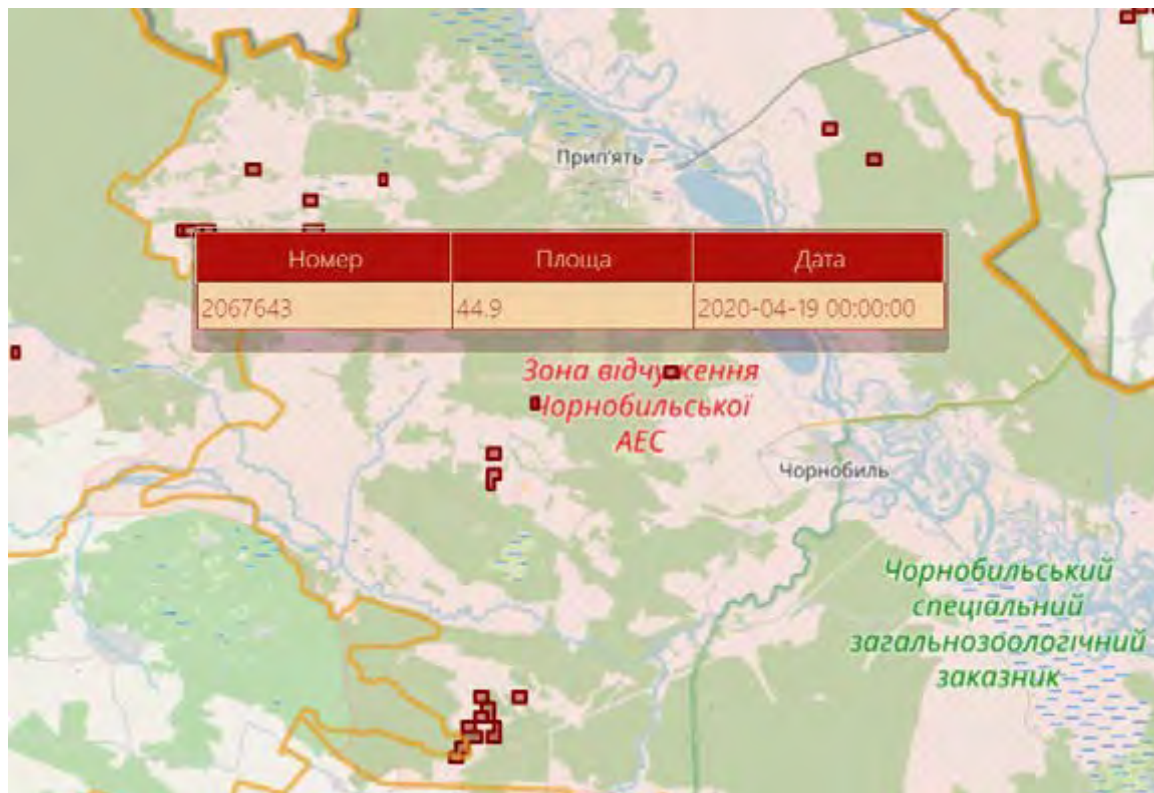


Рис. 5.19. Вивід інформації про згарища

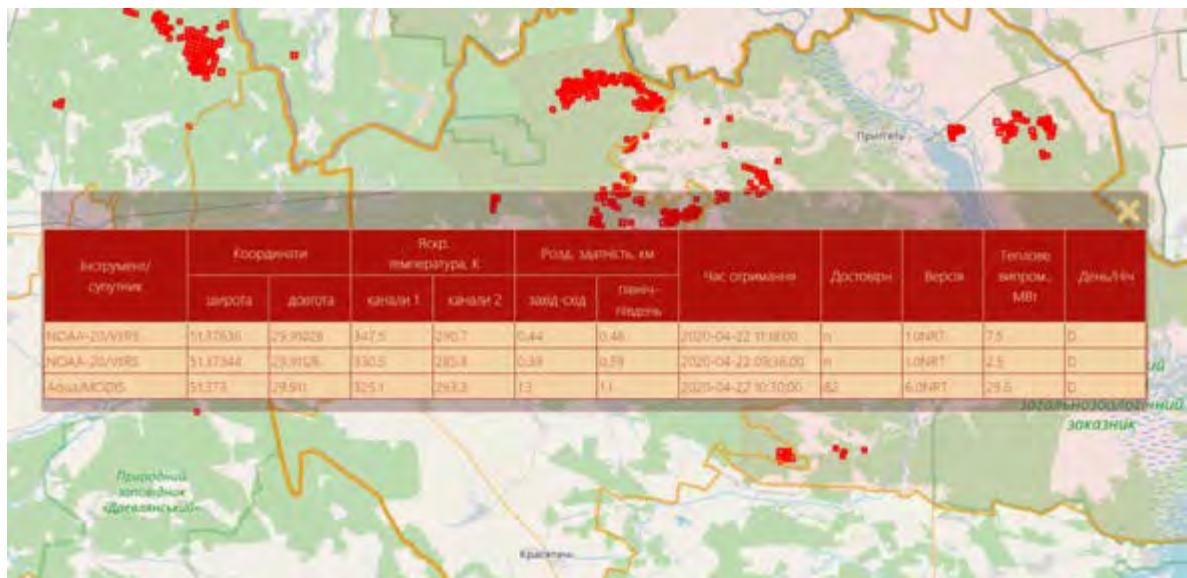


Рис. 5.20. Вивід інформації про займання

Аналогічно у режимі виводу інформації про пожежу буде відображено таблицю, зображену на рис. 5.20, а у режимі виводу інформації про *LCP* – на рис. 5.21.



Рис. 5.21. Вивід інформації про *LCP*

5.7.2. Діалогове вікно «Управління шарами»

Вікно «Управління шарами» з'являється при завантаженні веб-додатку у лівій частині сторінки (рис. 5.22) і надає можливість керувати видимістю тринадцяти шарів, які розділено у 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 (табл. 5.2). За допомогою спеціального елемента зліва від вікна у вигляді подвійної стрілки можна закривати або знов викликати дане вікно.



Рис. 5.22. Елементи вікна «Управління шарами»

5.7.3. Діалогове вікно «Завантаження фрагменту LCP»

Як це було помічено у підрозділі 5.7.1. це вікно може бути викликано трьома різними способами, які відрізняються шляхом визначення вихідної території запити. Це може бути прямокутник, який потрібно накреслити перед викликом форми (рис. 5.23). Також можна попередньо вибрати адміністративну одиницю (рис. 5.24), а також задати межі шляхом вибору файлу *KML* (рис. 6.2).

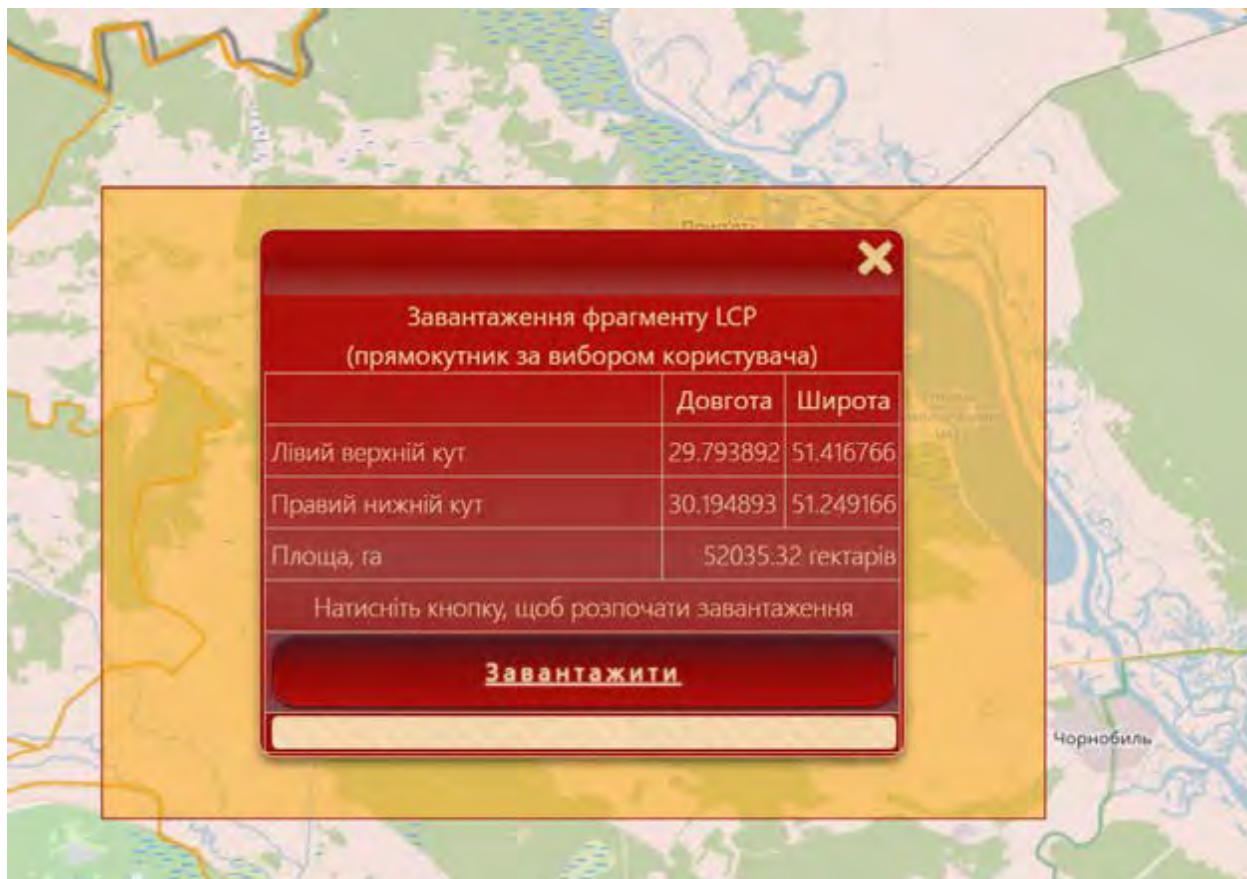


Рис. 5.23. Завантаження фрагменту *LCP*, заданого прямокутником

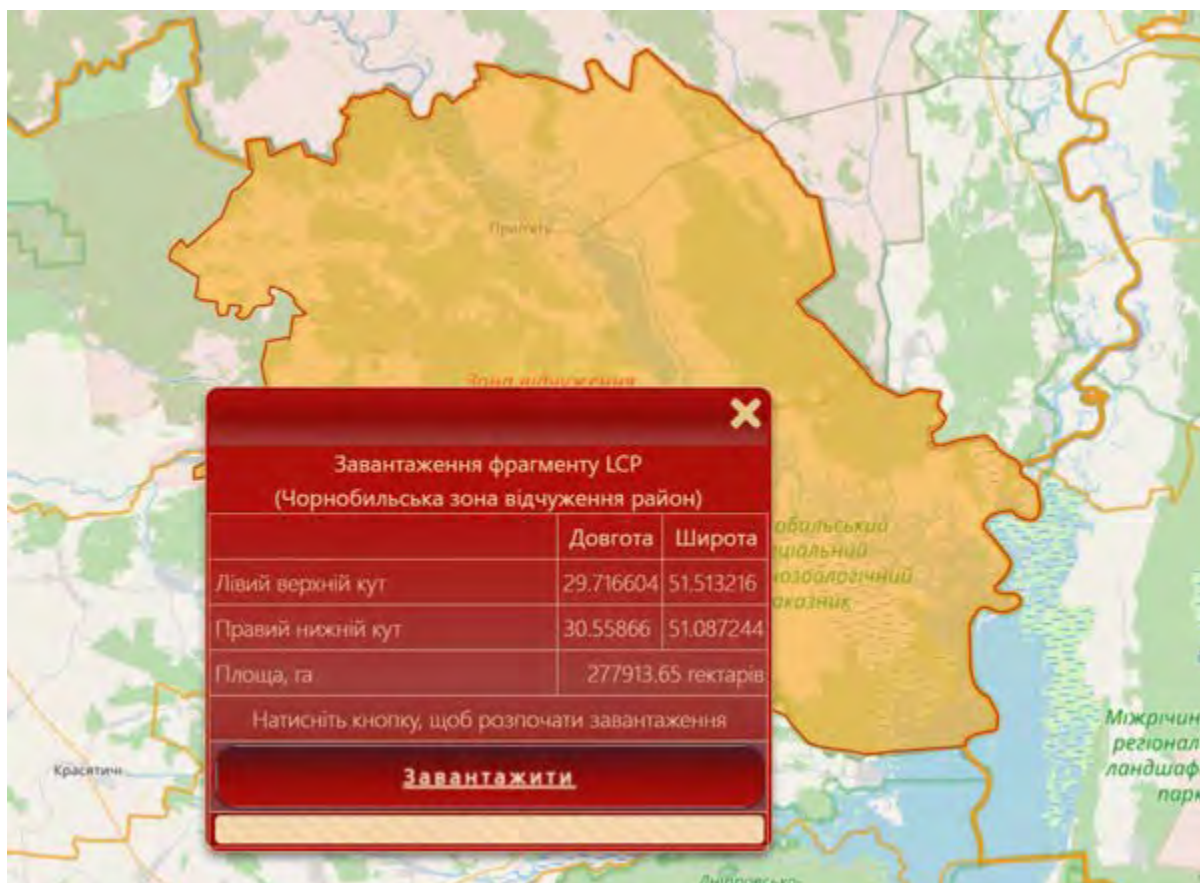


Рис. 5.24. Завантаження фрагменту *LCP*, заданого межами адміністративного району

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

5.7.4. Діалогове вікно «Пожежі»

Це діалогове вікно створено для задання умов виводу даних про займання і згарища на карту (рис. 5.25). За замовчуванням виводяться дані про займання за півдоби. 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 які 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.



Рис. 5.25. Три режими роботи діалогового вікна «Пожежі»

5.7.5. Діалогове вікно «Аналіз даних про пожежі»

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



Рис. 5.26. Вкладки «Умови» і «Регіон» діалогового вікна «Аналіз даних про пожежі»

У закладці «Умови» (ліва частина рисунку 5.26) задаються наступні параметри запиту:

- початкова і кінцева дати за допомогою елемента календар, ідентичного до зображеного на рис. 5.25;
- 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 (за замовчуванням);
- 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 рис. 5.27). За цей час виконується пересилання запиту, його обробка на сервері і генерація змістовної частини його результатів (права частина рис. 5.27).

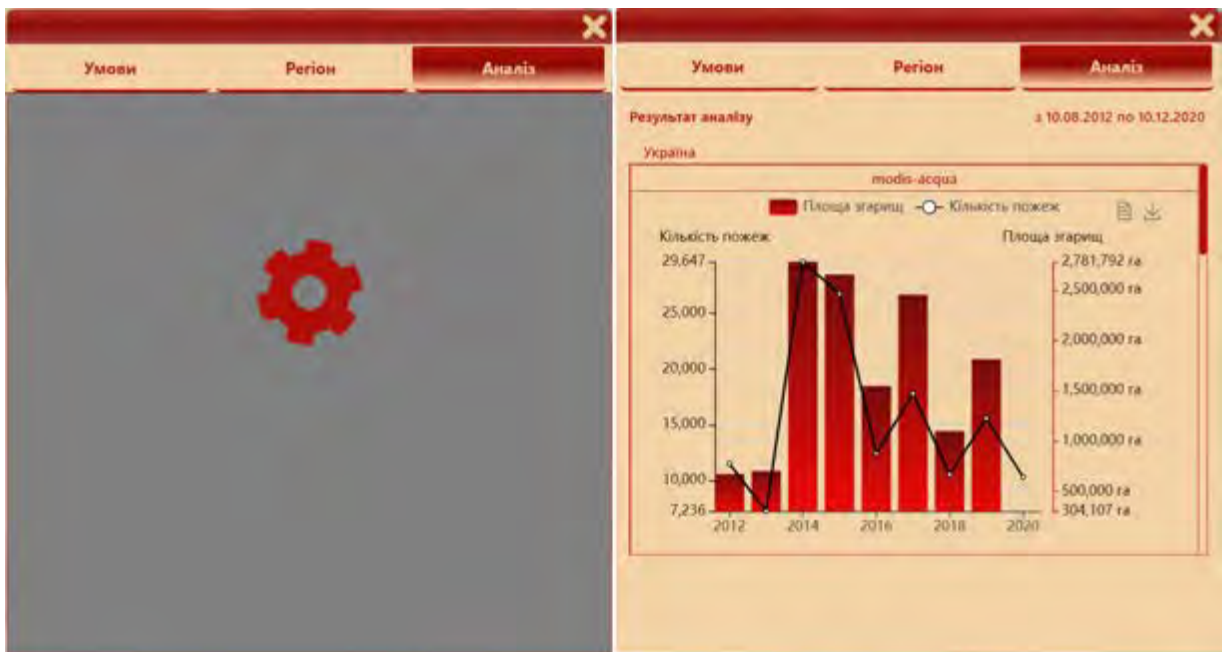


Рис. 5.27. Вкладка «Аналіз» вікна діалогового вікна «Аналіз даних про пожежі» у режимі очікування і у режимі відображення результату

Щонайбільше генерується п'ять діаграм. Перша діаграма називається «Розподіл площ пожеж за Дженксом», де відображається 10 стовпчиків, кожен з котрих відповідає певному діапазону площ згаринц. Синім кольором показано графік кількостей пожеж, що відповідають тим же діапазнам. Зміст діаграми можна отримати також і у табличному вигляді (табл. 5.10).



Рис. 5.28. Розподіл площ згаринц, що з'явилися з 1 березня по 30 липня 2020 р. у Київській області за Дженксом

Таблична форма представлення діаграми, зображеної на рис. 5.28

№ п/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 стовпчику і площі згарищ у вигляді графіку 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. 5.29), а якщо перевищує рік, то стовпчик буде відповідати року (рис. 5.30).

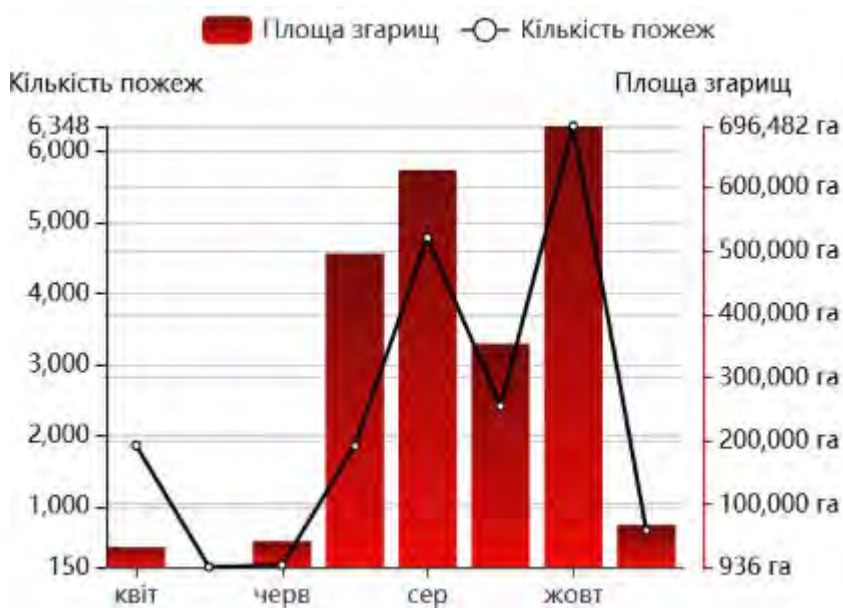


Рис. 5.29. Діаграма кількості пожеж і площі згарищ за період з 1.04 по 30.11.2015



Рис. 5.30. Діаграма кількості пожеж і площі згарищ за період з 1.01.2014 по 15.12.2020

Діаграми можна зберегти як файли зображень у форматі PNG . Крім того, можна скопіювати у буфер таличні дані, які відповідають даним, зображеним на діаграмах (табл. 5.10).

РОЗДІЛ 6
ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПОРТАЛУ
ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ
(результати 2020 р.)

6.1. Завантаження вихідних шарів для моделювання

Одна з ключових переваг геоportалу полягає в зручному впорядкуванню геопросторових шарів, які застосовуються 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.

Моделювання сценаріїв розвитку та поширення природних пожеж виконується 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. 6.1):

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*).

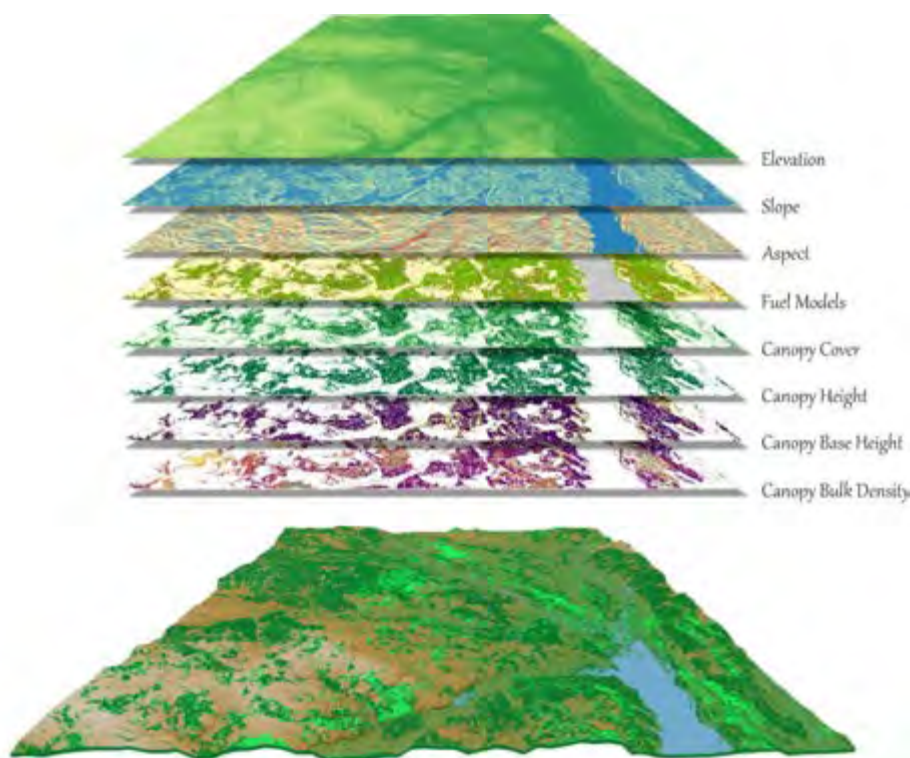


Рис. 6.1. Растрові шари, що застосовуються для моделювання природних пожеж на ландшафтному рівні

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 проводилися 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. 6.2).

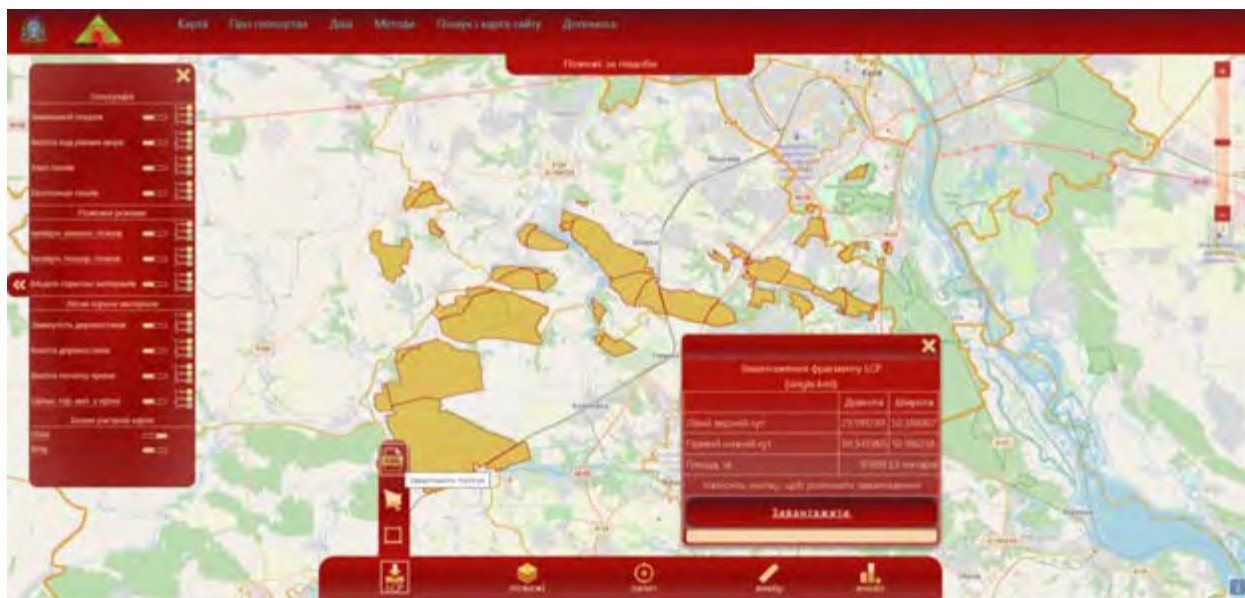


Рис. 6.2. Приклад вибору області інтересу на основі векторного покриття території (ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція»)

Після натискання «Завантажити» на геопорталі виконується операція 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 з завантаженими файлами треба інсталювати 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 з 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 калібровки алгоритмів розвитку пожеж;

ArcFuels – для аналізу сценаріїв управління горючими матеріалами; *WindNinja* – для роботи з показниками сили вітру.

На рис. 6.3 відображено моделі горючих матеріалів для обраної області інтересу. Подальші дослідження ризиків пожеж можна здійснювати в системі *FlamMap* або будь-якому іншому спеціалізованому програмному забезпеченні.

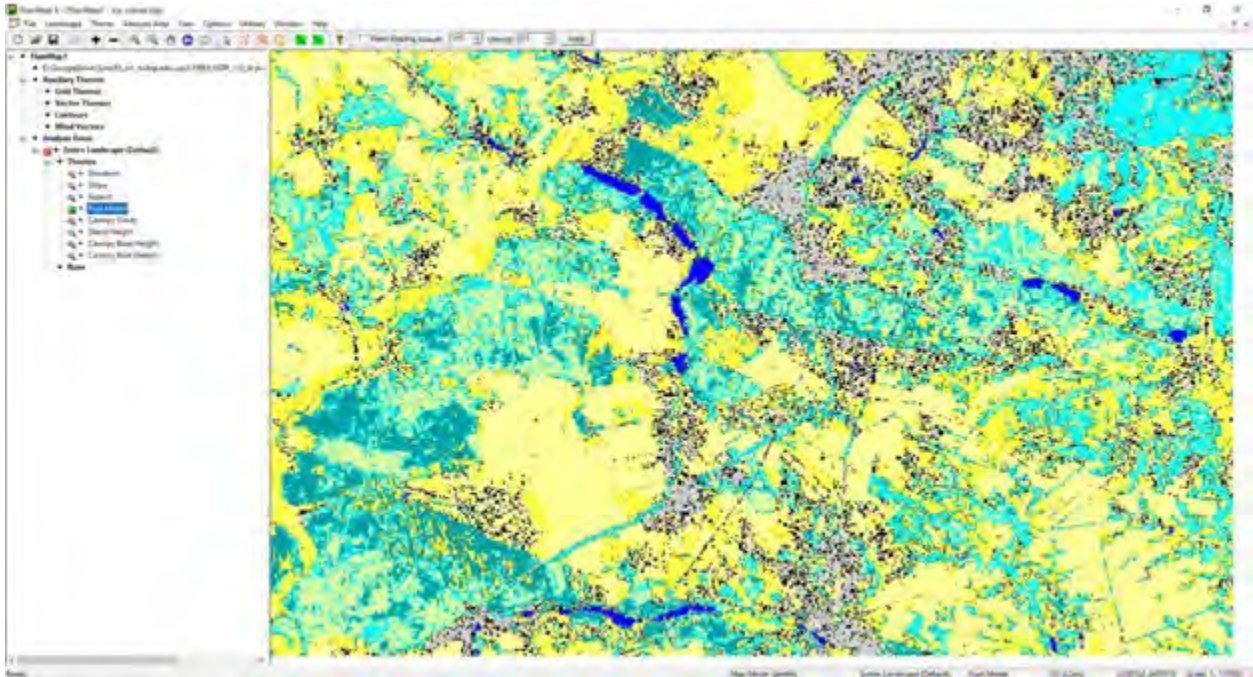


Рис. 6.3. Відображення файлу ландшафту в системі *FlamMap*

6.2. 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. 6.3), векторний шар з координатами осередка загорання, файл змін умов погоди з заданим часовим лагом (наприклад по годині температура повітря, відносна вологість повітря, кількість опадів, швидкість і напрям вітру), файл з інформацією про вологість горючих матеріалів (рис. 6.4). зазначені файли можна безпосередньо створювати в системі *FlamMap*

або задалегідь підготувати у вигляді текстових файлів із відповідною кількістю та назвою показників.

а)

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)

81	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

Рис. 6.4. Приклади файлів умов погоди (а) та вологості горючих матеріалів (б)

Після підготовки всіх необхідних файлів необхідно запусити команду «*New Farsire Run*», вказавши в 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. 6.5).

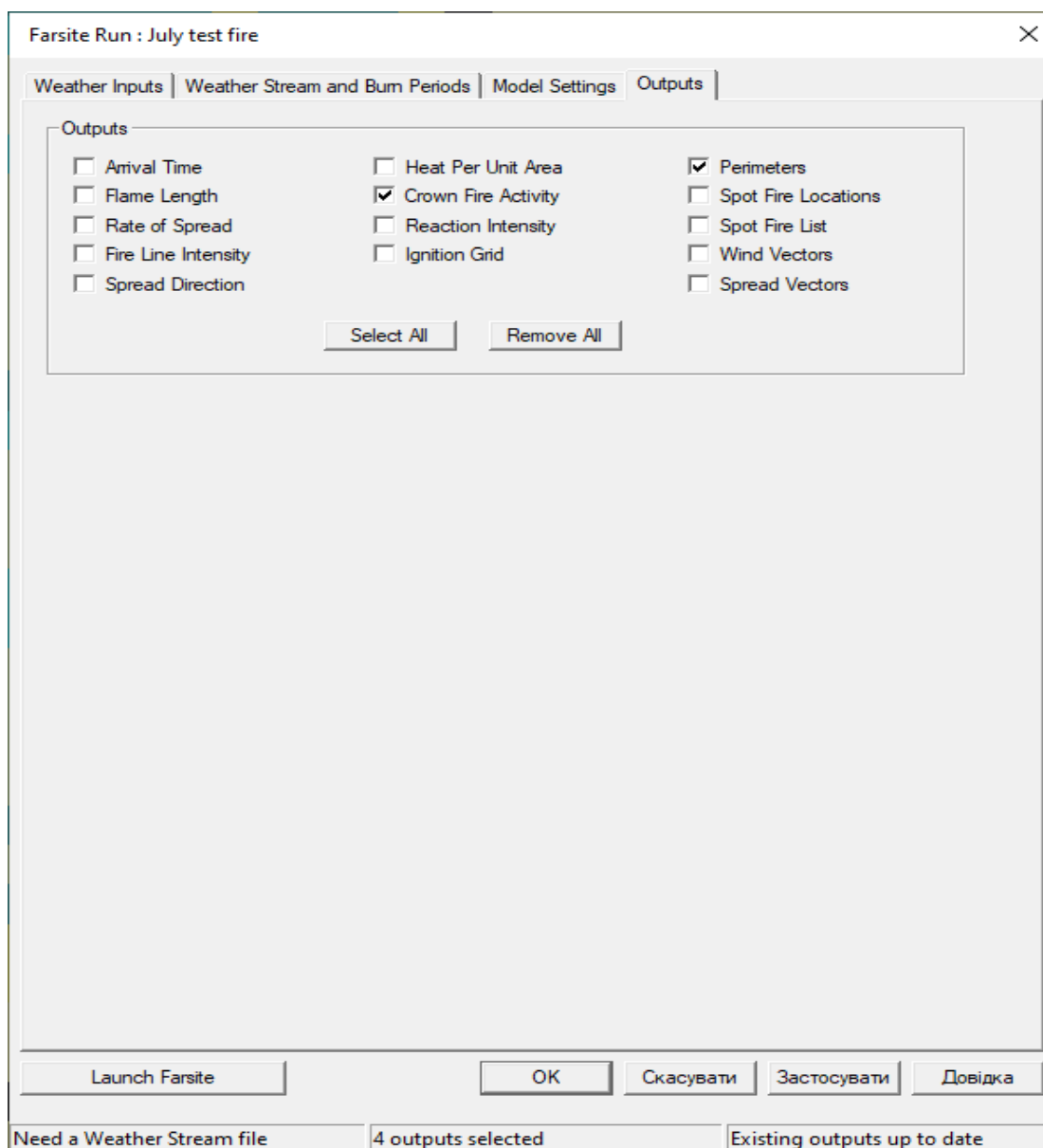


Рис. 6.5. Доступні опції вибору варіантів виведення результатів алгоритму моделювання розвитку пожежі

На рис. 6.6 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.



Рис. 6.6. 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. 6.7) було створено під час дослідження горимості цієї території (Ager et al., 2019).

Row ID	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5
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

Рис. 6.7. Вологість горючих матеріалів на момент початку пожежі

Згідно даних супутникового моніторингу пожежа розпочалася близько дев'ятої години 3 квітня 2020 р. на території Древлянського природного заповідника. Відповідно до цього було визначено координати осередка загорання, який слугував відправним пунктом моделювання. Для відтворення хронології розвитку пожежі використано дані з метеостанції Чорнобиль (рис. 6.8).

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

Рис. 6.8. 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 межі 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. 6.9).

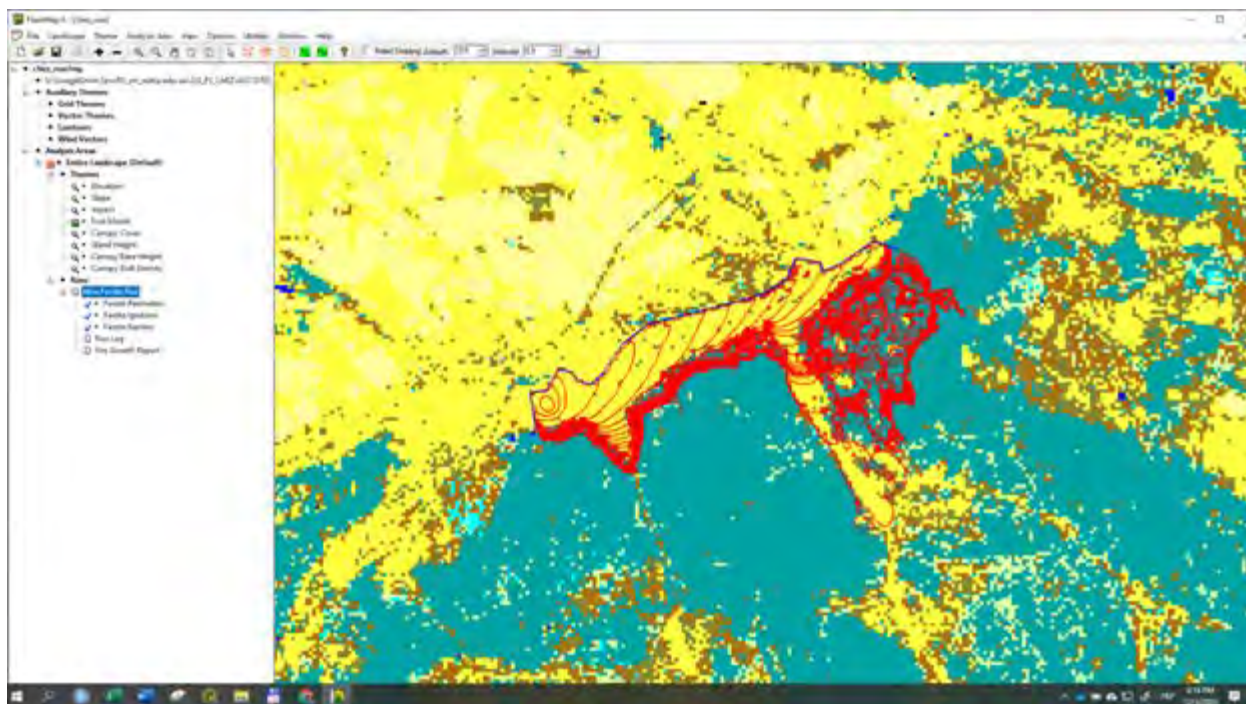


Рис. 6.9. Периметри пожежі, згенеровані на основі алгоритмів моделювання поширення пожеж

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. 6.10, можна пов'язати зі складністю врахувати низку вхідних параметрів для алгоритма 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, повинні заслуговують на окрему увагу під час калібрування моделей, яку можна здійснити на основі подібних історичних даних.

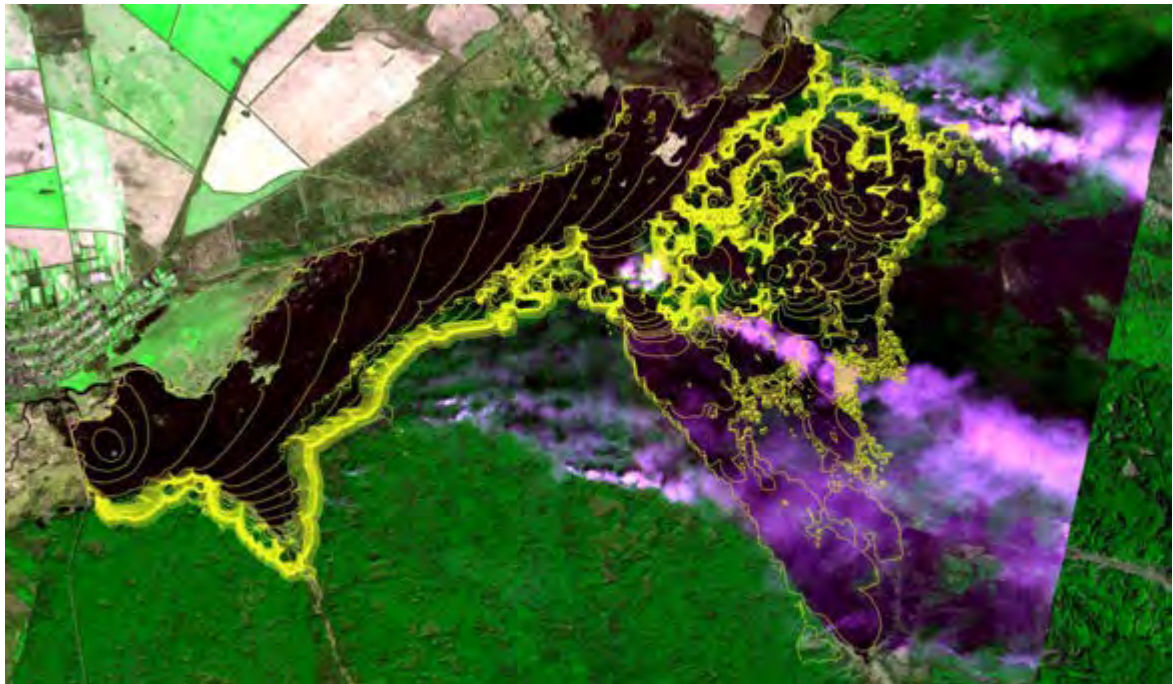


Рис. 6.10. Контури пожежі, згенерованої в програмі *FlamMap* (жовті лінії), станом на 4 квітня 2020 року

Доступність подібних інструментів сприятиме оперативному прийняттю оптимальних рішень під час гасіння пожежі. Для ілюстрації можливостей на рис. 6.11 наведено приклад варіанту запуску алгоритму з урахування штучного бар'єру для поширення вогню.

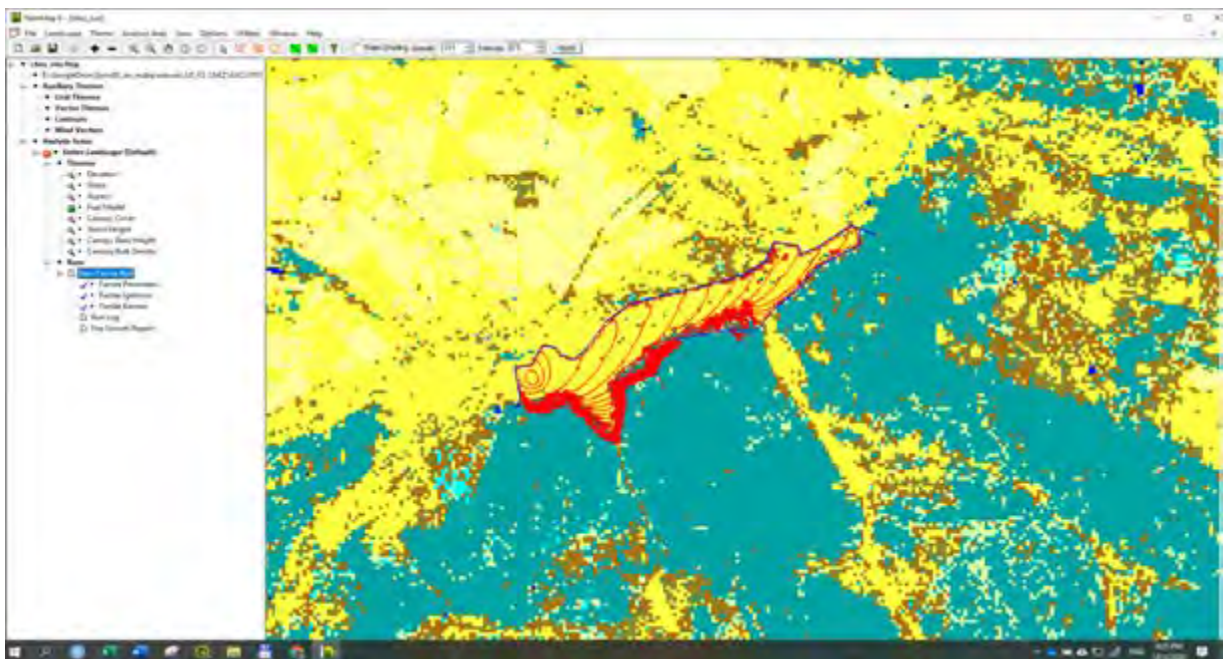


Рис. 6.11. Периметр пожежі станом на 4 квітня 2020 року, за умови зупинки вогню штучним бар'єром

6.3. Імітаційне моделювання ймовірності поширення пожеж в 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. 6.12). Її було створено на основі узагальнення всіх доступних з 2001 року даних про випадки пожеж на території Полісся України.

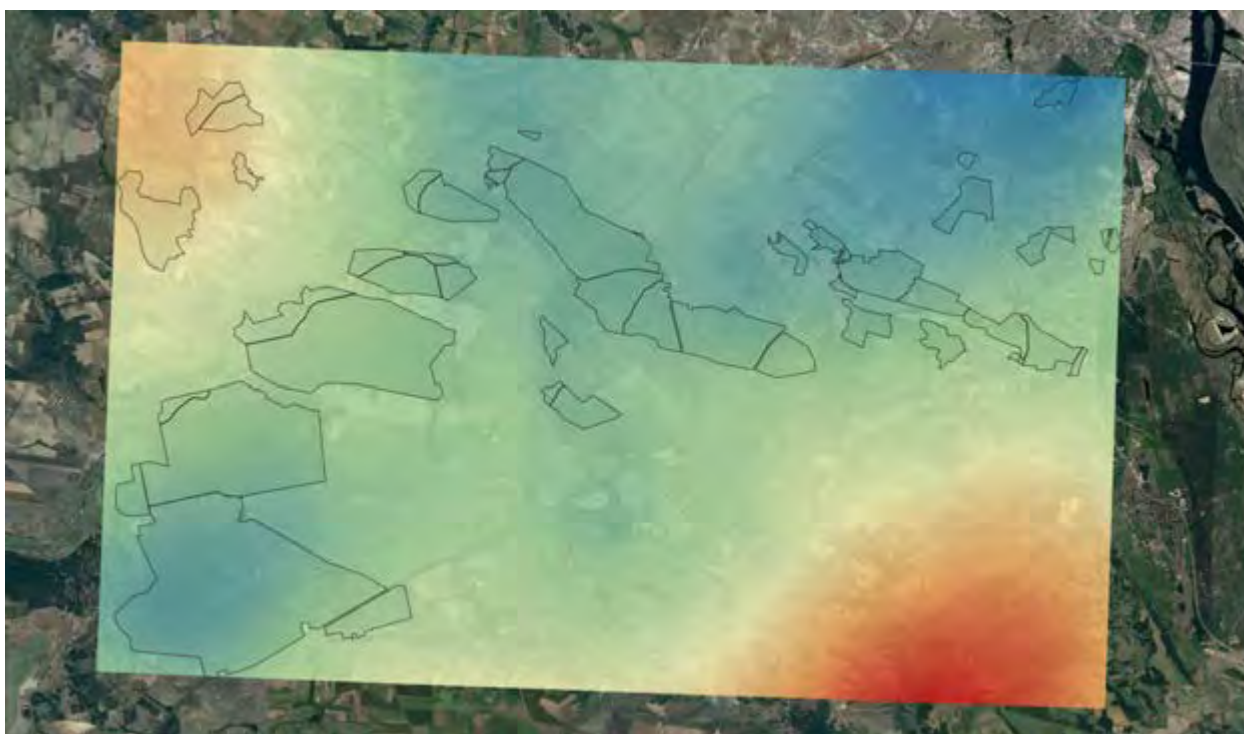


Рис. 6.12. Карта ймовірності виникнення пожеж з накладеними контурами лісових урочищ ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція» (червоним кольором відображено зони з вищою ймовірністю виникнення пожеж)

Зображена карта використовується в моделюванні для відтворення історичного розподілу пожеж на території області інтересу. При цьому більша кількість випадкових пожеж, які генерує алгоритм, буде зосередження в зонах із більшою ймовірністю їхнього виникнення.

Інша важлива перевага геопорталу полягає в безпосередньому узагальненні історичних даних про випадки та площу пожеж в межах окресленої зони інтересу (рис. 6.13). Ця інформація буде корисною під час калібрування моделей, що визначають умови поширення пожеж, оскільки кінцевим результатом повинно бути максимальне відтворення історичного розподілу площі і кількості найбільших пожеж у просторі та часі. Результати аналізу підлягають експорту у формі відповідних графіків або таблиць.



Рис. 6.13. Узагальнення історичних даних про кількість і площу найбільших пожеж для обраної області інтересу

На рис. 6.13 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. 6.14 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.

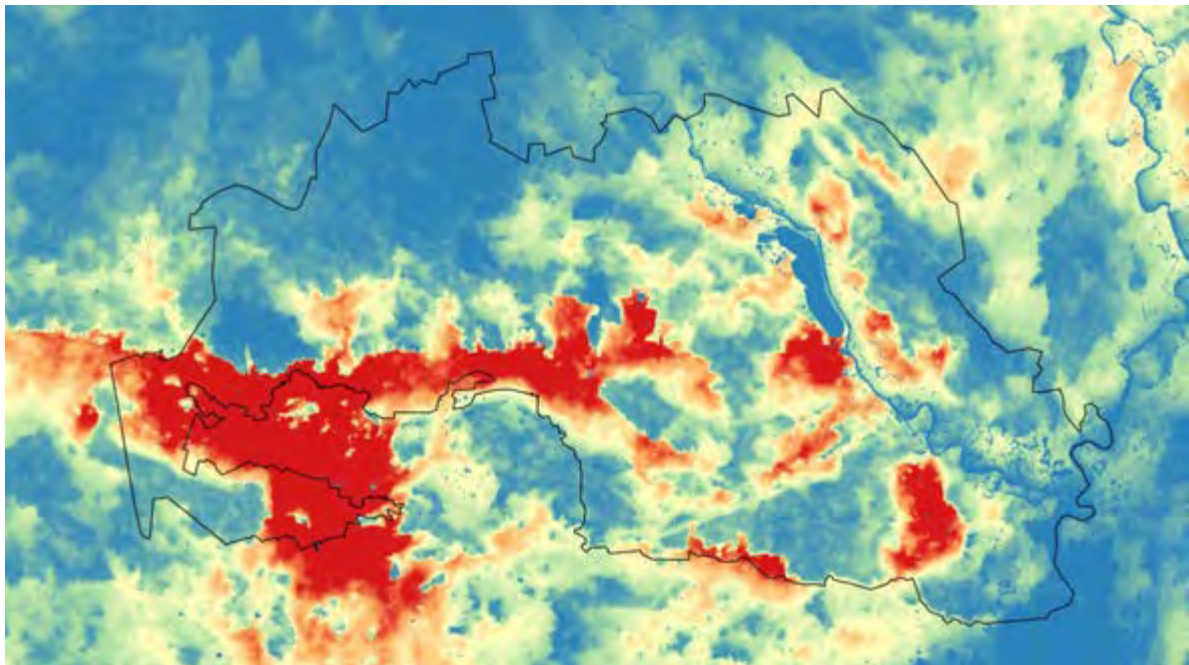


Рис. 6.14. Вихідна карта ймовірності поширення пожеж для території Чорнобильської зони відчуження (червоним кольором позначено області з вищими ризиками)

Як альтернатива, розглядалася ефективність протипожежних розривів – усіх доступних доріг, річок, каналів тощо. При цьому застосовано ті ж умови появи та розвитку пожеж. Згенерована карта ймовірності поширення пожеж відображена на рис. 6.15, тоді як рис. 6.16 підкреслює ділянки, в яких відбулося зниження ризиків.

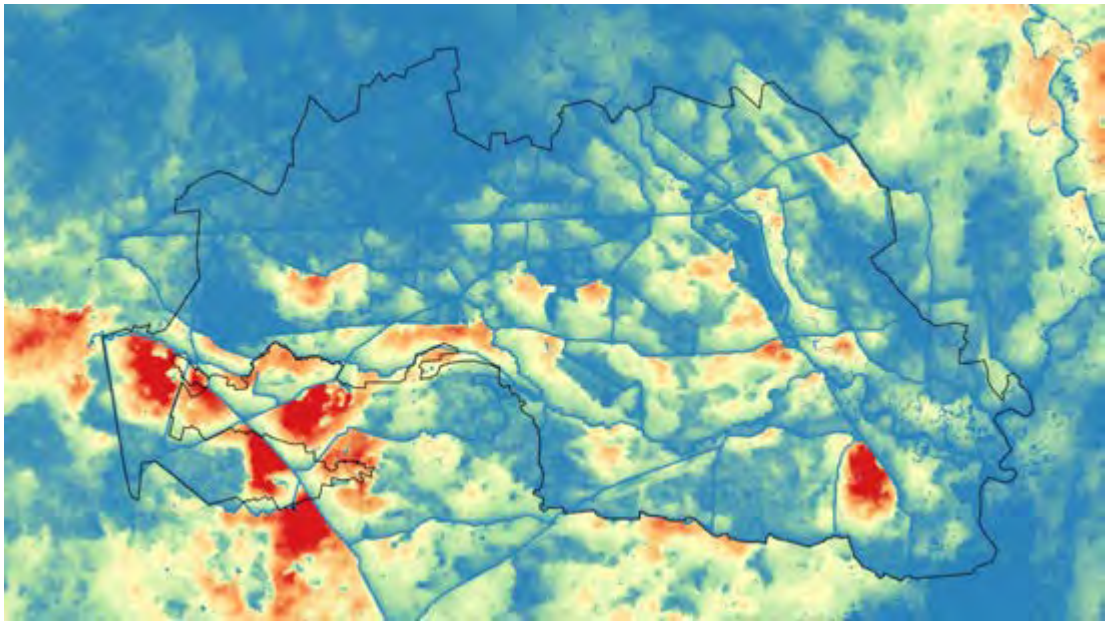


Рис. 6.15. Альтернативна карта ймовірності поширення пожеж для території Чорнобильської зони відчуження з урахування існуючої мережі протипожежних розривів (червоним кольором позначено області з вищими ризиками)

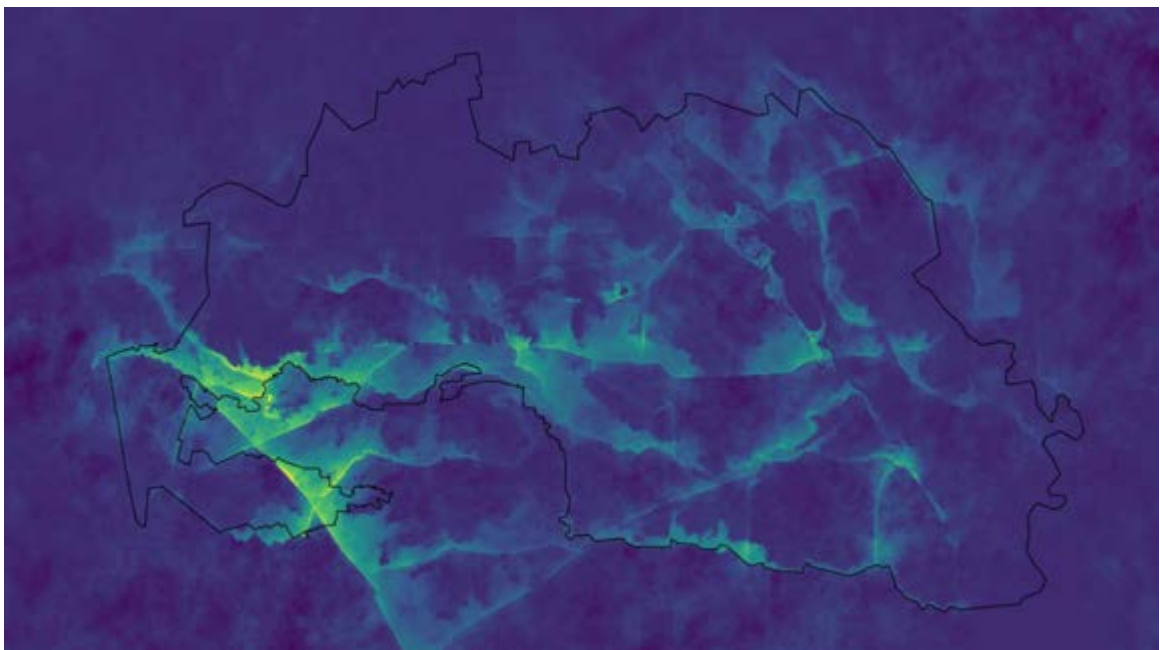


Рис. 6.16. Зміни ймовірності поширення пожеж завдяки протипожежним розривам (більший ефект відповідає жовтим відтінкам)

Таким чином, опрацьований геопортал створює рішення для ефективного управління пожежними режимами на території Полісся України. Він передусім призначений для фахівців з 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. Підходи та методологія збору й аналізу параметрів горючих матеріалів суттєво відрізняються на вкритих лісом територіях та на відкритих ландшафтах. Останні можуть застосовуватися, як самостійно, для опису трав'яного покриву перелогів, луків та інших типів відкритих ландшафтів так і у комплексі для дослідження горючих матеріалів в лісі, зокрема для опису характеристик живого надґрунтового покриву та підліску.

2. Порівнявши найпоширеніші у світі методики для збору ЛГМ встановлено суттєві відмінності у підходах щодо збору дослідного матеріалу, його аналізу та застосування, які ґрунтуються на особливостях географічного розміщення, кліматичних показників та характеристики ландшафтів. Застосування методики збору ЛГМ за системою FIREMON з подальшим використанням системи прогнозування поведінки пожежі на основі параметрів ЛГМ, погоди і рельєфу BehavePlus дозволяє краще зрозуміти особливості формування природної пожежної небезпеки у соснових насадженнях Полісся України і можуть використовуватись для розробки моделей розвитку лісових пожеж.

3. Супутникові дані виступають єдиним доступним джерелом даних про просторові характеристики ландшафтів, 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. Розроблена схема класифікації території за типами землекористування узгоджується з альтернативною 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 проєкту

використано 10 різних моделей поведінки пожеж. Вони були обґрунтовані на основі аналізу бази даних запасів горючих матеріалів у природних ландшафтах Полісся України.

5. Виконано конфігурування геопорталу “Ландшафтні пожежі” на віртуальному сервері з доменним ім’ям wildfires.org.ua та операційній системі Ubuntu 18.04.

6. 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.

7. Основні можливості базової функціональності геопорталу представлено на сторінці веб-додатку wildfires.org.ua, яка завантажується зразу після авторизованого входу. Функції геопорталу представлено у діалогових вікнах: «Управління шарами», «Завантаження фрагменту LCP», «Пожежі», «Аналіз даних про пожежі», а також інформаційними таблицями, що відображають дані про пожежі, згарища і LCP. Значна частина інтерактивності веб-додатку реалізована також 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.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Амосов Г. А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров. *Возникновение лесных пожаров*. Москва : Наука, 1964. С. 52–183.
2. Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Ленинград : ЛенНИИЛХ, 1958. 30 с.
3. Арманд Д. Л. Наука о ландшафтах. Москва : Мысль, 1975. 141 с.
4. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. Москва : Лесн. пром-сть, 1974. 152 с.
5. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні / Зібцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. *Ukrainian journal of forest and wood science*. 2019. Вип. 10, №3. С. 27–40.
6. Базилевич Н. И. Малый биологический круговорот зольных веществ при лугово-степном и степном почвообразовании. *Почвоведение*. Москва–Ленинград : 1958. 120 с.
7. Баранов Н. М. Влияние сезонного развития травостоя на пожарное созревание лесных участков в горах Хамар-Дабана. *Моделирование в охране лесов от пожаров*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1979. С. 86–99.
8. Белов С. В. Лесная пирология : уч. пос. Ленинград : ЛТА, 1976. 64 с.
9. Береговий П. М. Геоботаніка. Київ : Радянська школа, 1966. 175 с.
10. 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*. 2013. Вип. 187 ч. 3. С. 167–176.
11. Борсук О. А. Природна пожежна небезпека соснових лісів зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення ЧАЕС. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 164. ч. 1. С. 105–112.

12. Валендик Э. Н. Ветер и лесной пожар. Москва : Наука, 1968. 118 с.
13. Валендик Э. Н., Гевель Н. Ф. О полноте сгорания некоторых лесных горючих материалов. *Проблемы лесной пирологии*. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1975. С. 127–137.
14. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные лесные пожары. Москва : Наука, 1979. 198 с.
15. Ванин С. И. Дровесиноведение. Ленинград : Гослестехиздат, 1934. 548 с.
16. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і голов. ред. В. Т. Бусел. Київ, Ірпінь : ВТФ «Перун», 2004. 732 с.
17. Войнов Г. С., Софронов М. А. Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров. *Современные исследования типологии и пирологии леса*. Архангельск : АИЛиЛх, 1976. С. 115–121.
18. Волокитина А. В. Необходимы карты лесных горючих материалов. *Лесное хозяйство*. 1991. № 4. С. 14–16.
19. Волокитина А. В. Пирологическая оценка типов леса Красноярского Приангарья. *Лесные пожары и борьба с ними*. Москва : ВИНТИ, 1987. С. 104–116.
20. Волокитина А. В. Принципы разработки определителя типов основных проводников горения (на примере Красноярского Приангарья). Москва : ВИНТИ, 1990. 31 с.
21. Волокитина А. В. Совершенствование управления природными пожарами в России на основе карт растительных горючих материалов. *Сб. науч. работ Института леса НАН Беларуси*. Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 1997. С. 183–186.
22. Волокитина А. В. Составление оперативных карт лесных горючих материалов. *Оперативное управление охраной лесов*. Красноярск : ИЛИД СО АН СССР, 1984. С. 49–52.
23. Волокитина А. В. Среднемасштабное картографирование растительных горючих материалов в Нижнем Приангарье. *География и природные ресурсы*. 1995. № 2. С. 146–152.

24. Волокитина А. В., Софронов М. А. Картографирование лесных горючих материалов. *Ландшафтные методы лесного картографирования*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1987. С. 49–61.
25. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск : СО РАН, 2002. 314 с.
26. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация растительных горючих материалов. *Лесоведение*. 1996. № 3. С. 38–44.
27. Волокитина А. В., Софронов М. А. Увлажнение, влагосодержание и интенсивность горения напочвенного покрова. *Моделирование в охране лесов от пожаров*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1979. С. 45–86.
28. Волокитина А. В., Тартаковская Т. М., Шевчук Е. Г. Формирование банка данных для оперативного составления карт лесных горючих материалов (Методические рекомендации). Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1989. 20 с.
29. Вонский С. М. Интенсивность огня низовых пожаров и ее практическое значение. Ленинград : ЛенНИИЛХ, 1957. 53 с.
30. Воробьев О. Ю. Определение вероятностей распространения горения и оценка развития средних контуров лесного пожара. *Охрана лесных ресурсов Сибири*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 43–67.
31. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор / Швиденко А. З. та ін. Корсунь-Шевченківський : ФОП Гаврищенко В. М., 2014. 283 с.
32. Грибов А. И. Гидрологическая роль березовых лесов южной части Красноярского края. *Стационарные гидрологические исследования в лесах Сибири*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1975. С. 43–68.
33. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1981. 278 с.
34. Гундар С. В. Почвенные пожары в бассейне Нижнего Амура, их профилактика и тушение : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. с.-х. наук : 06.03.03. Красноярск, 1978. 24 с.

35. 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.
36. Данилов М. Д. Закономерности развития чистых древостоев в связи с динамикой листовой массы. *Лесное хозяйство*. 1953. № 6. С. 21–24.
37. Демидов Г. П. Горение и свойства горючих веществ. Москва : Изд-во коммун. хозяйства РСФСР, 1962. 264 с.
38. Дистанционный способ определения скорости распространения кромки лесного пожара / Конев Э. В. и др. *Лесное хозяйство*. 1978. № 4. С. 83–85.
39. Диченков Н. А. Географичность запасов лесных горючих материалов. *Лесохозяйственная информация*. 1992. Вып. 257. С. 156–160.
40. Доррер Г. А. Математические модели динамики лесных пожаров. Москва : Лесн. пром-сть, 1979. 161 с.
41. Доррер Г. А. Оценка статистических характеристик контуров лесных пожаров. *Физика горения и взрыва*. 1978. № 2. С. 71–76.
42. Доррер Г. А., Курбатский Н. П. Математические модели лесных пожаров : основные понятия, классификация, требования. *Прогнозирование лесных пожаров*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1978. С. 5–26.
43. Елпатьевский М. М., Елпатьевский М. П., Константинов В. К. Осушение и освоение заболоченных лесных земель. Москва : Лесн. пром-сть, 1970. 232 с.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. Жуковская В. И. Увлажнение и высыхание гигроскопических лесных горючих материалов. *Вопросы лесной пирологии*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 105–141.
48. Задачи и проблемы картографирования растительных горючих материалов : матер. Второго Всерос. совещания „Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве”, (Москва, 18–19 ноября 1998 г.). Москва : ЦЭПЛ РАН, 1998. С. 178–181.
49. Запаси підстилки та живого надґрунтового вкриття як показник ризику виникнення пожеж у соснових лісах Полісся / Ворон В. П. та ін. *Наукові праці лісівничої академії наук України*. № 16, 2018. С. 9–16.
50. Захарова А. Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты. Учен. зап. ЛГУ. 1959. № 269. С. 30–45.
51. Землі сільськогосподарського призначення: права громадян України : науково-навчальний посібник / за ред. докт. юрид. наук, проф. Н. І. Титової. Львів : ПАІС, 2005. 11 с.
52. Ильинский В. В. Биомасса сосны в насаждениях различных бонитетов. *Лесное хозяйство*. 1968. № 3. С. 34–35.
53. Калинин К. К., Демаков Ю. П., Иванов А. В. О пожароустойчивости насаждений. *Горение и пожары в лесу. Ч. III: Лесные пожары и их последствия*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1979. С. 70–80.
54. Канащ О. П. До проблеми ґрунтових обстежень. *Землеустрій і кадастр*. 2005. № 3. 55 с.

55. Конев Э. В. Теплофизика лесных пожаров. *Институт теплофизики*. Новосибирск : СО АН СССР, 1984. С. 99–125.
56. Конев Э. В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск : Наука Сиб. отд-ние, 1977. 239 с.
57. Корень В. А. Горимість лісів поліської частини Рівненської області. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2015. Вип. 219. С 85–97.
58. Коровин Г. Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров. *Сб. научн.-исслед. работ по лесному хозяйству*. Москва : Лесная пром-сть, 1969. С. 244–262.
59. Корчагин А. А. Условия возникновения пожаров и горимость лесов европейского Севера. *Учен. зап. ЛГУ. Серия геобот.* 1954. Вып. 8. С. 182–322.
60. Костюкевич Н. И., Садовский В. А. Задержание жидких осадков пологом соснового насаждения. *Лесоведение и лесное хозяйство*. 1975. Вып. 9. С. 22–28.
61. 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.
62. Куклин В. В. Задержание дождевых осадков осиновыми и березовыми лесами в Красноярской лесостепи. *Лесоведение*. 1974. № 5. С. 10–15.
63. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. *Вопросы пирологии*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
64. Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам. *Лесные пожары и борьба с ними*. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–30.
65. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. Москва : Гослесбумиздат, 1962. 154 с.

66. Курбатский Н. П., Телицын Г. П. Современная теория распространения лесных низовых пожаров. *Современные исследования типологии и пирологии леса*. Архангельск : АИЛиЛх, 1976. С. 90–97.
67. 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.
68. Левченко В. В., Борсук О. А., Борсук А. А. Лісові горючі матеріали : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2015. 237 с.
69. Лохов В. П. Водоудерживающая способность насаждения и методы ее исследования. *В защиту леса*. 1938. Вып. 4. С. 24–26.
70. Лучшев А. А. Осадки под пологом леса. *Тр. ВНИИЛХ*. 1940. № 18. С. 113–148.
71. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. Москва–Ленинград : Гослестехиздат, 1948. 126 с.
72. Мелехов И. С. Лесная пирология : учебное пособие для студентов лесохозяйственных факультетов. Москва : МЛТИ, 1983. 59 с.
73. Мелехов И. С. Лесные пожары и борьба с ними. Москва : Гослестехиздат, 1936. 100 с.
74. Мелехов И. С. Опыт изучения пожаров в лесах Севера. Архангельск : АЛТИ, 1939. 40 с.
75. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск : ОГИЗ, 1947. 60 с.
76. Мелехов И. С., Душа-Гудым С. И., Сергеева Е. П. Лесная пирология : уч. пособ. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 296 с.
77. Мелехов И. С., Душа-Гудым С. И., Сергеева Е. П. Лесная пирология : уч. пособ. Москва : МЛТИ, 1982. 67 с.
78. Методические рекомендации по оценке и прогнозу текущей пожарной опасности на основе карт лесных горючих материалов и метеопрогнозов / Софронов М. А. и др. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1992. 47 с.

79. 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.
80. 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.
81. Миронюк В. В. Класифікація лісового покриву за сезонними композитними мозаїками Landsat. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. № 28. С. 28–33.
82. 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.
83. 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.
84. Молчанов А. А. Влияние лесных пожаров на древостой. *Тр. Ин-та леса АН СССР*. Москва : 1954. Т. 16. С. 314–335.
85. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. Москва : Изд-во АН СССР, 1960. 487 с.
86. Молчанов А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. Москва : Изд-во АН СССР, 1952. 448 с.
87. Молчанов А. А. Лес и окружающая среда. Москва : Наука, 1968. 247 с.
88. Мякушко В. К. Сосновые леса равнинной части УССР. Київ : Наукова думка, 1978. 255 с.
89. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. Москва : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
90. Нестеров Н. С. Отношение леса к влаге. *Очерки по лесоведению*. Москва : Сельхозгиз, 1960. С. 157–240.

91. Нестеров В. Г. Природа лесных пожаров в сосняках-брусничниках и сосняках-черничниках. *Тр. ВНИИЛХ*. 1939. Вып. 9. С. 5–21.
92. Оскретков М. Я. Изменение количества и качества хвои сосны в зависимости от полноты и возраста древостоев. *Тр. Брянского лесохоз. ин-та*. Брянск : „Брянский рабочий”, 1956. Т. 7. С. 29–38.
93. Особливості формування стиглих деревостанів після низових пожеж / Сидоренко С. Г. та ін. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. Вип. 127. С. 169–176.
94. Паскевич С. А. Радіаційна вагомість фітоценозів лук та перелогів Чорнобильської зони відчуження на етапі пізньої фази аварії : дис. канд. біол. наук: 03.00.01 / НАН України; Інститут проблем безпеки АЕС. Чорнобиль, 2005. 191 с.
95. 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.
96. Плугатар Ю. В. Из лісів Криму. Харків : Новое слово, 2008. 462 с.
97. Поздняков Л. К. Задержание дождевых осадков кронами деревьев. *Молодые лесоводы 40-летию Великого Октября*. Москва : 1957. С. 250–258.
98. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск : Книжн. изд-во, 1969. 156 с.
99. Поляков А. Ф., Плугатарь Ю. В. Лесные формации Крыма и их экологическая роль. Харьков : Новое слово, 2009. 405 с.
100. Пояснювальна записка до проекту організації та розвитку лісового господарства державного спеціалізованого комплексного підприємства «Чорнобильська Пуща». Ірпінь : ВО „Укрдержліспроєкт”, 2006 135 с.
101. Про затвердження Положення про лісові пожежні станції : наказ Державного комітету лісового господарства України від 28 грудня 2005 р.

- №526. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-06#Text> (дата звернення: 23.05.2021).
102. Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України : наказ Державного комітету лісового господарства України від 27 грудня 2004 р. №278). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text> (дата звернення: 23.05.2021).
103. Про затвердження Санітарних правил в лісах України : постанова Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. №555 (в редакції від 12 грудня 2020 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.05.2021).
104. Программа и методика биогеоценологических исследований. Москва : Наука, 1974. 401 с.
105. Протопопов В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1975. 328 с.
106. Работнов Т. А. Суходольный луг как биогеоценоз. Москва : Наука, 1978. 84 с.
107. Ремезов Н. П., Погребняк П. С. Лесное почвоведие. Москва : Лесн. пром-сть, 1965. 323 с.
108. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. Москва : Наука, 1965. 264 с.
109. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Ленинград : Наука, 1968. 215 с.
110. Романов В. В. Испарение с болот Европейской территории СССР. Ленинград : Гидрометеиздат, 1962. 228 с.
111. Рябуха Е. В. Накопление лесной подстилки в насаждениях Украинского Полесья. *Лесоведение*. 1972. № 1. С. 26–34.
112. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Швиденко А. Й. Лісова пірологія. Київ : Агропромвидав України, 1999. 172 с.

113. Семенова-Тян-Шанская А. М. Динамика накопления и разложения мертвых растительных остатков в лугово-степных и луговых ценозах. *Ботанический журнал*. 1960. С. 45–55.
114. Смирнов В. В. Изменение охвоения и облиствения в еловых и елово-лиственных древостоях средней тайги в связи с их возрастом. *Лесная климатология и гидрология*. Москва : АН СССР, 1961. Т. 3. С. 235–236.
115. Составление и применение местных шкал пожарной опасности в лесу / Вонский С. М. и др. Ленинград : ЛенНИИЛХ, 1975. 60 с.
116. Составление крупномасштабных карт растительных горючих материалов на базе ГИС (на примере Большемуртинского лесхоза Красноярского края). *Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве* : матер. Второго Всерос. совещания, 18–19 ноября 1998 г. Москва : ЦЭПЛ РАН, 1998. С. 181–184.
117. СОУ 02.02–37–476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. [Чинний від 2007-05-01]. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с. (Стандарт Мінагрополітики України).
118. Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. Москва : Наука, 1967. 152 с.
119. Софронов М. А. Об условиях высыхания лесных горючих материалов под пологом древостоев. *Вопросы лесной пирологии*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 9–104.
120. Софронов М. А. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск : Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 330 с.
121. Софронов М. А., Волокитина А. В. Канадская система оценки пожарной опасности в лесах. Экспресс-информация. *Лесное хозяйство за рубежом*. 1996. Вып. 5. С. 2–22.
122. Софронов М. А., Волокитина А. В. Карты лесных горючих материалов. *География и природные ресурсы*. 1987. № 3. С. 138–144.

123. Софронов М. А., Волокитина А. В. Лучистая энергия как фактор высыхания горючих материалов под пологом древостоев. *Лесоведение*. 1985. № 4. С. 9–16.
124. 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.
125. Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 204 с.
126. Софронов М. А., Волокитина А. В., Назимова Д. И. Прогноз чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами вблизи населенных пунктов и промышленных объектов. *Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций* : тр. всеросс. конф-ции. Красноярск : 1997. С. 102–103.
127. Сухинин А. И., Конев Э. В., Курбатский Н. П. Некоторые закономерности распространения пламени по слою сосновой хвои. *Физика горения и взрыва*. 1975. № 5. С. 743–750.
128. Телицын Г. П. О распространении горения в лесу. *Горение и пожары в лесу*. Красноярск : ИЛиД СО АН СССР, 1973. С. 164–176.
129. Телицын Г. П., Сосновщенко А. П. Характеристики лесных горючих материалов и их связь с особенностями горения : сб. тр. ДальНИИЛХ. 1970. Вып. 10. С. 248–252.
130. Типология лугов Украины и их рациональное использование / Балашев Л. С., Сипайлова Л. М., Соломаха Б. А., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Київ : Наукова думка, 1988. 237 с.
131. Уваров Л. А. Влияние полога еловых лесов Украинских Карпат на задержание осадков. *Лесоводство и агролесомелиорация*. Киев : Урожай, 1974. С. 51–58.
132. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.

133. Фуряев В. В., Злобина Л. П., Заболотский В. И. Комплексы напочвенных горючих материалов и возможность их регулирования в профилактике лесных пожаров. *Лесное хозяйство*. 2007. № 1. С. 43–44.
134. Цельникер Ю. Л. Радиационный режим под пологом леса. Москва : Наука, 1969. 100 с.
135. Червонный М. Г. Охрана лесов от пожаров. Москва: Лесн. пром-сть, 1973. 104 с.
136. Черных В. А., Фураев В. В. Лесные пожары в ленточных борах Кулундинской степи. Новосибирск : Наука, 2011. 176 с.
137. Чубатый О. В. О формировании стока с горных склонов под буковыми и еловыми лесами Карпат. *Лесоведение*. 1971. № 3. С. 72–80.
138. Шевченко О. В. Оцінка вразливості до змін клімату: Україна. Київ : Муфлаер, 2014. 63 с.
139. Шешуков М. А. Биоэкологические и зонально-географические основы охраны лесов от пожаров на Дальнем Востоке: автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра с.-х. наук : 06.03.03 Красноярск : 1988. 46 с.
140. Шешуков М. А. Влияние некоторых факторов среды на полноту сгорания горючих материалов и их критический запас при лесных пожарах. *Лесоведение*. 1970. № 4. С. 40–43.
141. Шешуков М. А. К вопросу составления пожарных карт. *Сб. трудов ДальНИИЛХ*. 1966. Вып. 8. С. 407–416.
142. Шешуков М. А. Пирогенез – важнейший фактор формирования лесов. *Горение и пожары в лесу*. Красноярск, 1984. С. 99–100.
143. Шешуков М. А., Нешатаев В. В., Найкруг И. Б. Некоторые принципы составления планов противопожарного устройства. *Лесное хозяйство*. 1973. № 6. С. 48–53.
144. Щербаков И. П., Михалева В. М. Описание пробных площадей. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1979. С. 11–20.

145. 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.
146. 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>.
147. 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.
148. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities. *Canad. J. Bot.* 1980. Vol. 60, N 4. P. 349–357.
149. 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. URL: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr122.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
150. 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>.
151. Breiman L. Random forests. *Machine Learning* 2001. Vol. 45. Issue 1. P. 5–32. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
152. 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. URL: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_rp290.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
153. 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. URL:

- https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr129.pdf (дата звернення: 25.05.2019).
154. Brown J. K., Rick D. O., Cameron M. J. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service. 1982. URL: <https://www.fs.usda.gov/treeearch/pubs/29401> (дата звернення: 07.04.2019).
155. Burgan R. E., Rothermel R. C. Behave: fire behaviour prediction and Fuel Modelling System – fuel subsystem. USDA Forest Service. General Technical Report INT-167, 1984. 126 p.
156. 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>.
157. Deeming J. E., Burgan K. E., Cohen J. D. The national fire-danger rating system. Utah: USDA Forest Service, General Technical Report. Int-39. 1977. 66 p.
158. 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.
159. 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>.
160. Eidenshink J., Schwind B., Brewer K. et al. A project for monitoring trends in burn severity. *Fire Ecology*. 2007. P. 3-21.
161. Estimating Mediterranean forest parameters using multi seasonal Landsat 8 OLI imagery and an ensemble learning method / Chrysafis I., Mallinis G., Gitas I., Tsakiri-Strati M. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 199. P. 154–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.018>.
162. Finney M. A. A Computational Method for Optimizing Fuel Treatment Locations. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41. 2006. URL: <https://www.fs.usda.gov/treeearch/pubs/25940> (дата звернення: 02.03.2019).

163. 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. URL: <https://www.fs.usda.gov/treeearch/pubs/25948> (дата звернення: 02.03.2019).
164. Finney M. A. Design of regular landscape level fuel treatment patterns for modifying fire growth and behavior. *Forest Science*. 2001. For. Sci. 47(2). P. 219-228. URL: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr292/2001_finney.pdf (дата звернення: 02.03.2019).
165. 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>.
166. Finney M. A. Fire growth using minimum travel time methods. 2002. *Canadian Journal of Forest Research*. 2002. Vol. 32, No. 8. P. 1420-1424. URL: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x02-068> (дата звернення: 03.03.2019).
167. Finney M. A. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology & Management*. 2005. Vol. 211 P. 97-108. URL: <https://www.snap.uaf.edu/> (дата звернення: 20.04.2019).
168. Finney M. A. The FlamMap fire mapping and analysis system. Finney. USDA Forest Service. 2006. URL: <https://www.firelab.org/project/flammap> (дата звернення: 02.03.2019).
169. FIREMON Database User Manual. 56 p. URL: http://frames.nbii.gov/documents/projects/firemon/FMDBv4_Method.pdf (дата звернення: 02.03.2019).
170. FIREMON Software. URL: <http://projects/firemon/JFiremonInstaller.v2.1.2.msi> (дата звернення: 02.03.2019).
171. FlamMap. U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire, Fuel, and Smoke Science Program, and Stu Brittan; Alturas Solutions; Missoula,

- Montana. 2019. URL: <https://www.firelab.org/project/flammap> (дата звернення: 25.09.2019).
172. 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. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/7/659> (дата звернення: 25.05.2019).
173. 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>.
174. Fuel Characteristic Classification System Version 3.0: Technical Documentation (PNW-GTR-887) / Prichard S. J., Sandberg D. V., Ottmar R. D., Eberhardt E., Andreu A., Eagle P. & Swedin K. Portland, Oregon, USA. 2013.
175. Genuer R., Poggi J.-M., Tuleau-Malot C. Variable selection using random forests. *Pattern Recognition Letters Elsevier*. 2010. 31 (14). P. 2225-2236. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00755489/document> (дата звернення: 1.05.2019).
176. Giglio K., Keohane C., Stodghill P. at all. Transcriptomic Profiling Suggests That Promysalin Alters the Metabolic Flux, Motility, and Iron Regulation in *Pseudomonas putida* KT2440. *Marine Policy*. 2018. №96. P. 13-17.
177. Giglio L., Boschetti L., Roy D. at all. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*. 2018. P. 72–85.
178. Gorelick N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900> (дата звернення: 10.04.2019).
179. 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>.

180. Hansen M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*. Vol. 342. 2013. P. 850–853. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/d4e9/8078fbc0767ebc341f442f64ca7ce9e008db.pdf> (дата звернення: 10.04.2019).
181. He H., Garcia E. A. Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2009. №21. P. 1263-1284.
182. 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. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431168608948945> (дата звернення: 10.03.2019).
183. Hornby L. G. Fuel type mapping in region one. *J. of Forestry*. 1935. Vol. 33. P. 67–72.
184. Keane R. E., Drury S. A., Karau E. C. at all. A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management Ecological Modelling. 2010. P. 2-18.
185. 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.
186. 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.
187. Lee B. S., Alexander M. E., Hawkes B. C. at all. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. P. 185-198.
188. 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.

189. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation / Olofsson P., Foody G. M., Stehman S. V., Woodcock C. E. *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 129. P. 122–131. URL: http://ftp-earth.bu.edu/public/olofsson/Estimation_Workshop_Lima_Aug2014/Articles/Olofsson_etal_2013_RSE.pdf (дата звернення: 5.03.2019).
190. Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar / Simard M., Pinto N., Fisher J. B., Baccini A. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 116. G04021. 2011. P. 1-12. Doi:10.1029/2011JG001708.
191. 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. URL: https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_rn374.pdf (дата звернення: 6.06.2019).
192. Matthews S. A comparison of fire danger rating systems for use in forests. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*. 2009. №58. P. 41–48.
193. McArthur A. G. Fire behavior in eucalypt forests. Australia, Canberra: Forestry and Timber Bureau. 1967. 36 p. URL: <https://trove.nla.gov.au/work/21914760?q&versionId=26402708> (дата звернення: 6.06.2019).
194. 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>.
195. 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. URL: 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).

196. 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 p.
197. PHP, Ruby, Python – краткая характеристика трёх языков программирования. URL: <http://www.internet-technologies.ru/articles/php-ruby-python-harakteristika-yazykov-programmirovaniya.html> (дата звернения: 02.07.2019).
198. Pyne S. J. Fire Management in the United States. N. Y., 1984. 455 p.
199. Rollins M. G. Landfire: a Nationally consistent vegetation, wildland fire, and fuel assessment. *International Journal of Wildland Fire*. 2009. №18. P. 235-249.
200. 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. URL: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_rp115.pdf (дата звернения: 02.06.2019).
201. Rothermel R. C. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Ogden: USDA, Forest Service Inter-Maintain forest and range experiment Station. UT 84401. General technical report. INT-143. 1983. 161 p.
202. Roussopoulos P. J., Loomis R. M. Weights and dimensional properties of shrubs and small trees of the Great Lakes conifer forest. Research Paper NC
203. 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. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425709002545> (дата звернения: 10.03.2019).
204. 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. URL: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr153.pdf (дата звернения: 10.05.2019).

205. 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.
206. Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT Imagery / Saglam B., Bilgili E., Dincdurmaz B., Kadiogulari A. I., Küçük Ö. *Sensors*. Vol. 8(6). 2008. P. 3970-3987. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3924935/> (дата звернення: 12.06.2019).
207. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1979. 6 p. URL: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/rp/rp_nc178.pdf (дата звернення: 04.07.2019).
208. The National Fire-Danger Rating System USDA Forest Service Research Paper RM-84 / Deeming I. E., Lancaster I. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. 1972. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.98707>.
209. Trabaund L. Fuel mapping helps forest fire- fighting in Southern France. *Fire Management Notes*. 1978. N 1. P. 14–17.
210. User Guide, to the Canadian Forest Fire Behaviour Prediction System: rate of spread relationships / Alexander M. E., Lawson B. D., Stocks B. J., Van Wagner C. E. Canadian Forest Service Fire Danger Group, 1984. 73 p.
211. Van Wagner C. E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Ontario : Can For. Serv., Techn. Rep. 35., 1987. 37 p.
212. Volokitina A. V. Forest Fuel Maps. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht; Boston; London, 1996. P. 239–252.
213. Volokitina A. V., Sofronov M. A. Determining major fire-conductors in forest inventory. Proceedings of the International conference „Forests, environment and new technology in northern Europe”. Petrozavodsk State University (Russia); University of Joensuu (Finland), 1994. P. 79–80.
214. Volokitina A. V., Sofronov M. A., Klimushin B. L. GIS as the Data Base for Vegetation Fuel Mapping. InterCarto 2: GIS for Environmental Studies and Mapping. Irkutsk, 1996. P. 35–38.

215. Volokitina A. V., Sofronov M.A. Using large scale vegetation fuel maps for forest fire control. Second Asia-Oceanian Symposium on Fire Science and Technology. Khabarovsk, Russia, September. 13–17. 1995. P. 83–89.
216. 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. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271618300066> (дата звернення: 10.03.2019).
217. Woodcock C.E. et al. Free Access to Landsat Imagery. Commentary. *Science*. 2008. 320 p. URL: https://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/ja_iitf_2008_woodcock001.pdf (дата звернення: 14.05.2019).
218. 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. 269–270. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425714005069> (дата звернення: 9.03.2019).
219. 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. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711003853> (дата звернення: 15.04.2019).
220. Zibtsev S. Ukraine forest fire report. *International Forest Fire News*. No. 40. 2010. *United Nations Publication*. ISSN 1029-0864. NY–Geneva: ECE-TIM, 2010. P. 61–76.

ДОДАТКИ

Додаток А

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 додатка А

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 додатка А

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 додатка А

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 додатка А

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

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