

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

А. Д. Кузик

**ЕКОЛОГО-ЛІСІВНИЧІ ОСНОВИ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІСІВ
МАЛОГО ПОЛІССЯ**

Монографія

**Львів
СПОЛОМ
2019**

УДК 630*43:630*11+641.84
Куз 89

Кузик, Андрій Данилович

Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся : монографія / Кузик А.Д. – Львів : СПОЛОМ, 2019. – 493 с. : рис., табл. – Бібліогр.: с.440-489 (561 назва). – ISBN 978-966-919-379-7.

В монографії розглянуто питання пірологічних процесів у фітоценозах Малого Полісся та їх пожежної небезпеки. Дослідженнями пожежонебезпечних властивостей найпоширеніших лісових горючих матеріалів встановлено їх залежність від виду і вологості, яка формується під впливом мікрокліматичних умов. Пожежна небезпека лісів залежить від едафотопів, типу і просторової структури, наземного яруса рослин та підстилки. Отримано залежності пожежної небезпеки від кліматичних показників Воробйова.

Запропоновано методи виявлення пожежної небезпеки за умовами погоди, оцінювання природної пожежної небезпеки насаджень і оптимізацію розподілу Малого Полісся на зони обслуговування пожежно-рятувальних підрозділів.

Рецензенти:

Гузь М. М., д. с.-г. н., проф., завідувач кафедри лісових культур і лісової селекції Національного лісотехнічного університету України;

Ковалишин В.В., д. т. н., проф., завідувач кафедри ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Мальований М.С., д.т.н., проф., Заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри екології та збалансованого природо-користування Національного університету «Львівська політехніка».

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(протокол № 10 від 8.06.2018 року)

ISBN 978-966-919-379-7

© А.Д. Кузик, 2019
© ЛДУ БЖД, 2019
© В-во "СПОЛОМ", 2019

ВСТУП

Лісові пожежі – явище, яке виникає у багатьох країнах світу, особливо у роки посухи. В Україні вони виникають майже щороку у лісах АР Крим, Луганської, Харківської та інших областей Півдня і Сходу. Наймасштабнішими за площею та наслідками стали лісові пожежі у Херсонській обл. 2007 р. Значна кількість пожеж та площа уражених територій фіксуються у 2014-2016 рр. у Донецькій та Луганській областях внаслідок бойових дій. У Львівській обл., північно-східна частина якої відноситься до Малого Полісся, упродовж останніх 10 р. щорічно виникало від 1 до 35 пожеж сумарною площею від 2 до 101 га. Причини їх виникнення іноді є природними, однак більшість – антропогенними.

Лісові пожежі, процеси та передумови їх виникнення, боротьбу з ними досліджували вітчизняні й зарубіжні вчені переважно за такими напрямками: фізико-хімічні процеси займання і горіння деревини та інших лісових горючих матеріалів; розвиток і поширення лісових пожеж різних видів, їх наслідки; кліматичні та погодні фактори, які сприяють виникненню та розвитку лісової пожежі; природні фактори впливу на пожежну небезпеку. Незважаючи на значну кількість наукових робіт у даній галузі, проблема лісових пожеж повністю не розв'язана і потребує нових підходів, які базуються на фізичних принципах виникнення, поширення пожеж і лісівничих засадах.

У запропонованій читачеві монографії наведені результати досліджень, проведених автором протягом 2006-2016 рр. у лісових насадженнях Малого Полісся. Метою цих досліджень є встановлення закономірностей впливу екологічних умов та лісівничих особливостей фітоценозів на пожежну безпеку лісів Малого Полісся, опис механізмів формування пожежонебезпечного стану лісового середовища, виникнення та поширення пожеж, їх впливу на лісові насадження та удосконалення протипожежного захисту лісів.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень пірологічних процесів у лісах Малого Полісся встановлено залежність пожежної небезпеки від типів лісорослинних умов та життєздатності сосни звичайної від ступеня ушкодження пожежею в лісових насадженнях регіону; описано механізми впливу латеральних і радіальних потоків енергії та речовини на пожежну небезпеку лісових насаджень; розроб-

лено математичну модель радіаційного теплового потоку від полум'я, яку застосовано для досліджень процесів займання лісового горючого матеріалу; отримано залежності вмісту води, скипидару та живиці у надземній частині чистих та мішаних деревостанів від віку та частки сосни звичайної; запропоновано індекс пожежної небезпеки лісів, який одночасно враховує природну пожежну небезпеку та небезпеку за умовами погоди; виявлено залежність зростання пожежної небезпеки лісів за екстремального зменшення відносної вологості і збільшення температури повітря та запропоновано метод визначення рівня пожежної небезпеки на основі моделювання процесів висушування лісового горючого матеріалу; запропоновано шляхи диференціювання території Малеого Полісся на зони впливу пожежно-рятувальних частин, визначення місць для розташування нових пожежних підрозділів та розв'язування інших практичних задач протипожежного захисту лісових насаджень. В процесі досліджень розвинуто математичні моделі поширення лісової пожежі в умовах неоднорідного рельєфу, а також з урахуванням швидкості та напрямку вітру; експериментально отримано пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів; класифіковано рослини наземного ярусу у відповідних едафотопах за пожежною небезпекою; запропоновано оптимізацію розташування лісових пожежних станцій з урахуванням природної пожежної небезпеки лісової території. Удосконалено також метод обчислення природної пожежної небезпеки мішаних лісів на території Малеого Полісся з урахуванням породного складу деревостанів, частки хвойних, твердолистяних і м'яколистяних порід.

Результати досліджень будуть корисними працівникам лісової галузі, пожежно-рятувальних служб, екологам, а також аспірантам і студентам, які досліджують лісові насадження, процеси виникнення та поширення пожеж, розробляють заходи протипожежного захисту лісів.

Автор монографії висловлює щире подяку за наукове консультування академіку Лісівничої академії наук України, д.с.-г.н., проф. В. П. Кучерявому; за консультування, допомогу та сприяння проведенню наукових досліджень – член-кореспонденту НАПН України, д.пед.н., проф., Заслуженому працівникові освіти України М. М. Козяру, д.б.н., проф., Заслуженому діячеві науки і техніки України Г.Т. Криницькому; за сприяння проведенню досліджень, підготовці та виданню монографії – к.пед.н., проф., Заслуженому працівникові освіти України М. С. Ковалю; за участь у написанні спільних статей, наукове консультування та допомогу в організації та проведенні лабораторних досліджень – керівництву і працівникам Львівського державного університе-

ту безпеки життєдіяльності, Національного лісотехнічного університету України та Львівського національного університету ім. І.Франка; за надання можливості проведення польових досліджень, допомогу в отриманні необхідної інформації, консультування – керівництву та працівникам Львівського обласного управління лісового та мисливського господарства, Львівської державної лісовпорядної експедиції, ДП Бродівське лісове господарство, ДП Буське лісове господарство», ДП Жовківське лісове господарство, ДП Радохівське лісомисливське господарство; за допомогу під час проведення польових досліджень – д.т.н., доц. В. В. Поповичу, к.т.н. С. О. Ємельяненку, а також дружині Г. С. Кузик і синові О. А. Кузику.

Розділ 1

ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІСІВ

1.1. Лісові пожежі у світі та Україні

Проблема лісових пожеж у світі та в Україні в останні роки набула значних масштабів. Вона є предметом посиленої уваги різноманітних міжнародних організацій, діяльність яких спрямована на захист довкілля, зокрема лісів [172]. За даними Всесвітньої оцінки лісових ресурсів ООН (FRA-2005), у 2000 році за даними, отриманими з штучних супутників, вогнем були охоплені 350 млн. га вкритих рослинністю територій земної поверхні, більшість з яких – території лісів та лісистих місцевостей [494]. Ці дані не завжди співпадають з офіційною статистикою пожеж, яка ведеться не у всіх країнах. Основними причинами виникнення пожеж є антропогенні впливи – від 59 до 95 % випадків для різних регіонів (рис. 1.1). Огляд пожеж у США наведено в [559]. Але масштаби таких пожеж залежать від низки природних чинників, зумовлених особливостями лісових насаджень і погодно-кліматичними умовами.

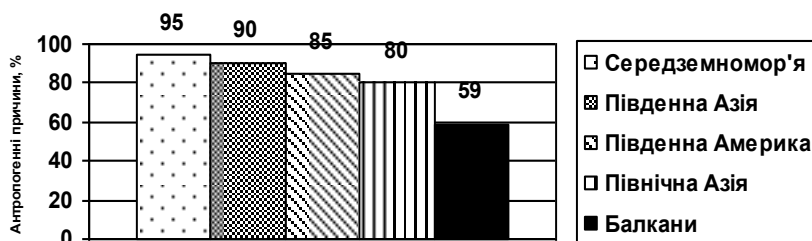


Рис. 1.1. Частка антропогенного характеру причин лісових пожеж [483]

Значні за масштабами та кількістю лісові пожежі виникають і в Європі. У [499] наведено статистику їх кількостей (рис. 1.2) та обсягів (рис. 1.3) у країнах ЄС. Кількість випадків виникнення пожеж за окремі роки є неоднаковою та коливається з періодом у 2-4 роки. В окремі роки, зокрема у 1990, 1994 і 2007, за порівняно невеликої кількості пожеж їх сумарні площі були значними. Велика кількість і площі лісових пожеж характерні для країн Південної Європи: Італії, Греції, Франції, Іспанії та Португалії (див. рис 1.2-1.3).

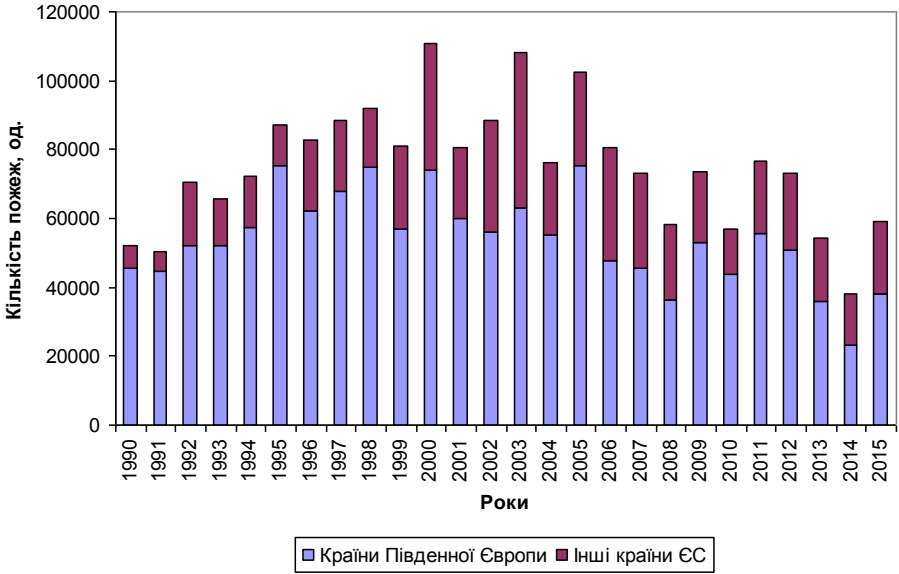


Рис. 1.2. Кількість лісових пожеж у країнах ЄС у 1990-2015 рр. [499]

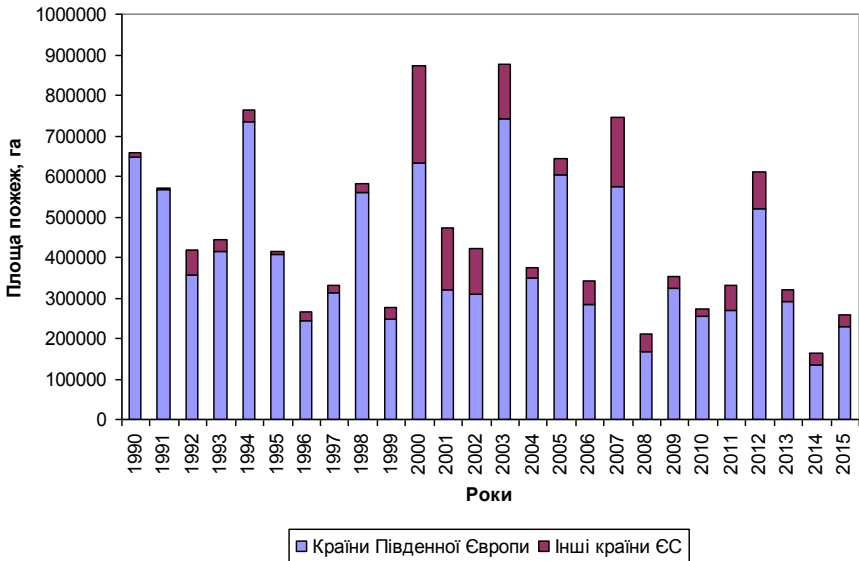


Рис. 1.3. Площа лісових пожеж у країнах ЄС у 1990-2015 рр. [499]

Середнє значення частки кількостей пожеж у цих країнах в порівнянні з ЄС становить 72,04 %, змінюючись від 58,30 % у 2003 році до 88,38 % у 1991 р. Але середнє значення частки площ пожеж є більшим і становить 87,75 % та коливається в межах від 67,61 % у 2001 р. до 99,22 % у 1991 р. Більший відсоток площ пожеж у Середземномор'ї в порівнянні з кількостями зумовлений сприятливими умовами поширення та складністю боротьби.

Масштаби лісових пожеж відображаються у середніх площах (рис. 1.4). Їх зростання спостерігається майже одночасно із сумарними площами.

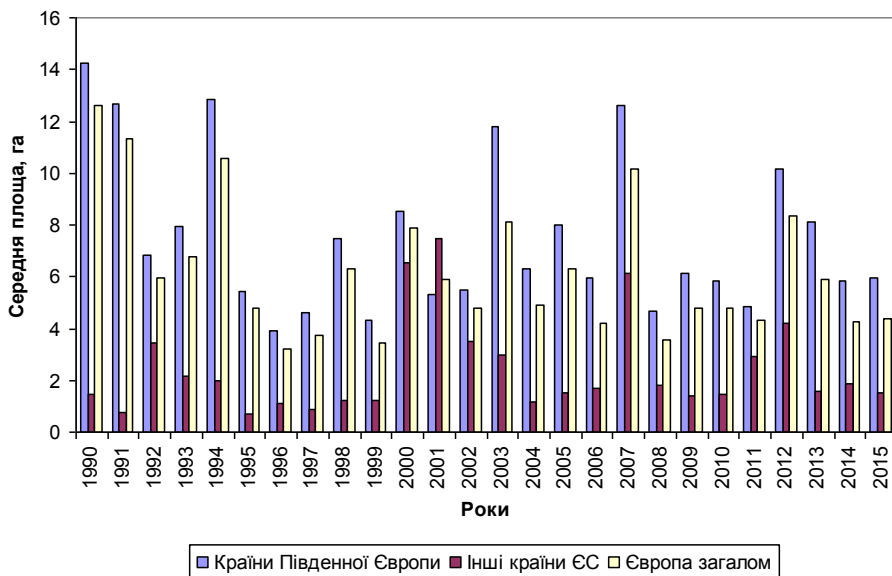


Рис. 1.4. Середня площа лісової пожежі у країнах ЄС у 1990-2015 рр. [499]

Середні площі пожеж у країнах ЄС є великими за рахунок Південної Європи. На території Середземномор'я з 1980 до 1990 р. цей показник перевищував 10 га. Після 1990 р. таке перевищення спостерігалось лише у 1994, 2003, 2008 і 2012 рр., а в інші роки він становив близько 5 га. На решті території ЄС найбільшими середні площі пожеж були у 2000, 2001, 2007 і 2012 рр.

У Росії щорічно реєструється від 10 до 35 тис. лісові пожеж, які охоплюють площі від 0,5 до 2,5 млн. га [55]. Масштабні пожежі 2010 року, яких виникло понад 30 тис. загальною площею біля 2 млн. га,

свідчать про невіршеність цієї проблеми у сусідній державі [81, 120, 326, 415, 454]. Однією з причин пожеж 2010 р. в зоні помірного клімату Росії називають аномальну спеку, спричинену природно-кліматичними процесами планетарного масштабу, які мають коливний характер і досі недостатньо вивчені та непрогнозовані [14].

Аналогічна ситуація з лісовими пожежами і в Україні, динаміка яких за 1992-2016 рр. [89, 244, 293, 294, 393, 394, 395] наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Статистичні дані про лісові пожежі в Україні у 1992-2016 рр.

Роки	Кількість лісових пожеж	Площа лісових пожеж, га	У тому числі, верхових, га	Середня площа пожежі, га	Нанесені збитки, млн. грн.
1990	2714	2400		0,88	
1992	5869	4252	672	0,72	
1993	2967	3214	712	1,08	
1994	7411	10353	3432	1,40	
1995	3754	3995	1416	1,06	
1996	4928	13061	5466	2,65	
1997	2309	1835	110	0,79	
1998	3509	3483	835	0,99	
1999	5264	4528	1085	0,86	
2000	3696	1600	221	0,43	1,4
2001	2646	3297	1727	1,20	
2002	4905	3484	403	0,70	
2003	3402	1645	274	0,50	1,8
2004	1366	332	36	0,20	0,4
2005	3700	1937	282	0,50	3,5
2006	3266	3399	384	1,00	5,9
2007	5024	12713	7513	2,50	188,4
2008	4042	5529		1,37	58,8
2009	7036	6315	1010	0,90	24,7
2010	2368	3688	966	1,56	26,7
2011	2526	1049		0,42	3215,9
2012	2163	3479		1,61	2,4
2013	1113	418		0,38	0,3
2014*	2003	13778		6,88	4,7
2015*	3813	14691		3,85	5,4
2016*	1249	1249		1,00	

* без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції

Понад 4 тис. лісових пожеж за цей період виникало у 1992, 1994, 1996, 1999, 2002, 2007 і 2009 рр. Найбільші їх середні площі зафіксовані у 1994 та 2007 рр., а також у 2014 і 2015 рр. з причини військових дій в Донецькій та Луганській обл. Але і в ці роки цей показник є майже вдвічі меншим за європейський, що пояснюється помірним кліматом України та меншою лісистістю. За даними МНС [295] людський фактор був причиною понад 90 % пожеж, 8 % виникали з нез'ясованих причин і лише 2 % мали природне походження. Найбільші площі лісів, пройдені найнебезпечнішими верховими пожежами, та їх частки у загальних площах зафіксовані в 1994, 1996 і 2007 рр.

Лісові пожежі за кількістю розподіляються територією держави нерівномірно. Наприклад, у 2007, 2014 і 2015 рр. найбільше їх виникало на Півдні та Сході України, а також у центральних областях (рис. 1.5) [286]. Схожим є розподіл і за площами пожеж. Основною причиною цього, як і в країнах європейського Середземномор'я, є сухий і жаркий клімат. Велика кількість лісових пожеж, але менших за площами, виникає щорічно і в деяких центральних областях України. Такий територіальний розподіл пожеж в Україні спостерігається майже щорічно.

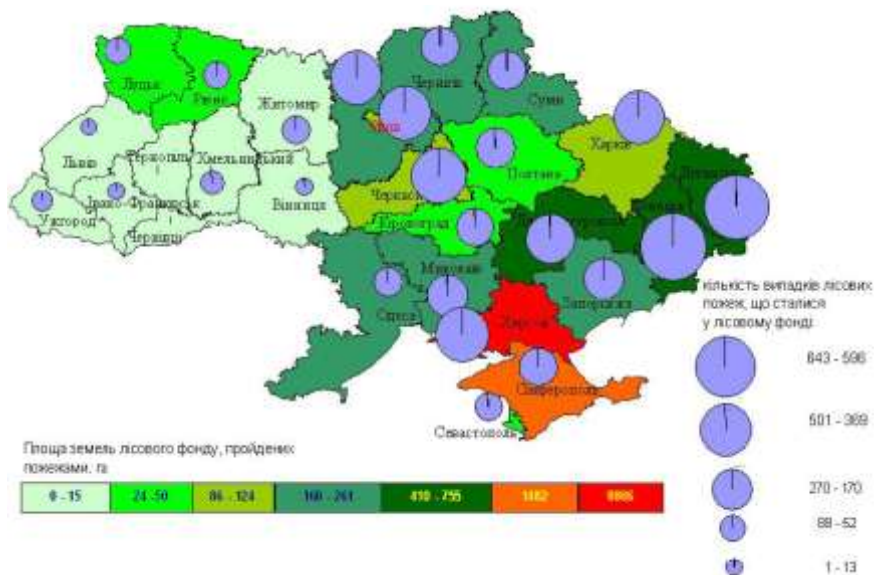


Рис. 1.5. Розподіл пожеж на території лісового фонду України у 2007 р. [294]

Найбільших збитків від лісових пожеж зазнала Херсонська обл., пожежна небезпека на території якої є високою протягом майже всього пожежонебезпечного періоду [248]. У серпні 2007 р. на території Цюрупінського та Голопристанського р-нів виникли наймасштабніші як за площею, так і за наслідками пожежі, які за 10 днів знищили ліси загальною площею 7356 га. Ліквідація потребувала значних ресурсів – 1341 чоловік особового складу, 110 одиниць пожежної та 74 – спеціальної техніки [295]. Причиною виникнення пожеж став людський фактор, однак швидкому розвитку пожежі сприяли природні чинники (висока температура, низька відносна вологість повітря, висока швидкість вітру, подекуди до 20 м/с [11], домінуюча культура – сосна звичайна та незначна частка листяних порід [340]), а також недостатній рівень протипожежного захисту лісових масивів [174, 211].

Висока температура від пожежі змушувала пожежників перебувати на відстані 100-200 м, що перевищує дальність дії основних засобів гасіння. Застосування пожежної авіації було не надто ефективним [2]. Сприяли гасінню грозові дощі 30-31 серпня та зниження температури до 18-20°C. Пожежею знищено майже чверть лісів Херсонщини (рис. 1.6). Для очищення згарищ залучалися бригади з лісових господарств усієї України, а лісовідновлення планувалося за участю не лише хвойних, але і листяних порід [352]. Наслідками пожежі є не лише економічні збитки, але і погіршення кліматичних умов Херсонщини та Півдня України. Вогонь пожежі знищив рослинний покрив і підстилку, призвівши до ерозії ґрунтів, які перетворилися на пісок з попелом (рис. 1.7), що може спричинити піщані буревії та ускладнить лісовідновлення [174, 198, 204].



Рис. 1.6. Деревина на території Голопристанського району, частково вцілілі після пожежі (2008 р., фото автора)



Рис. 1.7. Поверхня ґрунту після пожежі (фото автора)

Важливе значення у зниженні пожежної небезпеки мають листяні насадження, яке підтверджено тим, що лісову пожежу поблизу Голої Пристані було зупинено саме робінія звичайна, клен гостролистий, дуб звичайний та ін. (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Насадження акації білої в Голопристанському районі (фото автора)

Аналогічна ситуація з пожежами спостерігається щорічно і в Криму. 27 серпня 2007 р. на території Ялтинського гірсько-лісового природного заповідника виникла велика лісова пожежа, наслідком якої стало пошкодження верховою пожежею 973 га лісу [327]. Але наймасштабніша пожежа в цьому регіоні була у 1985 р., під час якої згоріло 1125 га лісу. Погодно-кліматичні умови Криму відзначаються вищими температурами повітря у порівнянні з Херсонською обл.

Лісова пожежа в деяких випадках може класифікуватися як надзвичайна ситуація (НС) державного, регіонального, місцевого або об'єктового рівня [350]. В Україні щорічно виникає біля 20 НС в природних екосистемах, до яких відносять і лісові пожежі [4]. Найбільше пожеж, які класифікувалися як НС, виникає у Херсонській, Луганській, Харківській обл. та АР Крим. Проте такі пожежі бувають і в західній та північній частинах країни. Наприклад, велика за масштабами пожежа виникла 5 травня 2006 р. поблизу с. Карпилівка Камінь-Каширського р-ну Волинської обл., вогонь якої охопив хвойні лісові насадження віком 20-60 років на площі 200 га [417].

Львівська обл., на території якої зростає 694,6 тис. га лісів, що становить понад 8 % площі лісів України, є досить лісистою. Її лісистість становить 31,8 % та є майже удвічі вищою за середнє значення цього показника по Україні [243]. Але у порівнянні з південними та східними регіонами область не характеризується значною кількістю та площею лісових пожеж. Статистичні дані про пожежі у лісах Львівської обл. [65, 87, 88, 89, 392] наведені в табл. 1.2. Найбільша кількість лісових пожеж на території Львівської обл. реєструвалася у 1990, 1995, 2003 та 2015 рр. Найбільшою їх сумарна площа була у 2003 р. – 101 га. Матеріальні збитки в цей рік сягнули 38,5 тис. грн. Середні площі пожеж були найвищими у 2004, 2014 і 2015 рр. та перевищували відповідні показники для України.

Для Малого Полісся окремої статистики лісових пожеж не ведеться, проте вони виникають щорічно, призводячи до знищення лісових насаджень. Приклади лісових пожеж описані у засобах масової інформації та деяких офіційних джерелах. За даними Головного управління МНС України у Львівській обл. 20 квітня 2003 р. поблизу Бродів виникла пожежа у хвойній лісосмузі, а 14 серпня цього ж року – в лісовому масиві поблизу міста. 30 березня 2008 р. поблизу с. Стрептів Львівської обл. виникла пожежа хвойного лісу на площі 6 га (2 га верхового та 4 га низового) [291]. 27 квітня 2009 р. у с. Старий Добротвір Кам'янка-Бузького р-ну горіли суха трава, чагарник і лісова підстилка на площі 2,8 га. У с. Стриганка цього ж р-ну пожежею знищено 1 га соснового молодняка, 2,2 га самосіву, суху траву та чагарник [422].

Таблиця 1.2

Статистичні дані про лісові пожежі у Львівській обл.
в 1990-2016 рр.

Роки	Кількість лісових пожеж	Площа лісових пожеж, га	У тому числі, верхових, га	Середня площа пожежі, га	Нанесені збитки, тис. грн
1	2	3	4	5	6
1990	60	16		0,27	
1995	34	19		0,56	
2000	24	17		0,71	4,6
2002	9	13		1,44	0,2
2003	35	101		2,89	38,5
2004	1	4		4,00	4,5
2005	11	6		0,55	-
2006	4	2		0,50	
2007	13	7		0,54	9,6

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6
2008	2	4		2,00	4,6
2009	12	18	1	1,50	17,1
2010	4	10	8	2,50	2,5
2011	7	19		2,71	460,2
2012	20	54	0	2,70	155,9
2013	13	14	3	1,08	255,9
2014	3	18	0	6,00	6,4
2015	30	189	18	6,30	16114
2016	10	31	4	3,10	460,9

Небезпеку лісових пожеж посилюють об'єкти, розташовані в лісах, на яких зберігаються пожежовибухонебезпечні речовини і матеріали. Пожежі на них становлять загрозу виникнення лісових пожеж. На території східної частини Малого Полісся у лісі поблизу с. Цвітоха розташовані військові склади, на яких 6 травня 2005 р. виникла пожежа, спричинена вибухами боєприпасів. Лише щасливий збіг обставин і злагодженість дій пожежників не призвели до лісової пожежі та серйозних наслідків, оскільки майже поруч розташована Хмельницька АЕС [128]. Завданням працівників лісового господарства є зменшення загрози виникнення лісових пожеж поблизу таких об'єктів.

Таким чином, проблема лісових пожеж є актуальною не лише в світі та Європі, але і в Україні. Найбільшу кількість пожеж спостерігають у південних, східних областях країни та АР Крим, але вони нерідко виникають і в західних областях, зокрема на території Полісся та західної частини лісостепу – Малого Полісся, знищуючи лісові насадження та завдаючи матеріальних збитків.

1.2. Передумови та причини виникнення лісових пожеж

Лісова пожежа – це стихійне розповсюдження вогню територією лісового фонду [351]. Для виникнення будь-якого горіння необхідні три передумови: горючий матеріал, окислювач та джерело запалювання [118]. Окислювачем на лісових пожежах є кисень, який входить до складу повітря та на відкритому просторі наявний в достатній кількості.

Найбільше праць, присвячених лісовим пожежам, написано І. С. Мелеховим, який їх систематизовував, розглядаючи виникнення стосовно місця займання та джерел запалювання. Виникнення лісової пожежі за І. С. Мелеховим [274] зумовлене наявністю: 1) горючих мате-

ріалів, 2) умов, які сприяють запалюванню цих матеріалів, 3) джерела вогню. У лісі практично всі матеріали органічного походження є горючими, а тому за відповідних умов можуть займатися та бути провідниками горіння під час лісової пожежі. Найчастіше займаються елементи наземного ярусу лісу – лісова підстилка, суха трава, опад та інші фрагменти. Основними характеристиками горючих матеріалів є теплота згоряння та температура займання, які залежать від їх виду, хімічного складу, структури, густини, вмісту вологи, геометричних особливостей будови та розміщення. Лісові горючі матеріали поділяють на окремі групи, представники яких характеризуються подібністю розташування та горючих властивостей. І. С. Мелехов розрізняв об'єкти початкового займання: лісову підстилку, суху траву, хмиз, залишки після рубок, окремі види живого надземного шару. У випадку верхової та суцільної лісової пожежі горючим матеріалом є крони та стовбури дерев, а за підземної пожежі може горіти не лише торф, але і корені дерев [274].

Пожежонебезпечні властивості горючих матеріалів та речовини, які їх зумовлюють. Оскільки найбільшу кількість горючого матеріалу в лісовому масиві становить деревина, пожежонебезпечні властивості якої є важливими з огляду на займання та поширення пожеж. Але більшість досліджень з деревинознавства [368] не стосуються її пожежонебезпечних властивостей.

В абсолютно сухому стані деревина стовбура і гілок складається в середньому з 49,5 % карбону, 44,2 % оксигену з нітрогеном та 6,3 % водню [317]. Ці частки для різноманітних порід мало відрізняються між собою. Деревина характеризується неоднорідністю і неізотропністю. Горючі та теплофізичні властивості деревини є неоднаковими для різних порід [94, 153, 333] (табл. 1.3). Дослідження пожежної небезпеки деревини описані в [13].

Таблиця 1.3

**Горючі та теплофізичні властивості деревини деяких порід
[94, 153, 333]**

Порода	Температура займання, °С	Температура самозаймання, °С	Температура тління, °С	Середня теплота згоряння, кДж/кг	Середня теплопровідність, Вт/(м·К)
Бук		490	300	19500	
Дуб	230	370	260	19048	0,58
Ялина	240	380	300	20305	0,29
Сосна	250	390	280	19792	0,37

Для більшості порід теплопровідність вздовж волокон є вищою, ніж впоперек. Температура займання деревини залежить від матеріалу, зокрема, його складу, вологості, щільності, а також від параметрів навколишнього середовища: температури і відносної вологості повітря, атмосферного тиску. Температури займання та самозаймання сосни і ялини є незначно вищими, ніж дуба.

Дослідження пожежонебезпечних властивостей речовин та матеріалів, зокрема деревини, здійснюються за стандартними методиками: займистість [262], горючість [264] та поширення полум'я [263]. Але для інших лісових горючих матеріалів не запроваджено стандартизованих методик випробувань.

Основними складниками деревини є целюлоза, геміцелюлоза і лігнін, вміст яких залежать від породи дерева [94] (рис. 1.9).

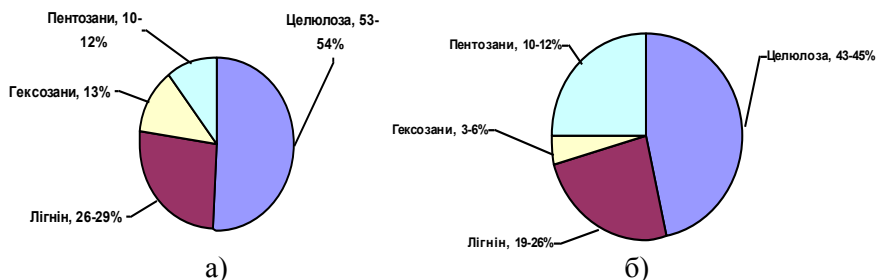


Рис. 1.9. Вміст целюлози, лігніну та геміцелюлози (пентозанів і гексозанів) у деревині [94]:
а – хвойні породи; б – листяні породи

Пожежна небезпека цих складових є неоднаковою. Найнижчою є температура піролізу геміцелюлози (200-260°C), дещо вищою – целюлози (240-350°C) і найвищою – лігніну (280-500°C) [94, 317]. Окрім цих складових, у деревах містяться смоляні та жирові кислоти, які утворюють смолу. Смоляних кислот в деревині листяних порід майже немає, а жирових – 60-90 %. У деревині хвойних порід, особливо сосни, міститься багато смоляних кислот. В смоляних ходах сосни та деяких хвойних міститься живиця – розчин смол в ефірних оливах, які мають температуру кипіння понад 100°C, але є легкими за значно нижчих температур [317, 418, 249]. Ці оливи називають також скипидаром. До складу живиці входить значна кількість терпенів і терпеноїдних кислот, а також жири, жирні кислоти та спирти [43]. Вміст живиці у різних порід неоднаковий [113] (рис. 1.10).

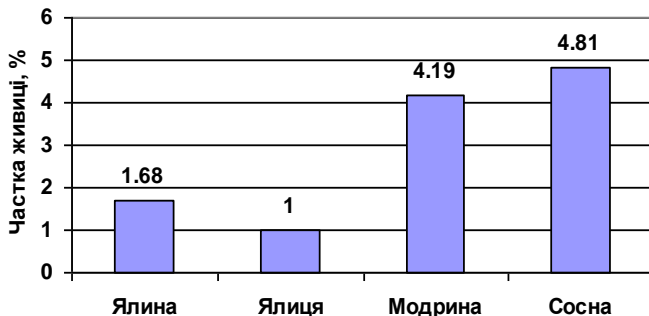


Рис. 1.10. Вміст живиці в деревині деяких хвойних порід [113]

Найбільше живиці міститься в сосні – 4,81 % [113]. До складу живиці входить біля 16-20% скипидару та 70-75 % каніфолі [369]. Фізичні властивості каніфолі залежать від породи дерева [450]. Найбільшою є густина каніфолі сосни жорсткої – $1586,1 \text{ кг/м}^3$, найменшою – сосни Банкса – 909 кг/м^3 . А температура краплепадіння найнижча у жорсткої сосни – 80°C , найвища – у сосни звичайної та Банкса – 84°C . Каніфоль складається з смоляних кислот і нейтральних речовин, має високу температуру кипіння [298]. Її температура спалаху становить $216\text{-}220^\circ\text{C}$, займання – 245°C , а самозаймання $386\text{-}390^\circ\text{C}$ [153] (соснової – 440°C [333]). Найбільшу пожежну небезпеку становить її складник – терпентинова олива або скипидар. Основними складниками скипидару є монотерпени ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$) (найчастіше – α -пінени, β -пінени, лимонени та ін.), співвідношення яких зумовлене умовами навколишнього середовища та спадковістю [43]. Внаслідок цього температура спалаху скипидару в залежності від виду становить $34\text{-}44^\circ\text{C}$, самозаймання – 245°C , а температурні межі поширення полум'я – $32\text{-}53^\circ\text{C}$ [154]. Тому влітку за умов високої температури повітря у хвойному лісі виникає загроза виникнення пожежі навіть від малопотужного джерела запалювання. Небезпека скипидару зумовлена й тим, що температура плавлення становить -10°C [95], а тому навіть за від'ємних температур він перебуває в рідкому стані та може переміщатися в деревині. Також коефіцієнт об'ємного розширення скипидару становить $0,97 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ та в 5,39 разів перевищує відповідний показник для води [230]. Тому із зростанням температури витіснення скипидару з деревини або інших частин дерева, які його містять, відбуватиметься швидше, внаслідок чого зросте небезпека займання та горіння. Фізичні властивості скипидару залежать від породи [451]. Серед соснових по-

рід густина є найнижчою у сосни Банкса – 819,4 кг/м³, а найвищою – у сосни жорсткої – 858,2 кг/м³. Для окремих порід і гібридів Північної Америки густина цієї рідини перебуває в межах від 860 до 881,4 кг/м³ [472]. Найнижчою є температура кипіння скипидару сосни чорної – 148-156°C, найвищою – у сосни звичайної – 159-175°C. Найбільше живиці та скипидару сосна містить в корінні та у нижній частині стовбура, проте він наявний і в голках. За товщиною дерева їх розподіл також неоднаковий. Значна кількість скипидару є у пнях та повалених деревах, тому пожежна небезпека захламлених територій є високою.

Скипидар може інтенсивно виділятися внаслідок хвороб дерева, зокрема кореневої губки [391, 440], яка вражає спочатку кореневу систему, а потім нижню частину стовбура. Одним із симптомів хвороби є запах скипидару від уражених частин. Виділення скипидару зумовлене руйнуванням структури деревини та смоляних ходів [141]. На Заході України найбільше уражені кореневою губкою соснові насадження свіжих суборів [440] (рис. 1.11).

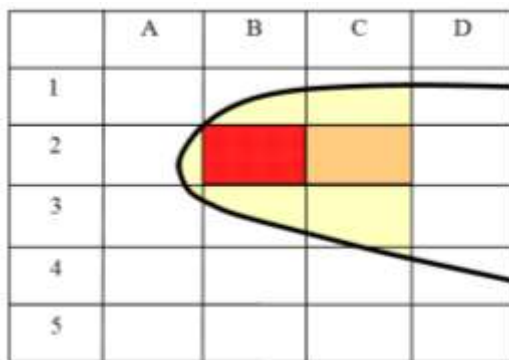


Рис. 1.11. Едафотопи Заходу України, у яких найбільш поширена коренева губка (за даними С. В. Шевченка [440])

Окрім цієї хвороби значного поширення у лісах типів С₂, D₂, С₄ та D₄ набув осінній опеньок, який також уражає хвойні дерева. Гриби часто зустрічаються у насадженнях з повнотою понад 0,8, що зумовлюється ослабленою інсоляцією, а також у низовинах. Для Заходу України характерним є те, що захворювання частіше зустрічаються на підвищеннях рельєфу [424].

Менш небезпечними порівняно з скипидаром є жиrowі кислоти, їх температура спалаху – 179°C, займання – 200°C і самозаймання – 260°C [153].

Внаслідок дії температури на деревину, зміна фізичних властивостей (маси та розмірів) починає виявлятися за температури 100°C. Також за наявності вологості відбувається її розм'якшення. Для більш вологої деревини розм'якшення настає за температури 180°C і досягає максимуму за 360°C. Початок руйнування та виділення газоподібних продуктів розпочинається за 200°C. Початком піролізу вважається температура біля 270°C [43].

Таким чином, пожежна небезпека лісового горючого матеріалу зумовлена пожежонебезпечними речовинами у його складі, які залежать від породи дерев. Особливо небезпечними є хвойні породи, зокрема сосна, які містять легкозаймисту рідину – скипидар у складі живиці.

Вологість як фактор пожежної небезпеки лісового горючого матеріалу. На наявність впливу вологості на пожежонебезпечні властивості вказував І. С. Мелехов [274], проте, здебільшого, це стосувалося наземного горючого матеріалу. Вологість підстилки, опаду, а також трав'яних рослин впливає на виникнення та поширення пожежі на початковій стадії. А на пізніх стадіях її розвитку та переході у верхову і суцільну істотне значення мають властивості дерев. Вільна та зв'язана волога зменшує інтенсивність горіння, знижує температуру і теплоту згоряння. У [377] описано пожежну небезпеку окремих порід без детального аналізу її причин, зокрема, вмісту вологи та особливостей її розташування в структурі деревини. Питома теплота згоряння деревини залежить від вмісту вологи: за 10 % становить 16341-16760 кДж/кг, за 20 % – 14246-14665 кДж/кг, а за 30 % – 12151-12360,5 кДж/кг [388].

Обсяг води в різних компонентах деревостану залежить від породи, віку та лісорослинних умов. В. П. Кучерявий [231] наводить дані про те, що у стовбурах дерев міститься 50-55 % води, в листі – 79-82 %, у листі трав'яних рослин – 83-86 %. Е. С. Salinero [541] вказує, що вологість листя дуба та соснової хвої є близькою до 60 %. Л. М. Перелігін [317] пояснює вищу вологість живої деревини хвойних порід, а особливо заболоні, ніж листяних особливостями структури та механізмів транспортування. Для сосни вологість заболоні свіжозрубаної деревини становить 55 %, а вологість стовбура живого дерева листяної породи становить біля 44-47 % (Вакуров [40]; Уголев [418]). Розташування судин у деревині листяних порід є неоднаковим і залежить від породи та віку (Веґенер [43]). Між деревиною хвойних та листяних порід існує відмінність у способі реагування на механічні впливи, яка зумовлена неоднаковою структурою клітин і може впливати на процеси руйнування від високих температур.

Розміщення вологи у різних частинах дерев хвойних і листяних порід є нерівномірним [317, 418]. У стовбурі, кроні та кореневій частині дерева міститься неоднакова кількість вологи, яка залежить від віку, лісорослинних умов, пори року та ін. У хвойних вологості заболоні та кори майже не відрізняються між собою, а вологість ядра та стиглої деревини є в 2-3 рази нижчою. З висотою вологість кори і заболоні хвойних порід зростає. Різниця між вологістю кори на різній висоті може сягати 70 %. Вологість деревини листяних порід по товщині стовбура майже не змінюється, а із збільшенням висоти для дерев з ядрами вологість стовбура знижується, а ядра – зростає. Для порід дерев без ядер вологість, як і в сосни, зростає з висотою, проте незначно. У зв'язку з цим внаслідок дії на стовбури дерев високої температури пожежі, конвективних теплових потоків та теплового випромінювання хвойні породи швидше позбуваються вільної вологи, ніж листяні та зазнають травм.

Після виведення вільної вологи починається виведення зв'язаної вологи або висушування, яке відбувається неоднаково у стовбурах різних порід та залежить від капілярної проникності стінок клітин стовбура [317]. Для дерев з наявністю заболоні така проникність добре розвинена і висушування внутрішніх клітин відбувається одночасно із зовнішніми, однак з меншою інтенсивністю (рис. 1.12 а). За відсутності капілярної проникності висушування внутрішнього шару розпочинається після повної втрати вологи зовнішніми клітинами (рис. 1.12 б). Тому внутрішня частина такої деревини довше залишається вологішою. Таке висушування характерне для ядрових клітин, зокрема дуба, і відбувається повільніше, ніж у сосни.

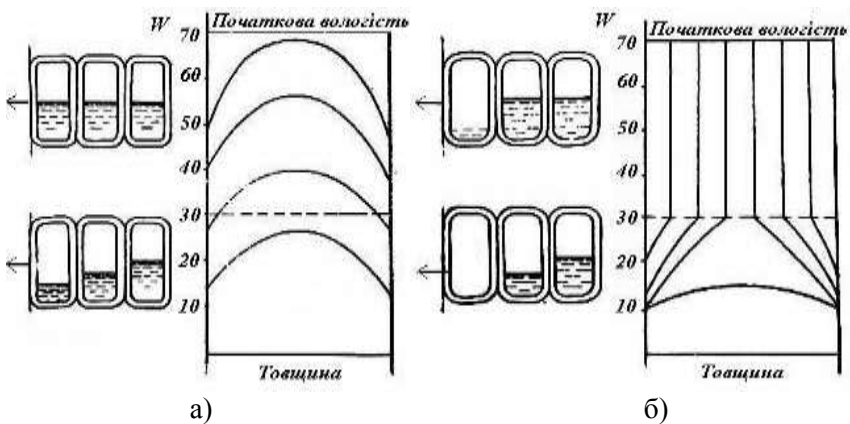


Рис. 1.12. Висушування деревини (W – абсолютна вологість, %) [317]: а – з наявністю капілярної проникності, б – за її відсутності

Вміст вологи залежить від пори року. У зимовий період листяні породи мають зменшений вміст вологи. З весняним потеплінням та початком вегетаційного періоду аж до осені вологість дерев зростає. Вологість хвойних порід зазнає річних коливань, проте менших за амплітудою, ніж листяних.

Під час лісової пожежі висока температура призводить до швидкого збільшення тиску всередині деревини внаслідок інтенсивного випаровування, виникнення тріщин у стовбурах та гілках, крізь які видаляється волога. Це збільшує площу поверхні та прискорює висушування. На поверхні деревини з'являються гострі кути, які швидше займаються та обгорають [94]. Гострі кути і мала товщина сприяють швидкому займанню сучків, низько розташованих на стовбурах хвойних порід у молодому віці. У старшому віці радіус кривизни сучків збільшується, зумовлюючи повільніше займання.

Загалом, вологість як фактор пожежної небезпеки зумовлена породою, структурою, фізіологічними особливостями деревини і фенологічними фазами.

Пожежонебезпечний стан лісового горючого матеріалу та його займання в лісовому насадженні. Займання лісового горючого матеріалу залежить від його виду, метеорологічних умов, характеру лісу та діяльності людини. Основну увагу І. С. Мелехов [274] звертав на характер лісу: тип, породний склад, вік і стан деревостану. Іншим фактором є вміст вологи, який залежить від рельєфу, експозиції та ґрунтів. Мелехов поділяв займання лісів в залежності від причин та виду горючого матеріалу на такі види: займання крони чи стовбура від блискавок; займання лишайників від іскор чи інших джерел вогню; займання "відьмених мітел" на хвойних деревах з тих же причин; займання сухостою від іскор та інших причин; займання хвої та гілок дерев.

На ранніх стадіях лісової пожежі основним горючим матеріалом є лісова підстилка, яка частково перегниває і є природним добривом для лісових рослин, іноді стаючи джерелом самозаймання і безполум'яного горіння [377]. Неперегнила частина підстилки за низької вологості легко займається та сприяє поширенню пожежі. Запаси підстилки в лісах Українського Полісся можуть сягати 12-30 т/га сухої маси і коливатися в межах 15-30 % [367, 377]. У мішаному лісі продукти опадів дерев становлять 82,6 %, чагарників та трав – 13,7 %, мохів – 3,7 %. До опадів дерев входить листя, хвоя, насіння, покрив бруньок і суцвіття дерев – 72,6 %, а шишки, гілки та кора становлять 27,4 % (Стародубцева та ін. [390], Шиханова [442]). Мінералізація листяного

опаді триває рік, а хвої – 3-5 років. Динаміку запасів підстилки у лісах Західної України та Малого Полісся вивчав М. Т. Гончар [66]. Запас горючого матеріалу має значний вплив на інтенсивність пожежі. М. Dodge [481] вказує, що подвоєння запасу такого матеріалу, як листя, гілки та кора збільшує швидкість поширення пожежі вдвічі, а інтенсивність – в 4 рази.

Іншими видами горючого матеріалу є трав'яні рослини, мохи та лишайники, які І. С. Мелехов [268] поділяє на пожежонебезпечні, слабкозаймисті та вогнестійкі. В [479, 490, 496, 527] наведено перелік вогнестійких рослин, рекомендованих для ландшафтних і присадибних територій поруч з лісом з метою захисту від поширення пожежі. У [490] займистими вважають рослини за такими ознаками: вічнозелене листя або голки; мале або мереживне жорстке листя; вміст летких олив, терпенів, ароматизаторів; випрямлені та сухі; будь-які трави у сухому стані; такі, що горять, а не тліють, при нагріванні сірником. У [496] до них відносять рослини з тонким твердим листям (склерофіти), представниками яких є різноманітні злаки. А сповільнюють горіння рослини, вкриті широкими м'ясистими листям, з високим вмістом солі. Пожежна небезпека рослин залежить від їх видової належності, сухого стану, місця зростання і кількості днів без дощу [380].

М. П. Курбатський [215, 226], П. А. Цветков [431], А. М. Гришин та ін. [446], Е. В. Конєв [147], А. С. Аткин та ін. [15] вивчали горючість і займистість лісових рослин, опаді листя, хвої, кори та інших компонентів, які утворюють лісову підстилку, і класифікували компоненти лісу за здатністю до займання. Зокрема, Мелехов запропонував 4, а Курбатський – 6 груп компонентів лісу [377]. М. П. Курбатський [226] визначав швидкість висихання моху, лишайників та опаді, а також встановлював залежність вологості в першому ярусі соснових лісів різних типів лісорослинних умов від часу доби, температури і дефіциту вологості. Він поділяв наземні горючі матеріали на дві групи: 1) мохи, лишайники та мертві рослинні залишки; 2) трави, чагарники, підріст і підлісок. В окремі групи виділяв підстилку, хмиз, пеньки, підріст і підлісок. Найшвидше висихають лишайники, дещо повільніше – мохи та дрібний опад, ще повільніше – підстилка, гнілі пеньки і хмиз. Горючі матеріали є гігроскопічними, а добові коливання їх вологості зумовлені температурою та відносною вологістю повітря. М. Dodge [481] також поділяв їх на дві групи – мертві рештки і живі рослини.

Водний баланс лісу досліджували переважно з урахуванням зовнішніх впливів – вмісту води у ґрунті, опадів, випаровування, транспі-

рації та стоку, а також приросту фітомаси В. П. Кучерявий [232], W. Klaassena [513], S. V. Ollinger [533, 534], D. Whitehead та ін. [558]. Проблеми розміщення і транспортування води в дереві досліджували А. О. Бондар [28], А. Granier та ін. [465], Т. М. Hinckley та ін. [553], D. Whitehead та ін. [558]. Вміст вологи як фізичної властивості деревини розглядали Л. М. Перелигін [317] і Б. Н. Уголев [418]. Проте залежності пожежної небезпеки від вмісту води у дереві не приділено достатньо уваги. Лише М. А. Софронов і А. Д. Вакуров [385] зазначають, що за вологості понад 50 % здорова деревина горіти не може.

Вода у лісовому середовищі є невід'ємною часткою фітомаси. Обсяг фітомаси деревостанів і його динаміку досліджували П. І. Лакида та ін. [237-240, 514-516], С. І. Миклуш [280, 281], В. В. Смирнов [383], В. О. Рибак [361], В. А. Свинчук [376], І. В. Блищик [26] та ін. Здебільшого застосовують конверсійні коефіцієнти, обчислені на основі емпіричних моделей для різних регіонів і порід [514]. Окрім фітомаси визначають також обсяг депонованого вуглецю, який становить близько 50 % фітомаси (Сендзюк і Лакида [379]; Лакида [235], Лакида та ін. [515], Лашенко [242]), а також обсяг абсолютно сухої фітомаси (Лакида [516]). Проте робіт з визначення обсягу води у лісовому масиві з використанням конверсійних коефіцієнтів не виявлено.

В. В. Смирнов [383] вказує, що вологість листя і хвої зменшується із зростанням діаметра стовбура, що зумовлене взаємним розташуванням дерев у лісі та внутрішнім вологообміном. Із перевищенням висоти крони окремого дерева у порівнянні з сусідніми покращуються умови інсоляції, що зумовлює інтенсивнішу транспірацію та зниження вологості. І лише у вільхи найвищою є вологість листя найбільших дерев. Вологість хвої знижується не лише з віком дерева, але і з власним віком, що зумовлює зростання пожежної небезпеки. Небезпеку посилює й інтенсивне нарощування фітомаси крон до початку їх змикання. В. М. Онищенко [308] вказує на те, що інтенсивність випаровування сосни звичайної залежить від повноти насадження, зменшуючись із її збільшенням. Тому деревостани з низькою повнотою більш пожежонебезпечні у порівнянні з середньо- та високоповнотними.

Для опису взаємодії біогеоценозу з системами вищого рівня Ю. П. Бяллович [39] використовує поняття радіалей і латералей. Радіалями описують потоки сонячної енергії, опади, вертикально орієнтовні повітряні потоки, а латераліями – горизонтальні повітряні потоки. На основі потоків енергії та речовини описують механізми впливу зовнішнього середовища на екологічні умови рослин і лісового масиву. Проте радіальні та латеральні потоки також істотно впливають на по-

жежонебезпечні характеристики лісового масиву і лісового горючого матеріалу, що зазвичай не виділяється у літературі. Наслідком їх впливу на живий лісовий горючий матеріал є його розвиток і формування горизонтальної та вертикальної структури лісового фітоценозу. Дія цих потоків на рештки рослинного походження, призводить до формування їх вологісного стану і мінералізації. У цьому процесі бере участь і середовище лісу, яке частково впливає на інтенсивність радіальних та латеральних потоків, як правило, ослаблюючи їх.

Сонячне випромінювання творить прямі радіалі. Верхній ярус лісу отримує найбільшу кількість енергії, а наземний – лише її частину. Коефіцієнт затримки залежить від просторової структури та породного складу фітоценозу. Найбільше сонячної енергії поглинає намет першого ярусу. Деякі деревостани можуть пропускати незначну частку світлових променів (Кучерявий [232]) (рис. 1.13), що підвищує вологість підстилки, знижує її температуру у порівнянні з відкритим простором та зменшує пожежну небезпеку. Ослаблення сонячних радіалей залежить і від повноти деревостану [433].

Прямі радіалі опадів на пожежну безпеку чинять дію, протилежну до сонячних радіалей, збільшуючи вологість горючого матеріалу. Під час дощу крони деяких дерев і чагарники затримують значну частину вологи, залежно від породи, віку, пори року (листяні) та ін. (рис. 1.14) [232].

Вітряні латералі сприяють проникненню під намет повітря з вільного простору, яке має більшу температуру, меншу відносну вологість і впливає на мікроклімат, сприяючи висушуванню горючого матеріалу. Ці потоки сприяють і видовому поширенню рослин перенесенням насіння на значні відстані.

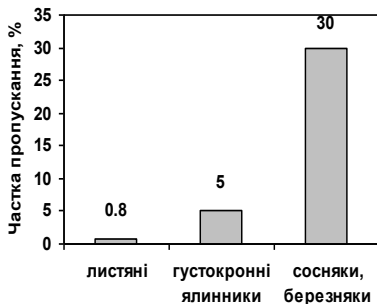


Рис. 1.13. Максимальне пропускання сонячного випромінювання різних деревостанів [232]

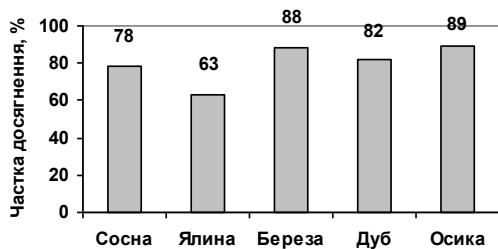


Рис. 1.14. Досягнення опадами поверхні ґрунту для різних порід [232]

Мікрокліматичні умови під наметом є наслідком дії радіалей і латералей та істотно залежать від породи дерев. Мікроклімат у лісі досліджували В. П. Кучерявий [232], О. М. Горелов та ін. [67], А. А. Семіюшина та ін. [378]. Виявлено відмінності температури, відносної вологості повітря, швидкості вітру, зволоження, інсоляції та інших параметрів під наметом деревостану та на відкритому просторі, які слід враховувати, використовуючи дані метеоспостережень з метою прогнозування пожежонебезпечного стану в лісі. Отримано лінійну регресійну залежність між температурою повітря всередині лісу і на відкритому просторі (Семіюшина та ін. [378]). Вимірювання температури, вологості повітря та освітленості у кронах і підкроновому просторі сосни, берези, вільхи та дуба провели О. М. Горелов та ін. [67]. Мікрокліматичні умови під наметом зумовлюють розвиток нижніх ярусів рослинності, формують пожежонебезпечний стан горючих матеріалів і впливають на процеси займання та горіння.

Співвідношення між компонентами наземного шару горючого матеріалу та їх властивості мають сезонний характер. Листя, опадаючи наприкінці літа і восени, протягом зими-весни мінералізується. Трави наземного ярусу відповідно до фенологічних фаз висихають восени, відновлюючи вегетацію навесні [31, 102, 142, 444]. Пожежна небезпека зростає після зими одночасно з висиханням нижнього ярусу і формуванням на поверхні ґрунту окремих плям сухої трави, листя, хвої, мохів на підвищеннях, які розширюються та об'єднуються між собою. В. М. Биков та ін. [38] вказують на наявність впливу трав'яного покриття на природну пожежну небезпеку, зумовленого вегетаційним періодом і настанням пожежної зрілості.

А. Д. Вакуров [40] досліджував структуру деревостанів та їх характеристики, які впливають на пожежну небезпеку, окремо досліджуючи надземний горючий матеріал, наземний шар і підстилку. Для кожного з видів наземного матеріалу визначав динаміку зміни вологості протягом 5 днів без дощу та мінімальну вологість під час посухи. Запас кожного з видів матеріалу визначав відповідно до типу лісу за класифікацією В. М. Сукачова [402]. Виявлено відмінності, пов'язані з розташуванням всередині лісу і на галявині.

Для визначення вологості підстилки та інших матеріалів у лабораторних умовах найпоширенішим є ваговий метод. Його застосування у лісовому масиві запропонував Н. Т. Gisborne [506] за допомогою дерев'яних циліндрів, вологість яких добре корелюється з вологістю інших лісових горючих матеріалів. Використовують і електронні вимірювачі вологості ґрунту [45].

А. Guevara-Escobar та ін. [486] виявили збільшення максимального вологовмісту із зростанням інтенсивності опадів, проте мінімальний вміст вологи залишався сталим. Наявність листяного опаду незначно сприяє затримуванню вбирання води підстилкою, проте не впливає на загальний вміст вологи. Процеси зволоження і висушування добре описуються моделлю А. J. Rutter та ін. [457]. Q. Xiao та ін. [456] експериментально дослідили та на основі балансу вологи розробили математичну модель затримування опадів деревом залежно від параметрів і геометричних розмірів крони, інтенсивності опадів, швидкості вітру. Подібні моделі розробив J. H. Gash [503] та ін. Моделювання процесу висушування лісового горючого матеріалу здійснювали А. М. Гришин та ін. [71, 75]. А. В. Ликов [247], І. В. Кречетов [161], Р. С. Мякохліб [289] та ін. досліджували висушування різноманітних матеріалів, зокрема, деревини.

W. R. Stevens [545] навів залежність між вологістю верхнього шару підстилки і ступенем пожежної небезпеки (табл. 1.4). А. М. Матвеев [259] встановив, що критична вологість займання лісової підстилки залежить від гігротопів та становить у вологих умовах 29-38 %, у сухих – 38-47 %. Оцінювання пожежної небезпеки у лісі за вологістю підстилки пропонувалося і у Ленінградському НДІЛГ [226] на основі рівняння її вологісного балансу

$$W_t = W_0 - \alpha_B R_n + On - Cm, \quad (1.1)$$

де W_t – запас вологи, мм, W_0 – початкова вологість, мм, α_B – коефіцієнт питомого випаровування, On – опади, мм, Cm – стік, мм. Початкова вологість підстилки залежить від стоку та випаровування. Ці процеси залежать від мікрокліматичних і гідрологічних умов ділянки. Але таке рівняння розв'язувалося лише спрощено та для невеликого періоду.

Таблиця 1.4

Залежність ступеня пожежної небезпеки від вологості верхнього шару лісової підстилки [545]

Ступінь пожежної небезпеки	Вологість верхнього шару підстилки, %	Причина загоряння
Найвищий	До 6	Цигарки, іскри, жар з люльки
Високий	6-10	Іскри, жар з люльки, сірники, багаття
Середній	11-16	Жар з люльки, сірники,
Низький	17-22	Сірники, багаття
Дуже низький	23-29	Сірники, багаття (запалювалося повільно)
Відсутній	30 і більше	Нема

Подібний підхід застосували М. А. Fosberg та ін. [501], використавши для визначення вологості підстилки замість рівноважної її граничну вологість

$$W_b = \frac{(\delta t - P)\overline{W}_p + \delta_s \cdot 30P_s + \delta_R P_R (aP_R + b)}{\delta t}, \quad (1.2)$$

яку вважали залежною від опадів і усередненої рівноважної вологості \overline{W}_p , %. В (1.2) δt – проміжок часу, год., P_s і P_R – тривалості зволоження снігом та дощем, год., $P = P_s + P_R$ – сумарний час зволоження, год., δ_s і δ_R – символи Кронеккера (1, якщо відбувалися, відповідно, опади снігу або дощу, 0 – за їх відсутності), a і b – емпіричні коефіцієнти.

На виникнення пожежі впливають не лише вологість, температура та інші пожежонебезпечні властивості горючого матеріалу, але й погодні умови (температура повітря, відносна вологість, вітер), розташування в структурі лісового масиву (крони, нижній ярус, ґрунт, густина, повнота) і топографія ландшафту (схил, сторона підйому, підвищення – ухил – дренаж) (Ryan, 2002 [540]), які сприяють процесам займання та поширення пожежі або сповільнюють їх.

Таким чином, у формуванні пожежонебезпечних властивостей лісового горючого матеріалу важливу роль відіграє середовище лісу.

Запалювання лісового горючого матеріалу та основні джерела займання при лісових пожежах. Для запалювання матеріалу необхідна енергія від джерела займання, яка здатна забезпечити початкову підтримку всіх фаз горіння. Після займання енергія надходить від реакції горіння. Виділяють такі фази горіння: нагрівання матеріалу до точки роси, нагрівання від точки роси до температури кипіння води, нагрівання до температури піролізу, піроліз, горіння суміші газів і повітря [74, 92]. Важливу роль відіграє вид матеріалу та його розміри, зокрема діаметр, який можна оцінити за формулою [94]

$$d = 2\sqrt{\alpha t}, \quad (1.3)$$

де α – коефіцієнт, який залежить від матеріалу, $\text{м}^2/\text{с}$, t – час теплової дії, с. Для дуба після дії теплового джерела протягом 10 с максимальний діаметр, за якого відбувається займання, становить $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м. Тривалість горіння також залежить від діаметра і є пропорційною до d^n , де $n = 1,6 \pm 0,2$. За недостатності енергії може відбуватися безплум'яне горіння – тління.

Найбільш істотним у виникненні лісових пожеж є антропогенний фактор, а джерелами займання – багаття, недопалок цигарки, сір-

ник, пиж, іскри від двигунів та ін. В. Г. Нестеров [297] запропонував шкалу займистості за підпалюванням (табл. 1.5). А. В. Захарович та ін. [115, 116] наводять результати лабораторних досліджень процесів займання сухої хвої частинками, нагрітими до температур 1153-1293 К. Але в природних умовах такі джерела займання трапляються рідко, а повністю висушеною хвоя не буває навіть за надзвичайної небезпеки.

Таблиця 1.5

Шкала займистості лісового горючого матеріалу за підпалюванням [297]

Клас горимості	Результат підпалювання	Швидкість займання, хв	Характеристика класів горимості
I	Не займається	0	Пожежі неможливі
II	Займається повільно	2	Можливі слабкі пожежі
III	Займається	1-2	Можливі середні пожежі
IV	Займається швидко	1	Можливі сильні пожежі

А. Д. Вакуров [40] виявив, що кількість випадків пожеж залежить від відстані до населених пунктів, доріг та місць лісозаготівель і є максимальною на відстані 1-5 км. Кількість пожеж зростає поблизу великих міст та місць відпочинку під час вихідних і святкових днів (Ворон та ін. [56]; Шукель [443]).

Частими причинами лісових пожеж у минулих століттях були іскри від паровозів (Ткаченко [411]; Мелехов [271] та ін.). На теперішній час така причина не є актуальною для України, проте в країнах Африки та Сходу, де на залізницях експлуатують парову тягу, така небезпека існує. В Україні актуальною залишається проблема займання сухої трави і підстилки іскрами з двигунів внутрішнього згоряння у пожежонебезпечний період.

Причинами пожеж у надземних ярусах є іскри від замикання ліній електропередач, з димарів будівель, пожежі на об'єктах, розташованих у лісових масивах та поблизу них, аварії літальних апаратів, транспортних засобів, бойові дії та ін. Займання може бути спричинене потоком сонячних променів, сфокусованих скляними та іншими прозорими предметами, залишеними у лісі [17, 19, 116].

Природними причинами пожеж є блискавки, які спричиняють запалювання крон дерев. У Канаді 35 % лісових пожеж, що становлять 85 % сумарної площі, виникають від цього джерела займання. В Росії у деяких регіонах 50-70 % пожеж виникають від блискавок. Матема-

тичне моделювання займання блискавкою здійснене Н. В. Барановським [18], а оцінювання ризиків з цієї причини – Е. І. Пономарьовим [339]. Самозаймання трапляються рідко і характерне для торф'яних пожеж. Такі пожежі істотно відрізняються від низових та верхових пожеж і можуть бути предметом окремого дослідження.

Отже, найпоширенішими є джерела займання, які є наслідком антропогенної діяльності, зокрема необережного поводження з вогнем.

1.3. Класифікація лісових пожеж

Класифікація лісових пожеж відображає їх природу та масштаби. Переважна більшість класифікацій розподіляє пожежі за місцем поширення: під землею, нижнім і верхнім ярусом. Найпростішу класифікацію запропонував Б. Нордстрем [299], поділяючи лісові пожежі на рухливі (побічні) або поверхові, повальні (вершинні) та підземні (торф'яні). Проте він не враховував швидкість і характер поширення пожеж, що зробив Л. І. Яшнов [377], поділяючи пожежі на 5 видів: низові рухливі, низові стійкі, верхові швидкі або ураганні, верхові стійкі повальні та підземні (торф'яні). М. Е. Ткаченко [411] ділив лісові пожежі на низові, верхові, підземні й стовбуровий вогонь. І. С. Мелехов [273] також дотримувався традиційної класифікації, розподіляючи їх на низові, верхові та підземні (торф'яні). Деталізуючи цей розподіл, він враховував матеріал, який горить. Наприклад, низові пожежі поділяв на підстилково-гумусні, надґрунтові, підлісно-чагарникові та вітровально-пенькові, верхові – на вершинні, суцільні й стовбурові. За характером горіння пожежі поділяють на стійкі та швидкі. Стійкі пожежі завдають більшої шкоди, ніж швидкі, вогонь яких швидко перекидається з однієї частини лісу на іншу. Н. П. Курбатський [227] запропонував кожен вид пожеж (низові, верхові й підземні) класифікувати на слабкі, середні та сильні, взявши за критерії швидкість поширення, висоту полум'я (для низової пожежі) і глибину вигорання (для підземної). Низові пожежі є слабкими з швидкістю до 1 м/хв і висотою полум'я до 0,5 м, середніми з швидкістю 1-3 м/хв і висотою полум'я до 1,5 м та сильними – з швидкістю понад 3 м/хв і висотою полум'я понад 1,5 м. Верхові пожежі є слабкими з швидкостями до 3 м/хв, середніми – 3-100 м/хв та сильними – понад 100 м/хв.

Таблиця 1.6

Ознаки визначення виду та інтенсивності лісової пожежі [351]

Ознаки пожеж		Класи пожежної небезпеки за умовами погоди	Характеристика лісової пожежі, основні види займистих матеріалів
Вид	Інтенсивність		
1	2	3	4
Низова рухлива	слабка	1-2	Виникають весною та восени на не вкритих лісовою рослинністю землях, а також в листяних і низькоповнотних насадженнях; на ділянках з лишайниковим покривом рухливі пожежі можливі літом; переважно згоряє засохла трава, листяний опад і лишайник; висота нагару на стовбурах до 0,5 м, швидкість поширення до 1 м/хв, висота полум'я до 0,5 м, згорілий запас опадів в абсолютно сухому стані - до 0,3 кг/м ²
	середньої сили	3	Висота нагару на стовбурах до 1,5 м, швидкість поширення 1-3 м/хв, висота полум'я 0,5-1,5 м, згорілий запас опадів 0,3-0,5 кг/м ²
	сильна	4-5	Висота нагару на стовбурах більше 1,5 м, швидкість поширення більше 3 м/хв, висота полум'я більше 1,5 м, згорілий запас опадів більше 0,5 кг/м ²
Низова стійка	слабка	2	Крім нерозкладеного опадів (гілочки, листя тощо) додатково згоряє живий надґрунтовий покрив, чагарники, підріст і верхній слабкорозкладений шар підстилки
	середньої сили	3	Додатково згоряє середньорозкладений шар підстилки, яка навколо окоренка стовбура та вітролому прогоряє до мінеральної частини ґрунту
	сильна	4-5	Підстилка згоряє суцільно до мінерального горизонту ґрунту; на малопотужних скелетних ґрунтах спостерігається вивалювання дерев
Верхова	слабка	3-4	Пожежа виникає у хвойних насадженнях із низькою зімкненістю лісового намету або в насадженнях, до складу яких входять листяні породи з часткою участі до 3-х од.; пошкоджуються ділянки з груповим розташуванням хвойних порід; вогонь кронами поширюється знизу вгору за рахунок підтримки низової пожежі
	середньої сили	4	Верховий вогонь кронами деревостану поширюється також і горизонтально, нерідко випереджаючи крайку низової пожежі; до 60 % деревостану пошкоджується верховою пожежею
	сильна	4-5	Намет деревостану згоряє повністю або залишається неспаленими плямами в окремих місцях

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4
Підземна	слабка	3	Сфагнум згоряє на глибину до 7 см між кореневими лапами; торф прогоряє на 20-30 см, залишаються окремі ділянки сфагнуму, що не згорів
	середньої сили	4	Крім сфагнуму згоряє торф на глибину до 50 см; у більшості стовбурів навколо окоренка торф вигоряє до мінерального горизонту ґрунту, окремі дерева вивалюються
	Сильна	5	Пожежа має багатоосередковий характер. Торф'яний шар вигоряє до мінерального ґрунту, спостерігається масове вивалювання дерев

Зарубіжні класифікації, здебільшого подібні до запропонованої Л. І. Яшновим. У Європі [499] та США [559] лісові пожежі поділяють на підземні (ground fires), низові (surface fires) та верхові (crown fires). В Україні лісові пожежі класифікують за шкалою [351], схожою на запроповану Н. П. Курбатським, проте враховують беруть не лише кількісні показники, але і якісні зміни лісу під впливом пожежі, та класи пожежної небезпеки за умовами погоди (див. табл. 1.6).

Оскільки більшість лісових пожеж спочатку виникають як низові, а потім переходять у верхові та підземні, Е. С. Арцибашев [12] і А. Д. Вакуров [40] низову пожежу розглядали як первинну, а інші вважали похідними. Але інші види пожеж можуть виникати і за відсутності низової: верхові – від блискавки, ліній електропередач та техногенних причин, підземні – від самозаймання.

Отже, більшість класифікацій виділяють низові та верхові пожежі, серед яких первинною вважають низову пожежу, що зумовлює необхідність дослідження передумов її виникнення та закономірностей поширення.

1.4. Природна пожежна небезпека лісів та методи її оцінювання

Пожежна небезпека лісів значно залежить від природного середовища, у якому відбувається виникнення та поширення пожежі, запасу, властивостей та стану горючого матеріалу. Пожежну небезпеку за В. Г. Нестеровим [274] класифікували за 6-ма "виділами горимості": хвойні молодняки; хвойні старшого віку; буревії, згарища та вітровали; листяні ліси; некриті лісом території; торф'яники. Але таке розбиття не базувалося на лісівничо-типологічних засадах. Тому І. С. Ме-

лехов [274] розробив класифікацію на основі типів лісорослинних умов. Лісова типологія досліджує особливості типів лісорослинних умов і типів лісу, а також їх характерні та специфічні особливості, закономірності просторового розподілу, мінливості, часової динаміки та ін. [366]. Тип лісорослинних умов і лісу впливає на інші його характеристики – тип деревостану, повноту, зімкнутість крон та ін., які в сукупності зумовлюють відповідні пожежонебезпечні властивості лісу – якісний і кількісний склад лісового горючого матеріалу та його просторове розміщення. Найпоширенішою є лісотипологічна класифікація Алексєєва-Погребняка, яка є удосконаленням теорії Г. Ф. Морозова [287] і класифікації А. А. Крюденера й побудована на основі родючості та зволоження ґрунтів, і класифікація за кліматом Д. В. Воробйова [53, 54, 310, 331]. У Росії застосовують типологічну класифікацію В. М. Сукачова [402-404]. Ґрунти та клімат впливають на формування породного складу лісів, їх структури, трав'яного покриву та ін. і в поєднанні з гідрологічними властивостями ґрунтів (вологістю, стоком, фільтрацією, тощо) зумовлюють процеси висушування підстилки та інших наземних горючих матеріалів. Вплив типів лісорослинних умов і клімату на лісове середовище є закономірним з огляду на перебіг біогеофізичних процесів [279].

Оскільки різні лісорослинні умови сприяють формуванню відповідних типів лісів, які різняться структурою, породним складом, та іншими особливостями, тому пожежна безпека в цих лісах повинна залежати від типологічної класифікації. Хоча засновники лісової типології не приділяли значної уваги зв'язку між пожежною небезпекою та типами лісорослинних умов, деякі їх результати можуть стосуватися і лісових пожеж. Наприклад, Г. Ф. Морозов [53] вказував, що кожній місцевості з відповідними ґрунтовими умовами, на основі яких формуються насадження відповідних типів, властивий певний ступінь стійкості в боротьбі із стихійними явищами, одним із яких є лісова пожежа. Але найбільше наблизився до лісотипологічної класифікації пожежної безпеки Мелехов, який розглядав пожежну небезпеку відповідно до типології лісу В. М. Сукачова [402-404]. І. С. Мелехов визначав природну пожежну небезпеку розбиттям на класи, які визначаються групами об'єктів та об'єктами, визначеними за типами лісу. Він враховував окремо небезпеку світлохвойних, темнохвойних і листяних лісів та пропонував її визначати окремо для кожного кліматичного поясу. Класифікацію природної пожежної безпеки лісів І. С. Мелехова майже без змін застосовують в Україні у вигляді шкали оцінювання природної пожежної безпеки [351] (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Шкала оцінювання природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду [351, 2005 р.]

Клас пожежної небезпеки	Об'єкт загоряння (характерні типи насаджень і умов місцезростання, категорії не вкритих лісовою рослинністю і нелісових земель)	Найбільш імовірні види пожеж, умови і тривалість періоду їх можливого виникнення і розповсюдження
1	2	3
1	Насадження хвойних порід віком 40 і менше років в усіх типах лісорослинних умов (ТЛРУ). Насадження хвойних порід старші 40 років з індексами 0 (дуже сухі), 1 (сухі). Насадження сосни гірської, ялиці, туї незалежно від віку та ТЛРУ. Незімкнуті лісові культури усіх порід. Зруби з-під хвойних порід, згарища, загиблі насадження (вітровали, буреломи та інші). Зруби з-під листяних порід, інші не вкриті лісовою рослинністю землі (крім лісових шляхів, просік, протипожежних розривів), які розташовані серед насаджень хвойних порід. Лісові насадження з рівнем радіаційного забруднення 15 кі/кв.км і вище, незалежно від породного складу, віку і ТЛРУ	Протягом усього пожежонебезпечного періоду можливі лісові пожежі, а на ділянках з наявністю деревостану – верхові
2	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТЛРУ з індексом 2 (свіжі). Насадження листяних порід в ТЛРУ з індексами 0,1	Низові пожежі можливі протягом усього пожежонебезпечного періоду, верхові - в періоди пожежних максимумів
3	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТЛРУ з індексами 3 (вологі), 4 (сирі). Насадження листяних порід в ТЛРУ з індексом 2	Низові і верхові пожежі можливі в період літнього пожежного максимуму

Продовження таблиці 1.7

1	2	3
4	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТЛРУ з індексом 5 (мокрі). Насадження листяних порід в ТЛРУ з індексами 3, 4. Зруби з-під листяних порід (серед насаджень листяних порід), інші не вкриті лісовою рослинністю землі (крім згарищ, загиблених насаджень, лісових шляхів, просік, протипожежних розривів), які розташовані серед насаджень листяних порід. Угіддя - сіножаті, пасовища. Лісові розсадники, плантації, сади, ягідники	Низові пожежі можливі тільки в періоди пожежних максимумів
5	Листяні насадження в ТЛРУ з індексом 5. Не вкриті лісовою рослинністю землі (лісові шляхи, просіки, візири, протипожежні розриви). Нелісові землі (крім сіножатей, пасовищ, садів, ягідників)	Виникнення пожежі можливо тільки при довгострокових посухах

При цьому пожежна небезпека встановлюється на один клас вище: а) для хвойних насаджень, будова або інші особливості яких сприяють переходу низової пожежі у верхову (різновікові хвойні деревостани з вертикальною зімкненістю намету), густий високий (понад 2 м) підріст хвойних, підлісок хвойних порід (ялівці чагарникові та інші чагарники), захарашеність більше 10 м³/га; б) для ділянок лісового фонду, крім вод, що прилягають до доріг загального користування або розташовані на відстані 50 м і менше від залізниць і лісових підприємств, які використовують відкритий вогонь; в) для насаджень з рівнем радіаційного забруднення від 1 до 14 Кі/км² незалежно від породного складу, віку і типу лісорослинних умов. Цю шкалу рекомендовано для оцінювання природної пожежної небезпеки не лише лісів, але й інших земель, вкритих лісовою рослинністю. Аналогічні шкали природної пожежної небезпеки діють сьогодні в Білорусі (у модифікації І. Е. Ріхтера [362]) та в Росії [302]. Оскільки у різних кліматичних умовах структура лісів та їх пожежна небезпека є різними, І С. Мелехов пропонував розбиття території колишнього СРСР на 4 кліматичні зони. Адаптації шкали природної пожежної небезпеки здійснювалися неодноразово. Заслугує уваги шкала природної пожежної небезпеки лісів Українського Полісся (Свириденко та ін. [377]) з урахуванням едафотопів, яка дещо

відрізняється від офіційної (див. табл. 1.7) та є простішою (рис. 1.15) [199]. Але окрім типів лісорослинних умов та наявності хвойних порід жодна з наведених класифікацій не враховує типів лісу, деревостану, його віку, повноти, ярусності та інших просторових властивостей.

До природної пожежної небезпеки лісів близьким є поняття пожежостійкості – здатності дерев та їх угруповань зберігати життєдіяльність після теплової дії при лісовій пожежі [313]. В. В. Фуряєв [427] характеризує вогнестійкість дерев як потенційну здатність окремих складових та дерева в цілому протистояти тепловій дії під час пожежі та відповідно до нього здійснює дослідження вогнестійкості насаджень. Основними методами, якими він досліджує пожежостійкість, є вимірювання температури на поверхні стовбура під час полігонних випробувань та дослідження деревостанів за шістьма ознаками (суміш листяних і темнохвойних порід в складі соснових деревостанів, середній діаметр в деревостані, густина, висота і структура підросту, кількість горючих матеріалів) на основі шкал, які встановлюють класи пожежостійкості: I (високий) клас, при якому відмирають менше 25 % дерев після пожежі середньої інтенсивності, II (середній) – відмирають від 26 до 50 % дерев і III (низький), за яким відмирання становить понад 51%.

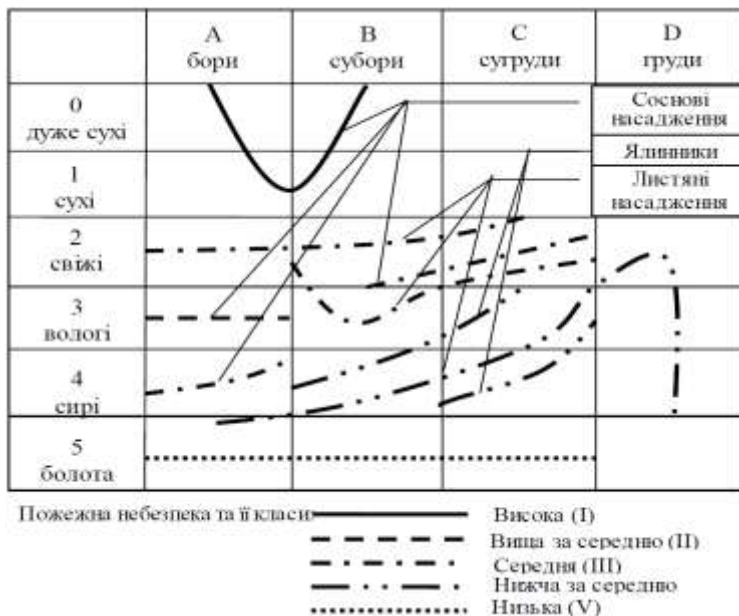


Рис. 1.15. Класи природної пожежної небезпеки В. Є. Свириденка [377] у лісах Українського Полісся, нанесені на едафічну сітку

Але ці ознаки впливають і на пожежну небезпеку. С. Д. Самсоненко [373] розширив кількість факторів, які впливають на пожежостійкість, до 12 та розробив трьохбальну шкалу експертної оцінки за кожним із них. Він враховував: наявність суміші листяних порід у деревостані, вік, повноту, середню висоту, густоту, середній діаметр, середню відстань до крон, давнину останньої пожежі, наявність домішок листяних порід у складі підросту, густоту та висоту підросту і запас горючих матеріалів. Найбільше впливають на зменшення стійкості насаджень до дії пожеж відсутність або мала кількість листяних порід у деревостані, незначна давність останньої пожежі, відсутність домішок листяних порід в підрості та значний запас лісових горючих матеріалів. Подібний підхід застосовано Л. П. Золотухіною [123] для оцінювання природної пожежної небезпеки з використанням лісотаксаційних даних. Вхідною інформацією є 11-вимірний вектор з компонентами: категорія земель, вік насадження, тип ґрунтового покриву, експозиція і ухил місцевості, переважаюча порода дерев, супутня порода дерев, повнота, наявність пожежонебезпечного підросту, наявність пожежонебезпечного сухостою, наявність пожежонебезпечного підліска, наявність захламленості. Врахування лісотаксаційних даних для оцінювання пожежної небезпеки здійснював також П. А. Єгармін [99, 100], який розглядав їх пірологічну значимість.

Таким чином, основою визначення природної пожежної небезпеки є лісівничо-типологічні підходи з урахуванням різноманітних характеристик фітоценозів та природно-кліматичних особливостей. Едафо-кліматичну сітку слід застосовувати для оцінювання природної пожежної небезпеки. Пожежостійкість лісових насаджень пов'язана з природною пожежною безпекою, а методи її визначення можуть застосовуватися і для лісотипологічних систем оцінювання природної пожежної небезпеки.

1.5. Пожежна небезпека лісів за умовами погоди

Пожежна небезпека лісів залежить не лише від їх природних особливостей, але і від умов погоди, які сформувалися в певному місці протягом певного часу. Навіть у лісах з низьким рівнем природної пожежної небезпеки тривалий вплив високих температур повітря та низької відносної вологості призводить до збільшення ризику виникнення пожежі. Це пов'язане переважно зі зміною займистих властивостей лісових горючих матеріалів, спричинену втратою вологи. На залежність вологості горючого матеріалу від відносної вологості повітря вказував І. С. Мелехов [271] (табл. 1.8).

**Залежність вологості листяної підстилки
від вологості повітря [271]**

Час спостережень, година	Вологість листяної підстилки, %	Відносна вологість повітря, %
8	14,6	50
11	11,3	36
14	4,0	29
17	12,9	36

Зміна вологості горючого матеріалу відбувається по-різному в живих рослинах і в опалих рештках. Тривала посуха зменшує кількість вологи, яка надходить до рослин з ґрунту та інтенсифікує випаровування. Це приводить до висихання трав'яних рослин, листя на деревах і чагарниках. Опад та підстилка за умов посухи також швидко висихають. У сухому стані займання може відбутися навіть від малопотужного джерела запалювання. Сухі лісові горючі матеріали є добрими провідниками вогню.

Для встановлення залежності пожежної небезпеки від умов погоди використовують різноманітні шкали. Найпоширенішою є методика В. Г. Нестерова [297] у вигляді шкали, за якою визначають небезпеку на основі комплексного показника в залежності від погодних факторів (рис. 1.16). Для визначення пожежної небезпеки за умовами погоди обчислюють комплексний показник пожежної небезпеки Γ за формулою

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n d_i t_i, \quad (1.4)$$

де d_i – дефіцит вологи, Па, t_i – температура, визначені в i -й день о 12 год, °С, n – кількість днів без дощу.



Рис. 1.16. Структура комплексного показника пожежної небезпеки В. Г. Нестерова [297]

Враховуючи складність визначення дефіциту вологи Гідрометцентром методика В. Г. Нестерова модернізовано, а показник Γ виражено формулою

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n (t_i - t_{d_i}) t_i, \quad (1.5)$$

у якій замість дефіциту вологи використано різницю між температурою t_i , визначеною в i -й день о 12 год, та температурою точки роси t_{d_i} , °С [349]. Також допускаються невеликі опади (до 20 мм), за яких використовують формулу

$$\Gamma_i = K\Gamma_{i-1} + t_i(t_i - t_{d_i}), \quad (1.6)$$

у якій коефіцієнт опадів K встановлюється в залежності від кількості опадів за табл. 1.9 [377].

Таблиця 1.9

Значення коефіцієнта опадів для кількості опадів за поточний день [377]

Опади, мм	0	0,1-0,9	1,0-2,9	3,0-5,9	6,0-14,9	20,0
Коефіцієнт опадів K	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0

За показником Γ визначають клас пожежної небезпеки (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Шкала Нестерова для визначення пожежної небезпеки за умовами погоди

Клас пожежної небезпеки	Пожежна небезпека	Межі комплексного показника	
		За Нестеровим [297]	За Положенням «Про лісові пожежні станції» [349]
I	Відсутня	<300	<400
II	Мала	301-1000	401-1000
III	Середня	1001-4000	1001-3000
IV	Висока	4001-10000	3001-5000
V	Надзвичайна	10001-12000	>5000

М. А. Софронов та ін. [386] наводять інші значення коефіцієнта опадів K та шкалу для його визначення за семантичними описами прогнозів погоди (табл. 1.11), а також здійснюють порівняльний аналіз показників пожежної небезпеки: В. Г. Нестерова у модифікації Гідрометцентру; ПВ-1 (ЛенНДЛІГ) та ПВГ, який враховує гігроскопічність матеріалів. Оскільки обчислення комплексного показника здійснюють

на основі спостережень о 12 год., а дані потрібні зранку, коли планується лісгосподарська діяльність, тому показник пропонують удосконалити, ввівши замість нього ПВ-1. Обчислення показника ПВ-1 здійснюють вранці о 8-9 год. за формулою

$$\text{ПВ-1}_i = [\text{ПВ-1}_{i-1} + t_{i-1}(t_{i-1} - t_{di-1})] \cdot K \quad (1.7)$$

на основі даних про кількість опадів за минулу добу, значень температури та точки роси, визначених попереднього дня о 15-16 год.

Таблиця 1.11

Визначення коефіцієнта опадів за семантичною характеристикою [386]

№ п/п	Характеристика опадів	Опади, мм	Коефіцієнт опадів <i>K</i>
1.	Слабкі дощі (Невеликі дощі, слабкі з мрякою, короточасні, часом слабкі, включаючи слова "місцями", "в окремих районах")	до 2	0,8
2.	Помірні дощі (дощ із мрякою, включаючи слова "місцями", "в окремих районах")	2-5	0,4
3.	Дощова погода (зливи)	5-12	0,2
4.	Сильні дощі (сильні зливи, дуже сильні зливи)	понад 12	0,1

Показники В. Г. Нестерова у модифікації Гідрометцентру та ПВ-1 (ЛенНДЦЛГ) не цілком точно враховують реальні умови, оскільки базуються на визначенні кількості води, яка випарувана з вільної водної поверхні, а не з лісового горючого матеріалу. У зв'язку з цим М. А. Софронов та ін. [386] пропонують застосовувати показник пожежної безпеки ПВГ за формулою

$$\text{ПВГ}_i = [\text{ПВГ}_{i-1} + (t_{i-1} + 10^\circ)(t_{i-1} - t_{di-1} - 5^\circ)] K. \quad (1.8)$$

Відомі й інші спроби уточнення комплексного показника пожежної безпеки. Зокрема, у Росії для лісів Хабаровського краю Гідрометцентром окрім температури, точки роси та опадів запропоновано використовувати коефіцієнт, який враховує швидкість вітру [275, 375].

Погодні умови не завжди однаково впливають на пожежну небезпеку, яка залежить і від клімату. З метою удосконалення методики визначення пожежної безпеки за умовами погоди використовують районовані шкали [226, 41, 384, 428, 228]. Їх введення базується на зміні діапазонів значень комплексного показника для відповідних класів пожежної безпеки (дві шкали наведено у табл. 1.10). Інтервали встановлюють

на основі статистики пожеж та відповідних значень комплексного показника для кожного з районів. У процесі розроблення місцевих шкал беруть до уваги не лише кліматичні особливості, але і близькість до населених пунктів, наявність мережі доріг та ін. Незважаючи на значні відмінності пожежонебезпеки, в Україні місцеві шкали не застосовуються.

Не затверджено в Україні й офіційної методики обчислення показника пожежної небезпеки за умовами погоди, хоча поняття класу пожежної небезпеки за умовами погоди наведене у Положенні про лісові пожежні станції [349], згідно з яким клас пожежної небезпеки за умовами погоди – це показник, що визначається з урахуванням температури повітря і кількості опадів за останні три доби, характеризує ступінь імовірності виникнення лісових пожеж. Відповідна шкала дещо відрізняється від запропонованої В. Г. Нестеровим (див. табл. 1.10), але у [349] не наведено формули комплексного показника. За шкалою [349] складають карти прогнозів пожежної небезпеки в лісах України [335, 353], а комплексний показник обчислюють за формулою (1.5).

М. В. Жарикова [106] з метою розробки карт пожежної небезпеки пропонує об'єднати природну пожежну небезпеку та пожежну небезпеку за умовами погоди, ввівши комплексний показник, який враховував би небезпеку різних показників як природної небезпеки, так і небезпеки за умовами погоди. Проте не вказано, які саме фактори слід враховувати і з якими ваговими характеристиками вони повинні входити у комплексний показник.

Таким чином, актуальним завданням є удосконалення методу визначення пожежної небезпеки за умовами погоди на основі комплексного показника В. Г. Нестерова та розроблення інших методів, які базуються на фізичних засадах.

1.6. Зарубіжні системи визначення пожежної небезпеки лісів

Серед зарубіжних методик найбільшого поширення набули канадська та американська системи визначення пожежної небезпеки, які поєднують визначення небезпеки за умовами погоди та природної пожежної небезпеки [166].

Найбільш відомою є Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) [480] (рис. 1.17), яка базується на визначенні Forest Fire Weather Index (FWI) [551], Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System та Forest Fire Occurrence Prediction (FOP) System [550].



Рис. 1.17. Структура Канадської системи визначення рівня пожежної небезпеки лісів (CFFDRS) [480]

Найосновнішим складником CFFDRS є FWI, обчислення якого базується на даних метеорологічних спостережень (рис. 1.18).



Рис. 1.18. Структура Лісового погодного пожежного індекса (FWI) [551]

Цей показник широко застосовують не лише в Канаді, але і в низці країн Європи, Новій Зеландії та інших країнах світу. Вхідною інформацією для визначення FWI є дані метеорологічних спостережень: температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру, визначені в полудень та опади дощу протягом доби. Окрім самого індекса система визначає й інші параметри, важливі для оцінювання рівня пожежної небезпеки: коди вологості палива та лісової підстилки, код посухи, початковий індекс поширення та накопичувальний індекс. Для визначення кодів та індексів додатковим вхідним параметром (не зображений на рис. 1.18) є місяць року, від якого залежить тривалість світлової частини доби та деякі характеристики підстилки.

Коди та індекси, необхідні для визначення FWI, обчислюють за відповідними емпіричними формулами, отриманими за результатами польових і лабораторних досліджень. Для спрощення обчислень створено відповідні таблиці, а також низку комп'ютерних програм, наприклад [502].

Подібною до канадської системи є National Fire Danger Rating System (NFDRS) (рис. 1.19), розроблена у США [531]. Її структура є дещо складнішою у порівнянні з FWI та потребує вхідних даних про погодні умови не лише в момент спостережень, але і максимальну та мінімальну температуру за останню добу. На відміну від канадської, система потребує метеорологічних даних про хмарність і рівень світлової активності. NFDRS використовує топографічні дані, а також враховує людський ризик. У цій системі, на відміну від канадської не виділяється окремо показник – аналог FWI.

Аналіз застосування канадської та американської систем для різних кліматичних зон і материків здійснили Fujioka та ін. [491], встановивши залежності пожежної небезпеки лісів від складових цих систем.

Застосування американської та канадської систем на практиці є досить складним (у порівнянні з вітчизняними шкалами) через значну кількість параметрів. Проте обидві системи досить точно визначають рівень пожежної небезпеки лісів за метеорологічними даними, а також з урахуванням рельєфу місцевості, блискавок, видів горючого матеріалу та ін.

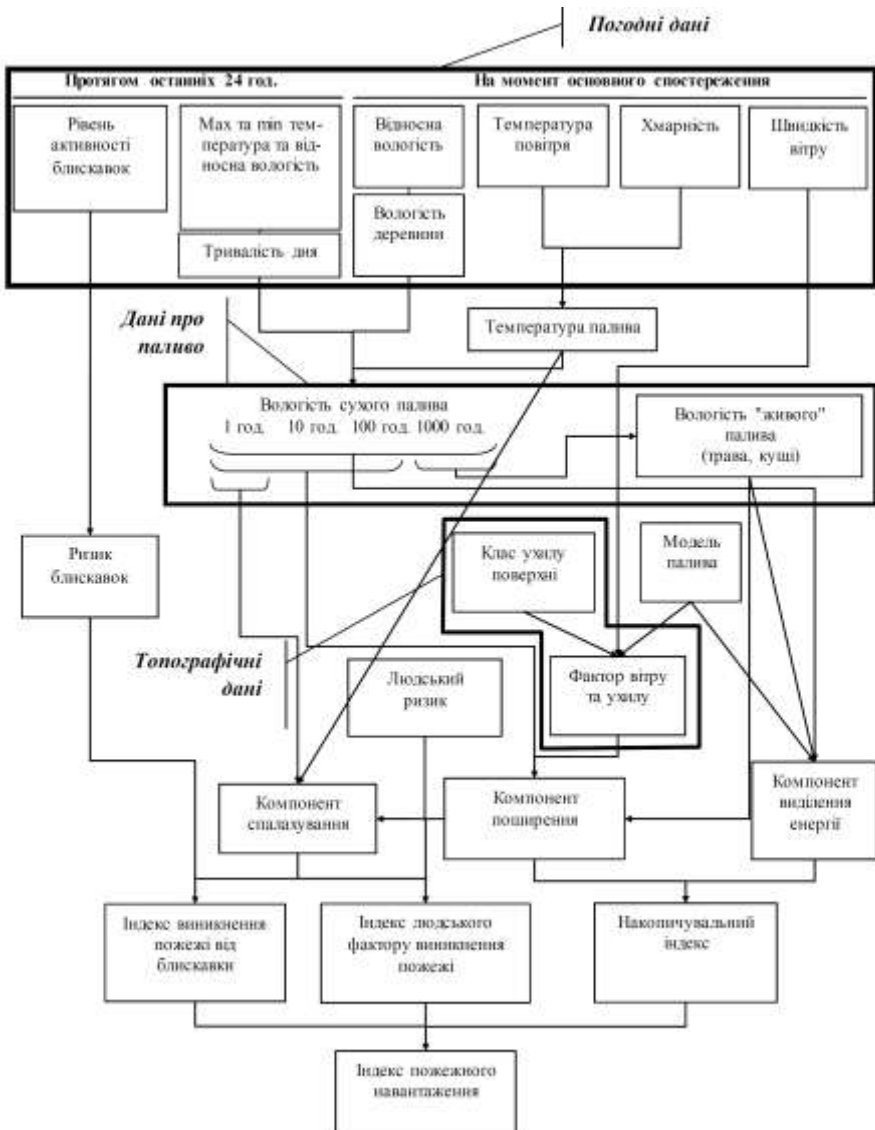


Рис. 1.19. Структура Національної системи визначення рівня пожежної небезпеки (NFDRS) (США) [531]

Зарубіжні методики, як і вітчизняні, мають спільні недоліки, які впливають на точність визначення рівня пожежної небезпеки, а саме:

використовують значення температури та відносної вологості повітря, виміряні один раз на добу (близько полудня). Але протягом доби метеорологічні умови можуть різко змінюватися, впливаючи на процеси займання, розвитку й поширення вогню.

Отже, за умов високого рівня пожежної небезпеки актуальним завданням є моніторинг пожежонебезпечного стану не лише з добовим періодом, але і упродовж доби.

1.7. Моделювання лісових пожеж та пожежної небезпеки

Ліс – це складна екологічна система, для дослідження якої застосовують різноманітні моделі [187], які поділяють на матеріальні та ідеальні. Матеріальною моделлю у лісівництві є пробна ділянка лісу, вибрана (створена) з метою різноманітних досліджень. На пробній ділянці можна проводити дослідження пожежної небезпеки, зокрема відпал, а результати поширювати на більші території лісу. Van Wagner [552] описав результати досліджень пожеж лісів у природних умовах, та навів їх основні параметри. Але дослідження, пов'язані з вогневими випробуваннями, вимагають значних затрат і становлять небезпеку. Тому процеси виникнення та поширення лісових пожеж вивчають на зменшених моделях [74] не лише на відкритих ділянках, але і в лабораторних умовах [462, 561]. Такі моделі дають змогу визначати вплив різноманітних факторів на швидкість поширення вогню. Недоліком зменшених моделей є складність масштабування результатів та неможливість повноцінно дослідити перехід низової пожежі у верхову, виникнення вогняних смерчів, конвекційних колонок та ін. Тому дослідники застосовують теоретичні моделі.

Моделі, які застосовують для визначення пожежної небезпеки, поділяємо на дві групи: пов'язані з лісовими пожежами та пов'язані з середовищем лісу, але придатні для оцінювання пожежної небезпеки. До першої групи відносимо моделі пожежонебезпечного стану лісу, займання горючих матеріалів і поширення пожежі. Проте у них не завжди враховують зміни в середовищі лісу, пов'язані з екологічними процесами. Для їх врахування з огляду на пожежну небезпеку слід застосовувати екологічні моделі, які дозволяють оцінити динаміку запасу і властивостей горючих матеріалів та ін.

Значна кількість моделей дозволяє виявити пожежонебезпечний стан і попередити виникнення пожежі у лісі. До них належать описані раніше вітчизняні та зарубіжні системи визначення пожежної небезпе-

ки за умовами погоди. Огляд таких моделей здійснив R. O. Weber [554], поділяючи їх на статистичні, емпіричні та фізичні. Статистичні моделі базуються на залежностях, отриманих виключно на основі досліджень тестових пожеж, та використовуються для визначення швидкості їх поширення. До них належать і моделі, побудовані на принципі клітинних автоматів і перколяції. Основою емпіричних моделей є принцип накопичення енергії, який не розрізняється серед моделей теплопровідності, а фізичні моделі описують процеси теплопровідності. Weber виділяє статистичну модель Мак-Артура і Нобеля для визначення коефіцієнта пожежної небезпеки та швидкості поширення пожежі. Недоліком цієї й низки інших статистичних моделей є застосовність для конкретного однорідного горючого матеріалу та природно-кліматичних умов.

На поширення пожежі впливає низка факторів [94, 377]: характеристики горючого матеріалу і фактори навколишнього середовища. Проблема поширення лісових пожеж присвячено роботи [72, 84, 91, 92, 554 та ін.]. Проте у них недостатня увага приділяється еколого-просторовим особливостям лісів, зокрема, не враховується неоднорідність насадження. Але ліси характеризуються складною просторовою структурою, зумовленою впливом різноманітних зовнішніх і внутрішніх факторів [232]: нерівномірністю та неоднорідністю рослинного покриву, відмінностями його фізичного стану, повнотою, густотою насаджень, а також впливом навколишнього середовища на властивості горючих матеріалів. Неоднорідність вертикальної структури лісу зумовлює перехід пожеж у верхові. В умовах рельєфу та гірської місцевості [205, 208] специфічним є характер поведінки пожежі, яка залежить від вітру, взаємного розташування дерев, зокрема їх крон, ухилу місцевості, експозиції та ін.

До моделювання процесу поширення лісової пожежі найчастіше застосовують точковий і хвилевий підходи. Точковий підхід розглядає поширення пожежі з кожної точки на сусідні, розташовані, як правило, в центрах клітин ґратки з урахуванням швидкостей поширення пожежі в кожному з восьми напрямків (Ntaimo та ін. [498]). Хвилевий підхід моделює межу полум'я з точки зору її форми як кривої (Басманов та ін. [20]). Громіздким є підхід Г. О. Доррера та ін. [92] до моделювання поширення пожежі на основі динамічного програмування.

Моделювання поширення пожеж на площині здійснюють на принципах теорії клітинних автоматів, Гюйгенса-Френеля і фільтрування. До таких моделей відноситься FARSITE [488, 489], яка врахо-

вує умови середовища, вид горючого матеріалу, а також геометричні параметри лісу (рис. 1.20). Більшість моделей передбачають однорідність середовища, проте ліс переважно є неоднорідним, що враховує модель EMBYR [543].

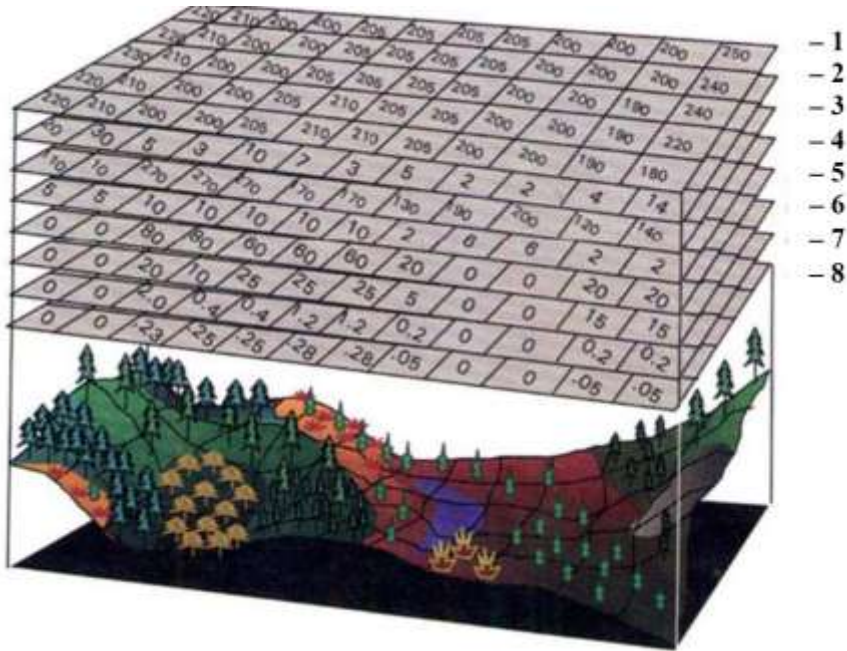


Рис. 1.20. Вхідні дані для програми FARSITE [488]:

- 1 – висота над рівнем моря; 2 – ухил; 3 – напрямок ухилу; 4 – модель палива;
- 5 – проективне покриття крон; 6 – висота крон;
- 7 – висота до нижніх гілок крон; 8 – щільність крон

Найбільшого поширення набула модель R. C. Rothermel [538], яка охоплює випадки поширення пожежі горизонтальною поверхнею та під кутом, з урахуванням та за відсутності вітру (рис. 1.21). На її основі створені моделі А. А. Тарасенка [405], J. H. Scott [542] та ін. На важливість врахування особливостей поведінки лісових пожеж для боротьби з ними вказав М. Е. Alexander [460].

До емпіричних R. O. Weber відносить моделі, побудовані на принципі збереження енергій, але які не належать до моделей поширення тепла. Такі моделі використовують параметри, які визначаються експериментальним шляхом і характеризують горючий матеріал.

Більшість фізичних моделей базується на закономірностях тепломасоперенесення, описаних рівняннями математичної фізики.

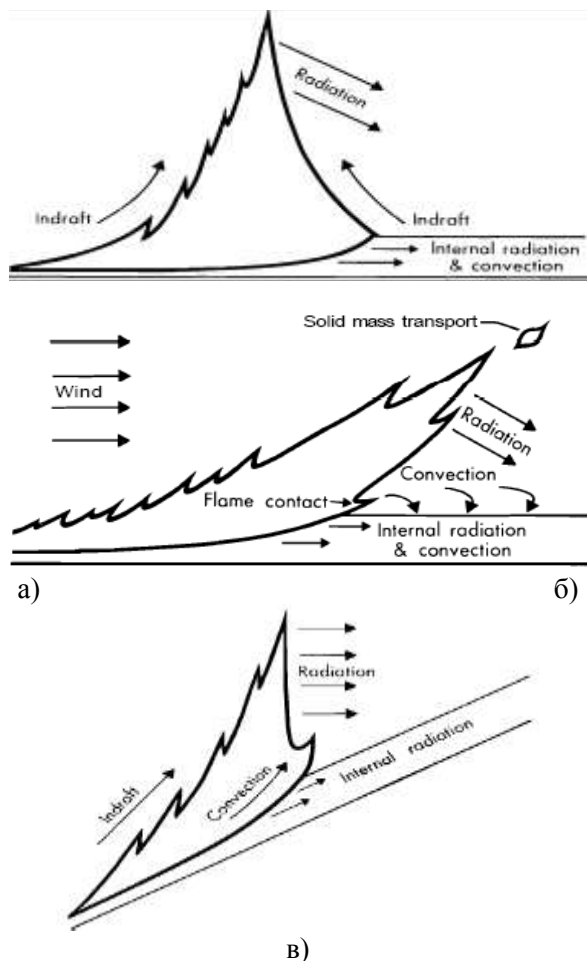


Рис. 1.21. Способи поширення пожежі (Rothermel [538]):
 а – горизонтальною поверхнею; б – горизонтальною поверхнею під дією вітру; в – нахиленою поверхнею

Класифікації моделей здійснювали й інші науковці. Наприклад, Н. С. Не [510] сформулював основні критерії до класифікації. Відповідно до характеру та практичного застосування моделей вони класифікуються як теоретичні, стратегічного планування і специфічні тактичні.

Заслугує уваги огляд моделей поширення лісових пожеж А. М. Гришина [72, 74], який розподіляв моделі на 4 групи: прогнозування швидкості поширення лісової пожежі, прогнозування контурів лісової пожежі, характеристик перебігу процесів тепломасоперенесення та загальні математичні моделі, які враховують всі характеристики (швидкість поширення, контур пожежі, температурні поля, поля концентрацій компонентів і швидкостей) як у фронті, так і в зоні лісової пожежі. Гришин [74] ввів поняття трьох поколінь загальних математичних моделей. Перше покоління моделей розглядало ліс як пористодисперсне середовище, а його основу – як недеформівне тверде тіло. Моделі другого покоління додатково розглядали процеси, які супроводжують лісові пожежі – задимленість, конденсацію вологи та виникнення штучних опадів. Третє покоління моделей враховувало процеси турбулентного тепломасоперенесення, наслідком яких є коливання елементів рослин. Гришин не лише класифікує, але й створює різноманітні моделі [69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 446] та ін. Подібні моделі описані в роботах О. А. Кулешова [224], К. Зеленського та ін. [117], А. І. Фількова [425], Д. М. Бурдасова [36] (степові пожежі), В. О. Ліщини [245] (верхові пожежі). Модель Л. Ю. Катаєвої та ін. [135] враховує випромінювання від факела полум'я, але не враховує його форми. Інші моделі, зокрема, О. М. Суботіна [400, 401], це враховують. Проте більшість таких моделей через спробу повністю описати процес поширення пожежі у багатофазному неоднорідному середовищі потребує врахування багатьох факторів, що зумовлює велику кількість параметрів, ускладнює знаходження розв'язку, а тому обмежує їх практичне застосування. Тому на практиці моделі спрощують. Але значне спрощення може призвести до неадекватного відображення процесів під час пожежі.

Для боротьби з лісовими пожежами, окрім запобігання та виявлення різноманітними методами [215], у випадку виникнення здійснюють гасіння [92, 303, 351, 349, 124, 203, 407]. З цією метою створюють системи підтримки прийняття рішень керівника гасіння пожежі на основі моделювання поширення лісової пожежі. Моделі А. О. Семенова та ін. [260], В. О. Миронова та ін. [282] допомагають вирішувати тактичні задачі пожежогасіння.

Теоретичні моделі поширення пожеж реалізовано у низці комп'ютерних програм. Вітчизняні програми описані в роботах А. Е. Басманова та ін. [20], А. А. Тарасенка [405], О. М. Дигала [84], Ю. О. Абрамова та ін. [3]. Г. О. Доррер [91] описує російські програми "Тай-

га-2", "Лесопирологические учения", "Система планирования тушения лесных пожаров". Заслуговує уваги програма «Тайга-2», яка дозволяє моделювати не лише процеси поширення пожеж, але й природну пожежну небезпеку та небезпеку за умовами погоди, планувати гасіння пожеж. Проте у більшості моделей не враховано перехід пожежі від низової до верхової форми.

Серед зарубіжних моделей заслуговують уваги BehavePlus [463], FlamMap [487] та описана вище FARSITE [488]. BehavePlus моделює розвиток пожежі, ефекти, які її супроводжують, і середовище, у якому поширюється пожежа. FlamMap відображає розвиток пожежі на карті та здійснює її аналіз. Вона використовує двовимірні дані про горючий матеріал, погоду, розраховує час поширення пожежі та оцінює пожежний ризик. FARSITE симулює поведінку пожежі з урахуванням рельєфу на основі даних про ліс і погоду.

Останні декілька років активно розвивається фізична модель поширення лісових пожеж WFDS, розробником якої є група, яку очолює W. Mell [520]. Вона є розширенням відомої моделі поширення пожеж FDS [492], яка широко застосовується для моделювання різноманітних пожеж всередині й зовні приміщень. У WFDS рослинний горючий матеріал з відповідними фізичними властивостями формується з часток Лагранжа, є можливість задавати погодні умови, джерело запалювання. Візуалізація процесу моделювання відбувається в програмі Smokeview, а числові результати зберігаються у спеціальному файлі. Описано приклади застосування цієї моделі для різних випадків поширення лісових та трав'яних пожеж [519]. Недоліком WFDS є складність формування об'єктів, які досліджуються, оскільки вхідним файлом є текстовий файл. Існують сторонні розробки, які дають можливість спростити процес створення вхідного файлу з використанням автоматизованої візуалізації, проте вони стосуються об'єктів неживої природи, а рослинний горючий матеріал доводиться задавати вручну. Автор та В. І. Товарянський провели валідацію моделі WFDS для лісової пожежі в соснових молодняках [413] та дослідили процеси поширення пожеж в штучних соснових насадженнях віком до 40 років з урахуванням росту, самозрідження та самоочищення нижніх гілок за різних швидкостей вітру [414]. Оскільки WFDS використовує чисельні методи розв'язування системи диференціальних рівнянь в часткових похідних на сітці з відстанню між вузлами 0,05-0,1 м, процес моделювання потребує значних обчислювальних ресурсів навіть для невели-

ких ділянок. Тому для прискорення обчислень доцільно розпаралелювати обчислення, застосовуючи обчислювальні кластери.

Перспективними методами моніторингу та прогнозування пожежної небезпеки лісів є дистанційне зондування Землі, теоретичні основи якого описали Е. С. Salinero та ін. [541] і М. Mycke-Dominko [530]. У низці вітчизняних та зарубіжних праць [58, 80, 111, 276, 309, 351, 409, 518, 537 та ін.] описано різноманітні методи розпізнавання типів лісової рослинності й визначення вуглецевого балансу на основі знімків космічних апаратів з використанням нормалізованого вегетаційного індекса (NDVI), індекса листової поверхні (LAI), емпіричних та кореляційних методів. Аналогічні дослідження проводяться з використанням як пілотованих, так і безпілотних літальних апаратів [125, 464, 537 та ін.]. Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля [335] розробляє низку карт: карти пожежної небезпеки за умовами погоди, нормалізованого диференційованого індексу вологи NDWI, нормалізованого вегетаційного індекса NDVI та теплових аномалій. Для прогнозування пожежної небезпеки цю інформацію потрібно об'єднати з лісотаксаційними даними, що пропонують В. І. Мокрий і В. П. Кучерявий [286], Л. І. Муравський та ін. [399], В. В. Кошовий та ін. [389]. Результати поєднання даних польових досліджень та із супутників Землі наводять S. Halldin та ін. [483]. З 2007 року в Україні розпочато розробку ГІС лісотаксаційних даних [267].

Не виявлено вітчизняних програм, які одночасно оцінюють природну пожежну небезпеку та небезпеку за умовами погоди. У Росії такими є "Система оцінювання природної пожежної небезпеки лісів", "Система оцінювання поточної пожежної небезпеки" та комплекс програм для оцінювання пожежної небезпеки і параметрів пожеж за космічними знімками [91]. У США програми FireFamilyPlus та Wildland Fires Assessment System (WFAS) [488] дають можливість встановити небезпеку виникнення пожежі на основі аналізу природних умов, погоди і антропогенного ризику. Новозеландська програма [502] визначає FWI та відображає результати на карті, визначаючи пожежну небезпеку лише на ділянці метеорологічних спостережень і не враховуючи структури лісу.

Німецька модель LPJ-DGVM містить пожежний модуль GlobFIRM, який здійснює моделювання тривалості пожежонебезпечного сезону на основі ймовірності виникнення пожежі протягом кожного дня, а також визначає площу, пройдену пожежами, як функцію тривалості пожежонебезпечного сезону [547]. Інший пожежний модуль RegFIRM [544] визначає показник пожежної небезпеки на основі модифі-

кованого комплексного показника Нестерова, враховує людський фактор та моделює поширення вогню. Обидва модулі використовують дані про рослинність. Недоліком моделі є розгляд пожежної небезпеки лише на макрорівні (10-100 км).

В. Е. Ходаков та ін. [430] здійснюють моделювання лісових пожеж і їх ліквідації методами системного аналізу. Їх підходи здебільшого формалізовані та недостатньо враховують фізичні й екологічні процеси. Моделювання як елемент дослідження пожежної небезпеки лісів здійснює і П. А. Цветков [432].

Деякі моделі описують процес висушування лісового горючого матеріалу. Е. В. Конєв [146] запропонував модель контролю пожежної небезпеки у лісі на основі рівнянь дифузії вологи всередині горючого матеріалу і рівняння теплового балансу, проте без урахування добових коливань вологості та опадів.

М. В. Барановський і Г. В. Кузнєцов [17, 219] здійснили математичне моделювання процесу запалювання шару лісового горючого матеріалу сфокусованим потоком сонячного випромінювання та встановили, що нижньою межею теплового потоку, який спричиняє запалювання, є 15 кВт/м^2 . Ці результати є близькими до експериментальних, отриманих Г. І. Касперовим та ін. [134]. Зроблено гіпотезу про можливість займання від сонячного випромінювання, сфокусованого краплями смоли, пляшками з водою та ін.

Серед теоретичних екологічних моделей розвитку лісу і його компонентів під дією різноманітних чинників найчастіше зустрічаються математичні та імітаційні. Лісові моделі [500] поділяють на емпіричні, екологічні, процесуальні та гібридні. Емпіричні моделі базуються на статистичних закономірностях, отриманих на основі експериментальних даних. За їх допомогою описують ріст і врожайність лісів. Такі моделі широко застосовують у лісгосподарській практиці. Основним їх недоліком є можливість застосовування лише в певних діапазонах умов. Екологічні моделі враховують взаємодію окремих елементів екосистеми та використовуються для довгострокового передбачення розвитку лісів і їх компонентів: зростання, зміни просторової структури, відмирання тощо. Основою таких моделей є біофізичні параметри взаємодії та конкуренції між окремими складовими. Екологічні моделі є зручними для відображення різноманітних впливів на лісову динаміку. В окремих випадках їх можна застосовувати і для оперативних прогнозів результатів різноманітних впливів. Процесуальні моделі базуються на певному процесі (біогеохімічному, фізичному чи механістичному), пов'язаному з розвитком рослин та їх функціями (диханням, фотосинтезом, накопи-

ченням поживних речовин, ростом). Такі моделі відтворюють вплив на розвиток рослин різноманітних зовнішніх факторів: зміни клімату, забруднення довкілля, зростання концентрації вуглекислого газу та ін. Процесуальним моделям, незважаючи на їх наближеність до реальних процесів, властиві недоліки, пов'язані з великою кількістю вхідних даних, необхідністю масштабування результатів, що призводить до помилок, оскільки дерево або деревостан не є механічною сумою компонентів, неможливістю врахування всіх факторів впливу, складністю перевірки та неможливістю використання лісотаксаційних даних. Гібридні моделі побудовані на основі злиття емпіричних і процесуальних моделей, що сприяє кращому опису явищ та процесів у лісі. Проте і таким моделям властиві недоліки: недостатньо детальний опис динаміки, недостатня точність вихідних даних і прогнозів, неврахування ризиків природних явищ, неврахування якості лісової продукції, естетичної та рекреаційної цінності лісів.

Пожежну небезпеку лісу характеризує запас горючих матеріалів, який оцінюють за таблицями ходу росту [300] або за моделями (Швиденко та ін. [526]). Визначенню фітомаси окремих компонентів лісу присвячено низку праць [238, 239, 240, 280, 281, 374, 383, 514, 515, 516, 557] та ін. З допомогою емпіричних моделей визначають фітомасу окремих порід [239, 240, 514, 515, 516] та вміст депонованого вуглецю [42, 235, 236, 379, 409, 515]. Менше вивченим є запас фітомаси чагарників і трав'яних рослин лісів, які оцінювали А. З. Швиденко та ін. [437]. П. І. Лакида [237] оцінював запас журавлини. П. М. Мазуркін та ін. [253] визначали фітомасу боліт, ялинників і березняків. Визначений запас фітомаси Е. Н. Сочилова та ін. [387] використали для картографування. Оцінювання емісії вуглецю внаслідок пожеж здійснили Д. В. Ершов та ін. [104].

Структуру лісової підстилки в листяних насадженнях вивчала Н. В. Жицька [108]. Динаміку енергетичного потенціалу підстилки оцінювали Я. П. Дідух та ін. [86], І. Г. Вишенська та ін. [44, 341]. Опад і лісову підстилку в умовах Малого Полісся досліджував В. І. Парпан [315]. О. А. Дидур [85] встановив, що із збільшенням тривалості розкладу опадів вільхи та дуба у ґрунті зростає обсяг обмінного кальцію, що надає можливість оцінити пожежну небезпеку лісів за часом мінералізації опадів та збереженням його горючих властивостей. У мішаних лісах маса опадів більша, ніж у чистих соснових, проте за рахунок наявності в активній фазі листя він мінералізується швидше, ніж лише з самої хвої [459].

Динаміку розвитку лісових масивів описують комплексні екологічні моделі (Комаров та ін. [126], Козак та ін. [143], Botkin та ін. [470]). Найпоширенішою є модель JABOWA (Botkin та ін. [470, 512]), яка моделює ріст окремих дерев, зміни клімату та погоди та впливи лісівничих заходів. За допомогою екологічних моделей реалізують й інші задачі, наприклад, моделюють галявини за допомогою моделей ZELIG і NE-TWIGS (Yaussy [560]), лісові ландшафти – LANDIS (Mladenoff [524]). Деякі моделі забезпечують визначення потоків вуглецю, води та поживних речовин у лісовому середовищі (Landsberg та ін. [485]). Модель S. V. Ollinger та ін. [533] обчислює водний і вуглецевий баланс на рівні деревостану, відслідковуючи щомісячні зміни. Серед вітчизняних моделей таку можливість надає FORKOME (Козак та ін. [143]), яка в порівнянні з JABOWA дає кращу візуалізацію, забезпечує можливість спостерігати за розвитком ділянки лісу та визначити окремі її параметри. В основу FORKOME покладено емпіричні, фізичні залежності та принцип клітинних автоматів [144].

Описані вітчизняні й зарубіжні моделі є або дуже складними, або дають переважно загальне уявлення про процеси, пов'язані з пожежною безпекою лісів, не враховують їх типу та структури, не забезпечують можливості моделювання впливу лісівничих заходів на пожежну небезпеку. Тому актуальним є створення і удосконалення математичних моделей лісових пожеж і різноманітних фізичних процесів, які призводять до їх виникнення та супроводжують розвиток. Такі моделі повинні бути наближеними до реальних умов, враховувати найістотніші фактори, які впливають на поведінку пожежі, зокрема погодно-кліматичні умови і просторові особливості фітоценозу.

1.8. Вплив пожеж на ліс, довкілля та лісівничу діяльність

Під час розгляду питань пожежної безпеки лісів поряд із різноманітними факторами, які впливають на процеси виникнення та поширення пожеж, актуальними є дослідження впливу пожеж на середовище лісу, зокрема, його пожежну небезпеку та лісівничі заходи на ділянках, які зазнали впливу вогню.

Окрім матеріальних втрат, негативними наслідками лісових пожеж є забруднення навколишнього середовища продуктами горіння, знищення флори і фауни, що призводить у подальшому до зменшення біорізноманіття, небажаних сукцесій та ускладнює діяльність працівників лісового господарства, спрямовану на ліквідацію наслідків пожежі,

лісовідновлення і здійснення заходів, спрямованих на підвищення рівня пожежної безпеки. Продукти горіння під час масштабних пожеж негативно впливають на атмосферні явища. Незважаючи на сприяння виникненню дощу високої температури пожежі, сумарна кількість опадів у роки з підвищеною пожежною активністю зменшується. Внаслідок задимленості під час пожеж не випадає роса, що ускладнює їх гасіння. Висока задимленість знижує діелектричний опір повітря, що призводить до зростання активності блискавок (Теліцин [406]). Але дерева різних порід та їх окремі компоненти мають неоднакову здатність до димовиділення під час горіння та тління (Брюханов та ін. [35]).

Відновлення лісів здійснюється природним, штучним і комбінованим способами. Окрім того, відновлення на згарищах класифікується як наступне (Мовчан [285]). Ю. П. Демаков та ін. [83] розрізняють 4 групи згарищ в залежності від ступеня пошкодження компонентів фітоценозу: деревостани, дуже сильно ушкоджені, на яких знищені вогнем всі насадження; деревостани, які отримали сильні ушкодження, але при цьому залишилися збереженими до 60 % життєздатних дерев; деревостани, незначно ушкоджені, які зберегли понад 60 % дерев; згарища хмизу після торфових пожеж на ґрунтах з надлишком вологи.

У випадку нежиття заходів щодо ліквідації наслідків лісової пожежі відбувається природний процес лісовідновлення, який є довготривалим і багатостадійним. Окрім того, на такій ділянці формуються умови підвищеної пожежної небезпеки. На зростання небезпеки на згарищах вказував І. С. Мелехов [268, 272, 273]. Це зумовлене не лише захаращенням території обгорілими рештками. На ділянках, які зазнали впливу пожеж, спостерігається усихання дерев, яке може становити близько 7-8 % (Ткачук [412]). Усихання дерев супроводжується вітровалами, які призводять до зростання запасу наземного горючого матеріалу, що полегшує перехід пожежі у верхову форму. Звільнені від обгорілих решток території заростають трав'яними рослинами, які до початку та після завершення вегетаційного періоду формують пожежонебезпечний наземний ярус. Виділяють три стадії заростання згарищ: трав'яна, чагарникова та деревна, тривалість яких залежить від природно-кліматичних умов і характеризує процеси відновлення (Подорожний [332]). Ступінь зміни видової структури фітоценозів в результаті сукцесій характеризує пірогенну стійкість рослинних угруповань. Згарища, які межують з полями, можуть заростати однорічними та багаторічними бур'янами з підвищеною насінневою активністю (Курдюкова [229]). За відсутності насінневого деревного матеріалу це

може призвести до заміщення лісових ландшафтів лучними, лучно-степовими або степовими. На згарищах і сусідніх ділянках лісу зростає кількість та активність соснових лубоїдів (Мешкова та ін. [278]; Порохняч [342]), чорних соснових вусачів (Скрильник [382]) й інших шкідників, які ослаблюють дерева та збільшують пожежну небезпеку.

Пожежі лісів призводять до пірогенної деградації ґрунтів (Гаськевич [61]) і змінюють тип лісорослинних умов на відновлених ділянках, що вплине на пожежну небезпеку. Ґрунти стають біднішими і втрачають вологість, що сприяє їх трансформації у борові та суборові типи з меншим індексом зволоження. Після пожежі поверхня ґрунту вкривається попелом і обгорілими рештками, що збільшує ступінь чорноти, інтенсифікує поглинання сонячної енергії та призводить до зростання пожежної небезпеки внаслідок збільшення швидкості висушування наземних горючих матеріалів.

Дослідження на згарищах у Херсонській обл. після пожеж 2007 р. описані у [174, 278, 408], у Чернігівській обл. після пожежі 2008 р. – у [342], в АР Крим після пожежі у 2007 р. – у [327, 421], у Донецькій та Харківській обл. – у [371, 382], Луганській – у [288] та ін. свідчать про складність процесів природного та штучного лісовідновлення на цих територіях, яке вимагає додаткових досліджень і розроблення методів, наприклад, вирощування саджанців із закритою кореневою системою (Шевчук та ін. [441]; Ткач [410]). Складним є відновлення лісів у горах Криму, під час якого на крутих схилах після суцільних рубок готуються невеликі ділянки для саджанців (Плугатар та ін. [327]).

У Малому Поліссі через незначну площу лісових пожеж і їх наслідки процеси лісовідновлення вивчалися недостатньо. М. М. Гузь та ін. [78], С. В. Жмурко [109] досліджували відновлення на згарищах інтродукованої сосни Банкса, яка добре пристосована до умов відкритого оголеного мінерального горизонту ґрунту за умов доброго освітлення.

Процеси природного та штучного лісовідновлення відбуваються по-різному у різних природно-кліматичних зонах, у зв'язку з чим І. М. Жежкун [107] запропонував застосовувати природно-зональний підхід у лісівничій діяльності. Такий же принцип доцільний і при проведенні відновлення лісів після пожеж.

Деякі роботи присвячені впливу соснових деревостанів Полісся на ґрунт відповідно до типів лісу. І. П. Бондар [29] вказував, що при переході від лісів борових типів до дібров одночасно із змінами механічного складу відбувається збільшення гумусу. Виявлено позитивну роль листяних порід у мішаних насадженнях, які підвищують екологі-

чну стійкість ґрунту. У складних триярусних фітоценозах вологість ґрунтів є на 1,3-1,5 % вищою, ніж у чистих, вищою є родючість, а підстилка розкладається швидше (Рибак [361]). Проведення меліорацій на заболочених ділянках підвищує бонітет соснових насаджень. Але він призводить до зміни едафотопів внаслідок зменшення вологості та збагачення ґрунтів (Кичилюк [138]; Ткачук [412]). Гідрологічний режим може порушуватись і внаслідок антропогенних навантажень (Стельмахова [396]). Ці результати можуть бути корисними для розроблення заходів зі зниження пожежної небезпеки насаджень.

Таким чином, лісогосподарська діяльність на ділянках лісу, які зазнали впливу пожеж, здійснюється з урахуванням ступеня ушкодження та вимагає значних матеріальних і людських ресурсів. Одним з основних завдань працівників лісової галузі є зниження рівня пожежної небезпеки, недопущення випадків виникнення пожеж, а на ділянках, які зазнали їх впливу – відновлення лісів і формування насаджень з нижчим рівнем пожежної небезпеки.

Вплив лісової пожежі на сосну звичайну. Дослідженням впливу пожеж на лісові культури присвячено багато робіт. І. С. Мелехов [268] зазначав, що пожежі не завжди повністю знищують дерева, а завдають травм, які ослаблюють дерево, порушують циркуляцію води та поживних речовин, що призводить до подальшого всихання, ураження шкідниками, грибами і загибелі. Найбільш небезпечним є термічний вплив на камбій, який спричиняє його загибель при нагріванні до температури 54-57°C. Найбільше пошкоджується камбій сосни та інших хвойних дерев у молодому віці. У віці понад 50 років вогонь низової пожежі не завдає значних ушкоджень дереву внаслідок наявності товстої кори з низькою теплопровідністю. Огляд впливу вогню на дерева здійснили S. T. Micaletz та E. A. Johnson [523], вказуючи на різноманітні біофізичні аспекти процесів. Огляд досліджень впливу пожеж на соснові насадження, зокрема сосну звичайну зробив Р. М. Fernandes та ін. [495]. Вони стосуються, в основному, залежностей біометричних показників і динаміки усихання насаджень залежно від діаметра та віку. В. В. Фуряєв [427] вказує на вплив нагрівання камбію під час пожежі на фізіологічний стан та життєздатність сосни звичайної та наводить результати полігонних досліджень температури камбію при пожежах слабкої та сильної інтенсивності, які свідчать про збільшення часу нагрівання та зменшення максимальної температури із збільшенням товщини кори. Зокрема, при нагріванні камбію до температури 50°C відбувається порушення фізіологічних процесів, які з часом відновлюються, а при нагріванні до

температури понад 60°C у наступні 2 роки відбувається ушкодження дерева шкідниками і відмирання. Вплив високих температур на процеси дихання стовбура вивчали О. В. Масагіна та ін. [258]. Після пожежі неможливо безпосередньо визначити, до якої температури нагрівся камбій. Тому застосовують методи, за допомогою яких встановлюють інтенсивність пожежі та фізіологічні зміни в дереві.

Інтенсивність пожежі характеризується висотою нагару та згорілим запасом опаду [351]. Про вплив вогню на фізіологічні процеси в дереві свідчать як зовнішні ознаки (всихання хвої, наявність тріщин і прогорань кори), які, зокрема, досліджували Е. S. Menges і М. А. Deугур [521], Ю. В. Плугатар і В. В. Папельбу [327], так і різноманітні показники життєздатності дерева. До таких показників належать електрофізіологічні (імпеданс, поляризаційна ємність прикамбіального комплексу тканин, біопотенціал (Рутковський [365], Криницький та ін. [163, 164, 233], Заїка [112], Карсаєва та ін. [132], Gurovich [508])), термічні (температура камбію, стовбура та температурний градієнт (Радченко [356], Маторкін [265, 266], Бусигін та ін. [37])), біометричні, зокрема, маса хвоїнок, (Криницький та ін. [162]), прирости (Fernandes [495]) та ін. Пожежа впливає на інтенсивність смоловиділення сосни (Lombardero [517]). Проте її наслідки виражаються і в ґрунтових змінах (Certini [474], Краснощеків та ін. [47], Прокушкін та Токарева [355], Цибарт і Геннадієв [434], Макаричев та ін. [343], Rubenacker та ін. [493], та ін.). Під впливом високих температур знищується шар опаду, підстилки та гумусу, зазнає змін гідрологічний режим, підвищується рівень рН, змінюється видовий склад і рясність трав'яних рослин. Вивченню впливу пожеж на мікробіологічні властивості ґрунтів присвячено роботи А. В. Богородської та ін. [27], S. C. Hart та ін. [536]. Вплив ґрунту на родючість трав'яної лісової рослинності ретельно досліджував Л. О. Карпачевський [130]. Ці зміни також впливають на зростання дерев, а тому повинні враховуватися при дослідженні впливу пожеж на їхній життєвий стан. Флористичні зміни досліджували М. R. Nunez та ін. [497], а зміни природного лісовідновлення після пожеж – L. S. Barden і F. W. Woods [466], М. Hancock та ін. [546].

Оскільки зміни фізіологічного стану дерев внаслідок різноманітних пошкоджень відбуваються значно раніше, ніж виявляються за зовнішніми ознаками і біометричними показниками, актуальним є застосування методів ранньої діагностики таких змін для дерев, які зазнали впливу пожежі, з метою визначення їх життєздатності.

Висновки до розділу 1

1. Статистика лісових пожеж у світі, Україні та Львівській обл., значна частина рівнинної території якої відноситься до Малого Полісся, свідчить про невирішеність проблем, які стосуються лісових пожеж.

2. Пожежна небезпека лісового горючого матеріалу зумовлена його видом, хімічною структурою, фізичними характеристиками, зокрема вологістю, і формується в середовищі лісу радіальними та латеральними потоками під впливом едафо-кліматичних факторів, породного складу, просторової структури насадження та погодних умов. Особливо пожежонебезпечними є хвойні насадження.

3. Лісові пожежі класифікуються за місцем виникнення та інтенсивністю, яка встановлюється за висотою полум'я і швидкістю поширення.

4. Природна пожежна небезпека лісових насаджень залежить від типів лісорослинних умов, породного складу, віку насаджень. Пожежостійкість насаджень пов'язана з природною пожежною небезпекою і може застосовуватися для її оцінювання.

5. Вітчизняні та зарубіжні системи визначення пожежної небезпеки за умовами погоди базуються на опосередкованому визначенні займистості лісового горючого матеріалу з використанням метеорологічних даних поточного і попередніх днів та потребують локалізації у відповідних природно-кліматичних умовах.

6. Моделі пожежної небезпеки лісів є переважно детермінованими, стохастичними та імітаційними, використовують велику кількість параметрів або надто загальними і придатними до конкретних умов, що обмежує їх застосування. Актуальними є математичні моделі пожежної небезпеки, які базуються на фізичних закономірностях, враховують найнеобхідніші параметри середовища лісу та погодні умови.

7. Лісові пожежі негативно впливають на екологічний стан лісу та довкілля, призводять до значних матеріальних збитків, а ліквідація їх наслідків потребує проведення відповідних лісівничих заходів. У рослин, які зазнали ураження вогнем, змінюється фізіологічний стан і не завжди відновлюється життєздатність. Тому лісівнича галузь потребує розв'язку завдань зниження пожежної небезпеки лісових насаджень, проведення лісовідновлення та інших заходів, внаслідок яких зростає пожежостійкість лісу.

Розділ 2

ПРИРОДНО-ІСТОРИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ МАЛОГО ПОЛІССЯ ТА ЇХ ПІРОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

Мале Полісся – ландшафтна територія у західній частині України. Вперше термін "Мале Полісся" вжив польський географ Г. Оссовський – краєзнавець, археолог, геолог і палеонтолог, який досліджував Волинь і Галичину у 1867 р. [155, 447, 448]. Ця територія простяглася з заходу від Рави Руської до Шепетівки на сході, з півночі від Волинської височини на південь до Подільської височини [114, 290, 348, 447, 448 та ін.]. З заходу Мале Полісся межує з Розточчям, з півдня – Опіллям, з півночі – Волинським Поліссям. З південного сходу ця територія переходить у Поділля, а на сході – у Житомирське Полісся. Такі межі Малоого Полісся, здебільшого, встановлювалися різними дослідниками під час вивчення географічних, ботанічних, лісівничих, геологічних та інших досліджень.

2.1. Екологічні дослідження на території Малоого Полісся

Маринич [255, 257] вважав Мале Полісся південною частиною Полісся – так зване Південне Полісся. Проте Т. Л. Андрієнко [426] не відносить цю територію до Українського Полісся. Низку досліджень територій Малоого Полісся провів К. І. Геренчук (1972, 1976, 1979, 1980) [344-347], навівши описи фізико-географічних особливостей, флори й фауни цієї території в межах Львівської, Хмельницької, Рівненської та Тернопільської обл. Розмитість східної межі Малоого Полісся О. Гродзицька [76] пояснює з огляду на вернакулярне районування.

Мале Полісся вкрите лісами з давніх часів. Для розуміння природи лісових екосистем Малоого Полісся і динаміки їх розвитку необхідно розглядати не лише поточні географічні та кліматичні особливості цієї місцевості, але й історичні процеси виникнення і розвитку лісів. Фундаментальні дослідження історичного розвитку рослинності на території Малоого Полісся розпочав Д. К. Зеров [119]. О. Т. Артющенко [9, 10] продовжила палеоботанічні дослідження лісів України. Вперше в межах України детальну схему розвитку рослинного покриву в пізньому льодовиковому періоді та голоцені розробила Л. Г. Безузько [22, 23]. Дослідження історичного розвитку соснових лісів України і Малоого Полісся, зокрема, здійснював В. К. Мякушко [290]. Зміни

у розвитку зональних ландшафтів досліджені Н. П. Герасименко [63]. Л. І. Копій [151] здійснив аналіз формування лісової рослинності в Західній Україні у період голоцену під впливом антропогенних факторів. Дослідження, присвячені історичному розвитку лісової рослинності території Східної Європи, проводилися також і російськими науковцями, зокрема С. А. Турубановою [416]. Історичний огляд лісівничих досліджень Малоого Полісся здійснено Лавним та ін. [234], а історію досліджень ґрунтів цієї території – В. Г. Гаськевичем [60]. Екологічну мережу Малоого Полісся визначила Л. С. Юглічек [447] на основі ботанічних досліджень на території його східної частини [448] та уточнила східну межу Малоого Полісся [449]. Лісові екосистеми Малоого Полісся неодноразово ставали об'єктом дослідження та описані в [5, 21, 26, 42, 52, 59, 66, 78, 90, 127, 131, 137, 149, 150, 151, 152, 156, 157, 158, 246, 251, 252, 254, 283, 290, 319, 321, 320, 322, 323, 325, 376, 429, 436, 452] та ін. Проте окрім В. Г. Гаськевича [61], який вивчав пірогенну деградацію ґрунтів, досліджень з напрямку пірології лісів на цій території не виявлено.

Таким чином, на території Малоого Полісся багатьма вченими в різні періоди проводилися різносторонні дослідження з метою дослідження історичного розвитку лісів, наслідків і перспектив лісогосподарської діяльності, а також ґрунтово-кліматичних особливостей цієї території.

2.2. Ландшафтна структура лісів

Більша частина Малоого Полісся розташована у Львівській обл., менша – на заході Хмельницької, окремі фрагменти – на територіях Волинської, Тернопільської та Рівненської обл. Західна частина Малоого Полісся розташована у Галицько-Волинській западині, а східна – на Волинсько-Подільській плиті. На території Львівської обл. ця територія розташована в басейнах рік Західний Буг і Стир [348]. Максимальна висота над рівнем моря на території Малоого Полісся не перевищує 245 м.

Ландшафтна структура Малоого Полісся в межах Львівської обл. зумовлена особливостями структурно-тектонічної та геологічної будови. На цій території виділяють 8 видів ландшафтних місцевостей [348] (рис. 2.1). Найбільшу площу з заходу на схід займають плоско-хвилясті водно-льодовикові рівнини, складені супісками і пісками з дубово-сосновими та сосновими лісами на дерново-підзолистих ґрунтах (частково меліоровані) (див. 1 на рис. 2.1). Північна частина Малоого Полісся – це хвилясті денудаційні рівнини на відкладах крейди, складені щебенем мергелю з фрагментами дубово-соснових лісів на чорноземах карбонатних й дернових карбонатних ґрунтах (див. 2 на рис. 2.1). У басейні

ріки Західний Буг поблизу Червонограда та Соснівки знаходяться дева-
стовані ландшафти териконів і відвалів (див. 8 на рис. 2.1).

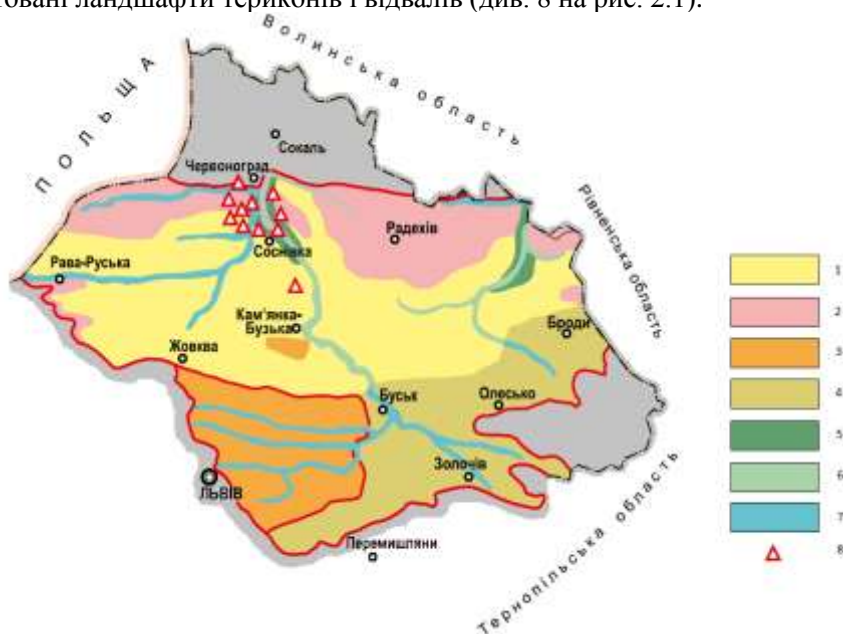


Рис. 2.1. Ландшафтна структура західної частини
Мало́го Полісся [348]:

1 – плоско-хвилясті водно-льодовикові рівнини, складені супісками і пісками з дубово-сосновими та сосновими лісами на дерново-підзолистих ґрунтах; 2 – хвилясті денудаційні рівнини на відкладах крейди, складені щебенем мергелю з фрагментами дубово-соснових лісів на чорноземах карбонатних й дернових карбонатних ґрунтах; 3 – пасмові рівнини з чергуванням плоских денудаційних і заплавних рівнин та субширотно зорієнтованих лесових пасм, складених глинами, супісками і лесоподібними суглинками з фрагментами дубових лісів на темно-сірих лісових ґрунтах; 4 – плоско-хвилясті, місцями східчасті і з останцями, денудаційні рівнини на відкладах крейди, складених суглинками та супісками з сосново-дубовими лісами на дернових опідзолених оглеєних ґрунтах; 5 – рівні, місцями заболочені, поверхні низьких (першої і другої) терас, складені супісками і суглинками з чагарниковою, лучною і болотною рослинністю на дерново-опідзолених оглеєних, лучних і болотних ґрунтах; 6 – рівні (заплава і фрагменти першої тераси) днища річкових долин, складені пісками, супісками і суглинками з лучною, місцями болотною, рослинністю на дерново-опідзолених оглеєних, лучних і болотних ґрунтах; 7 – Рівні днища річкових долин, складені супісками і суглинками з лучно-болотною рослинністю на лучних і болотних ґрунтах та торфовищах; 8 – терикони і породні відвали

Південно-західна частина характерна пасмовими рівнинами з чергуванням плоских денудаційних і заплавних рівнин та субшироотно зорієнтованих лесових пасм, складених глинами, супісками і лесоподібними суглинками з фрагментами дубових лісів на темно-сірих лісових ґрунтах (див. 3 на рис. 2.1). Південно-східна частина відноситься до плоско-хвилястих, місцями східчастих і з останцями, денудаційних рівнин на відкладах крейди, складених суглинками та супісками з сосново-дубовими лісами на дернових опідзолених оглеєних ґрунтах (див. 4 на рис. 2.1). Рівні днища річкових долин складені супісками і суглинками з лучно-болотною рослинністю (див. 5-7 на рис. 2.1).

Таким чином, більшість ландшафтів Малоого Полісся є придатними для зростання як листяних, так і соснових лісів, які більш пожежонебезпечні.

2.3. Ґрунтовий покрив лісів

Найбільш поширеними на території західної частини Малоого Полісся є дерново-підзолисті, дерново-карбонатні, дернові опідзолени оглеєні та сірі лісові ґрунти. Дослідження ґрунтів на території Західної України та Малоого Полісся описані в [6, 7, 60, 62, 136, 137, 306, 372, 449] та ін. Для території України розроблено Атлас ґрунтів [16], який містить інформацію про цю територію.

Основні типи ґрунтів західної частини Малоого Полісся наведені на рис. 2.2 [103]. Їх характеристику на території Львівської обл. наведено в [348, 101].

Дерново-підзолисті ґрунти розташовані на водно-льодовикових та алювіальних піщаних і супіщаних основах. Іноді трапляються піщані горби та вали. Значна частина лісів Малоого Полісся розташована на таких ґрунтах. Вміст гумусу у них не перевищує 1,3 %, а його товщина становить до 15-18 см. Ці ґрунти характеризуються слабкою насиченістю основами, кислою реакцією та малою кількістю рухомих поживних речовин. На глибині 1-1,5 м під цими ґрунтами залягають суглинки або крейдяний мергель. Вода у таких ґрунтах міститься в незначній кількості.

На півночі поширені дерново-карбонатні ґрунти. Їх властивості досліджував А. Кирильчук [136, 137]. Вміст гумусу в них вищий, ніж у дерново-підзолистих і становить від 1,7 до 5,3 %. Потужність гумусу становить від 25 до 50 см. Такі ґрунти є лужними та містять незначну кількість рухомих калію та фосфору. Для дерново-карбонатних ґрунтів характерною ознакою є поява тріщин, які сприяють пересиханню.

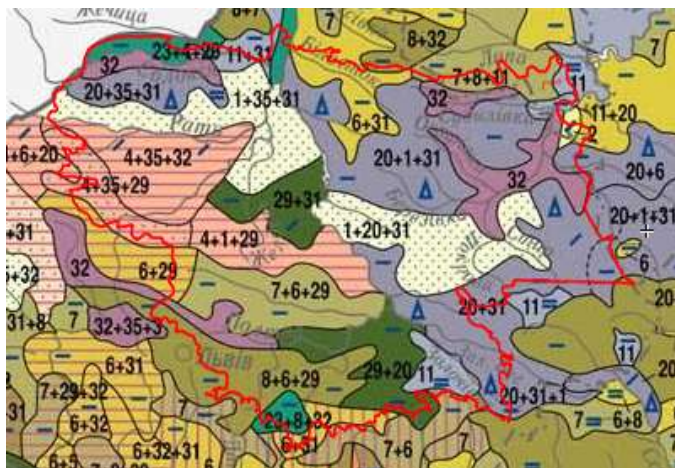


Рис. 2.2. Основні типи ґрунтів західної частини Мало́го Полісся [103]:

1 – дерново-слабопідзолисті піщані та глинисто-піщані; 2 – дерново-середньопідзолисті супіщані; 4 – дерново-слабопідзолисті оглеєні; 6 – ясно-сірі та сірі опідзолені; 7 – темно-сірі опідзолені; 8 – чорноземи опідзолені; 11 – чорноземи типові малогумусні; 20 – чорноземи і дернові карбонатні на елювії карбонатних порід; 23 – лучно-чорноземні; 28 – каштанові солонцюваті в комплексі із солонцями; 29 – лучні; 31 – лучно-болотні та болотні; 32 – торфово-болотні ґрунти та торфовища; 35 – дернові переважно оглеєні піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти в комплексі з слабогумусованими пісками

На півдні поширені досить родючі темно-сірі лісові ґрунти. Вміст гумусу у цих ґрунтах становить 2,5-3,7 %, а товщина його шару становить 25-28 см. Темно-сірі ґрунти слабокислі, особливо на підвищеннях. На південному сході зустрічаються дерново-опідзолені оглеєні ґрунти. Вміст гумусу в них досягає 2,5%, а товщина – біля 20 см. Ці ґрунти характеризуються високою кислотністю, низьким вмістом фосфору та азоту.

В. Г. Гаськевич [62] виявив деградаційні процеси у ґрунтах внаслідок меліоративних заходів і пониження рівня ґрунтових вод, які виявляються в зменшенні частки фізичної глини та збільшенні піщаних фракцій.

Таким чином, більшість ґрунтів у лісах Мало́го Полісся характеризуються відносно низькою родючістю, та низьким вмістом вологи, окрім південної частини, у якій родючість дещо вища. Це призводить

до формування свіжих субборових, а подекуди і борових, типів лісорослинних умов. Меліораційні заходи також сприяють цьому процесу. Внаслідок формування відповідних ґрунтових умов на території Малоого Полісся набувають поширення хвойні породи, які в умовах недостатнього зволоження становлять пожежну небезпеку.

2.4. Погодно-кліматичні умови

Мале Полісся розташоване в помірних широтах. Клімат цієї території має свої особливості та в порівнянні з сусідніми характеризується більшою середньорічною кількістю опадів (650-740 мм), м'якшими зимами, пізніми весняними заморозками і більшими сумами ефективних температур повітря, що перевищують 10°C (2450-2600°C) [256]. Середні багаторічні кліматичні дані для Львівської обл., у межах якої розташована більшість території Малоого Полісся, наведені в табл. 2.1 [329].

Таблиця 2.1

Середні багаторічні кліматичні дані для Львівської обл. [329]

	Місяці												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Середня температура повітря, °С	-4,6	-3,1	1,1	7,7	13,2	16,1	17,3	16,8	13,0	8,0	2,5	-2,1	7,2
Денна максимальна температура повітря, °С	-2	0	5	11	17	20	21	21	17	11	4	0	11
Середня кількість опадів, мм	42	43	43	51	77	98	102	76	58	47	46	57	740
Середня відносна вологість повітря, %	84	84	79	73	73	75	76	77	79	81	85	87	79
Загальна хмарність, бали	7,4	7,6	7,0	6,7	6,4	6,3	6,1	5,5	5,9	6,2	7,7	8,0	6,7
Швидкість вітру, м/с	4,1	4,1	4,1	3,8	3,2	3,0	2,9	2,7	3,0	3,4	4,1	4,0	3,5

Повторюваність вітрів за напрямками наведена у вигляді рози вітрів (рис. 2.3).

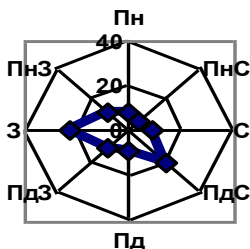


Рис. 2.3. Повторюваність вітру різних напрямків для Львівської обл. у % [329]

Переважаючими на цій території є західні вітри, проте значну частку становлять і південно-східні. Періоди штилю становлять 16,9 % всіх днів.

Найбільшу кількість опадів у Малому Поліссі відмічають у червні та липні (біля 100 мм), найменшу – в січні-березні (42-43 мм). Такий рівень зволоження території сприяє розвитку більшості видів лісової рослинності.

Таким чином, кліматично-погодні умови Мало́го Полісся в сукупності з ґрунтами є сприятливими для формування свіжих і вологих типів лісорослинних умов, у яких утворюються відповідні типи хвойних і мішаних лісів. У таких насадженнях можуть виникати пожежі, особливо в роки посухи.

2.5. Водні ресурси

Мале Полісся у Львівській обл. розташоване в головних басейнах річок Західний Буг та Стир, які разом із своїми притоками формують Західну гідрологічну область, що характеризується як область достатньої водності. Густота річок Мало́го Полісся становить 0,5-0,8 км/км². Навесні проходить біля 40-50 % річного стоку, в літньо-осінній період – 30-40 %, взимку – 15-27 % [139, 348]. Територія характеризується заболоченістю. Виділяється Мало́польська торфоболотна область, заболоченість якої становить 5,26 %, заторфованість – 4.41 % (Морозов та ін. [420]). Утворенню боліт сприяє розчленованість і зволоженість території, особливо в заплавах долинах малих річок. Значну частку боліт осушено.

Ріка Західний Буг територією Малоого Полісся простягається з південного сходу на північний захід і належить до Балтійського басейну. Вона бере початок поблизу Золочева (Вороняки), а завершується в межах Малоого Полісся неподалік від Червонограда. Довжина річки в межах України становить 392 км, площа водозбору 73,47 тис. км² (у межах Львівської обл. довжина – 195 км, площа водозбору – 6,075 тис. км²). Ухил у верхів'ї становить 3,4 м/км і зменшується до 0,3-1 м/км. Рівень води змінюється внаслідок паводків та відлиг. Від грудня до березня річка замерзає [101, 139, 348]. Озер у басейні Західного Бугу на території Львівської обл. дуже мало. Розташовані 5 водосховищ сумарною площею 10,5 км² і 587 ставків сумарною площею 20,2 км². Територія в басейні цієї ріки внаслідок антропогенної діяльності зазнала чисельних трансформацій, зумовлених зменшенням лісистості, меліоративними та іншими заходами. М. О. Клименко та ін. [140] вважають, що екологічний стан цієї території потребує удосконалення, зокрема збільшення лісистості від 25-30 до 49 % за рахунок зменшення площ нестабільних елементів ландшафту, відновлення захисної ролі водоохоронних смуг, дотримання технологій очищення стічних вод. Стир є правобережною притокою Прип'яті та належить до Чорноморського басейну. Її довжина 494 км, а площа водозбору 129 тис. км² (у Львівській обл. протяжність – 91 км, а площа водозбору – 1,84 км²). Стир бере початок у Бродівському р-ні з Подільської височини (Вороняки). Лісистість у басейні річки Стир є невисокою та становить біля 22 %. Озер у басейні Стиру мало (менше, ніж 0,2 % площі водозбору). З штучних водойм на цій території налічується 206 ставків сумарною площею 10,86 км² [49, 101, 420].

Територія Малоого Полісся в цілому характеризується відносно невеликим коефіцієнтом стоку, який не перевищує 0,25. Частина води, принесена у вигляді опадів, внаслідок цього випаровується, а більшість потрапляє у ґрунт, де поповнює верхні підземні горизонти та використовується рослинами. Водонесні горизонти абсолютної більшості території Малоого Полісся є однорідними та знаходяться у відкладах верхньокрейдового віку. Водовмісними є тріщинуваті мергелі, крейда, пісковики і вапняки. В південній частині Малоого Полісся та у долинах річок водонесні горизонти розташовані в алювіальних голоценових відкладах заплавлів річок, балок і надзаплавних терас. Водовмісними є піски, супіски, галечники та суглинки [101].

В цілому територія західної частини Малоого Полісся має достатньо водних ресурсів, які у поєднанні з атмосферними опадами забезпечують достатнє зволоження лісової рослинності. Проведення меліорати-

вних заходів сприяє зміні лісорослинних умов та покращенню умов зростання соснових насаджень, які становлять небезпеку виникнення пожеж, а в місцях залягання торфу – збільшенню ризику торф'яних пожеж.

2.6. Історичний розвиток лісів

Ліси на території України існують з пізньотретинного періоду. Вони є невід'ємною складовою рослинного покриву. Під час плейстоцену територія Європи зазнавала похолодань і потеплінь, що призвело до виникнення третинних реліктових та вологолюбних порід, проте за участю сосни. На початку голоцену (10-8,3 тис. р. до н.е.) соснові та березові ліси були переважаючими, проте під кінець раннього голоцену (у пребореальний період, 8,3-7,5 тис. р. до н.е.) відбулося потепління та похолодання. Цей період є початком витісненням дубовими лісами спочатку березових, а потім соснових лісів. Проте на території Полісся широколистяно-соснові ліси завжди залишалися стійкими утвореннями (Мякушко [290]). Моделювання процесів формування та розвитку лісів на території Східної Європи на основі палеоботанічних досліджень здійснено О. В. Смірноюю [57]. Зменшення співвідношення на користь листяних порід сприяло зниженню пожежної небезпеки. Під час бореального періоду (7,5-6 тис. р. до н.е.) спостерігалось потепління за помірної та недостатньої вологості. В цей час знову переважали соснові насадження, тобто небезпека пожеж зростала. Найсприятливішим для розвитку рослин став атлантичний період (6-2,5 тис. р. до н.е.). Цей період вважається кліматичним оптимумом, під час якого збільшувалася диференціація та ускладнювалася рослинність. Оптимальне співвідношення тепла і вологи виражалось максимальним забезпеченням теплом і достатнім зволоженням. В цей час відбувається зміщення рослинних зон у північному напрямку. Проте територія Мало́го Полісся, як і в теперішній час, відносилася до зони широколистяних лісів. Цей період М. І. Нейштадт та ін. [296] вважають перехідним від термоксеротичної до термогігротичної фази міжльодовикового циклу. Соснові ліси у всі етапи голоцену, в тому числі і в середньому голоцені, зосереджувалися на бідних піщаних ґрунтах. А широколистяні породи, які надають перевагу багатим глинистим ґрунтам, в цей період існували лише як додаток до соснових лісів. Зона широколистяних лісів у Східній Європі досягала найбільшої широти на території України та звужувалася на схід. Породний склад таких лісів становили дуб, в'яз, липа та ліщина. Достатній рівень зволоження та переважання широколистяних порід сприяли зниженню пожежної небезпеки, яка залишалася високою лише у соснових лісах.

Суббореальний період (2,5 тис. – 500 р. до н.е.) характеризувався нестійким кліматом і похолоданням, під час якого погіршилися умови існування широколистяних рослин, що знову сприяло розвитку сосни та зростанню пожежонебезпеки. На зміну йому прийшов субатлантичний період (500 р. до н.е. – теперішній час), який характерний холодними зимами і теплим літом. В цей період триває зростання лісистості Полісся за участю як листяних, так і хвойних порід.

В. К. Мякушко [290] виділяє такі фази розвитку і поширення соснових і сосново-листяних лісів: сосна з березою; сосна з дубом; сосна з дубом і грабом; сосна з дубом і липою; сосна з дубом і буком.

В останні десятиліття спостерігається тенденція до потепління (Савчук та ін. [370]; Руда [364]), яке характеризується підвищенням середньомісячних температур і нерівномірністю опадів із зростанням їх сумарної кількості. Внаслідок цього в зоні широколистяних і мішаних лісів за умови достатньої зволоженості може відбутися покращення умов зростання листяних порід та збільшення різноманіття як деревних, так і трав'яних рослин. Проте у випадку недостатнього зволоження створюються кращі умови для розвитку хвойних порід та інших рослин-ксерофітів А гігрофіти та мезофіти через відсутність зволоження звужують свої ареали, а подекуди і можуть зникнути. Зміни клімату в майбутньому можуть призвести до зсуву кліматичних поясів на північ і формування на території Лісостепу та частково Полісся зони помірного теплого сухого лісу, який характеризується підвищеною пожежною небезпекою.

2.7. Найбільш поширені типи лісорослинних умов і типи лісів західної частини Малоого Полісся та особливості їх формування

В процесі природно-історичного розвитку під впливом ландшафтної структури, ґрунтових, погодно-кліматичних і гідрологічних умов та внаслідок антропогенних впливів у Малому Поліссі сформувалося різноманіття типів лісорослинних умов. Основою їх формування за лісотипологічною класифікацією Алексеева-Погребняка є трофність і зволоженість ґрунтів [53, 54, 310, 331]. Внаслідок особливостей фізико-хімічних властивостей ґрунтів сформувалися відповідні типи лісорослинних умов, на основі яких виникли ліси різних типів (рис. 2.4) [103]. З урахуванням особливостей географічного розташування, ґрунтових умов (див. рис. 2.2) і ландшафтної структури виділено 9 фрагментів території Малоого Полісся, на яких зростають ліси, проаналізовано ґрунтові умови та їх вплив на пожежну небезпеку.

Проаналізувавши відповідності між типами лісових насаджень і ґрунтовими умовами, виявлено, що на північ від р. Рата до північної межі біля Рави-Руської зростають здебільшого дубово-соснові ліси, проте зустрічаються і сосново-дубові та соснові типи. Це зумовлено відповідними ґрунтовими умовами: ґрунти переважно дерново-підзолисті на давньо-алювіальних і водно-льодовикових відкладах, іноді трапляються дернові оглеєні піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти, а в низинах лучно-болотні та болотні. Невисока родючість таких ґрунтів у поєднанні з фізичними властивостями створюють добрі умови для зростання пожежонебезпечних хвойних порід, а добра фільтрація – невисоку вологість ґрунту та підстилки, що сприяє її накопиченню та сповільнює мінералізацію.

На схід від Червонограда сформовані ліси дубово-соснових, сосново-дубових та соснових типів, проте трапляються і дубові типи. Це пов'язане з дещо більшою родючістю ґрунтів, які в більшості є чорноземні та дерново-карбонатні, проте трапляються і дерново-підзолисті та болотні. Гранулометричний склад цієї території – легкосуглинкові та щепенуваті ґрунти.



Рис. 2.4. Основні типи рослинності західної частини Малеого Полісся [103]:

2а – змішані дубово-соснові ліси з участю сосново-дубових та соснових лісів; 2б – агрофітоценози на місці дубово-соснових, сосново-дубових дубових лісів; 4 – букові ліси в комплексі з грабовими; 5 – дубові ліси в комплексі з дубово-сосновими; 6б – агрофітоценози на місці букових, дубових, дубово-грабових лісів; 8 – агрофітоценози на місці світлих дубових лісів; 10 – чорновільхові ліси в комплексі з вербовими, осоковими та трав'янистими, чагарниковими евтрофними болотами; 11 – справжні, болотисті та торф'яні луки в комплексі з евтрофними болотами

У зв'язку з більшою родючістю ґрунтів у лісових насадженнях спостерігається більша участь листяних порід, що в поєднанні з гіршою фільтрацією призводить до збільшення вологості підстилки і прискорення її розкладу, а це позитивно впливає на пожежну безпеку.

На лівому березі р. Стир до околиць Бродів зростають ліси дубово-соснових, сосново-дубових і соснових типів. На цій території поблизу річок переважають торфово-болотні ґрунти та торфовища. Таке поєднання сприяє зменшенню пожежної небезпеки, особливо у мішаних насадженнях, проте виникає загроза підземних торф'яних пожеж.

Правий берег р. Стир характеризується здебільшого дубовими та дубово-сосновими типами лісів, які зростають на дерново-підзолистих піщаних, та подекуди чорноземних і дерново-карбонатних легкосуглинчастих ґрунтах. Пожежна небезпека у лісах на цій території буде підвищеною через підвищену фільтрацію, особливо у випадку хвойних порід.

Біля Кам'янки Бузької на правому березі р. Західний Буг ліси представлені дубово-сосновими, сосново-дубовими та сосновими типами. Ґрунти здебільшого дерново-підзолисті піщані, а подекуди чорноземи, дерново-карбонатні легкосуглинкові та болотні. Насадження хвойних на піщаних ґрунтах становлять пожежну небезпеку.

На лівому березі Західного Бугу зростають чорновільхові ліси з участю верби та осики. Ґрунти переважають дерново-середньопідзолисті оглеєні, лучні супіщані, лучно-болотні та болотні. Висока вологість ґрунтів і підстилки через заболоченість та незначну фільтрацію, а також наявність гідрофільних листяних порід формують пожежобезпечний стан цієї території.

На схід від Жовкви, як і на більшості території Малого Полісся, розташовані ліси дубово-соснових, сосново-дубових і соснових типів. Ґрунти у цих лісах дернові середньо- та сильнопідзолисті поверхнево оглеєні, зрідка чорноземи. Гранулометричний склад – легкосуглинки. Через значну вологість ці ліси не характеризуються високою небезпекою.

На північний схід від Буська розташовані дубові та дубово-соснові ліси на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах і чорноземах, дерново-карбонатних та болотних. Хвойні насадження на піщаних ґрунтах становлять пожежну небезпеку.

У верхів'ї Західного Бугу переважають буково-грабові типи на чорноземних і дерново-карбонатних щепенуватих ґрунтах, а в басейні р. Золочівки – дубово-соснові, сосново-дубові та соснові ліси на чорноземних малогумусних і слабогумусних середньосуглинкових ґрунтах. Пожежна небезпека останніх є вищою, ніж буково-грабових, проте невисокою у порівнянні з іншими розглянутими фрагментами через гіршу фільтрацію та вищу вологість ґрунту та підстилки.

Для детальнішого аналізу особливостей типів лісорослинних умов у західній частині Мало́го Полі́сся використано таксаційні описи семи лісгоспів цього регіону які містяться у спеціалізованій базі даних "Управління лісовими ресурсами" ВО "Укрдержліспроект" станом на 01.01.2010 р. Зауважимо, що до складу Мало́го Полі́сся повністю входять території Державних підприємств (ДП) Буське, Жовківське та Радехівське лісові господарства. ДП Золочівське, Львівське, Рава-Руське та Бродівське лісові господарства входять частково. Тому територію ДП Золочівське лісове господарство розглянуто лише у межах Білокамінського, Словітського та Сасівського лісництв, ДП Львівське лісове господарство – у межах Борщовицького, Винниківського, Завадівського лісництв і ДП «Львівський ЛСНЦ», ДП Рава-Руське лісове господарство – у межах Боровецького, Волицького, Гійчинського, Дібровського, Забірського, Михайлівського, Пирятинського, Пристанського, Рава-Руського, Річківського та Хлівчанського лісництв, ДП Бродівське лісове господарство – у межах Берлинського, Бродівського, Заболотцівського, Лагодівського, Лешнівського лісництв і лісорозсадника. Розподіл площ цих територій за типами лісорослинних умов наведено на рис. 2.5.

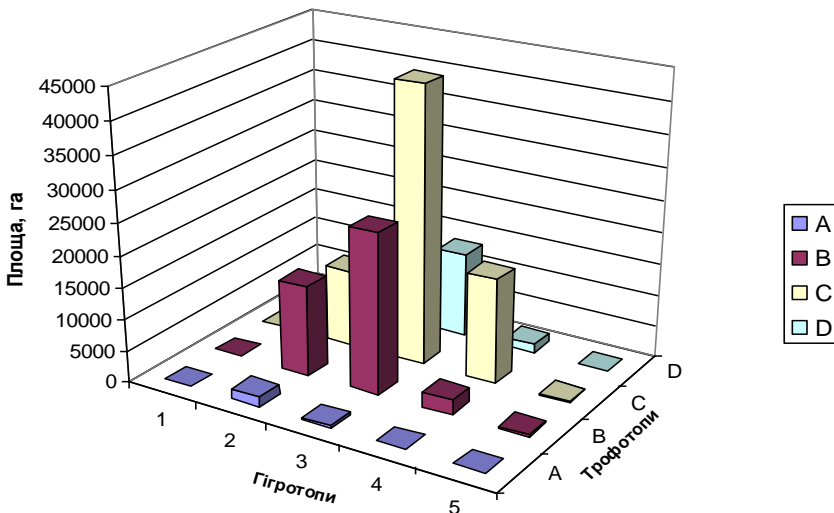


Рис. 2.5. Розподіл площ лісів за типами лісорослинних умов у західній частині Мало́го Полі́сся

З розподілу зволоження ґрунтів за площами (рис. 2.6), видно, що найбільше у Малому Поліссі лісів вологих типів (57,32 %), друге місце займають свіжі типи (28,08 %), третє – сирі (14,11 %), четверте – мокрі (0,41 %), а найменше – сухих типів (0,09 %). З розподілу трофності ґрунтів (рис. 2.7), видно, що найбільше за площею сугрудових типів (50,29 %). Друге місце за площею посідають суборові типи (29,21 %), третє – груди (18,97 %). І найменше у західній частині Малого Полісся лісів борових типів (1,53 %).

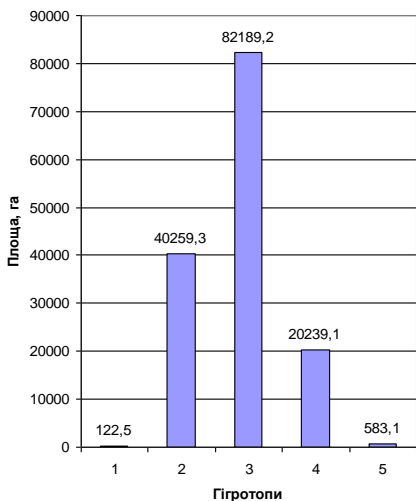


Рис. 2.6. Розподіл площ лісів за групами зволоження ґрунтів у західній частині Малого Полісся

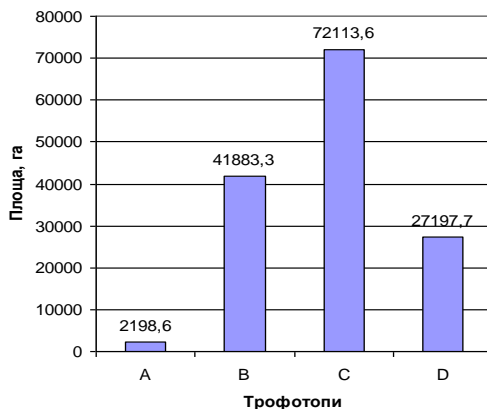


Рис. 2.7. Розподіл площ лісів за групами трофності ґрунтів у західній частині Малого Полісся

Проте розподіл типів лісорослинних умов за площею в окремих лісових господарствах є неоднаковим (рис. 2.8). Найбільші площі займають ліси типів С₃ у Радохівському, Буському, Жовківському та Бродівському, В₃ – у Жовківському, Радохівському та Рава-Руському, D₂ – у Золочівському та D₃ – у Львівському, А₂ – у Рава-Руському лісових господарствах.

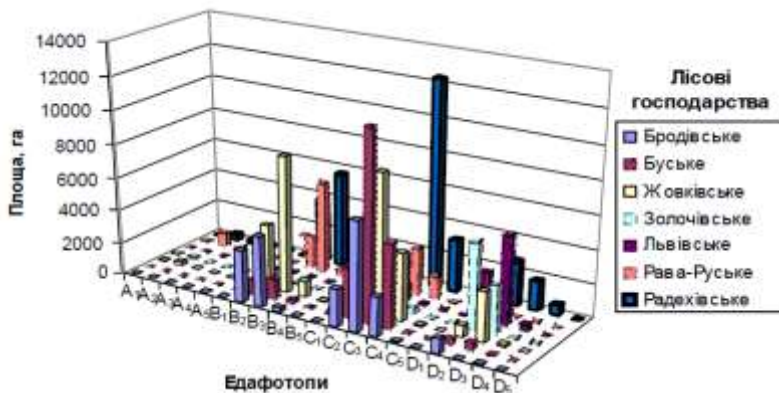


Рис. 2.8. Розподіл площ лісів за типами лісорослинних умов у державних лісгосподарських підприємствах західної частини Малоого Полісся

Розподіл площ лісів Малоого Полісся за трофністю наведений на рис. 2.9. На півночі Малоого Полісся у ДП Рава-Руське та Радехівське лісові господарства найбільше лісів борових типів, найменше їх – у Львівському та Буському лісових господарствах. Субборових типів зустрічається найбільше в північній і центральній частині Малоого Полісся (ДП Жовківське, Бродівське, Рава-Руське та Радехівське лісові господарства), найменше – в південній частині (ДП Золочівське та Львівське лісові господарства).

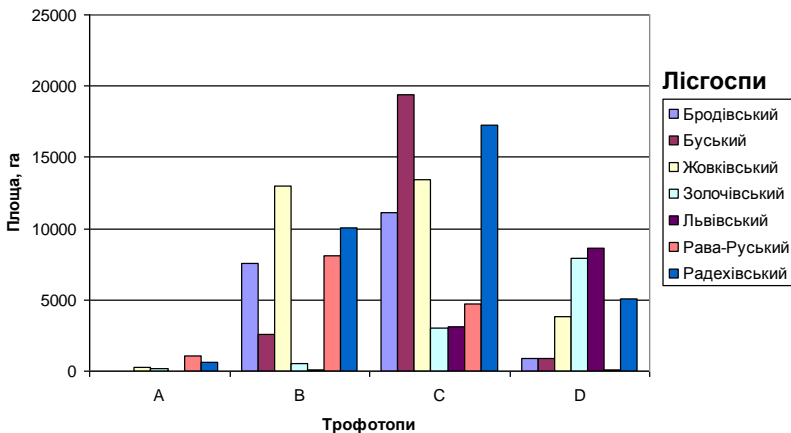


Рис. 2.9. Площі лісів з ґрунтами різного багатства у державних лісгосподарських підприємствах західної частини Малоого Полісся

Сугрудів найбільше у Буському, Радехівському, Жовківському та Бродівському лісових господарствах, найменше – у Львівському, Золочівському та Рава-Руському. Грудів найбільше в південній частині Малоого Полісся (ДП Золочівське та Львівське лісові господарства), найменше – у Рава-Руському, Буському та Бродівському лісових господарствах.

Сухих і мокрих типів лісорослинних умов у лісах Малоого Полісся дуже мало (рис. 2.10). Найбільше сухих типів у Рава-Руському, мокрих – у тому ж Рава-Руському та Буському лісових господарствах. Вологих типів лісів найбільше у Жовківському і Радехівському лісових господарствах, найменше – в Золочівському. Свіжі типи лісів зустрічаються у кожному з лісових господарств Малоого Полісся. Сирих типів найбільше в Жовківському, Буському та Радехівському лісових господарствах, найменше – у Золочівському і Львівському.

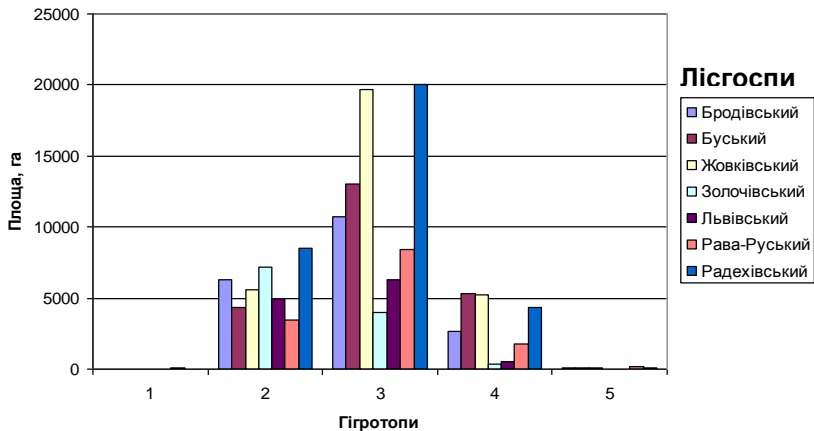


Рис. 2.10. Площі лісів різних типів вологості у державних лісгосподарських підприємствах західної частини Малоого Полісся

Основні типи лісорослинних умов Малоого Полісся сформовані в процесі історичного розвитку і відображають особливості ґрунтового покриву та кліматично-гідрологічні особливості. Відповідно до едафотопів сформувалися різні типи лісів. На основі лісотаксаційних даних здійснено аналіз розподілу типів лісів за їх площами для західної частини Малоого Полісся в цілому та окремих лісгосподарських підприємств на цій території.

На території західної частини Малоого Полісся розрізняють 51 тип лісу (рис. 2.11).

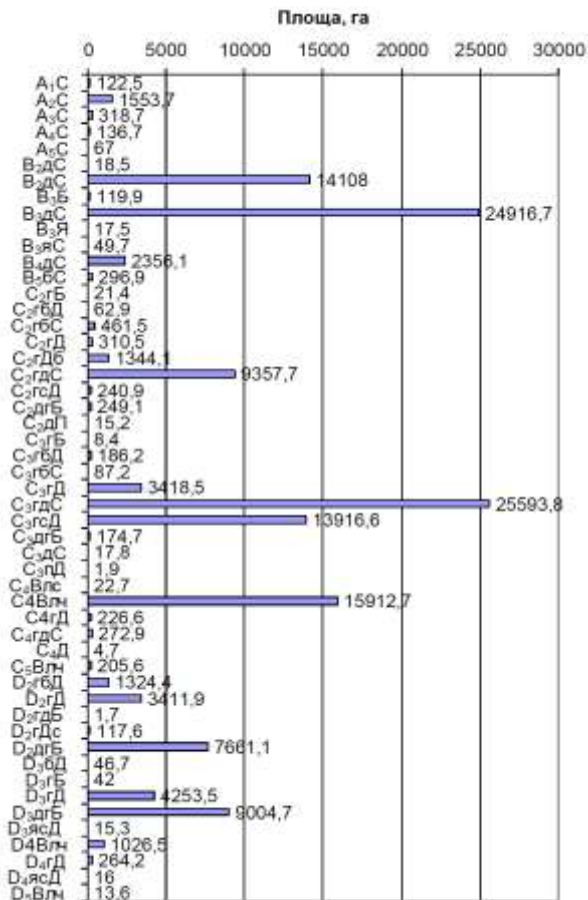


Рис. 2.11. Площі лісів різних типів у західній частині Малого Полісся за лісо таксаційними даними

Розподіл кількостей типів лісу за едафотопами наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розподіл типів лісу у відповідних типах лісорослинних умов на території західної частини Малого Полісся

	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	1	2	9	5
3	1	4	9	5
4	1	1	5	3
5	1	1	1	1

Найбільше різноманіття типів лісів притаманне сугрудам С₂ і С₃. Великою різноманітністю характеризуються типи лісу у сирих сугрудах та в грудових умовах D₂ і D₃. Незначною різноманітністю характеризуються субори В₂ і В₃. Типам лісорослинних умов з недостатнім, надмірним зволоженням і на збіднених ґрунтах (бори) відповідає не більше одного типу лісу. Як уже зазначалося, відсутніми є лісові насадження, що відповідають типам В₁, С₁ і D₁.

Найбільшу площу (близько 25 тис. га кожен) займають ліси типів С₃гдС та В₃дС. Понад 10 тис. га кожен займають території ліси типів В₂дС, С₃гдД і С₄Влч. Зауважимо, що ці 5 типів лісу займають майже 65,9 % всієї площі лісів. До складу кожного з переважаючих типів лісу (окрім чорновільхових) входить сосна. Загалом, сосна у західній частині Малого Полісся в різних співвідношеннях входить до складу 23 типів лісів, які займають площу 94064,5 га (65,6 % площі всіх лісів).

Проаналізований розподіл типів лісів за лісовими господарствами Малого Полісся зображено на рис. 2.12. Кореляційна матриця розподілів типів лісів наведена у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Кореляційна матриця розподілів типів лісів за державними лісгосподарськими підприємствами Малого Полісся

Назва підприємства	ДП Бродівське лісове господарство	ДП Буське лісове господарство	ДП Жовківське лісове господарство	ДП Золочівське лісове господарство	ДП Львівське лісове господарство	ДП Рава-Руське лісове господарство	ДП Радехівське лісове господарство
ДП Бродівське лісове господарство	1	0,80	0,87	0,07	0,01	0,82	0,93
ДП Буське лісове господарство	0,80	1	0,63	0,06	0,04	0,43	0,82
ДП Жовківське лісове господарство	0,87	0,63	1	0,16	0,16	0,89	0,84
ДП Золочівське лісове господарство	0,07	0,06	0,16	1	0,82	-0,03	0,01
ДП Львівське лісове господарство	0,01	0,04	0,16	0,82	1	-0,05	0,04
ДП Рава-Руське лісове господарство	0,82	0,43	0,89	-0,03	-0,05	1	0,74
ДП Радехівське лісове господарство	0,93	0,82	0,84	0,01	0,04	0,74	1

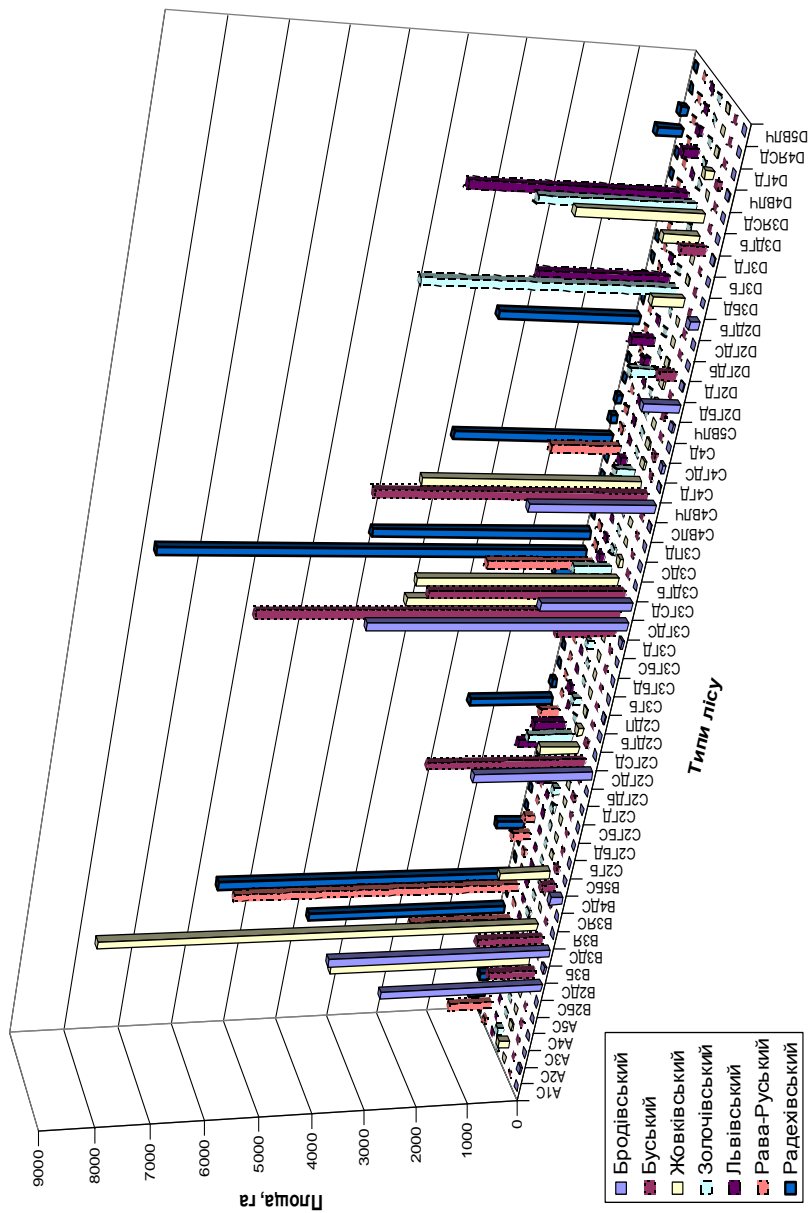


Рис. 2.12. Розподіл площ лісів за типами лісу та державними лісгосподарськими підприємствами

Значимість коефіцієнтів кореляції r_{xy} перевірено за t -критерієм Стьюдента. Критичне значення критерію при рівні значущості $\alpha=0,05$ та $m=51-2=49$ ступенях свободи становить $t_{кр} = 2,01$. У табл. 2.3 виділені статистично значимі коефіцієнти кореляцій.

Серед борових типів Малоого Полісся найбільші площі займають свіжі соснові бори (1553,7 га або 1,08 %), які найбільш поширені у Рава-Руському і зовсім відсутні у Львівському лісовому господарстві.

Суборові типи найбільше представлені свіжими та вологими дубово-сосновими суборами. Найбільші площі лісів типів В₂ДС (14108 га або 9,84 %) розташовані на території Жовківського, Радехівського і Бродівського лісових господарств, найменші – у Львівському лісгоспі. Ліси типів В₃ДС (24916,7 га або 17,38 %) найчисельніші у Рава-Руському, Радехівському та Бродівському, найменші за площами у Львівському та Золочівському лісових господарствах.

Сугрудові типи лісів представлені у більшості вологими та свіжими грабово-дубовими сугрудками, вологими грабово-сосновими судібровами і сирими чорновільховими сугрудками.

Ліси типів С₃гДС (25593,8 га або 17,85 %) найбільш поширені у Радехівському, Буському та Бродівському лісгоспах, найменше їх у Золочівському лісгосподарських підприємствах. Площі лісів типів С₂гДС (всього 9357,7 га або 6,53 %) є найбільшими у Бродівському, Буському та Радехівському лісових господарствах, найменшими – у Рава-Руському. Ліси типів С₃гсД (13916,6 га або 9,71 %) найбільше зустрічаються у Радехівському, Жовківському та Буському лісових господарствах, найменше – у Рава-Руському та Львівському. А площі сирих чорновільхових сугрудків С₄Влч (всього 15912,7 га або 11,1 %) найбільші у Буському та Жовківському, найменші – у Львівському лісових господарствах.

Серед грудів найпоширенішими є волога та свіжа дубово-грабова бучина і свіжа грабова діброва. Вологі грабово-дубові бучини (див. рис. 2.11) займають площу 9004,7 га (6,28 %) та найбільше зустрічаються у Львівському, Золочівському та Жовківському лісових господарствах, на територіях інших підприємств такі типи лісів або відсутні, або займають площі, які не перевищують декількох гектарів. Свіжих грабово-дубових бучин (всього 7661,1 га або 5,34 %) найбільше у Золочівському та Львівському лісових господарствах і зовсім відсутні вони у Радехівському та Буському. Свіжі грабові діброви (3411,9 га або 2,38 %) найбільше поширені у Радехівському і зовсім відсутні у Рава-Руському лісовому господарстві.

Таким чином, на території лісів Малоого Полісся відповідно до сформованих типів лісорослинних умов спостерігається найбільше різноманіття суборових та дібровних типів лісу з помірним зволоженням. Кореляційний аналіз розподілу площ лісів різних типів за лісовими господарствами (див табл. 2.3) дозволив виділити дві групи: 1) Бродівське, Буське, Жовківське, Рава-Руське і Радехівське лісові господарства; 2) Золочівське та Львівське лісові господарства. Тісний кореляційний зв'язок і подібність розподілів за типами є характерним всередині кожної з двох груп (коефіцієнти кореляції 0,43-0,87), а між цими групами зв'язок відсутній (коефіцієнти кореляції 0,01-0,05). Це пояснюється відмінностями в родючості ґрунтів на півдні та решті території Малоого Полісся. З урахуванням такого групування в лісових господарствах різних груп слід застосовувати відповідні підходи до організації протипожежного захисту лісів.

Незважаючи на значне розмаїття типів лісів, у межах Малоого Полісся в основних групах трофності виділяються за площами такі типи, як А₂С, В₂дС, В₃дС, С₂гдС, С₃гдС, С₃гсД, С₄Влч, D₂дгБ, D₂гД та D₃дгБ. Більшість з цих переважаючих типів, окрім грудів та лісорослинних умов сирих типів, містять у своєму складі сосну. Загалом понад 65 % площ всіх лісів містять цю породу, переважно у складі мішаних лісів. Участь сосни, особливо в борових і суборових типах лісів з недостатнім зволоженням, становить загрозу пожежі.

2.8. Породний склад лісів та пожежна небезпека

На території Малоого Полісся, середня лісистість якої становить близько 25 %, понад 65 % становлять соснові ліси [348]. Цей показник вищий, ніж загалом для України, де хвойні ліси займають біля 42 % вкритих лісовою рослинністю земель, а соснові – 33 % [110]. Проте хвойні ліси часто формуються за участі листяних порід, що впливає на їх пожежну небезпеку.

Характеристика породного складу деревостанів. З огляду на географічні, кліматичні та лісотипологічні особливості, які зумовлюють пожежну небезпеку лісів, проведено аналіз лісотаксаційних даних, на основі якого охарактеризовано породний склад деревостанів у західній частині Малоого Полісся, зокрема на територіях ДП Жовківське, Радехівське, Буське, Бродівське та Львівське лісові господарства. Території цих підприємств розглянуто цілком без відкидання фрагментів, які не відносять до Малоого Полісся (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Розподіл площ земель західної частини Малоого Полісся за державними підприємствами лісового господарства

Площі земель	Назва підприємств					Всього
	ДП Бродівське лісове господарство	ДП Буське лісове господарство	ДП Жовківське лісове господарство	ДП Львівське лісове господарство	ДП Радехівське лісове господарство	
Площа земельного фонду постійного користування, га	26155	25280	33699	25675	35041	145850
Площа земель, вкритих лісовою рослинністю, га	23112	21303	29056	23711	30990	128172

За даними Державного лісового кадастру станом на 1 січня 2005 р. площа земель лісового фонду території вказаних лісових господарств становила 145,85 тис. га та відносно рівномірно розподілена між ними.

Територія вкритих лісовою рослинністю земель цих лісових господарств становить 128,2 тис. га. Загальний запас деревини становить понад 30 млн. м³. Породний склад лісів наведений на рис. 2.13.

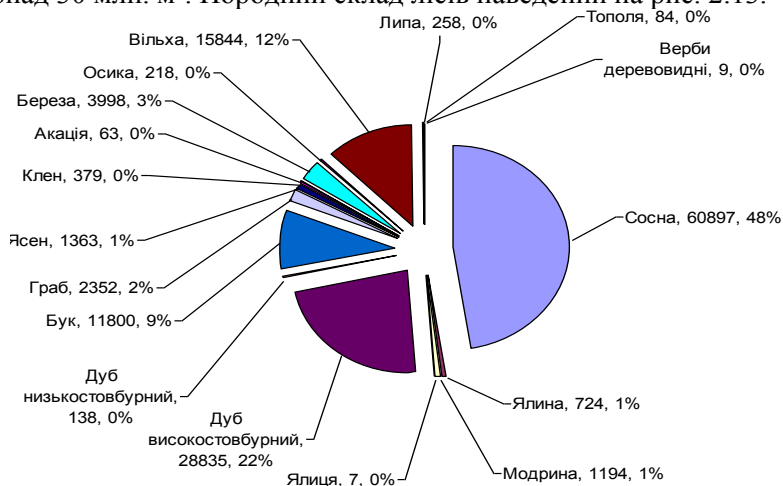


Рис. 2.13. Породний склад лісів західної частини Малоого Полісся (у га і %)

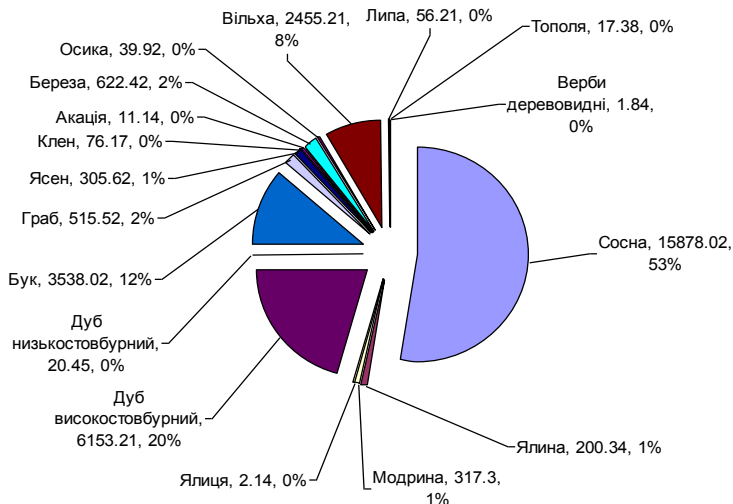


Рис. 2.14. Запас деревини за породним складом у західній частині Мало́го Полісся (у тис. м³ і %)

Структура лісів за переважуючою породою: хвойні насадження – 62,8 тис. га або 49 %, твердолистяні – 44,9 тис. га або 35,1 % і м’яколистяні – 20,4 тис. га або 15,9 %. З хвойних лісів 97 % становлять соснові.

Загальний запас деревини становить понад 30 млн. м³ та розподілений за породами: хвойні насадження – 54,2 %, твердолистяні – 35,2 % та м’яколистяні – 10,6 % (див. рис. 2.14). Розподіл площ хвойних, твердолистяних та м’яколистяних насаджень наведений на рис. 2.15. У ДП Жовківське, Бродівське та Радехівське лісові господарства соснові ліси займають понад 50 % лісових територій, у Буському – майже 50 %. Лише у Львівському лісовому господарстві соснові ліси займають порівняно невелику частину території – 3,37 тис. га, що становить 14,2 % від усієї площі лісів.

Внаслідок неоднорідності породного складу та особливостей розташування по відношенню до населених пунктів, доріг, небезпечних виробництв тощо лісові території лісгоспів характеризуються різною пожежною небезпекою.

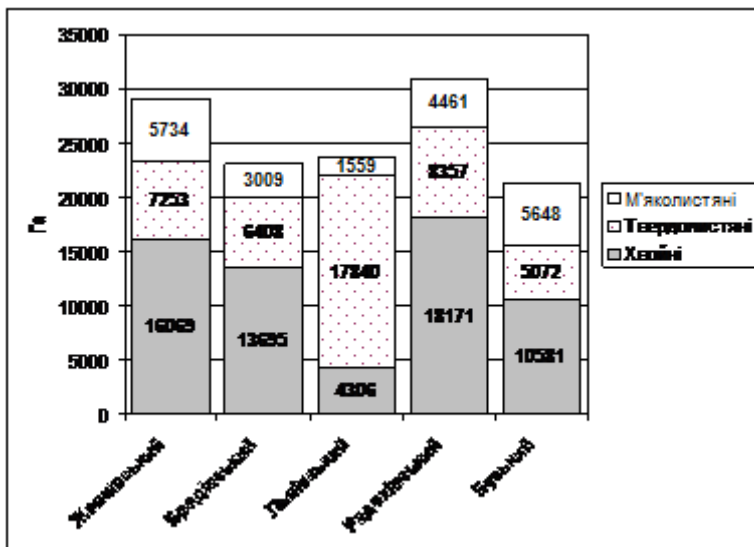


Рис. 2.15. Частка площ хвойних, твердолистяних та м'яколистяних порід у ДП лісового господарства західної частини Малого Полісся

Таким чином, внаслідок кліматичних змін протягом плейстоцену-голоцену, які супроводжувалися коливаннями температури, на території Малого Полісся сформувалися стійкі утворення соснових, мішаних і листяних лісів, які розташувалися в залежності від родючості та зволоженості ґрунтів, які є основою типів лісорослинних умов. На всіх етапах історичного розвитку чергування похолодань і потеплень та зумовлені ними зміни в структурі лісів частки хвойних порід призводили до формування відповідного пожежонебезпечного стану цих територій, на яких зростає понад 50 % хвойних порід, основним представником яких є сосна звичайна.

Природна пожежна небезпека. Відповідно до шкали природної небезпеки [351] за даними Державного лісового кадастру ВО "Укрдержліспроєкт" станом на 01.01.2005 р. розподіл площ земельних ділянок державних підприємств лісового господарства за пожежною небезпекою наведений у табл. 2.5. Середній клас природної пожежної небезпеки у західній частині Малого Полісся становить 3,10. Відповідно до нього природна пожежна небезпека класифікується як середня. Довірчий інтервал для середнього класу природної пожежної небезпеки з рівнем значущості 0,05 становить (2,75; 3,44).

Таблиця 2.5

Розподіл площ земельних ділянок лісового фонду за класами природної пожежної небезпеки за даними Державного лісового кадастру (2005 р.)

Назва підприємства	Розподіл площ за класами природної пожежної небезпеки, га					Середній клас природної пожежної небезпеки
	I	II	III	IV	V	
ДП Бродівське лісове господарство	4344,3	4506,6	10677,4	5524,7	1102,0	2,79
ДП Буське лісове господарство	4267,7	2435,5	6044,4	10706,9	1825,5	3,13
ДП Жовківське лісове господарство	4993,7	3722,8	9233,0	13051,0	2698,5	3,14
ДП Львівське лісове господарство	1021,9	1372,4	7285,5	15107,7	887,5	3,52
ДП Радохівське лісове господарство	6815,3	4033,7	11547,4	11019,3	1625,3	2,90
Всього	21443	16071	44788	55410	8138,8	3,10

Зауважимо, що клас природної пожежної небезпеки встановлюється для домінуючої породи дерев. Проте в лісах часто зустрічається поєднання різних типів деревостанів, що може чинити позитивний чи негативний вплив на пожежну небезпеку території лісового господарства чи лісництва.

Істотність впливу на пожежну небезпеку складу деревостану з'ясовано на прикладі типового для Малого Полісся ДП Жовківське лісове господарство, яке складається з 7 лісництв і здійснює охорону лісів площею 33699 га. Для цього досліджено розподіл за коефіцієнтом складу таких порід, як сосна звичайна (Сз), дуб звичайний (Дз) та вільха чорна (Влч) (рис. 2.16), які займають понад 74 % площі всіх лісів.

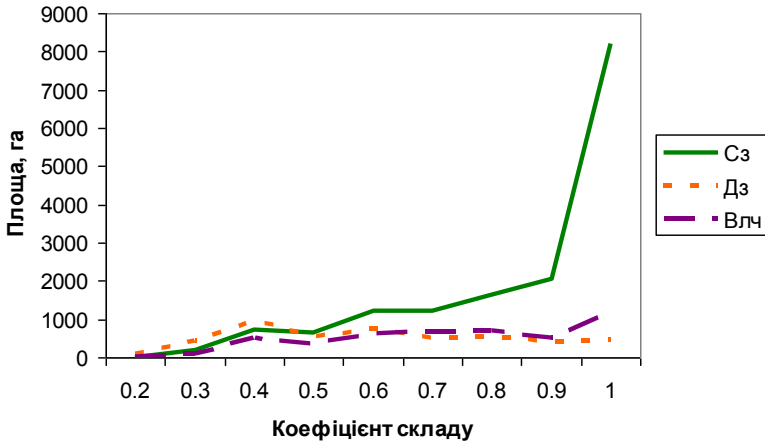


Рис. 2.16. Площі основних порід лісів ДП Жовківське лісове господарство в залежності від коефіцієнтів складу

Найбільші площі займають хвойні ліси з коефіцієнтом складу сосни звичайної 1. Серед насаджень, у яких основною породою є дуб звичайний, найбільшими є площі лісів з коефіцієнтом складу дуба 0,4. Для інших коефіцієнтів складу насадження дуба звичайного розподілені майже рівномірно. Якщо основною породою є вільха чорна, найбільшими є площі лісів з коефіцієнтом складу 1.

Середні значення коефіцієнтів складу деревостанів для цих порід і їх середньоквадратичні відхилення наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Середні значення коефіцієнтів складу деревних порід на території ДП Жовківське лісове господарство та їх середньоквадратичні відхилення

Порода	Середній коефіцієнт складу деревостанів	Середньоквадратичне відхилення від середнього значення
Сосна звичайна	0,86	0,04
Дуб звичайний	0,61	0,05
Вільха чорна	0,74	0,04

За середніми значеннями на території лісового господарства переважає сосна звичайна, другою йде вільха чорна, а насадження дуба звичайного мають найменший середній коефіцієнт складу.

Для територій лісництв ДП Жовківське лісове господарство за даними Державного лісового кадастру середні класи природної пожежної небезпеки наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

**Середні класи природної пожежної небезпеки лісництв
ДП Жовківське лісове господарство за даними
Державного лісового кадастру**

Назва лісництва	Бутинське	Великомостівське	Вязівське	Зіболківське	Любельське	Низівське	Соснівське
Середній клас пожежної небезпеки	3,25	2,93	2,99	3,12	3,45	3,33	2,83

Вищими за середні є класи природної пожежної небезпеки у Бутинському, Зіболківському, Любельському та Низівському лісових господарствах.

Коефіцієнти кореляцій між середніми класами природної пожежної небезпеки лісництв і відносними площами, зайнятими сосною, дубом, вільхою та іншими породами дерев, наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

**Коефіцієнти кореляції середнього класу природної пожежної
небезпеки та відносної площі порід**

Порода дерев	Коефіцієнт кореляції
Сосна звичайна	-0,15
Дуб звичайний	-0,45
Вільха чорна	0,40
Інші породи	0,17

Як видно з табл. 2.8, деякі породи дерев зменшують клас пожежної небезпеки, а отже збільшують небезпеку виникнення пожеж, інші (зокрема, вільха) – збільшують цей клас (зменшують небезпеку). При-

чому, залежність між площею та пожежною небезпекою для дубових насаджень є більшою, ніж для соснових. Це ж саме можна помітити і для вільхи у порівнянні з іншими породами дерев.

Таким чином, середній склад деревостану характеризує його пожежну небезпеку. Незважаючи на переважання пожежонебезпечної сосни звичайної на більшості території ДП Жовківське лісове господарство, її поєднання з іншими породами призводить до встановлення середнього класу природної пожежної небезпеки 3,10. Збільшення площ насаджень вільхи чорної за наявності відповідних лісорослинних умов сприяє значному зниженню природної пожежної небезпеки.

Пожежна небезпека лісів за умовами погоди. З метою визначення впливу кліматичних і погодних умов на пожежну небезпеку лісів західної частини Малоого Полісся здійснено моніторинг пожежної небезпеки за умовами погоди протягом 2004 року [201, 209] за методикою В. Г. Нестерова у модифікації Гідрометцентру за формулою (1.5). Точку роси визначали за даними температури повітря та відносної вологості [11]. Динаміка зміни комплексного показника пожежної небезпеки упродовж 2004 р. наведена на рис. 2.17. Значення комплексного показника досягло максимального значення наприкінці липня, перевищуючи 10000, що свідчить про надзвичайний рівень небезпеки за шкалою Нестерова (див. табл. 1.10).

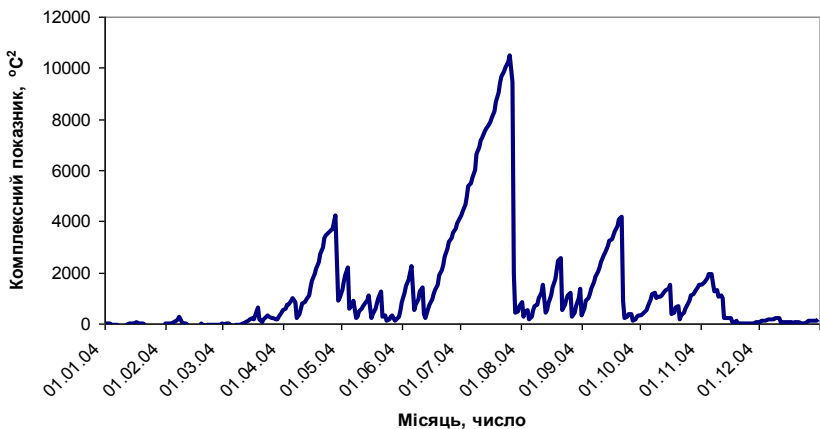


Рис. 2.17. Комплексний показник пожежної небезпеки лісів західної частини Малоого Полісся у 2004 р.

Окрім того, наприкінці квітня та вересня спостерігалось підвищення показника вище 4000, що характеризується як висока небезпека. Skorиставшись шкалою, пожежної безпеки за умовами погоди, визначено класи пожежної безпеки для кожного дня року. Середнє значення класу пожежної безпеки за умовами погоди для кожного місяця і за весь рік (табл. 2.9) визначали за формулою

$$\bar{\Gamma} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Gamma_k, \quad (2.1)$$

де n – кількість днів у місяці (році), Γ_k – комплексний показник k -го дня (місяця). Середнє значення комплексного показника за 2004 рік становить 1273, що відповідає третьому класу пожежної безпеки за умовами погоди та відповідно до якого небезпека класифікується як середня. Майже увесь липень характеризувався високою пожежною небезпекою, а два дні – надзвичайною. Дні з високою пожежною небезпекою також спостерігалися в квітні, червні та вересні.

Таблиця 2.9

Розподіл класів пожежної безпеки за умовами погоди в Малому Поліссі у 2004 році та середні значення класу пожежної безпеки за місяць та рік

Місяць	Кількість днів з класами пожежної безпеки					Середнє значення класу пожежної безпеки
	I	II	III	IV	V	
1	31					I
2	29					I
3	26	4				I
4	1	13	15	1		III
5	10	15	6			II
6	1	8	20	1		III
7		3	1	24	2	IV
8	4	14	13			II
9	5	7	16	2		III
10	2	15	14			II
11	18	1	11			II
12	31					I
Рік	158	80	96	28	2	II-III

За літні місяці середнє значення комплексного показника становило 3150, відповідно до чого пожежна небезпека класифікується як середня (за [349] – висока), а у липні – 6642, що відповідає четвертому класу пожежної небезпеки та класифікується як висока небезпека (за [349] – V клас і надзвичайна небезпека).

Проведений аналіз свідчить про те, що у Малому Поліссі в літні місяці може виникати висока, а у деякі дні – надзвичайна пожежна небезпека. Таким чином, у лісах Малого Полісся можуть виникати сприятливі умови для виникнення і поширення лісової пожежі.

Горимість у лісах Львівської області. У зв'язку з відсутністю статистичних даних про пожежі безпосередньо на території Малого Полісся, статистичний аналіз горимості лісових пожеж проведено за період 2000 – 2011 рр. для даних Львівської обл., значну частину якої становить Мале Полісся. Площа земель лісового фонду області становить 694170 тис. га [88]. Середні дані про пожежі, за якими визначали горимості лісів відповідно до шкал РосГПРОЛісу [304, 338] та ІЛІД СВ РАН [338], наведено в табл. 2.10. Отримані значення різняться між собою, проте за шкалою РосГПРОЛісу відповідають низькому, а за обома шкалами ІЛІД СВ РАН – надзвичайно низькому рівням горимості.

Таблиця 2.10

Середні дані про пожежі у лісах Львівської обл. за 2000-2011 рр.

Рік	Середня кількість пожеж, 1 / млн. га	Середня частка площ пожеж, га на 1 тис. га	Середня кількість пожеж, 1 / 100 тис. га	Середня частка площ пожеж, га на 100 тис. га
2000	0,035	$2,449 \cdot 10^{-5}$	0,0035	0,0024
2003	0,050	$1,455 \cdot 10^{-4}$	0,0050	0,0145
2004	0,001	$5,762 \cdot 10^{-6}$	0,0001	0,0006
2005	0,016	$8,643 \cdot 10^{-6}$	0,0016	0,0009
2006	0,006	$2,881 \cdot 10^{-6}$	0,0006	0,0003
2007	0,019	$1,008 \cdot 10^{-5}$	0,0019	0,0010
2008	0,003	$5,762 \cdot 10^{-6}$	0,0003	0,0006
2009	0,017	$2,593 \cdot 10^{-5}$	0,0017	0,0026
2010	0,006	$1,441 \cdot 10^{-5}$	0,0006	0,0014
2011	0,010	$2,737 \cdot 10^{-5}$	0,0010	0,0027

Для оцінювання пожежної небезпеки в окремі роки застосовано шкалу відносної горимості року [304]. Замість середньої багаторічної площі пожеж взято середнє арифметичне значення площ пожеж за роки, що розглядаються – 18, 8 га за рік (табл. 2.11).

Таблиця 2.11

Частки площ пожеж у лісах Львівської обл. по відношенню до середньої багаторічної та значення показника горимості року у 2000-2011 рр.

Рік	Відношення площі пожеж протягом року до середньої багаторічної	Показник горимості року (за [304])
2000	0,91	низький
2003	5,38	дуже високий
2004	0,21	дуже низький
2005	0,32	дуже низький
2006	0,11	дуже низький
2007	0,37	дуже низький
2008	0,21	дуже низький
2009	0,96	низький
2010	0,53	низький
2011	1,01	середній

Дуже високим показник горимості року був у 2003 р., середнім – у 2011 р., низьким – у 2000 та 2009 рр., у інші роки – дуже низьким.

Отже, показник горимості року для Малого Полісся є здебільшого дуже низьким та низьким, однак в окремі роки він є середнім, а іноді дуже високим (наприклад, 2003 р.). Вважаємо, що шкали РосГПРОЛісу та ІЛІД СВ РАН для умов Малого Полісся застосовувати недоцільно, оскільки їх діапазони для визначення ступеня горимості розраховані на інші кліматичні умови.

Висновки до розділу 2

1. Історичний розвиток лісів на території Малого Полісся у всі роки характеризувався домінуванням у складі найбільш пожежонебезпечного виду – сосни звичайної

2. Ландшафтна структура Малого Полісся сприяє поширенню лісової рослинності листяних і хвойних порід. Низькі родючість і вологість ґрунтів сприяють поширенню хвойних порід майже скрізь, особливо на півночі та на меліорованих територіях центральної частини. Погодно-кліматичні та гідрологічні умови сприяють формуванню свіжих і вологих типів лісорослинних умов, придатних для зростання хвойних та мішаних лісів.

4. Ліси борових типів лісорослинних умов становлять незначну частку і найбільше представлені свіжими сосновими борами. Серед суборових типів переважають свіжі та вологі дубово-соснові субори. Сугрудові типи переважно представлені вологими та свіжими грабово-дубовими, вологими грабово-сосновими сугрудками та сирими чорновільховими сугрудками. Груди найбільше представлені вологими і свіжими дубово-грабовими бучинами та свіжими грабовими дібровами.

5. З урахуванням розподілу типів лісорослинних умов і типів лісів лісові господарства на території Малого Полісся можна віднести до двох груп з різною пожежною небезпекою.

6. Природна пожежна небезпека лісів Малого Полісся в цілому є середньою з показником небезпеки 3,1, а в соснових насадженнях, які становлять понад половину площі лісів, небезпека зростає. За умовами погоди влітку може встановлюватися висока та подекуди надзвичайно висока небезпека, що може спричинити зростання кількостей і площ пожеж.

Розділ 3

ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження еколого-лісівничих основ пожежної безпеки лісів Малого Полісся визначено об'єкти, розроблено програму та вибрано методи досліджень.

Програма досліджень

Програма досліджень охоплює широкі та різноманітні напрями, які стосуються пірологічних процесів, зумовлених кліматичним і метеорологічним впливом, мікрокліматичними особливостями середовища лісу, фізичними процесами, які призводять до займання та поширення горіння. Реалізація програми передбачає удосконалення і розробку нових методів виявлення підвищеної пожежної небезпеки, пов'язаних з метеорологічними та кліматичними впливами на лісовий горючий матеріал, лісотипологічними і лісівничими особливостями деревостанів, дослідженням фізичних принципів виникнення та поширення пожеж і моделювання протипожежного захисту лісів.

Програмою досліджень передбачалися такі етапи:

- аналіз сучасного стану лісових пожеж і проблем пожежонебезпеки лісів;
- вивчення історико-географічних аспектів формування лісових насаджень Малого Полісся, їх лісотипологічних особливостей і пожежної небезпеки;
- дослідження пожежонебезпечних властивостей лісового горючого матеріалу;
- вивчення процесів висушування лісового горючого матеріалу і формування пожежонебезпечних властивостей лісового середовища в залежності від його просторової структури;
- дослідження процесів займання лісових горючих матеріалів;
- вивчення теплофізичних процесів, які супроводжують лісову пожежу;
- моделювання процесів поширення горіння під впливом рельєфу та вітру;
- дослідження впливу лісових пожеж на рослини в лісовому фітоценозі, довкілля та лісівничу діяльність;
- встановлення залежності вогнестійкості лісів від едафотопів;
- вивчення вогнестійкості наземного ярусу рослин;
- дослідження впливу кліматичних показників Воробйова на пожежну небезпеку лісів;

- вивчення залежності пожежної небезпеки лісів від кліматичних і погодних умов;
- удосконалення методів оцінювання пожежної небезпеки лісів;
- підвищення рівня протипожежного захисту лісів.

Реалізація програми розпочалася у 2006 р. та передбачала проведення теоретичних і експериментальних досліджень у лісах Малого Полісся та інших територій України, а також в лабораторних умовах.

Об'єкти досліджень

Для дослідження впливу вертикальної структури асоціацій на пожежну небезпеку закладено 16 пробних площ (див. табл. А.1 додатку А).

Комплексні дослідження пожежної небезпеки здійснювали на 14 пробних площах (див. табл. А.2 додатку А) із закладанням на кожній трьох ділянок, на яких вивчали лісівничі, мікрокліматичні параметри, освітленість, вологість, запас та структуру лісової підстилки, вологість та температуру ґрунту, рівень рН, фітоценотичний склад наземного ярусу, а також проводили локальні випробування пожежної небезпеки лісової підстилки. Локальні лісівничі параметри визначали за запропонованою методикою [175].

Розрахунок вмісту фітомаси, води, живиці та скипидару в деревостанах соснових і мішаних лісів здійснювали методом конверсійних коефіцієнтів П. І. Лакиди для надземної частини деревостанів на 13 пробних площах з різними типами лісорослинних умов, типами лісу, породним складом, віком, запасом і відносною повнотою відповідно до даних Державного лісового кадастру (див. табл. А.3 додатку А).

Методи досліджень

Методи дослідження пожежонебезпечних властивостей лісової підстилки та інших горючих матеріалів з низькою щільністю

Оскільки для лісових горючих матеріалів немає стандартизованих методів випробувань горючості і займистості [170], тому пожежну небезпеку лісових горючих матеріалів досліджували в лабораторних умовах за ДСТУ Б В.1.1-2-97 та Б В.2.7-19-95 [262, 264].

Пожежонебезпечні властивості лісової підстилки *in situ* визначали за розробленим методом на основі FF 1-70 [473]. Для випробувань закладали мікроділянку розміром 15×15 см, яку з метою уникнення неконтрольованого поширення вогню лісовою підстилкою відокремлювали видаленням горючого матеріалу. На поверхні підстилки розташовували та підпалювали джерело займання – гексаметилтетрамін масою 4±0,1 г. Пожежну небезпеку наземного шару підстилки оцінювали за діаметром її вигорання та вологістю. Вологість верхнього шару

підстилки A₀L визначали електронним вологоміром МГ-44 [45], а ступінь пожежонебезпеки за вологістю – за [545] (див. табл. 1.4).

Швидкість висушування горючих матеріалів та їх рівноважні вологості визначали ваговим методом з використанням лабораторних терезів і сушильної шафи. Рівноважну вологість визначали й теоретичним методом [467]

Максимальну вологість лісового горючого матеріалу, за якої він становить пожежонебезпеку (критичну вологість), визначали для матеріалу з низькою щільністю за розробленим методом. Вологість горючого матеріалу визначали вологоміром МГ-44, масу – лабораторними терезами. Для надання матеріалові необхідної вологості за допомогою медичного шприца здійснювали дозування води, масу якої обчислювали аналітичним методом з урахуванням маси та поточної вологості матеріалу. Початкова вологість матеріалу не перевищувала 5 %. Матеріал розмішували на рівній горизонтальній поверхні з низькою теплопровідністю у формі прямокутного паралелепіпеда довжиною 25 см, шириною 5 см і товщиною, характерною для природних умов. Геометричні розміри вимірювали лінійкою. Джерелом вогневої дії відповідно до [397] вибрано суміш: 0,2 кг дерев'яних опилок і 0,3 кг дизельного палива. Джерело вогневої дії встановлювали на відстані 0,5-1 см від коротшої сторони горючого матеріалу та підпалювали. Час визначали секундоміром. Після 2,5 хв джерело вогневої дії прибирали. Після загасання зрізця за допомогою лінійки визначали відстань, на яку поширилося горіння, та оцінювали частку матеріалу, який зазнав горіння. Дослідження проводили за різних вологостей матеріалу (10, 15, 20, 25 %), а також без додаткового зволоження. Критичною вважали найбільшу вологість матеріалу, за якої згоріло понад 50 % проби або вогонь поширився на відстань понад 2/3 довжини зрізця.

Визначення лінійної швидкості горіння лісової підстилки і сухої трави здійснювали за розробленим на основі [263] методом, за умов горизонтального розташування та під деяким кутом без впливу вітру і під його впливом. Матеріал вибирали з вологістю, близькою до рівноважної, зважували лабораторними терезами, визначали вологість вологоміром МГ-44 та розташовували на рівній поверхні (горизонтальній або під кутами 7,5° і 15° до горизонту) у формі прямокутних паралелепіпедів довжиною 180 см і шириною 25 см з товщиною шару, відповідно до природних умов, вимірюючи геометричні розміри лінійкою та вимірювальною рулеткою. Джерелом вогневої дії, як і в попередньому методі, була суміш дизпалива і деревних опилок. Час реєстрували

секундоміром, температуру – термоперетворювачами ТХА з пристроєм зчитування інформації РТ 0102 та персональним комп'ютером. Для вимірювання температури полум'я термопару закріплювали в штатив на висоті 0,1 м від поверхні матеріалу, а для визначення температури поверхні горючого матеріалу термопари розташовували на поверхні. Висоту та розташування полум'я визначали за горизонтальною і вертикальною шкалами. Після підпалювання джерела вогневої дії за допомогою секундоміра визначали та фіксували відстань за фіксовані проміжки часу (або час проходження фіксованих проміжків). Після проходження полум'ям деякої відстані (близько половини довжини шару матеріалу) за допомогою вентилятора імітували дію вітру, а швидкість вітру визначали за допомогою крильчатого анемометра. Попередньо експериментально встановлено, що швидкість вітру на відстані 0,4 м від вентилятора, який використовувався, становить $1 \pm 0,1$ м/с, а на відстані 0,2 м – $1,5 \pm 0,1$ м/с. Момент початку впливу вітру фіксували без переривання реєстрації параметрів. Щільність теплового потоку від полум'я визначали на відстані 0,1 м радіометром [292]. За лінійну швидкість поширення горіння брали середнє арифметичне швидкостей поширення, визначених на етапах без впливу вітру та з його впливом. Фотозйомку здійснювали за допомогою цифрової фотокамери.

Методи дослідження джерел займання

Джерела займання розташовували на поверхні горючого матеріалу. Температуру матеріалу визначали за допомогою термоперетворювачів, відносну вологість – вологоміром МГ-44, а температуру поверхні джерела займання – інфрачервоним термометром GM1150A. Для імітації вітру застосовували електровентилятор з тиристорним регулятором швидкості обертання. Швидкість вітру визначали за допомогою метеостанції Kestrel 4000, а час – секундоміром.

Методи визначення горимості лісів

Горимість лісів визначали на основі статистичних спостережень пожеж за їх кількістю та за площею, пройденою вогнем. Середню відносну горимість визначали за шкалами Інституту "РосГПРОЛіс" [304, 338] та ІЛІД СВ РАН [338]. Горимість року як відношення площі пожеж за поточний рік до середньорічної, визначеної за багато років, визначали за шкалою Ф. М. Овчиннікова [304]. Для реалізації цих методів застосовували вибірки статистичних даних про лісові пожежі у Львівській обл.

Методи визначення фітомаси надземної частини деревостану, вмісту води, живиці та скипидару і енергії, яка виділиться при пожежі

Для визначення фітомаси надземної частини деревостану використовували метод конверсійних коефіцієнтів П. І. Лакиди, які визначали для кожної з порід відповідно до походження (природне чи штучне насадження) з використанням формули [514]

$$R_v = a_0 A^{a_1}, \quad (3.1)$$

де A – вік, a_1 , a_2 – емпіричні коефіцієнти, значення яких вибирали з [514, 373] для кожного з компонентів деревостану (листя чи хвої, гілок, стовбура) в залежності від породи. За конверсійними коефіцієнтами фітомасу листя чи хвої, крони, гілок та стовбура обчислювали за формулою [514]

$$M_{fr} = V \cdot R_v, \quad (3.2)$$

де V – запас деревостану, т/м³.

Для наближеного оцінювання вмісту води у деревостані використовували значення середньої відносної вологості компонентів сосни, ялини, дуба, бука, берези та вільхи, обчислені на основі даних [97, 383, 516] (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

Середня відносна вологість компонентів надземної частини деяких дерев [97, 383, 516]

Порода дерева	Середня відносна вологість, %		
	Стовбур	Гілки	Листя (хвоя)
Сосна	53,1	57,5	57,0
Ялина	59,3	59,3	44,0
Дуб	41,7	41,7	59,0
Бук	42,8	45,3	56,0
Береза	45,4	41,0	70,5
Вільха	55,0	44,0	67,5

За даними про обсяг фітомаси та вміст у ній води визначали запас надземної частини деревостану, яка згорить під час пожежі, з урахуванням того, що під час лісової пожежі згорає близько 20 % горючих матеріалів (у сухому стані) [1], і теплоту згоряння деревини як основного виду горючого матеріалу [153, 333].

Вміст живиці та скипидару обчислювали на основі фітомаси з використанням даних про середні значення їх вмісту в сосні (частка живиці становить 4,81 % обсягу фітомаси дерева [113], а частка скипидару – до 20 % маси живиці [369], або 0,96 % обсягу фітомаси).

Інтегральну вологість поверхні стовбурів живих дерев визначали за допомогою безконтактного вологоміра деревини MD-918.

Методи визначення природної пожежної небезпеки лісів

Природну пожежну небезпеку лісів встановлювали на основі пожежонебезпечних властивостей фітоценозу та його окремих компонентів, зумовлених структурою, просторовим розміщенням, фізичними і біометричними властивостями та іншими факторами. Окрім офіційного методу встановлення класів природної пожежної небезпеки ділянок лісу [351] (див. табл. 1.6) використовували запропоновану його модифікацію з урахуванням диференційованої небезпеки листяних і хвойних порід.

На основі існуючих методів оцінювання пожежостійкості лісових насаджень [148, 274, 373, 427, 435], основні фактори яких впливають не лише на здатність насаджень протистояти пожежам, а також на їх пожежну небезпеку, застосовано метод оцінювання пожежної небезпеки лісів. За основу взято 7 найосновніших факторів, які характеризують здатність фітоценозу до займання, поширення низової пожежі та переходу її у верхову форму. Здатність до займання характеризується часткою хвойних порід, вологістю підстилки і рясністю трав. Поширення горіння під час низової пожежі оцінюється часткою хвойних порід, запасом наземного горючого матеріалу, наявністю, станом трав'яного покриття та підліску. При цьому враховано, що у вегетаційний період трав'яний покрив сприяє зменшенню небезпеки виникнення та поширення пожежі на початкових стадіях, а в сухому стані має зворотний ефект. Перехід у верхову форму оцінювали часткою хвойних порід, наявністю хвойного підросту та висотою нижніх гілок дерев. Шкала для оцінювання наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Шкала оцінювання пожежної небезпеки ділянок лісу (едафотопів)

№	Особливості ділянки (едафотопу)	Параметри та оцінка пожежної небезпеки в балах		
		Низька (0 балів)	Середня (1 бал)	Висока (2 бали)
1	2	3	4	5
1.	Наявність хвойних порід у деревостані, %	<50	50-80	<80
2.	Вологість підстилки, %	>30	25-30	<25
3.	Запас лісових горючих матеріалів, кг/м ²	<3	3-5	>5

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
4.	Проективне покриття трав (у вегетаційний період), %	>75	25-75	<25
5.	Проективне покриття підліску (у вегетаційний період), %	>75	25-75	<25
6.	Наявність домішок хвойних порід в складі підросту, %	<40	40-70	>70
7.	Середня відстань до крон, м	>10	5-10	<5

Сумарну пожежну небезпеку ділянки лісу вважали низькою (1 бал за трьохбальною шкалою), якщо сума балів не перевищувала 4, середньою (2 бали) – від 5 до 8 балів і високою (3 бали) – 9 і більше балів.

Кліматичні, метеорологічні та мікрокліматичні методи досліджень

Дані про температуру, відносну вологість повітря, опади, хмарність, швидкість і напрямок вітру використовували з архівів метеорологічних спостережень вітчизняних та зарубіжних гідрометеорологічних служб [11, 328, 329, 330, 419, 484, 532] та ін.

Під час мікрокліматичних досліджень температуру і відносну вологість повітря вимірювали спиртовими та ртутними термометрами, механічним аспіраційним психрометром МВ-4М і електронною метеостанцією Kestrel 4000.

Для визначення відносної вологості за показами сухого та вологого термометрів аспіраційного психрометра використовували психрометричні таблиці та емпіричні формули [194] (додаток Б).

Швидкість вітру визначали анемометром метеостанції Kestrel 4000.

Хмарність неба визначали візуально. Для оцінювання хмарності протягом дня використовували усереднений показник за метеорологічними спостереженнями в балах від 0 (чисте небо) до 10 (суцільні хмари).

Освітленість під наметом визначали за допомогою люксметра СТ-1330В.

Висоту снігового покриву визначали за допомогою лінійки.

Методи дослідження пожежної небезпеки лісів за умовами погоди

Пожежну небезпеку лісів за умовами погоди визначали на основі метеорологічних даних [11, 419, 329, 484, 328]. Використовували метод В. Г. Нестерова у модифікації Гідрометцентру (див. формулу (1.5)), за яким визначали комплексний показник пожежної небезпеки

як суму добутків температури повітря та різниці температури повітря і точки роси, визначених о 12 год. за період без дощу. Опади враховували за допомогою відповідного коефіцієнта. Метод і його модифікації [226, 377, 386] описані в розділі 1.

Використовували також карти лісопожежної обстановки, які розміщені на сайтах Державного агентства лісових ресурсів України [353] та Національного космічного агентства України [335].

Для визначення пожежної небезпеки за умовами погоди використовували також Канадський Лісовий погодний пожежний індекс FWI [551], який обчислювали за допомогою [502].

Для визначення пожежної небезпеки в залежності від метеорологічних умов використовували запропонований метод математичного моделювання процесу висушування горючого матеріалу [171].

Теоретичні методи визначення точки роси та її використання для визначення пожежної небезпеки лісів за умовами погоди

Точка роси – це температура, за якої в умовах сталого тиску відбувається конденсація вологи. Комплексний показник пожежної небезпеки містить цей параметр, який не завжди наведений в метеорологічних архівах. За температурою і відносною вологістю повітря точку роси обчислюють низкою методів [216] (додаток Б). Але вважаємо за доцільне застосовувати фізико-теоретичні методи, які базуються на фізичних законах.

Теоретичний метод обчислення точки роси за температурою повітря та відносною вологістю виведений на основі запропонованого у [471, 511]. Застосовано проінтегровану від точки роси t_d , °С, до t , °С (або від $T_d = T_0 + t_d$, К, до $T = T_0 + t$, К, де $T_0 = 273,15$ °С) формулу Клапейрона-Клаузіуса [453]

$$\ln \frac{e}{E} = \frac{l_v}{R} \left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T} \right), \quad (3.3)$$

де $l_v = 2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг – теплота випаровування, $R = 461,49$ Дж/(кг·К) – газова стала для водяної пари. З формул (Б.1), (3.3) отримано формулу точки роси у °С

$$t_d = \frac{1}{\frac{1}{t + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln \left(\frac{\varphi}{100} \right)} - T_0. \quad (3.4)$$

З (3.4) і (1.5) отримано формулу комплексного показника

$$\Gamma = \sum_{i=1}^n \left(t_i + T_0 - \frac{1}{\frac{1}{t_i + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln\left(\frac{\varphi_i}{100}\right)} \right) \cdot t_i, \quad (3.5)$$

де t_i – температура, °С, в день i , φ_i – відносна вологість повітря, %, в день i .

Методи дослідження лісової підстилки

Для дослідження лісової підстилки використовували різноманітні методи і методики [44, 315, 337, 341, 362].

Температуру ґрунту і лісової підстилки вимірювали за допомогою ртутних термометрів, комбінованого приладу КС-300В та інфрачервоного термометра GM1150А.

Вологість підстилки та ґрунту визначали у польових умовах за допомогою вологоміра МГ-44 і комбінованого приладу КС-300В.

Масу та фракційний склад підстилки визначали за допомогою лабораторних терезів, товщину шару вимірювали за допомогою лінійки.

Лісівничі методи досліджень

Визначення пожежної небезпеки лісів було б неповним без урахування лісівничих особливостей лісового насадження. Основними лісівничими методами є закладання пробних ділянок, на яких визначали ті параметри, які мають вплив на пожежну небезпеку. Закладання пробних площ і визначення лісотаксаційних характеристик деревостанів здійснювали за методиками М. П. Анучина [8], В. Ф. Сторожука [398] та ін. Використовували також дані Державного лісового кадастру.

Тип лісорослинних умов встановлювали на основі едафічної сітки Алексєєва-Погребняка в залежності від родючості ґрунтів і зволоження. Для визначення типів використовували також рослини-індикатори [54, 68, 159]. Розпізнавання рослин здійснювали за [77, 68, 159].

Кліматичні показники Воробйова [310] (показник вологості клімату, кількості тепла та континентальність клімату) визначали за відповідною методикою із застосуванням середньомісячних багаторічних даних, а також метеорологічних даних окремих років.

Під час польових досліджень на пробних площах вимірювання лінійних величин здійснювали з використанням рулетки, штангенциркуля та лазерного вимірювача відстані UNI-T UT391. Для їх прив'язки до карти місцевості використовували космічні знімки системи Google Maps [133], компас і GPS-приймач PG03 для визначення географічних координат на місцевості.

Методи дослідження життєздатності дерев, ушкоджених пожежею

Для оцінювання життєздатності дерев, ушкоджених лісовою пожежею, застосовували електрофізіологічні, біометричні, електрофізичні та лісотаксаційні методи (Криницький [164]; Рутковський [365], Карсаєва та ін. [132], Маторкін та ін. [265, 266], Бусигін та ін. [37]). Імпеданс і поляризаційну ємність прикамбіального комплексу тканин визначали вимірювачем опору та індуктивності УТ-601. Вимірювання здійснювали на частоті 800 Гц за допомогою електродів, розташованих на відстані 2 см, які заглиблювали в стовбур з північної сторони на глибину 1 см. Біопотенціал вимірювали за допомогою мультиметра DT-838. Температуру поверхні ґрунту визначали інфрачервоним термометром GM1150A. Масу 100 хвоїнок (сухих і зелених) визначали лабораторними терезами. Вологість ґрунту визначали вологоміром МГ-44. Температуру ґрунту, рівень рН і ступінь зволоження визначали за допомогою комбінованого приладу КС-300В. Висоту нагару визначали за допомогою рулетки. Для вимірювання температури камбію О. О. Маторкін [265, 266] рекомендує просвердлювати отвори в корі. Проте під час свердління відбувається нагрівання матеріалу, що погіршує точність вимірювання. Г. В. Бусигін [37] довів, що із зростанням життєздатності рослин зменшується не лише температура камбію, але і поверхні кори, хоча в меншому діапазоні. Тому після перевірки цієї властивості вимірювали лише температури поверхні кори дерев з північної сторони стовбура інфрачервоним термометром GM1150A. Голівні та бічні прирости вимірювали за допомогою рулетки.

Методи дослідження ґрунтів

Фізико-хімічні властивості визначали в польових і лабораторних умовах.

Вологість ґрунту визначали в польових умовах вологоміром МГ-44.

Родючість ґрунтів є позитивним фактором у накопиченні ґрунтової біомаси, яка в сухому стані є хорошим горючим матеріалом, який легко займається, стаючи сприятливою основою для поширення лісових пожеж.

Аналіз гранулометричного складу в польових умовах здійснювали за зовнішніми ознаками та мокрим органолептичним методом, у лабораторних умовах – методом Качинського. Вміст гумусу визначали методом Тюріна в модифікації Нікітіна. Кислотність ґрунту визначали в польових умовах за допомогою комбінованого приладу КС-300В, у ла-

бораторних – потенціометричним методом для водної і сольової витяжок. Гідролітичну кислотність і суму ввібраних основ визначали методом Каппена. Ступінь насиченості основами V визначали за формулою

$$V = \frac{S}{S + H} \cdot 100\%$$

де S – сума обмінних основ, мг екв./ 100 г ґрунту, H – гідролітична кислотність, мг екв./ 100 г. Обмінні кальцій та магній визначали комплексометричним методом. Легкогідролізований азот визначали методом Корнфілда, рухомі K_2O та P_2O_5 – методами Чирікова.

Математичні та статистичні методи

Обробку результатів експериментів здійснювали методами математичної статистики, кореляційного, регресійного, факторного та кластерного аналізу [93, 98, 241, 423 та ін.]. Кластерний аналіз здійснювали за коефіцієнтами кореляцій, використовуючи серединні зв'язки. Математичне моделювання на основі емпіричних даних здійснювали з використанням регресійних методів. Математичне моделювання процесів висушування лісового горючого матеріалу здійснювали із застосуванням диференціального та інтегрального числення, звичайних диференціальних рівнянь, рівнянь математичної фізики, які розв'язували із застосуванням аналітичних і чисельних методів. Обчислення визначених інтегралів здійснювали аналітичними та чисельними методами.

Розділ 4

ПРИРОДА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Будь-яка пожежа, в тому числі й лісова, відбувається за наявності трьох компонентів: горючого матеріалу, окислювача і високої температури джерела запалювання. Оскільки лісові пожежі відбуваються на відкритій місцевості та достатньо забезпечені киснем, основну увагу зосереджуємо на горючому матеріалі. Основними аспектами є види горючого матеріалу, морфологічний склад, фізичний стан, зокрема вологість, процеси висушування під дією різноманітних чинників, розташування в просторі, займання від різноманітних джерел, поширення горіння в залежності від виду, властивостей матеріалу, рельєфу та вітру, перехід від низової у верхову пожежу під впливом вертикальної структури фітоценозів та ін.

4.1. Лісовий горючий матеріал та його пожежонебезпечні властивості

Лісовий масив характерний великим різноманіттям видів горючого матеріалу, кожен з яких може перебувати у двох станах: живому і мертвому (сухому) [195]. Лісове середовище у взаємодії з довкіллям продукує горючий матеріал, впливаючи на динаміку його властивостей внаслідок розвитку рослин, їх взаємодії у фітоценозі, періодичного та випадкового впливу навколишнього середовища, а також антропогенного впливу. Основні види горючого матеріалу в лісах Малого Полісся, зображено на схемі (рис. 4.1). Кожен з них займає певне місце в горизонтальній і вертикальній структурі лісу та бере участь у пожежі відповідного виду. Займання і поширення горіння зумовлюється видом горючого матеріалу, його фізичними властивостями, зокрема вологістю, запасом і особливостями просторового розміщення.

Найбільшу частку горючого матеріалу в лісовому насадженні становить деревина. Одним з найважливіших пожежонебезпечних параметрів горючого матеріалу є температура займання. Для деревини різних порід цей показник незначно відрізняється і становить: дуб – 230°C, ялина – 240°C, сосна – 250°C [153]. Але займання стовбурів і гілок є вторинним та відбувається від полум'я інших видів горючого матеріалу.

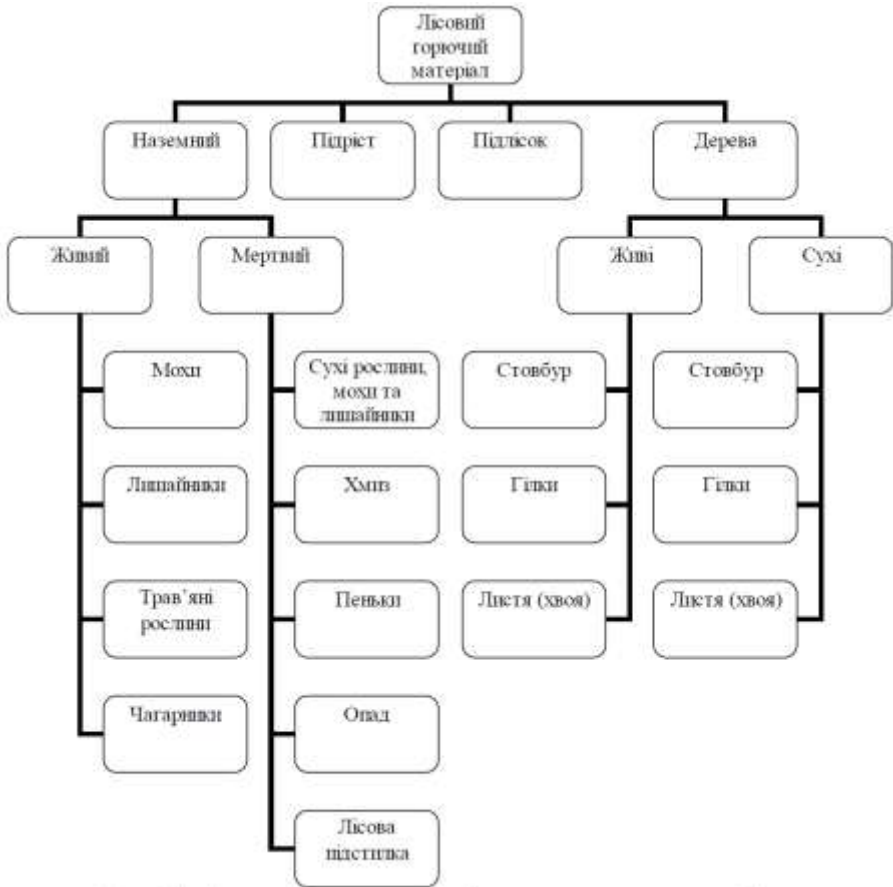


Рис. 4.1. Схема основних видів лісового горючого матеріалу

Найбільшу небезпеку становить наземний мертвий горючий матеріал, який складається з тонких сухих фрагментів, легко займається та є провідником горіння під час низової пожежі. У переважній більшості випадків низова пожежа починається з займання підстилки. Листя і хвоя є основними складниками опадів та формують лісову підстилку. Швидкість поширення низової пожежі також залежить від температури займання горючого матеріалу.

Верхова пожежа виникає внаслідок займання крон, а саме: гілок, вкритих листям або хвоєю. Тому температура займання живого листя (хвої) зумовлює процеси виникнення та поширення верхової пожежі. З

метою оцінювання пожежної небезпеки листя і хвої в лабораторних умовах визначено температуру займання цих горючих матеріалів у сухому та свіжозірваному стані для найпоширеніших порід дерев Малоого Полісся: сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.), граба звичайного (*Carpinus betulus* L.) і вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.). Результати досліджень наведені на рис. 4.2.

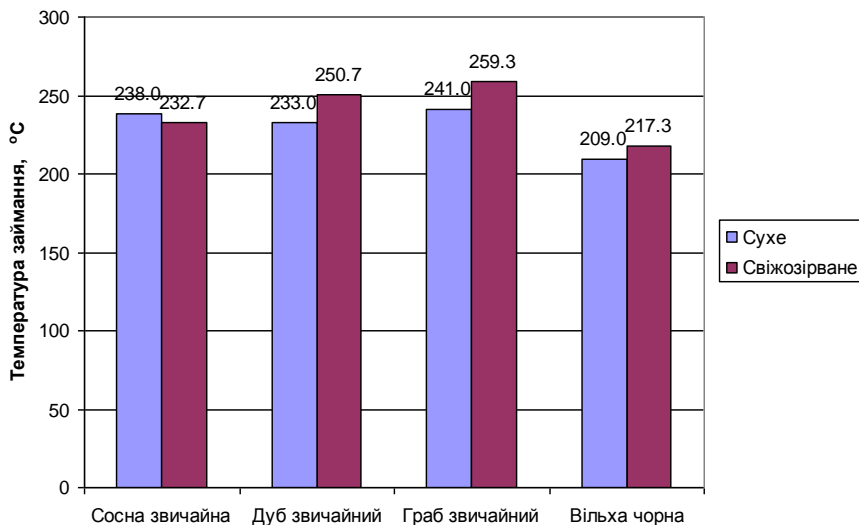


Рис. 4.2. Температури займання сухого та свіжозірваного листя (хвої) найпоширеніших порід дерев Малоого Полісся

Температури займання свіжозірваного листя досліджених порід є вищими за відповідні показники в сухому стані, що зумовлено сповільненими процесами висушування та піролізу, а також руйнуванням білкової структури клітин. Для хвої спостерігається протилежний ефект, який пояснюємо більшим вмістом у свіжозірваній хвої горючих речовин – живиці та скипидару. На нашу думку, відносно низька температура займання живої хвої є причиною інтенсивного розвитку верхових пожеж у хвойних лісах. Відносно низька температура займання сухого листя вільхи чорної сприяє виникненню низової пожежі в чорновільхових деревостанах за умов тривалої посухи, проте такі пожежі спостерігаються рідко через інтенсивні процеси мінералізації листяного опаду та високу вологість підстилки, зумовлену несприятливими для горіння мікрокліматичними умовами під наметом навіть за умов високого рівня

пожежної небезпеки за умовами погоди. Верхова пожежа у чорновільхових лісах виникає також рідко, оскільки вона є наслідком низової. Окрім того, температура полум'я під час горіння сухого листя вільхи чорної становить $604,7^{\circ}\text{C}$ і є нижчою від температури полум'я сухого листя дуба звичайного ($679,3^{\circ}\text{C}$) та сухої хвої сосни звичайної ($696,7^{\circ}\text{C}$), що погіршує умови поширення пожежі підстилкою в чорновільхових лісах.

Окрім листя та хвої наземний горючий матеріал складається з фрагментів трав'яних рослин і невеликих чагарників, які також є пожежонебезпечними в сухому стані. В лабораторних умовах визначено температуру займання деяких поширених у Малому Поліссі видів рослин в сухому стані (рис. 4.3).

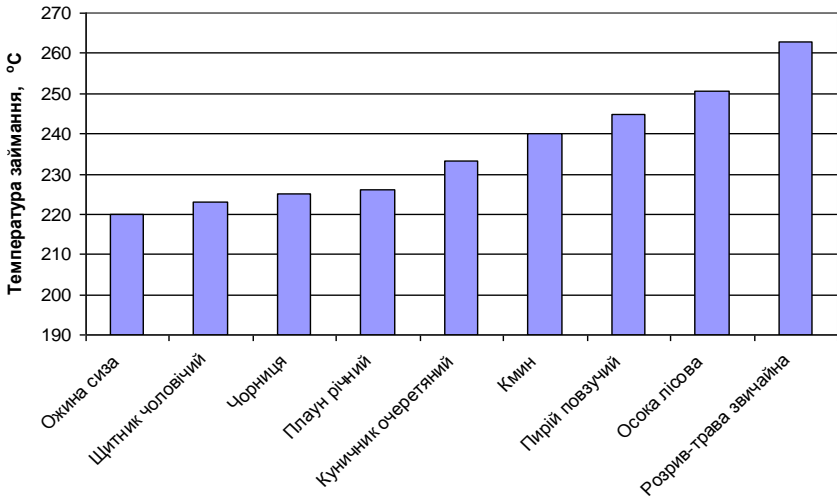


Рис. 4.3. Температури займання деяких трав'яних рослин та чагарників у сухому стані

Низькі температури займання (до 230°C) властиві ожині сизій (*Rubus caesius* L.), щитнику чоловічому (*Dryopteris filix mas* (L.) Schott), чорниці (*Vaccinium myrtillus* L.) і плауну річному (*Lycopodium annotinum* L.). Середні температури займання ($230\text{-}250^{\circ}\text{C}$) виявлені у представників тонконогових (куничник очеретяний (*Calamagrostis arundinacea* Roth.), пирій повзучий (*Agropyrum repens* P.B.)) та зонтичних (кмин (*Carum carvi* L.)). Високими температурами займання (понад 250°C) характеризується осока лісова (*Carex sylvatica* Huds.) і розрив-трава звичайна (*Impatiens noli-tangere* L.).

Температури полум'я під час горіння сухих трав'яних рослин і чагарників розподілені дещо інакше (рис. 4.4).

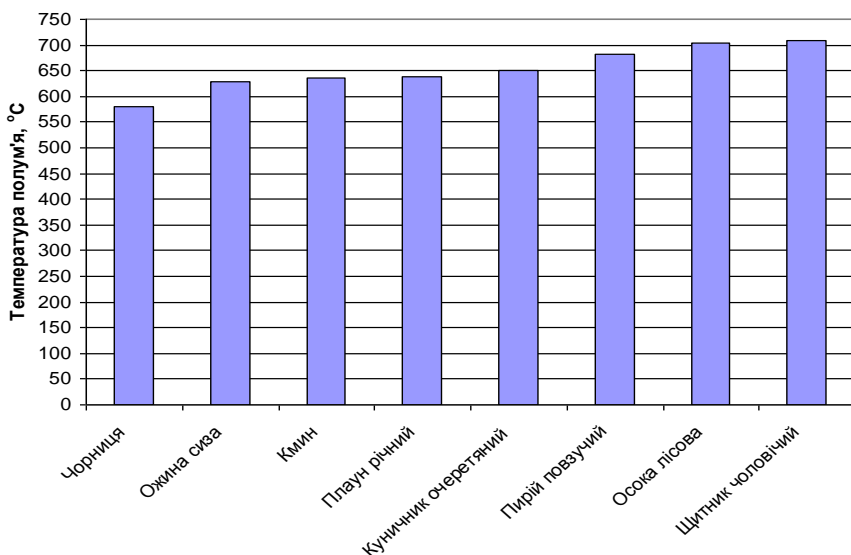


Рис. 4.4. Температури полум'я під час горіння деяких трав'яних рослин і чагарників у сухому стані

Низькою (до 600°C) є температура полум'я чорниці, середніми (600-700°C) – температури полум'я ожини сизої, кмину, плауна річного, куничника очеретяного та пирія повзучого, а високими (понад 700°C) – осоки лісової і щитника чоловічого. Незначні (до 150°C) різниці між температурами полум'я під час горіння лісових горючих матеріалів наземного ярусу свідчать про те, що у разі займання в сухому стані будь-який з них є пожежонебезпечним і становить загрозу для лісу.

Кожен з видів горючого матеріалу рослинного походження, що входить до складу лісової підстилки, бере участь у формуванні її пожежонебезпечних властивостей, найосновнішими з яких є товщина, запас, щільність, морфологічний склад і вологість. Під час комплексних польових досліджень пожежної небезпеки лісів на 42 пробних ділянках (по 3 на кожній з 14 пробних площ, див. табл. А.2 додатку А), позначених точками 1, 2 та 3 на схемах додатку В, визначено середні значення цих параметрів і їх вплив на пожежну небезпеку підстилки, яку оцінювали за діаметром вигорання та вологістю верхнього шару (рис. 4.5).

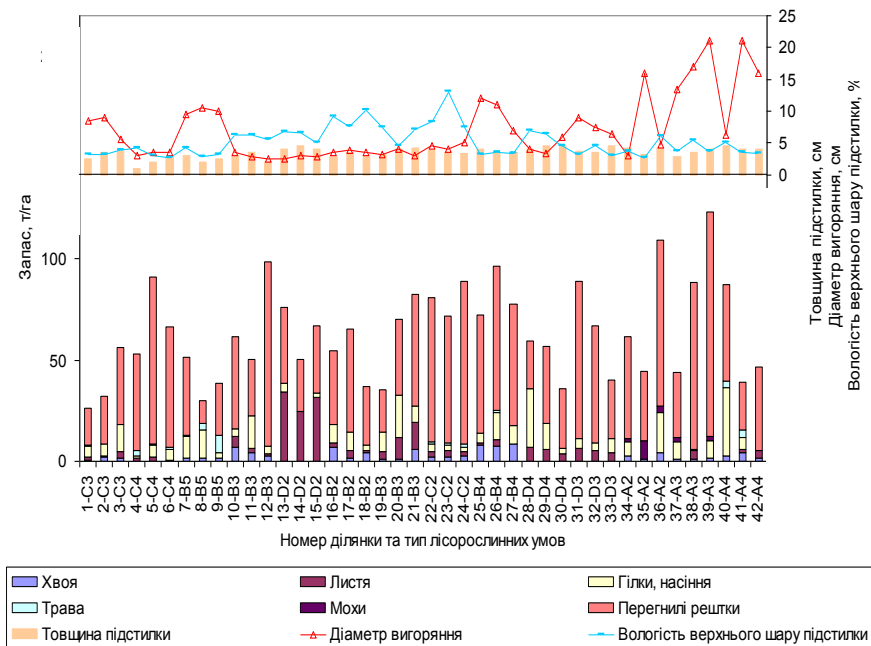


Рис. 4.5. Запас лісової підстилки за фракціями, товщина та пожежонебезпечні показники на пробних ділянках

За значеннями коефіцієнтів кореляції (табл. 4.1) встановлено наявність статистично значимої залежності з рівнем значущості 0,05 між діаметром вигорання підстилки та її параметрами: часткою листя (діаметр зростає із зменшенням частки листя), часткою моху (діаметр зростає із збільшенням частки моху) і вологістю підстилки (діаметр зростає із зменшенням вологості). Найістотніше впливає на діаметр вигорання вологість підстилки, слабшим є вплив частки листя і моху. Інші складники та щільність підстилки також впливають на діаметр вигорання, проте неістотно. Практично відсутня залежність між діаметром вигорання і товщиною, а також запасом підстилки.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти кореляції між параметрами підстилки та її пожежонебезпечними показниками

Пожежо-небезпечні показники	Товщина, см	Запас, т/га	Щільність, кг/м ³	Морфологічний склад, % запасу						Вологість верхнього шару, %
				Хвоя	Листя	Гілки, насіння	Трава	Мох	Перегнилі рештки	
Діаметр вигоряння, см	0,06	0,00	-0,14	0,11	-0,32	-0,11	0,22	0,34	0,18	-0,48
Вологість верхнього шару, %	0,12	0,10	-0,03	0,16	0,19	-0,05	-0,22	-0,21	-0,04	-

Отже, незважаючи на те, що температури займання сухої хвої сосни звичайної, листя дуба звичайного та граба звичайного є близькими між собою, а температура займання сухого листя вільхи чорної є дещо нижчою, пожежна небезпека чорновільхових лісів є меншою, оскільки температура полум'я під час горіння сухого листя вільхи чорної є також нижчою за відповідні температури для листя інших порід більш як на 70°C, а хвої сосни звичайної – на 90°C, що зменшує небезпеку поширення низової пожежі в чорновільхових лісах, а у соснових – збільшує її. У зв'язку з тим, що температура займання живої хвої є нижчою, ніж сухої, небезпека виникнення та поширення верхової пожежі в насадженнях сосни звичайної є вищою, ніж у листяних, оскільки для листя характерною є протилежна залежність. Зменшенню пожежної небезпеки підстилки найістотніше сприяє зростання вологості її верхнього шару, збільшення в її структурі частки листя та зменшення частки мохів.

4.2. Процеси висушування лісового горючого матеріалу

Здатність лісового горючого матеріалу займатися залежить не лише від його виду та структури, але і від вологості, яка встановлюється в залежності від умов погоди. Така залежність відображається в різноманітних системах визначення пожежної небезпеки лісів, найвідомішими з яких є індекс пожежної небезпеки за умовами погоди на основі комплексного показника Нестерова та його модернізації Гідрометцентром [297, 386], канадський Forest Weather Index (FWI) [551], National Fire Danger

Rating System (NFDRS, США) [531]. Під дією температури повітря, сонячної радіації, конвективних потоків повітря та за відсутності опадів відбувається висушування матеріалу, тобто зниження його вологості. Якщо вологість досягає критичного значення, матеріал може легко зайнятися. Найпоширеніші системи визначення пожежної небезпеки частково враховують процес висушування лісового горючого матеріалу. Комплексний показник пожежної небезпеки враховує випаровування води з відкритої поверхні [386], однак цей фізичний процес відрізняється від висушування матеріалу. Окрім того, він зростає із зростанням температури та спаданням відносної вологості, а напрямок градієнта є найближчим до напрямку зростання температури за відносної вологості повітря біля 36 % (додаток Д). FWI містить емпіричні формули, які описують висушування, але не враховують зміни рівноважної вологості, яка істотно залежить від погодних умов. NFDRS враховує вологість горючого матеріалу, поділяючи його на окремі види в залежності від геометричних розмірів. При цьому також використовуються емпіричні формули. Через використання емпіричних формул FWI і NFDRS потребують локалізації перед застосуванням у різних кліматичних зонах. Локалізувати слід й індекс пожежної небезпеки за умовами погоди введенням місцевих шкал комплексного показника. З метою уникнення адаптації шкал пожежної небезпеки, яка потребує великих вибірок статистичних даних про пожежі, невластивих для Малоого Полісся, актуальним є розробка методики визначення пожежної небезпеки, яка базується на фізичних принципах висушування горючих матеріалів.

Експериментальне дослідження процесів висушування деяких лісових горючих матеріалів. Живий лісовий горючий матеріал рослинного походження у випадку порушення умов існування (зволоження, освітленості, температури) або внаслідок механічного ушкодження, висихає. Процес висушування різних рослин (фрагментів) відбувається неоднаково через особливості їхньої будови. Для дослідження висушування різних видів лісового горючого матеріалу 22.04.2012 у лісі відібрано фрагменти надземних рослин (гілки з листям (хвоєю), стебла з листям, суцвіття та ін.): малини звичайної (*Rubus idaeus* L.), сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), ожини сизої (*Rubus caesius* L.), крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.) та анемони дібрової (*Anemone nemorosa* L.) [176]. Взірці розмістили в захищеному від опадів і прямих сонячних променів місці. Експеримент тривав 3 тижні. Динаміку зміни абсолютної вологості – величини, яка описує відношення маси води до маси абсолютно-сухої речовини у % (далі – вологості) взірців зображено на рис. 4.6.

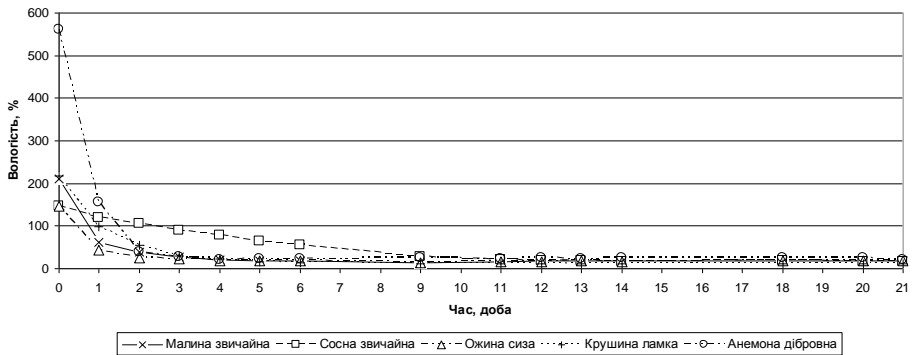


Рис. 4.6. Залежність вологості деяких видів лісового горючого матеріалу від часу висушування

Найвищою є початкова вологість анемони дібрової 561,9 %. Понад 200 % цей показник становить для малини звичайної (210,8 %) і крушини ламкою (217,3 %). Найменшими є початкові вологості сосни звичайної (146,1 %) та ожини сизої (147,1 %). Процес висушування гілок сосни звичайної з хвоєю істотно відрізняється від інших рослин і відбувається з майже сталою швидкістю (рис. 4.7). Швидкість висушування інших рослин є найбільшою в першу добу, а далі різко спадає. Починаючи з третьої доби вологість усіх видів горючого матеріалу, окрім сосни, зазнавала незначних коливань та відрізнялася від середнього значення не більше, ніж на 5 %, тобто набуває значень, близьких до рівноважної вологості, тобто стану, в якому волога рівномірно розташовується всередині матеріалу і набуває значення, відповідного до температури та відносної вологості навколишнього повітря [308].

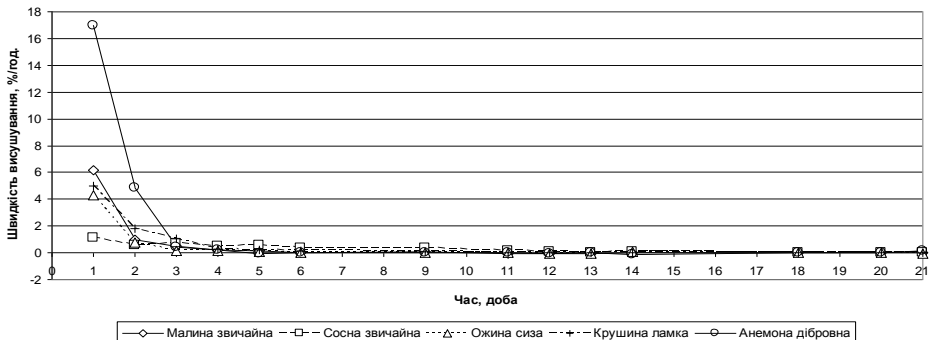


Рис. 4.7. Залежність швидкості висушування деяких видів лісового горючого матеріалу від часу

Швидкість висушування досліджуваних матеріалів починаючи з 9-ї доби становила $0 \pm 0,1$ %/год. Для гілок сосни звичайної швидкість висушування стала нижчою за $0,1$ %/год на 12-у добу.

Аналогічні дослідження проведено і для інших рослин та їх фрагментів: щучника дернистого (*Deschampsia caespitosa* (L.) P.B.), куничника очеретяного (*Calamagrostis arundinacea* Roth.), осоки лісової (*Carex sylvatica* Huds.), чорниці (*Vaccinium myrtillus* L.), пір'я повзучого (*Agropyrum repens* P.B.), тисячолістника хрящуватого (*Achillea ptarmica* L.), плауна річного (*Lycopodium annotinum* L.), звіробою звичайного (*Hypericum perforatum* L.), щитника чоловічого (*Dryopteris filix mas* (L.) Schott), підмаренника чіпкого (*Galium aparine* L.), деревію тисячолістого (*Achillea millefolium* L.), кмину (*Carum carvi* L.) і розрив-трави звичайної (*Impatiens noli-tangere* L.). Враховуючи результати попереднього дослідження, висушування здійснювали протягом 14 діб. Динаміка висушування трав'яних рослин та чагарників схожа до першого досліді (окрім сосни). Найінтенсивніше втрачається вологість протягом першої доби, а далі різко сповільнюється, оскільки вологість прямує до рівноважної.

Значення початкової вологості фрагментів рослин, отримані експериментальним методом, наведені на рис. 4.8.

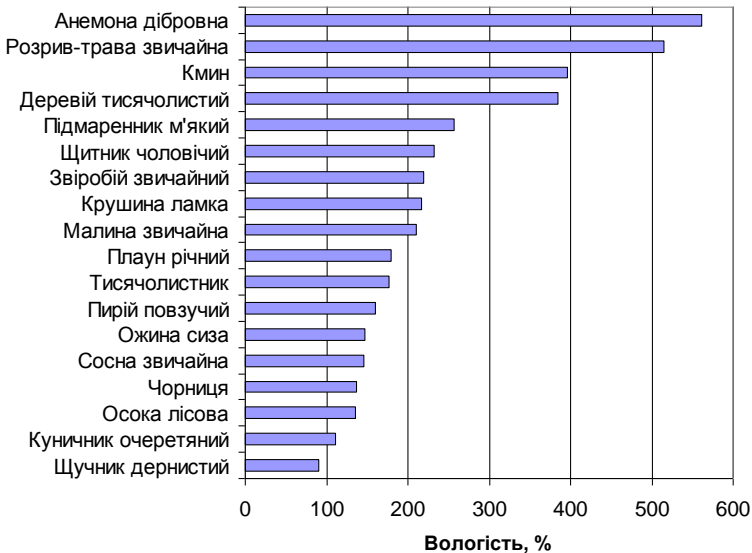


Рис. 4.8. Початкова вологість свіжозірваних фрагментів живих рослин

За цим показником у вегетаційний період найбільш небезпечними є рослини, фрагменти яких мають вологість, меншу за 200 %, зокрема представники родини тонконогових, осока лісова та чорниця. Відносно безпечними є рослини з вологістю від 200 до 300 % (малина звичайна, крушина ламка, звіробій звичайний, щитник чоловічий та підмаренник чіпкий). І найбезпечнішими є рослини з початковою вологістю понад 300 % (деревій тисячолістий, кмин, розрив-трава звичайна та анемона дібровна).

У сухому стані фрагменти рослин набувають рівноважної вологості, яка залежить від виду рослин і мікрокліматичних умов. Середні значення рівноважної вологості наведені на рис. 4.9. Оскільки сухі фрагменти рослин формують шар лісової підстилки, за шкалою залежності ступеня пожежної небезпеки від вологості верхнього шару підстилки (див табл. 1.4) встановлено, що в сухому стані високу небезпеку становлять кунічник очеретяний і осока лісова, низьку – ожина сиза, малина звичайна, анемона дібровна та деревій тисячолістий. Решта рослин, які досліджувалися, характеризуються середнім ступенем небезпеки.

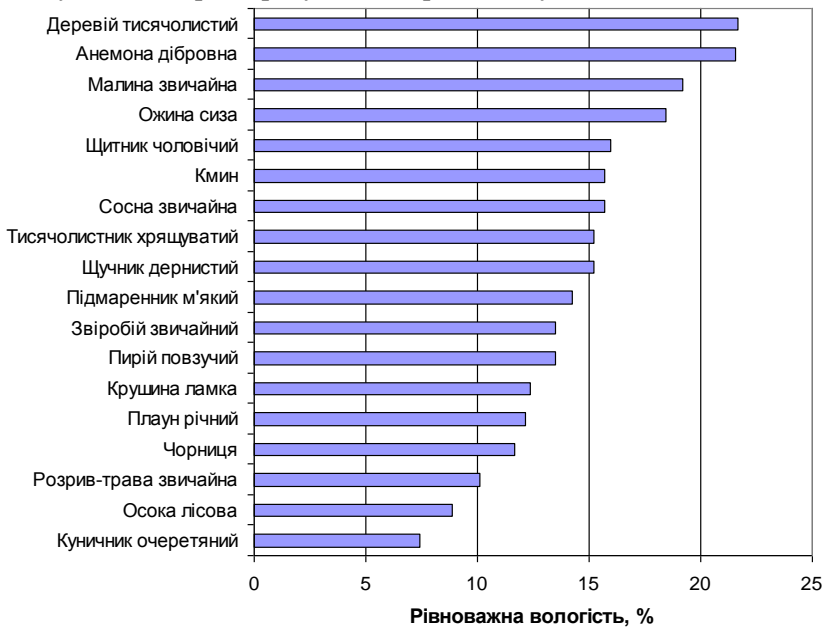


Рис. 4.9. Середні значення рівноважної вологості фрагментів рослин

Досліджено також процес висушування листя дуба звичайного, граба звичайного, бука лісового та вільхи чорної, зірваного 19.08.2012. Свіжозірване листя характеризується неоднаковою вологістю (рис. 4.10).

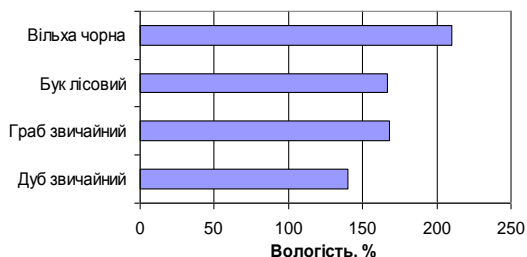


Рис. 4.10. Вологість свіжозірваного листя деяких порід дерев

Найбільшою є вологість листя вільхи чорної. Листя бука та граба мають майже однакову вологість, нижчу, ніж вільхи чорної. Найменший цей показник для листя дуба звичайного. Висока вологість листя вільхи зумовлена її гігрофітністю, а низька вологість листя дуба – високою щільністю тканин.

Рівноважна вологість листя характеризує їх пожежну небезпеку в сухому стані, зокрема в структурі опадів. Розподіл рівноважної вологості відрізняється від розподілу початкової вологості (рис. 4.11).

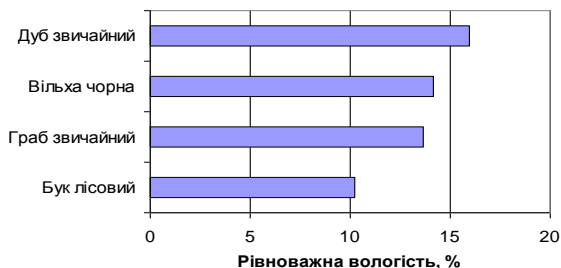


Рис. 4.11. Рівноважна вологість листя деяких порід дерев

Найбільшою є рівноважна вологість листя дуба звичайного. Тому опад і підстилка дубових лісів є найбільш безпечними, а небезпека цього горючого матеріалу є середньою (див. табл. 1.4 [545]). Меншим цей показник є для листя вільхи чорної та граба звичайного, але пожежна небезпека таких горючих матеріалів є також середньою. І найнижчою є рівноважна вологість листя бука лісового, підстилка якого становить високу небезпеку.

Отже, експериментально встановлено, що найбільш інтенсивним висушування фрагментів рослин (окрім сосни звичайної) відбувається на початковому етапі і триває 1-2 доби в залежності від виду, а далі різко сповільнюється, досягаючи вологості близької до рівноважної. Пожежна небезпека живих рослин з урахуванням їх вологості є найвищою для злаків, осоки лісової та чорниці. В сухому стані низькі значення рівноважної вологості властиві, здебільшого, тим рослинам, які мали низьку початкову вологість: куничнику очеретяному, осоці лісовій, розрив-трави звичайній та чорниці. Пожежну небезпеку хвойних порід слід розглядати окремо з урахуванням не лише вологості, але й особливостей їх хімічної структури.

Математичне моделювання процесу висушування лісового горючого матеріалу. Для оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди у [193] проведено математичне моделювання висушування горючих матеріалів. Висушування матеріалів у загальному випадку описується системою рівнянь теплопровідності, вологопровідності та тиску водяної пари. Проте за низькотемпературного висушування цей процес достатньо точно описується спрощеним рівнянням [247]

$$\frac{dW}{d\tau} = -K(W - W_p), \quad (4.1)$$

де W – вологість матеріалу, %, W_p – рівноважна вологість, %, K – коефіцієнт висушування, год^{-1} , τ – час, год [161, 247]. Коефіцієнт висушування залежить від матеріалу та температури. Для невеликих діапазонів зміни температури його визначають експериментально за формулою

$$K = \frac{\ln\left(\frac{W_1 - W_p}{W_2 - W_p}\right)}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (4.2)$$

отриманою після інтегрування рівняння (4.1), де $W_1=W(\tau_1)$, $W_2=W(\tau_2)$ – вологості в моменти часу τ_1 і τ_2 , а рівноважна вологість вважається сталою. Коефіцієнт висушування можна також визначати за формулою

$K = \frac{\beta}{R}$, де $2R$ – товщина матеріалу, м, β – коефіцієнт вологовіддачі, м/год.

Для моделювання процесу висушування лісового горючого матеріалу використано рівняння (4.1). Але це рівняння містить рівноважну вологість W_p , яка не є сталою, а залежить від температури та відносної вологості повітря [456]. Оскільки температура і відносна вологість повітря змінюються з часом під впливом як випадкових, так і закономірних (пов'язаних з сезонними та добовими природними зміна-

ми) явищ і процесів, то одночасно з ними змінюється й рівноважна вологість. Тому в рівнянні (4.1) вважаємо, що $W_p = W_p(\tau)$. У такому випадку диференціальне рівняння 1-го порядку стає лінійним. Після його інтегрування на відрізку $[0; \tau]$ з початковою умовою $W(0) = W_0$, де W_0 – вологість на початку висушування, отримуємо розв’язок

$$W = W(\tau) = e^{-K\tau} \left(K \int_0^{\tau} W_p(t) e^{Kt} dt + W_0 \right), \quad (4.3)$$

який описує вологість матеріалу в кожен момент часу τ . Легко довести, що для великих значень τ вологість матеріалу W наближається до рівноважної W_p і не залежить від початкової вологості W_0 .

Вимірювання температури та відносної вологості повітря здійснюють, як правило, в фіксовані моменти часу $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n, \dots\}$, яким відповідатимуть значення рівноважної вологості $\{W_p(\tau_1), W_p(\tau_2), W_p(\tau_3), \dots, W_p(\tau_n), \dots\}$. Позначивши $W_{p,i} = W_p(\tau_i)$, $i \in \mathbb{N}$ та скориставшись властивостями лінійності визначених інтегралів і формулою правих прямокутників для їх наближеного обчислення, формулу (4.3) для $\tau = \tau_m$, $m \in \mathbb{N}$, перепишемо у вигляді

$$W_m = W(\tau_m) = e^{-K\tau_m} \left(K \sum_{i=1}^m W_{p,i} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} e^{Kt} dt + W_0 \right) = e^{-K\tau_m} \left(\sum_{i=1}^m W_{p,i} (e^{K\tau_i} - e^{K\tau_{i-1}}) + W_0 \right). \quad (4.4)$$

Використання формули (4.4) для обчислення вологості за великих значень τ_m є ускладненим через великі значення експонент. Тому для практичного застосування замість (4.3) і (4.4) виведено рекурентну формулу:

$$\begin{aligned} W_m &= e^{-K\tau_m} \left(\sum_{i=1}^m W_{p,i} (e^{K\tau_i} - e^{K\tau_{i-1}}) + W_0 \right) = e^{-K\tau_m} \left(W_{p,m} (e^{K\tau_m} - e^{K\tau_{m-1}}) + \sum_{i=1}^{m-1} W_{p,i} (e^{K\tau_i} - e^{K\tau_{i-1}}) + W_0 \right) = \\ &= e^{-K\tau_m} W_{p,m} (e^{K\tau_m} - e^{K\tau_{m-1}}) + \frac{e^{-K\tau_m}}{e^{-K\tau_{m-1}}} e^{-K\tau_{m-1}} \left(\sum_{i=1}^{m-1} W_{p,i} (e^{K\tau_i} - e^{K\tau_{i-1}}) + W_0 \right) = \\ &= W_{p,m} (1 - e^{-K(\tau_m - \tau_{m-1})}) + \frac{e^{-K\tau_m}}{e^{-K\tau_{m-1}}} W_{m-1} = W_{p,m} (1 - e^{-K(\tau_m - \tau_{m-1})}) + e^{-K(\tau_m - \tau_{m-1})} W_{m-1}, \quad m \in \mathbb{N}. \end{aligned}$$

Відповідно до цієї формули вологість матеріалу в момент часу τ_m можна обчислювати на основі рівноважної вологості $W_{p,m}$ в цей момент часу та його вологості W_{m-1} у попередній момент часу τ_{m-1} за формулою

$$W_m = \alpha W_{m-1} + (1 - \alpha) W_{p,m}, \quad (4.5)$$

де

$$\alpha = e^{-K(\tau_m - \tau_{m-1})}. \quad (4.6)$$

Зауважимо, що формулу, подібну до (4.5), було запропоновано та обгрунтовано ефективність в [555], проте з емпіричним коефіцієнтом α , на відміну від заданого формулою (4.6).

Оскільки висушування супроводжують фізико-хімічні процеси, вони впливають на коефіцієнт висушування, який, загалом, залежить від часу. Для встановлення такої залежності проведено експериментальне дослідження висушування свіжих тонких гілок сосни звичайної з хвоєю, під час якого горючий матеріал знаходився в приміщенні з майже незмінною температурою $23 \pm 1^\circ\text{C}$ та відносною вологістю повітря $55 \pm 2\%$. Ваговим методом визначено рівноважну вологість – 9,7 %, яка є близькою до отриманої за емпіричними формулами [467] – 9,8 %. Встановлено, що коефіцієнт висушування протягом 150-200 год від початку експерименту майже не змінювався та становив близько $0,003\text{--}0,004 \text{ год}^{-1}$, а далі до завершення експерименту зростав, зазнаючи коливань, зумовлених, найімовірніше, короткочасним впливом сторонніх чинників на мікроклімат у приміщенні та змінами рівноважної вологості (рис. 4.12). Середнє значення коефіцієнта висушування K , отримане експериментальним методом для тонких гілок сосни з хвоєю, дещо відрізняється від наведеного в [535] – $0,0088 \text{ год}^{-1}$ і становить $0,011 \text{ год}^{-1}$. З урахуванням залежності від часу коефіцієнт висушування тонких гілок з хвоєю сосни звичайної описується регресійною залежністю

$$K = 0,001e^{0,0062\tau}, \quad (4.7)$$

де τ – час, год. Для інших лісових горючих матеріалів K визначають аналогічно.

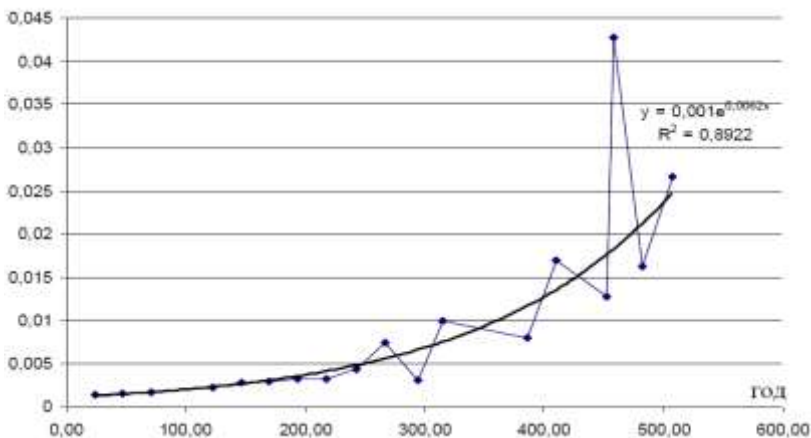


Рис. 4.12. Залежність коефіцієнта висушування K тонких соснових гілок з хвоєю від часу

Оскільки коефіцієнт K протягом 10 діб висушування змінюється незначно, для моделювання за формулою (4.5) його вважали сталим. Моделювання здійснили для деяких лісових горючих матеріалів, висушування яких досліджували експериментально. Значення коефіцієнта висушування K для (4.6) обчислювали за формулою (4.2) за першу добу. Для рослин, які зберігали високу швидкість висушування протягом другої доби, використано середнє значення K за перші дві доби. Під час розрахунків коефіцієнта висушування (табл. 4.2) використовували середні значення рівноважної вологості. Оскільки рівноважна вологість залежить від температури та відносної вологості повітря, які змінюються протягом доби, в (4.5) підставляли рівноважну вологість, обчислену за формулами [467], але з коефіцієнтом, який забезпечує її середнє значення, отримане внаслідок експерименту.

Таблиця 4.2

Коефіцієнт висушування K деяких лісових горючих матеріалів
 (* – за першу добу, ** – за дві доби)

Назва рослини (вид лісового горючого матеріалу)	Коефіцієнт висушування K , год ⁻¹
Малина звичайна (гілки та листя)	0,04830**
Сосна звичайна (тонкі гілки та хвоя)	0,00751**
Ожина сиза (тонкі гілки та листя)	0,05956**
Крушина ламка (гілки та листя)	0,03328**
Анемона дібровна (надземна частина)	0,07255**
Куничник очеретяний (надземна частина)	0,10778*
Осока лісова (надземна частина)	0,13001*
Щитник чоловічий (надземна частина)	0,14282*
Підмаренник чіпкий (надземна частина)	0,11186*
Деревій тисячолистий (гілки та листя)	0,12841*
Кмин (надземна частина)	0,06281**
Пирій повзучий (надземна частина)	0,04867**
Звіробій звичайний (надземна частина)	0,06006**
Тисячолістник хрящуватий (надземна частина)	0,07436**
Щучник дернистий (надземна частина)	0,06404**
Розрив-трава звичайна (надземна частина)	0,03848**
Плаун річний (гілки)	0,04832*
Чорниця (надземна частина)	0,05032*
Дуб звичайний (листя)	0,14435**
Граб звичайний (листя)	0,17303**
Бук лісовий (листя)	0,14214**
Вільха чорна (листя)	0,06208**

Задавши отримані під час експериментальних досліджень початкові значення вологості W_0 , за рекурентною формулою (4.5) з використанням (4.6) і відповідних значень коефіцієнта висушування (див. табл. 4.2) отримано залежності вологості від часу для рослин, які досліджували. Деякі з них наведено на рис. 4.13. Залежності для фрагментів інших рослин, які досліджувалися, наведені в додатку Е. Найповільніше висихають гілки з хвоєю сосни звичайної. Процеси висушування трав'яних рослин і дрібних чагарників відбувається швидше. Але найшвидше позбавляється вологості листя дерев.

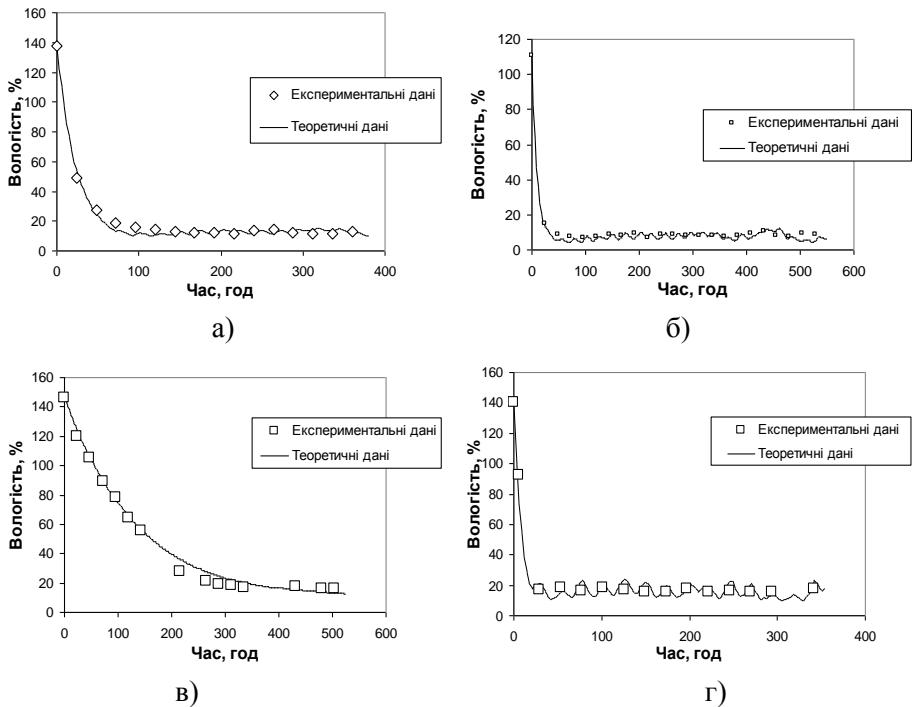


Рис. 4.13. Залежності вологості фрагментів рослин від часу висушування:

а – чорниця; б – куничник очеретяний; в – сосна звичайна;
г – дуб звичайний

Математична модель достатньо точно описує процес висушування кожного з горючих матеріалів (коефіцієнти кореляцій між теоретичними та експериментальними значеннями вологості становлять 0,98-0,99). Модель виявляє добові коливання вологості горючих мате-

ріалів, які є найбільшими для листя дерев, а для сосни звичайної майже не відчутними. Відмінності амплітуд добових коливань вологості фрагментів різних рослин зумовлені їх швидкостями висушування, які можна оцінити за коефіцієнтом висушування (див табл. 4.2), із збільшенням якого швидкість висушування зростає.

Запропонований метод математичного моделювання процесу висушування лісового горючого матеріалу описує його динаміку та дозволяє виявляти і прогнозувати встановлення пожежонебезпечного стану за вологістю. На основі експериментальних і теоретичних досліджень встановлено, що ступінь пожежної небезпеки за вологістю лісової підстилки залежить від породного складу дерев та інших рослин фітоценозу, які беруть участь у її формуванні. За тривалої відсутності опадів найбільшу небезпеку становить підстилка з листя бука лісового (від найвищого ступеня до середнього), нижчою є небезпека підстилки граба звичайного та вільхи чорної (від високого до низького ступеня), а найнижчою – дуба звичайного (від високого до дуже низького ступеня). Ступінь пожежної небезпеки хвойної підстилки є середнім, проте вона може становити небезпеку і за вищої вологості, а також у зволоженому стані, оскільки містить живицю. Добові коливання рівноважної вологості горючих матеріалів зумовлюють їх неоднакову пожежну небезпеку впродовж доби, а величина розмаху залежить від швидкості висушування або коефіцієнта висушування, із зменшенням якого вона зростає.

4.3. Вплив радіальних та латеральних потоків на пожежонебезпечні властивості лісового середовища

Формування середовища лісу та його пожежонебезпечного стану відбувається під впливом радіальних і латеральних потоків [169]. Внаслідок відповідних співвідношень потоків енергії та речовини формуються мікрокліматичні умови розвитку лісових рослин, які водночас утворюють середовище поширення і взаємодії радіалей та латералей (рис. 4.14). Водночас відбуваються зміни пожежонебезпечних властивостей опаду та підстилки, які істотно залежать від вмісту вологи, пори року, часу доби і погодних умов (температури, відносної вологості повітря, хмарності, опадів та ін.).

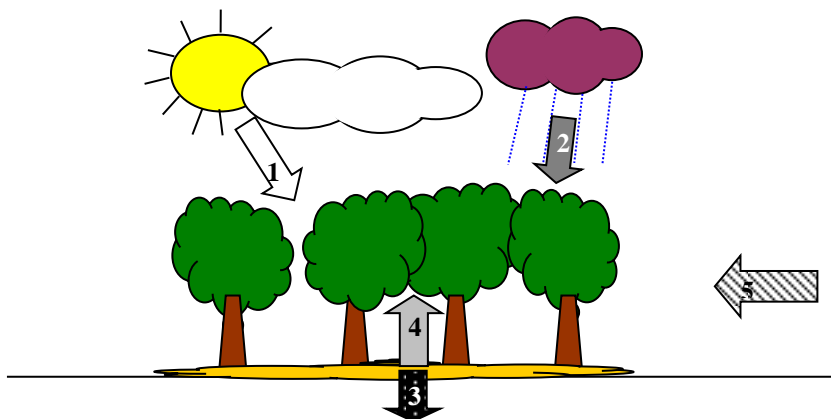


Рис. 4.14. Схема впливу на наземний лісовий горючий матеріал основних радіалей та латералей:

1 – сонячні радіалі; 2 – радіалі опадів; 3 – радіалі фільтрації; 4 – ардіаль випаровування; 5 – вітряна латераль

Радіалю, яка найістотніше впливає на енергетичне забезпечення та висушування наземного горючого матеріалу, вважаємо сонячну. Фітоценоз з відповідним флористичним складом, ярусністю, зімкнутістю, наявністю відкритих просторів і узлісь ослаблює її. Частку освітленості під наметом на 42 пробних ділянках порівняно з відкритим простором наведено на рис. 4.15.

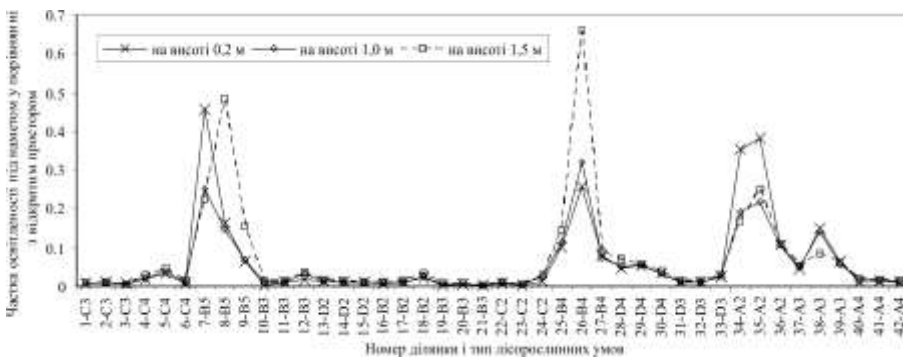


Рис. 4.15. Частка освітленості під наметом у порівнянні з відкритим простором на пробних ділянках

Найбільшою є частка освітленості ділянок під наметом у порівнянні з відкритим простором в соснових деревостанах з невисокою повнотою та відсутнім другим ярусом або з невеликою його густотою (ділянки 7-9, 25-27, 34-39). Меншою є частка освітленості під наметом у мішаних деревостанах з невисокою повнотою та другим ярусом листяних порід (ділянки 1-3, 12, 18, 24), у листяних деревостанах з невисокою повнотою (ділянки 4-6, 28-30) та середньовікових однарусних соснових насадженнях з високою повнотою (ділянки 40-42). Найменше світла пропускають крони мішаних насаджень з високою повнотою та другим ярусом (ділянки 10, 11, 13-17, 19-23). На більшості ділянок освітленість зростає із збільшенням висоти над поверхнею землі. Але оскільки проекція сонячних променів на поверхню ґрунту через прогалини в кронах відбувається під деяким кутом, і переміщується в залежності від часу доби, тому на ділянках 7, 34, 35 та 38 на висоті 0,2 м частка освітленості є більшою, ніж на інших висотах. Кожен з ярусів здійснює певну затримку сонячної енергії. Ослаблення сонячних променів здійснюється не лише деревами та чагарниками, але й хмарами. Загалом інтенсивність сонячного випромінювання залежить від часу доби та пори року. Вплив освітленості на пожежну небезпеку лісової підстилки виражається коефіцієнтами кореляції між частками освітленості на висотах 0,2; 1,0 та 1,5 м та вологістю верхнього шару лісової підстилки $-0,31$; $-0,33$ та $-0,32$, які є значимими з рівнем значущості 0,05, а також з діаметрами вигорання підстилки 0,29; 0,33 та 0,28 (значимі з рівнями значущості 0,10; 0,05 та 0,10, відповідно).

Зволоження наземного горючого матеріалу відбувається під дією радіалі опадів, на затримання яких впливають ті ж елементи лісового масиву, що і на сонячну радіаль. Але характер впливу зумовлений властивістю крон затримувати вологу. Кількість води, яка потрапляє на наземний ярус зімкнутого деревостану, залежить від кількості опадів та їх інтенсивності. За незначних опадів наземний ярус лісу під наметом може бути сухим або менш зволеним у порівнянні з відкритими ділянками місцевості внаслідок затримування води кронами дерев. У випадку затяжних інтенсивних опадів спостерігається значне зволоження поверхні під кронами, оскільки мокре листя чи хвоя не можуть утримувати велику кількість накопиченої води. Частково результатом дії радіалі опадів є висока вологість верхнього шару підсти-

лки, яка характеризує пожежну небезпеку та впливає на процеси горіння (див. рис. 4.5). Дослідження на ділянках 12-24 проводилися після нетривалих опадів дощу напередодні, що відобразилося на вологості верхнього шару підстилки. Вологість підстилки у листяному лісі (ділянки 12-14) зросла незначно, а в соснових і мішаних насадженнях з домінуванням сосни звичайної вона була однією з найвищих, що відобразилося на зменшенні діаметра її вигоряння, незважаючи на суборові лісорослинні умови.

Фільтрацію води в ґрунт також відносимо до прямих радіалей, яка залежить від фізичних властивостей ґрунту та структури підстилки. Арадіаль характеризує вологість ґрунту, зумовлену фізичними властивостями, які відображені в едафотобах. Значення вологості ґрунту, визначені на різних глибинах (до 30 см) наведено на рис. 4.16. У борових умовах відбувається інтенсивна фільтрація, внаслідок якої поверхня підстилки після припинення дощу швидко висихає. Цьому процесу сприяє і погане змочування опаду хвойних порід. Піщані ґрунти не накопичують воду, тому їх вологість зменшується з глибиною (ділянки 34-41). Така ж закономірність притаманна і суборовим (ділянки 9, 19, 25-27) та подекуди сугрудовим (ділянки 1, 3) умовам. Але більшості сугрудових і грудувих умов властива тенденція до зростання вологості ґрунту з глибиною (ділянки 4-6, 22-24, 13-15, 28-30 і 32). Вважаємо, що зростання вологості з глибиною на ділянках 16-18, 20 та 21 суборових типів зумовлене інтенсивним перебігом фільтраційних процесів, після завершення яких встановиться зворотна тенденція. Спадання вологості ґрунту зі зростанням глибини на ділянках грудувих типів також зумовлене невеликими опадами напередодні досліджень після тривалої сухої погоди, але через повільнішу в порівнянні з суборовими умовами фільтрацію максимум вологості зафіксовано на рівні 5-10 см. Фільтрація ґрунтів сповільнюється із зростанням трофності через зміну їх фізичних властивостей та перенасиченість вологою.

Під час фільтрації частина води живить рослини, інша – проникає у водоносні горизонти.

Розділ 4. Природа лісових пожеж

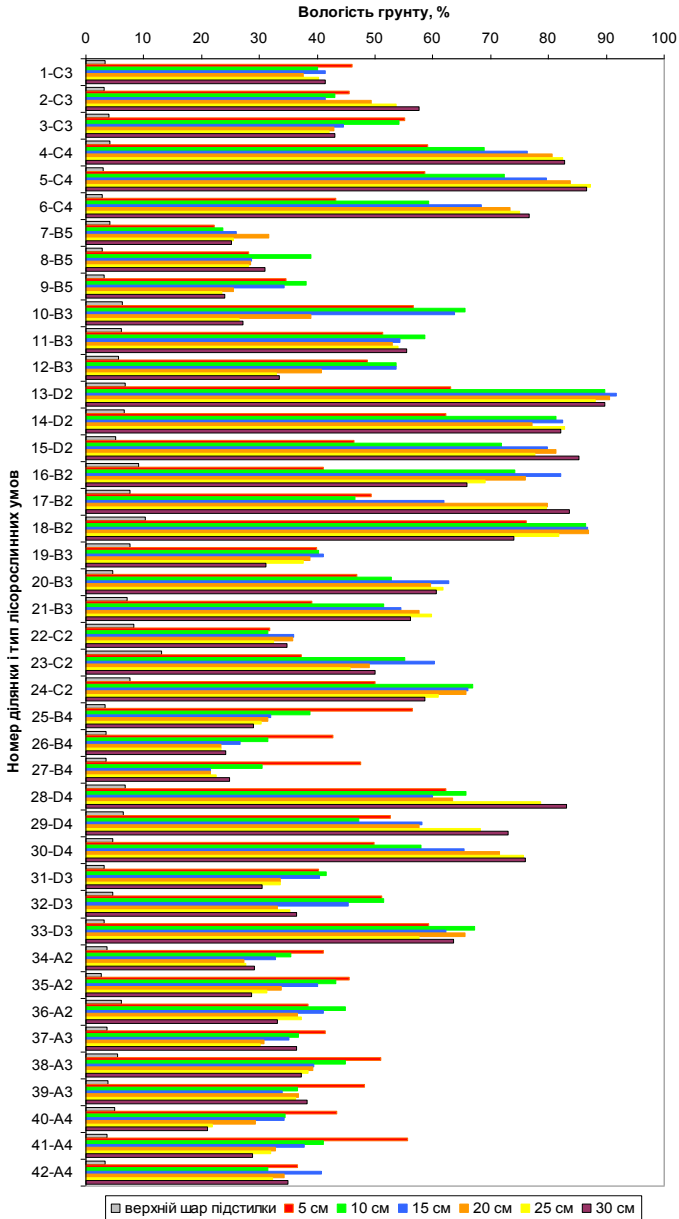


Рис. 4.16. Вологість верхнього шару підстилки та ґрунту на різних глибинах на пробних ділянках

Рух водяної пари вгору внаслідок випаровування формує арадіаль. Випаровування сприяє зменшенню вологості лісового горючого матеріалу та відбувається тоді, якщо температура повітря є вищою від точки роси. Для оцінювання сприятливості умов висушування використано показник

$$t(t - t_d), \quad (4.8)$$

де t – температури повітря, °С, t_d – точка роси, °С. Він описує процес випаровування з відкритої поверхні рідини [377] та зазвичай використовується для визначення комплексного показника пожежної небезпеки, але обчислюється лише раз на добу о 14 год і на основі метеорологічних даних відкритого простору. Значення цього показника, визначеного на висотах 0,2 м, 1 м та 1,5 м, наведено на рис. 4.17

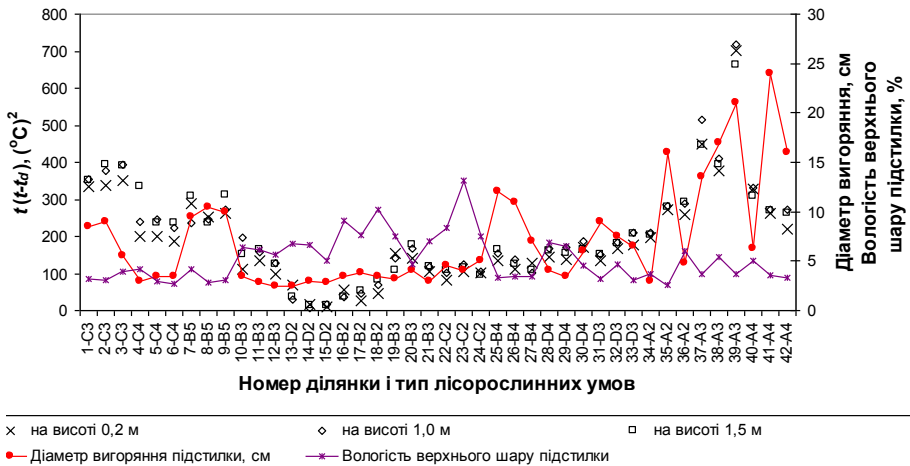


Рис. 4.17. Значення показника $t(t - t_d)$ і пожежонебезпечні показники на пробних ділянках

Інтенсивне висушування властиве ділянкам соснових лісів, особливо борових (ділянки 34-42) та субборових (7-9) типів, а також мішаних лісів інших типів трофності з переважанням сосни (ділянки 1-3). Дещо повільніше цей процес відбувається у мішаних з лісах субборових та сугрудових типів з листяним другим ярусом (ділянки 10-12, 19-27), а також у листяних лісах грудових типів. Ці закономірності порушуються за умов тривалої посухи (ділянки 4-6 чорновільхового лісу) та невдовзі після дощу (ділянки 13-15 букового лісу та 16-18 мішаного лісу). Величини $t(t - t_d)$, визначені на висотах 0,2, 1 та 1,5 м, добре коре-

люють з пожежонебезпечними показниками: з діаметром вигорання коефіцієнти кореляції становлять 0,68, 0,66 і 0,64; з вологістю верхнього шару підстилки $-0,48$, $-0,49$ та $-0,52$. Всі коефіцієнти кореляції значимі з рівнем значущості 0,05.

При випаровуванні, яке залежить від проникнення сонячних радіалей, відбувається насичення повітря всередині масиву водяною парою, що сповільнює процес висушування. Насиченість водяною парою відображається у відносній вологості повітря під наметом (рис. 4.18), яка, як і попередній показник, визначена на різних висотах та добре корельована з діаметром вигорання ($-0,63$, $-0,61$ і $-0,59$) і вологістю верхнього шару підстилки (0,61, 0,59 та 0,59).

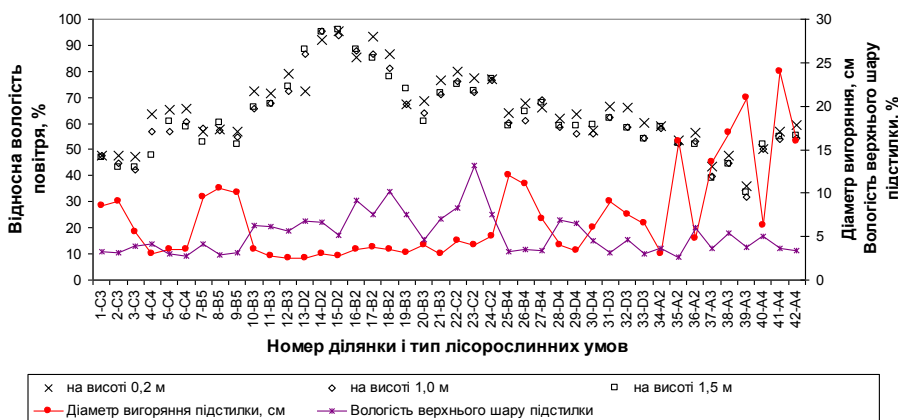


Рис. 4.18. Відносна вологість повітря під наметом і пожежонебезпечні показники на пробних ділянках

Інтенсивність випаровування залежить не лише від температури повітря, але і від швидкості вітру. Горизонтальне переміщення повітряних мас відносять до латералей. У лісовому масиві латераль вітру залежить від висоти, ярусності, повноти, віку та інших факторів, зокрема віддаленості до відкритого простору. Швидкість вітру на різних висотах наведена на рис. 4.19. На більшості ділянок за наявності вітру діаметри вигорання були високими, а вологість верхнього шару підстилки – низькою. Швидкість латеральних вітрових потоків зростає з висотою, а біля поверхні ґрунту латеральні потоки є відчутними лише на ділянках, що межують з узліссями, галявинами, а також за низької повноти деревостану. Потоки вітру не лише сприяють висушуванню горючого матеріалу, але і беруть участь у формуванні мікроклімату під наметом, впливаючи на розвиток рослин.

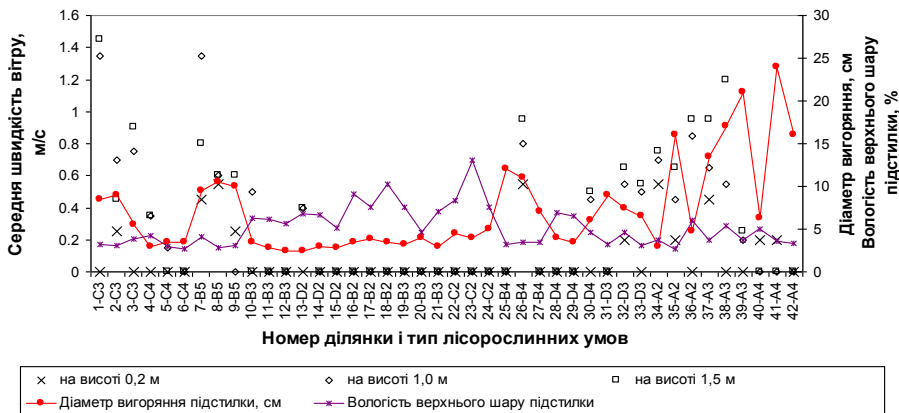


Рис. 4.19. Швидкість вітру під наметом і пожежонебезпечні показники на пробних ділянках

Висушування відбувається завдяки випаровуванню – фазовому переходу з поглинанням енергії, що призводить до зниження температури матеріалу, який висушується, а також температури повітря, значення яких на пробних ділянках наведені на рис. 4.20. На процеси формування температурного режиму ґрунту на глибинах 20 см ($t_{гp} 20, ^\circ C$), 15 см ($t_{гp} 15, ^\circ C$), 10 см ($t_{гp} 10, ^\circ C$) та 5 см ($t_{гp} 5, ^\circ C$), поверхні підстилки ($t_{пов}, ^\circ C$) і температури повітря на висотах 0,2 м ($t_{0,2}, ^\circ C$), 1 м ($t_1, ^\circ C$) та 1,5 м ($t_{1,5}, ^\circ C$) впливають практично всі радіальні та латеральні потоки.

Температура ґрунту за умов високої температури повітря і відсутності опадів має чітко виражений градієнт. У листяних насадженнях з високою повнотою та невдовзі після дощу цей показник починаючи з глибини 10 см практично не змінюється. Після випадіння опадів температура поверхні підстилки у порівнянні з ґрунтом знижується за рахунок випаровування (ділянки 13-18). За умов високої температури, особливо в борових умовах (ділянки 34-42) та у випадку прямого потрапляння сонячних променів температура поверхні підстилки зростає і наближається до температури повітря, що підвищує пожежну небезпеку ділянки (ділянки 35-39).

Розділ 4. Природа лісових пожеж

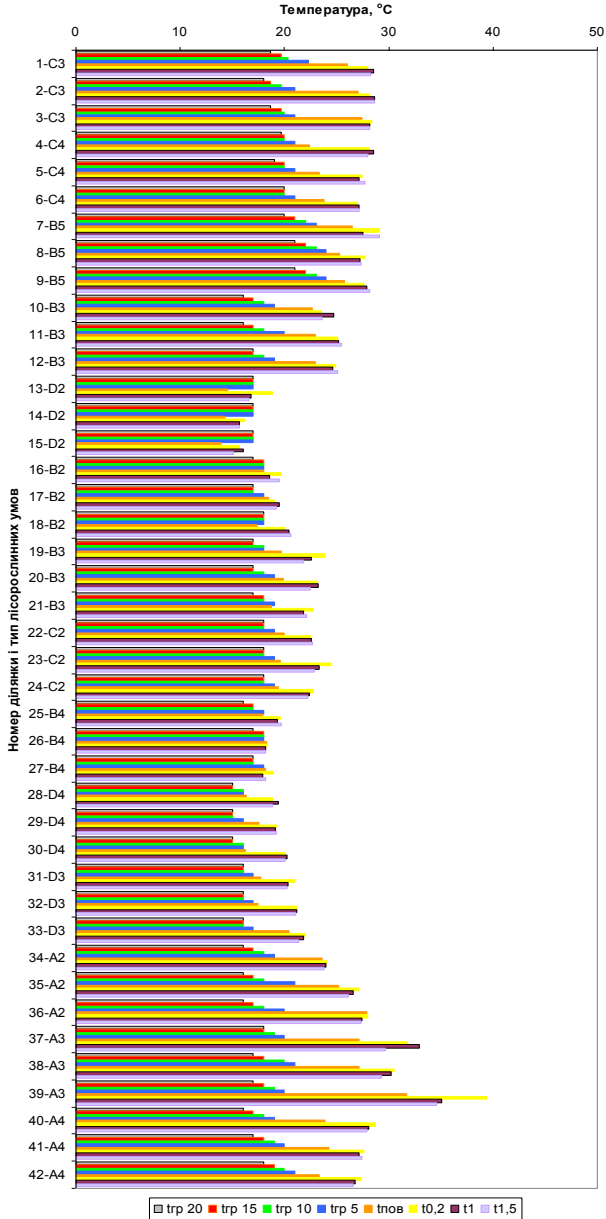


Рис. 4.20. Температури ґрунту на різних глибинах, поверхні підстилки та повітря на різних висотах на пробних ділянках

Отже, радіальні та латеральні потоки енергії і речовини в сукупності з лісовим масивом, який зростає у різних едафотобах, зумовлюють вологість та діаметр вигорання лісової підстилки – пожежонебезпечні показники основного виду горючого матеріалу під час низової пожежі.

Динамічна модель вологості лісової підстилки та її застосування для моніторингу і прогнозування пожежної небезпеки лісів. Значення вологості лісової підстилки не є сталою величиною, а змінюється з часом. Для опису динаміки пожежної небезпеки лісів у [182, 171] запропоновано метод визначення пожежної небезпеки підстилки з використанням динамічної моделі. На відміну від математичної моделі [501], основою якої є рівняння, в яке входить усереднене значення рівноважної вологості, використано змінні параметри рівноважної вологості лісового горючого матеріалу та коефіцієнта висушування K , які входять у рівняння (4.1) та залежать від часу.

Коефіцієнт висушування як функція часу τ , с, описується формулою

$$K = K(\tau) = \gamma \frac{100((1-A)(k_{\tau}k_{\text{хм}}q_{\text{пр}} + k_{\text{проп}}k_{\text{сез}}(k_{\text{хм}}q_{\text{пр}} + q_{\text{розс}})) + a(T - T_{n0}))}{R_v \rho_0} \quad (4.9)$$

де R_v – характерний розмір (товщина шару горючого матеріалу), м, ρ_0 – густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$, A – альbedo поверхні, $q_{\text{пр}}$ і $q_{\text{розс}}$ – прямий та розсіяний теплові потоки, які потрапляють на горизонтальну поверхню, $\text{Вт}/\text{м}^2$, k_3 – коефіцієнт зімкнутості крон, $k_{\text{проп}}$ – коефіцієнт пропускання, k_{τ} – коефіцієнт наявності прямого потоку сонячних променів, $k_{\text{хм}}$ – коефіцієнт хмарності, $k_{\text{сез}}$ – коефіцієнт впливу сезону, a – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, T – температура повітря, K , T_{n0} – температура поверхні підстилки, K . Для його виведення (додаток Ж) враховано інсоляційні процеси в залежності від пори року, часу доби, хмарності, коефіцієнта пропускання сонячних променів кронами деревостану, радіаційно-конвективний теплообмін з урахуванням альbedo поверхні, коефіцієнта тепловіддачі та швидкості вітру.

Моделювання пожежної небезпеки лісів на основі процесу висушування шару лісової підстилки здійснене за допомогою диференціального рівняння (4.1), яке з урахуванням (4.9) має вигляд

$$\frac{dW}{d\tau} = -K(\tau)(W - W_p). \quad (4.10)$$

Початковою умовою рівняння є вологість підстилки в початковий момент часу

$$W(0) = W_0, \quad (4.11)$$

яку вважаємо сталою.

Рівноважна вологість підстилки залежить від її виду та є функцією температури повітря і відносної вологості, а тому записується у вигляді $W_p = W_p(T, \varphi)$. Оскільки температура повітря T і його відносна вологість φ змінюються з часом, будемо вважати, що $W_p = W_p(T, \varphi) = W_p(T(\tau), \varphi(\tau)) = W_p(\tau)$. У такому випадку рівняння (4.10) стає лінійним і записується у вигляді

$$\frac{dW}{d\tau} + K(\tau)W = K(\tau)W_p(\tau). \quad (4.12)$$

Загальний розв'язок такого рівняння має вигляд

$$W = W(\tau) = e^{-\int_0^\tau K(\theta)d\theta} \left(\int_0^\tau K(t)W_p(t)e^{\int_0^t K(\theta)d\theta} dt + C \right), \quad (4.13)$$

де C – стала. З урахуванням (4.11) $C = W_0$, а формула (4.13) набуде вигляду

$$W = W(\tau) = e^{-\int_0^\tau K(\theta)d\theta} \left(\int_0^\tau K(t)W_p(t)e^{\int_0^t K(\theta)d\theta} dt + W_0 \right) \quad (4.14)$$

і може застосовуватися для визначення вологості підстилки у будь-який момент часу τ . Для здійснення обчислень за цією формулою функцію, яка описує в кожен момент часу температуру поверхні підстилки $T_{n0} = T_{n0}(\tau)$, визначаємо як $T_{n0}(\tau) = T_n(\tau, 0)$, де $T_n(\tau, z)$ – розв'язок рівняння теплопровідності в підстилці

$$\frac{\partial T_n}{\partial \tau} = \frac{1}{c\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T_n}{\partial z} \right), \quad (4.15)$$

де T_n – температура підстилки, K , в момент часу τ , с, на глибині z , м; c – її теплоємність, Дж/(кг·К), ρ_0 – густина, кг/м³ та λ – теплопровідність, Вт/(м²·К). Початковою умовою рівняння (4.15) є початкова температура підстилки

$$T_n(0, z) = T_0, \quad (4.16)$$

яку будемо вважати сталою. Граничними умовами є залежність, яка описує теплообмін на поверхні

$$\frac{\partial T_n}{\partial \tau}(\tau, 0) = -a(T_n - T) + (1 - A)(k_\tau k_{\text{хм}} q_{\text{пр}} + k_{\text{прон}} k_{\text{сез}} (k_{\text{хм}} q_{\text{пр}} + q_{\text{розс}})) \quad (4.17)$$

та умова відсутності теплового потоку між підстилкою та ґрунтом на глибині R_v

$$\frac{\partial T_n}{\partial \tau}(\tau, R_v) = 0. \quad (4.18)$$

Сталими параметрами моделі для ділянки лісу є $W_0, T_0, \gamma, \rho_0, R_v, A, k_3, \lambda, c, q_{пр}, q_{розс}, k_{проп}$. Для фіксованого дня у році та ділянки лісу залежними від часу є величини $k_{хм}, h, T, W_p, T_{п0}, k_T, a$, причому, окрім часу, значення W_p залежить від мікрокліматичних параметрів під наметом – температури T та відносної вологості повітря φ_n , α – від швидкості вітру, k_T – від структури лісу та його параметрів (породного складу, віку, повноти, густоти, ярусності та ін.). Для уточнення моделі слід враховувати залежність від вологості підстилки параметрів λ, c , та ρ_0 .

Робота моделі на інтервалі часу $[0, \tau_k]$ описується алгоритмом (рис. 4.21).

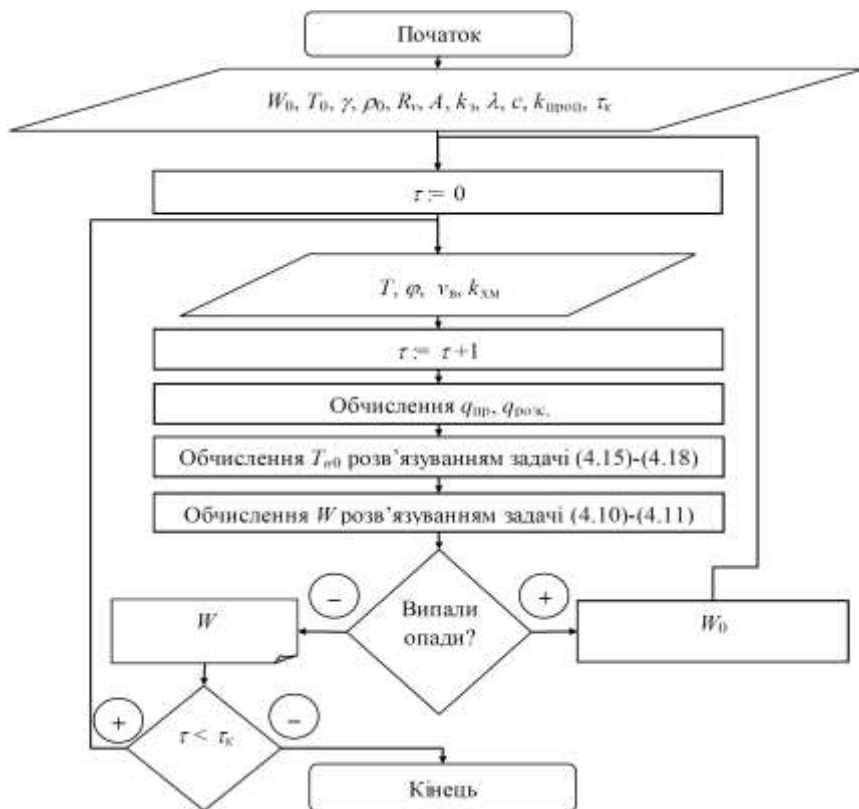


Рис. 4.21. Алгоритм динамічної моделі пожежонебезпечного стану лісу

Розв'язування рівнянь здійснювали чисельними методами. Важливим параметром моделі є початкова вологість підстилки W_0 . За відсутності опадів вона використовується лише в початковій умові (4.11). Після випадіння опадів розв'язування слід починати спочатку, взявши за W_0 значення, спричинене опадами. Прикладом застосування динамічної моделі є опис динаміки процесу висушування лісової підстилки за деяких умов інсоляції та за відсутності опадів протягом 6 діб починаючи з 200-го дня року. Оскільки протягом декількох днів температура та відносна вологість повітря зазнають добових коливань і є обернено-пропорційними залежностями, знехтувавши змінами, зумовленими річними коливаннями, ці величини подамо у вигляді

$$T(\tau) = 292 + 7 \sin\left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600}(\tau - 8 \cdot 3600)\right), \quad (4.19)$$

$$\varphi(\tau) = 45 + 15 \sin\left(\frac{2\pi}{24 \cdot 3600}(\tau - 8 \cdot 3600) + \pi\right). \quad (4.20)$$

Графіки температури хвойної підстилки товщиною 0,05 м та щільністю $\rho_0 = 50 \text{ кг/м}^3$ для лісу з коефіцієнтом зімкнутості деревостану 0,5, отримані внаслідок розв'язання задачі (4.15)-(4.18) за деяких погодних умов, наведені на рис. 4.22.

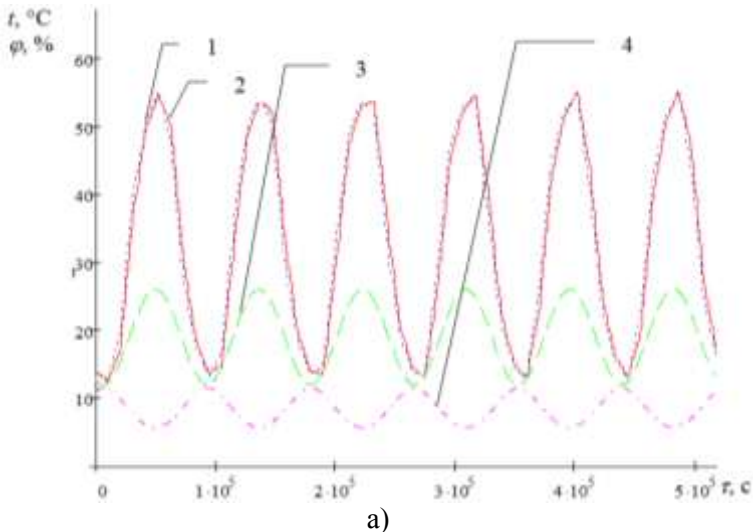
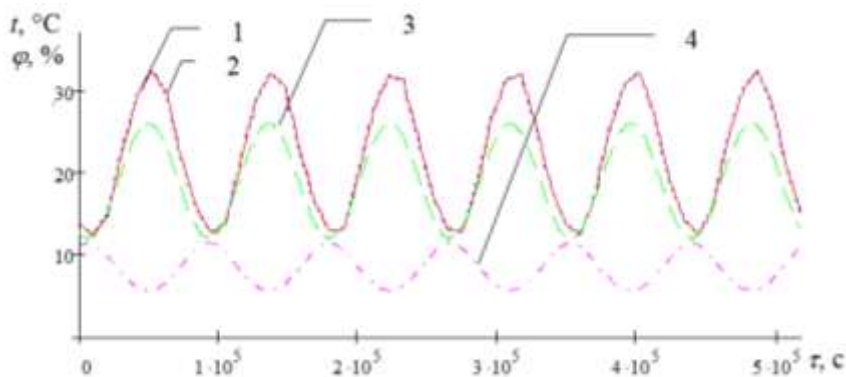


Рис. 4.22. Графіки зміни температури підстилки:

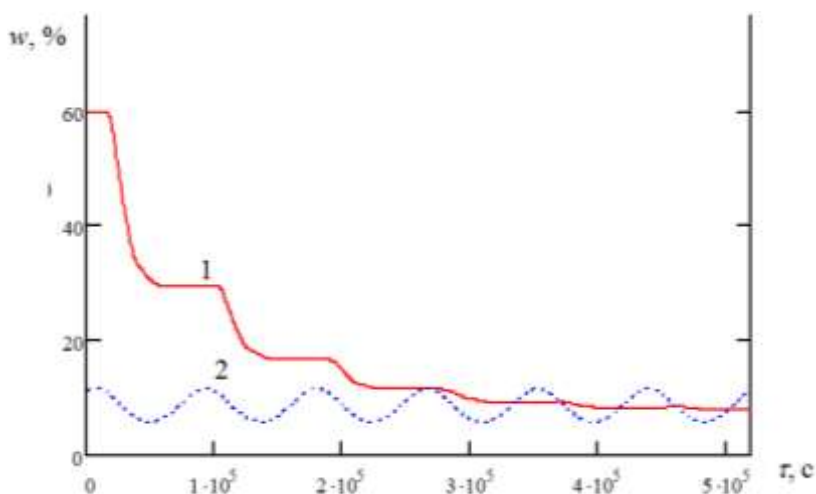
- а – швидкість вітру 0,5 м/с, $k_{\text{XM}}=0,7$; б – за відсутності вітру, $k_{\text{XM}}=0,1$
 (1 – температура поверхні підстилки, 2 – температура підстилки на глибині 7 мм, 3 – температура повітря, 4 – відносна вологість повітря)



б)

Рис. 4.22. (Продовження)

Відповідно до них на рис 4.23 наведено графіки, які відображають динаміку зміни вологості підстилки.

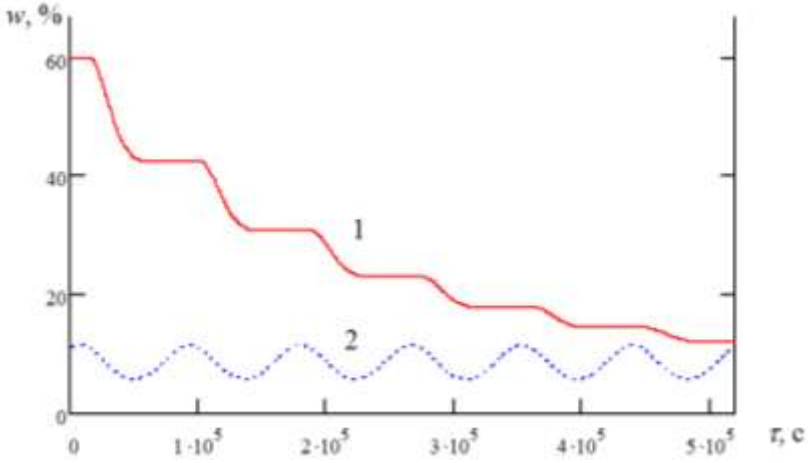


а)

Рис. 4.23. Графіки зміни вологості підстилки

з початковою вологістю 60 % :

а – швидкість вітру 0,5 м/с, $k_{xm}=0,7$; б – за відсутності вітру, $k_{xm}=0,1$
(1 – вологість підстилки, 2 – рівноважна вологість підстилки)



б)

Рис. 4.23. (Продовження)

Зауважимо, що коефіцієнт $K(\tau)$, який використовується в рівнянні (4.10) для отримання залежності вологості хвойної підстилки, наведеної на рис. 4.23 а), не перевищував $5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1} = 0,18 \text{ год}^{-1}$, а на рис. 4.23 б) – $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1} = 0,058 \text{ год}^{-1}$, що є близькими до наведеного в [535], який становить $0,079 \text{ год}^{-1}$ та визначеного експериментально – $0,011 \text{ год}^{-1}$ для соснових гілок з хвоєю.

За інших вхідних параметрів моделі та погодних умов отримаємо відповідні залежності вологості підстилки від часу. Для реальних умов замість (4.19) та (4.20) слід застосовувати спостережні значення температури та відносної вологості повітря, швидкість вітру вважати функцією часу, а коефіцієнт хмарності замінити функцією, яка описує стан неба в кожен момент часу. У деревостанах з високим коефіцієнтом зімкнутості крон замість температури та відносної вологості повітря слід використовувати відповідні мікрокліматичні показники під наметом або вводити відповідні поправки.

Таким чином, запропонована динамічна модель враховує як метеорологічні, так і мікрокліматичні параметри, які формується під наметом під впливом сонячної радіації з урахуванням структури та параметрів лісу і характеризує пожежну небезпеку в кожен момент часу у кожній точці поверхні лісової підстилки її вологістю. За допомогою моделі встановлено, що висушування хвойної підстилки на широті Малого Полісся до вологості 20 % за умов хмарної погоди триває 4

доби, а за сонячної погоди з незначною хмарністю та невеликим вітром скорочується до двох діб. Динамічну модель можна застосовувати в геоінформаційних системах моніторингу пожежної небезпеки лісів за умовами погоди замість комплексного показника пожежної небезпеки. Модель є придатною не лише для моніторингу і короткотермінового прогнозування, але і для довготермінового прогнозування у поєднанні з екологічними моделями, які відображають динаміку розвитку лісу та дозволяють моделювати вплив погодно-кліматичних умов і лісівничих заходів на пожежну безпеку та прогнозувати її.

4.4. Особливості горизонтальної та вертикальної структури лісових насаджень і її вплив на пожежну небезпеку

Як вже зазначалося, пожежонебезпечний стан лісового середовища формується радіалями та латераліями у взаємозв'язку з його просторовою структурою. Горизонтальна і вертикальна структура лісових фітоценозів, породний склад деревостанів у поєднанні з лісорослинними умовами впливають на мікроклімат всередині лісового масиву та формують відповідний пожежонебезпечний стан.

Еколого-просторові особливості горизонтальної структури лісового середовища та їх вплив на пожежну безпеку. Горизонтальна структура деревостану описується координатами дерев та їх параметрами, зокрема діаметром стовбура і горизонтальною проекцією крони. Ці параметри залежать від породи дерев, їх взаємного розташування та лісорослинних умов. Основними лісівничими характеристиками одноярусних деревостанів є породний склад, вік, повнота і густина. Проте така інформація про певну ділянку (виділ, квартал, тощо) є узагальненою та може використовуватися лише для загального оцінювання пожежної небезпеки ділянки за умов рівномірного розташування дерев одного віку і породи. У випадку нерівномірного розташування дерев на ділянці густина та повнота деревостану є неоднаковими, що зумовлює нерівномірність розподілу пожежної небезпеки. У місцях скупчення дерев ці параметри зростають, внаслідок чого накопичується більший запас горючого матеріалу, зокрема підстилки, а її зволоження буде меншим внаслідок ослаблення кронами радіальних потоків опадів і посиленого використання вологи деревами, які конкурують між собою. За незначної кількості опадів у таких місцях вода на поверхню ґрунту проникне не одразу та в незначних кількостях, затримуючись на поверхні крон. Але висушування підстилки триватиме також повільніше через ослаблення сонячної радіалі та вітряної лате-

ралі, тобто ослабиться арадіаль випаровування. За тривалої сухої погоди і високих температур повітря місця скупчення дерев є більш небезпечними, ніж ті, у яких менша локальна повнота, густина і зімкнутість крон. Нерівномірне розташування дерев зумовлює розподіл мікроклімату під наметом. На висушування підстилки впливає і радіаль фільтрації, яка залежить від едафотопів. Загалом, висушуванню та зволоженню підстилки у місцях скупчень дерев, як і на ділянках з високою повнотою, властива більша інерційність, ніж на розріджених.

Локальна повнота, густина та зімкнутість крон деревостану як фактор впливу на пожежну безпеку лісів. Оскільки для опису локальних параметрів нерівномірних насаджень традиційні лісівничі методи є непридатними, запропоновано методи визначення локальної повноти, густоти деревостану та зімкнутості крон на основі діаграм Г. Ф. Вороного – видатного українського математика, який запропонував їх для застосування у різноманітних геометричних задачах просторового розміщення.

Повнота і густина деревостану визначають не лише його структуру, продуктивність тощо, але характеризують пожежонебезпечні властивості, зокрема, швидкість поширення лісової пожежі [274]. Густану та повноту визначають у межах певної ділянки, виділу, кварталу. Густина вказує на горизонтальну щільність розташування дерев у лісі. Абсолютна повнота також характеризує щільність насадження, проте з урахуванням діаметрів стовбурів. Для визначення відносної повноти використовують таблиці ходу росту повних деревостанів [300]. Густина і повнота штучних деревостанів є сталими величинами в межах ділянки з рівномірним розташуванням дерев одного віку. Через нерівномірності розвитку природних деревостанів, зумовлені низкою випадкових факторів протягом значного періоду, ці характеристики є неоднаковими навіть у сусідніх виділах і кварталах. Але нерівномірність часто доводиться спостерігати і в межах навіть невеликої ділянки. Тому знання густоти та повноти є актуальним з огляду на пожежну безпеку лісу не лише як усереднених характеристик ділянок лісу, але і як локальних показників. Традиційні методи обчислення цих характеристик не забезпечують необхідної точності на малих ділянках. Окрім того, не існує загальноприйнятих методів визначення густоти і повноти в околі окремого дерева чи групи дерев. І тому застосування діаграм Вороного є актуальним і надасть можливість детальніше описати середовище лісу та його пожежну безпеку [207].

Діаграми Вороного визначають на площині зони близькості для заданої множини точок, є двоїстими до триангуляції Делоне та буду-

ються на її основі за відповідними алгоритмами [372]. Внаслідок побудови діаграм Вороного (рис. 4.24) плоска фігура W , яка містить множину точок $A = \{A_i\}$, $i=1, \dots, n$, розбивається на попарні неперетинні опуклі багатокутники W_i ($A_i \in W_i$), тобто

$$W = \bigcup_{i=1}^n W_i, W_i \cap W_j = \emptyset, i \neq j.$$

Відстань від кожної внутрішньої точки багатокутника W_i до відповідної точки A_i заданої множини A є меншою, ніж до будь-якої іншої точки цієї множини. Цю властивість застосовано для визначення локальної густоти та повноти деревостанів на пробних ділянках (див. додаток В).

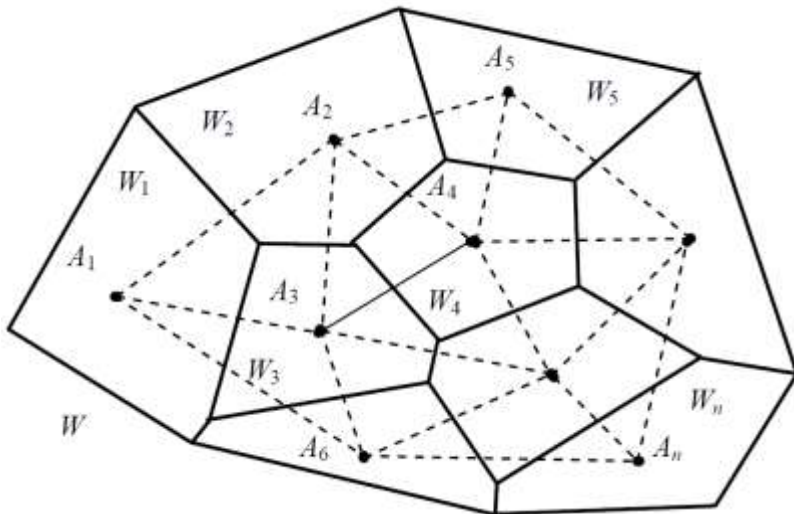


Рис. 4.24. Діаграми Вороного (суцільні лінії) та триангуляція Делоне (пунктирні лінії) для множини точок A_1, A_2, \dots, A_n .

Нехай деревостан складається з n дерев, геометричні центри яких розташовані в точках A_i множини A . Після розбиття ділянки на комірки W_i визначаємо їх площі S_i , га. Оскільки на ділянці W_i розташоване одне дерево, то густоту деревостану N_i в її межах визначаємо за формулою

$$N_i = \frac{1}{S_i}. \quad (4.21)$$

Обчисливши густоту N_i ділянки W_i і поставивши її у відповідність кожній точці $M \in W_i$, утворюємо кусково-сталу функцію двох

змінних з областю визначення W , яка описує густоту деревостану, розташованого в її межах.

Аналогічний підхід застосовано для визначення абсолютної повноти деревостану [8]. Якщо діаметр стовбура дерева на висоті 1,3 м, розташованого в точці A_i , дорівнює d_i , м, тоді оскільки абсолютною повнотою є відношення суми площ поперечних перерізів дерев у m^2 до площі ділянки в га, то в межах комірки W_i абсолютна повнота G_i описується формулою

$$G_i = \frac{\pi d_i^2}{4S_i}. \quad (4.22)$$

Відносну повноту P_i для кожної ділянки W_i , визначаємо за формулою

$$P_i = \frac{G_i}{G_{etal}} = \frac{\pi d_i^2}{4S_i G_{etal}}, \quad (4.23)$$

де G_{etal} – абсолютна повнота еталонної ділянки відповідно до таксаційних норм.

Точність запропонованих формул перевірено для ділянок штучних насаджень, на яких дерева рівномірно розташовані паралельними рядами на однакових відстанях одне від одного. Діаграми Вороного для таких ділянок матимуть вигляд однакових за розмірами прямокутників або квадратів (рис. 4.25). Тому якщо на пробній ділянці W_0 площею S_0 , га, розташовано n дерев, тоді густина деревостану буде

$$N_0 = \frac{n}{S_0}. \quad (4.24)$$

Площа кожної коміри діаграми Вороного $W_{0,i}$ буде однаковою і становитиме

$$S_{0,i} = \frac{S_0}{n}. \quad (4.25)$$

Густина деревостану в кожній комірці $W_{0,i}$, за формулою (4.21) становить

$$N_{0,i} = \frac{1}{S_{0,i}}. \quad (4.26)$$

Зрозуміло, що вона буде однаковою в кожному з прямокутників $W_{0,i}$, оскільки їх площі однакові. Підставивши (4.25) в (4.26), отримуємо з урахуванням (4.24)

$$N_0 = N_{0,i}, \quad (4.27)$$

що доводить точність запропонованого методу обчислення густоти.

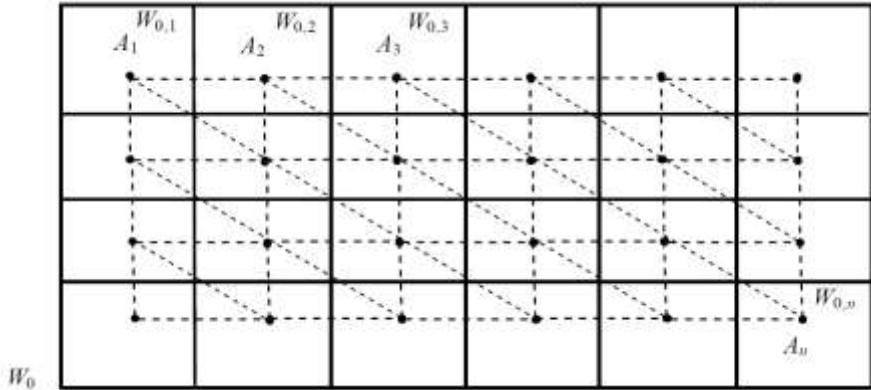


Рис. 4.25. Діаграми Вороного (суцільні лінії) та триангуляція Делоне (пунктирні лінії) для множини точок A_1, A_2, \dots, A_n , розташованих на однакових відстанях одна від одної на однаково віддалених рядах

Аналогічно на цій же ділянці перевірено точність формули (4.22). Абсолютну повноту ділянки W_0 визначаємо за формулою

$$G_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4}}{S_0}, \quad (4.28)$$

де d_i – діаметр стовбура дерева на висоті 1,3 м, м, розташованого в точці A_i . Повнота у кожній з комірок $W_{0,i}$ залежить від d_i та визначається за формулою

$$G_{0,i} = \frac{\pi d_i^2}{4S_{0,i}}. \quad (4.29)$$

Враховуючи (4.25), з (4.29) отримано формулу для обчислення абсолютної повноти в кожній з комірок $W_{0,i}$

$$G_{0,i} = \frac{n\pi d_i^2}{4S_0}. \quad (4.30)$$

Оскільки площі всіх комірок однакові, то середнє значення абсолютної повноти на всій пробній ділянці W_0 визначаємо як середнє арифметичне усіх значень $G_{0,i}$. Таким чином, абсолютна повнота ділянки W_0 буде становити

$$G_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_{0,i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{n\pi d_i^2}{4S_0} = \frac{\pi}{4S_0} \sum_{i=1}^n d_i^2, \quad (4.31)$$

що повністю співпадає зі значенням, обчисленим за формулою (4.28).

Точність обчислення відносної повноти перевіряється аналогічно.

Для обчислення густоти та повноти деревостану за запропонованими методами спочатку будують триангуляцію Делоне з вершинами у точках, які відповідають деревам, а на її основі – діаграму Вороного. Для кожної комірки діаграми обчислюємо площу і діаметр дерева. Тоді за формулами (4.21) та (4.22) обчислюємо густоту і абсолютну повноту в межах комірки Вороного.

Як приклад ми побудували діаграми Вороного для фрагменту пробної площі 1 (див. табл. А.1 додатку А) за фотографією Google Maps [133] (рис. 4.26) та обчислили густоту і повноту для дерев № 8, 12, 17, 31 та 38.

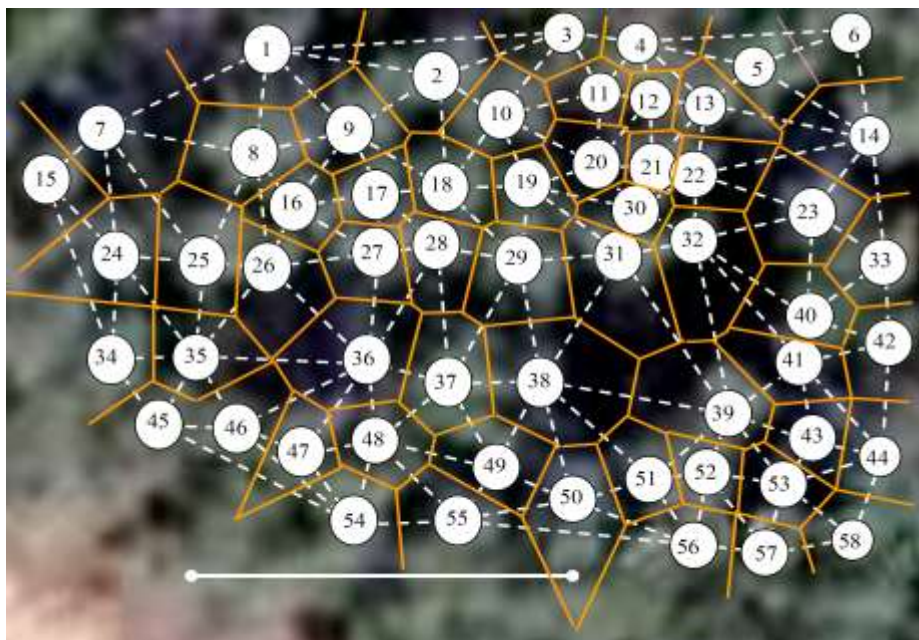


Рис. 4.26. Діаграми Вороного (суцільні лінії) для дерев (круги) на фрагменті ділянки ПП 1 (фото Google Maps [133])

Результати обчислень наведено в табл. 4.3.

**Густоти, абсолютні та відносні повноти в комірках
діаграм Вороного деяких дерев на фрагменті ділянки ПП 1**

№ дерева	Діаметр, см	Площа комірки діаграми Вороного, м ²	Густота, га ⁻¹	Абсолютна повнота, м ² /га	Відносна повнота
8	38	29,3	342	38,7	0,99
12	19	9,6	1046	29,6	0,75
17	22	14,2	705	26,8	0,68
31	35	33,9	295	28,4	0,72
38	21	48,6	206	7,1	0,18
Вся ділянка			620	35,7	0,91

Для пробних площ, на яких проводилися комплексні дослідження пожежної небезпеки, розбиття діаграмами Вороного для всіх дерев та окремо першого яруса наведені в додатку В, а значення локальної повноти та густоти з урахуванням всіх дерев у деревостані та його окремих ярусів для кожної з трьох ділянок на 14 пробних площах наведено в табл. 3.1 додатку 3.

Якщо немає можливості побудувати діаграму Вороного для всієї ділянки лісового масиву, тоді будуємо комірку для окремого дерева та проводимо обчислення густоти і повноти в ній за таким алгоритмом:

1. Будуємо комірку діаграми Вороного для даного дерева:
 - 1.1. Сполучаємо лінією точку – середину дерева з точкою – серединою сусіднього дерева.
 - 1.2. Будуємо серединний перпендикуляр до побудованої лінії.
 - 1.3. Від серединного перпендикуляра відкладаємо півплощину, яка містить точку – середину дерева.
 - 1.4. Повторюємо 1.1 – 1.3 для кожного сусіднього дерева.
 - 1.5. Знаходимо перетин всіх півплощин, який буде опуклим многокутником – коміркою діаграми Вороного для даного дерева.
2. Обчислюємо площу комірки.
3. Обчислюємо локальну густоту за формулою (4.21).
4. Обчислюємо діаметр дерева.
5. Обчислюємо локальну абсолютну повноту за формулою (4.22).
6. Обчислюємо локальну відносну повноту за формулою (4.23) з використанням даних про абсолютну повноту відповідного повного деревостану [300].

Безпосереднє проникнення опадів і прямих сонячних променів на поверхню ґрунту характеризує коефіцієнт зімкнутості крон, який з допомогою діаграм Вороного можна визначити і для окремого дерева [175]. Комірку Вороного розглядаємо як зону близькості для відповідного їй дерева, а відкритий простір для нього вважаємо доповненням до горизонтальної проекції крони (рис. 4.27).

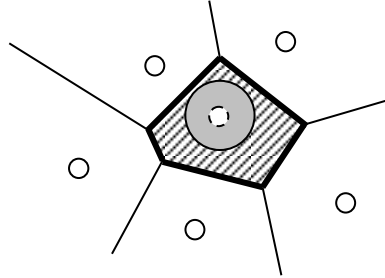


Рис. 4.27. Комірка Вороного (виділений багатокутник), у якій сірим кольором зображено горизонтальну проекцію крони, а заштрихований фрагмент – проекція відкритого простору

Коефіцієнт зімкнутості в межах комірки Вороного W_i обчислюємо за формулою

$$k_{z,i} = \frac{S_{np.kr.,i}}{S_i}, \quad (4.32)$$

де $S_{np.kr.,i}$ – площа горизонтальної проекції крони, m^2 , S_i – площа комірки Вороного, m^2 , а частку відкритого простору – за формулою $k_{в.н.,i} = 1 - k_{z,i}$.

Зауважимо, що за умов випадання опадів у вітряну погоду поверхня ґрунту, яка зволожується, може не повністю співпадати з горизонтальною проекцією відкритого простору в наметі, що зумовлене рухом траєкторії крапель під впливом вітряної латералі. Таке відхилення залежить не лише від швидкості вітру, але і висоти дерев першого ярусу.

Це стосується і радіальних потоків сонячної радіації, але з причин руху Сонця небосхилом упродовж доби. Оскільки в умовах Малого Полісся промені Сонця завжди похилі, то частка поверхні підстилки під наметом, освітлена прямими променями, буде залежати також і від вертикальної структури деревостану та форми крон, які формують прога-

лини в наметі. Інтенсивність потоків розсіяної сонячної радіації пропорційна сумі просторових кутів, крізь які видно всі прогалини з даної точки поверхні ґрунту, але їх дія є значно слабшою, ніж прямої радіації. Тому за відсутності прямих сонячних променів на формування пожежо-небезпечного стану підстилки істотніше, ніж розсіяна радіація, впливає конвективне висушування латеральними потоками вітру. Розсіяна та відфільтрована радіація не лише висушує підстилку, але і сприяє процесам фотосинтезу в рослинах під наметом. Від величини та співвідношення цих складових сонячної радіації залежить ріст трав'яних рослин і чагарників наземного ярусу та його пожежна небезпека.

Таким чином, запропоновані методи дозволяють визначати локальні густоти, повноти та зімкнутості крон в околі дерева, а їх використання в лісівництві деталізує опис горизонтальної структури деревостану і його параметрів, зокрема тих, що впливають на пожежну небезпеку. Побудова комірки Вороного для окремого дерева можлива і без закладання пробної площі.

Значення кліматичних, мікрокліматичних показників лісівничих та фітоценотичних параметрів у формуванні пожежонебезпечного стану лісу. Під час комплексних польових досліджень влітку 2012 р. проведено вимірювання мікрокліматичних показників, освітленості під наметом і на відкритому просторі, обчислено лісівничі показники густоти, абсолютної та відносної повноти на пробних площах і їх локальних значень на кожній з трьох ділянок у межах цих площ, визначено проективне покриття трав'яних рослин і чагарників. Результати порівнювали з вологістю верхнього шару підстилки та діаметром її вигорання. Для визначення характеру і тісноти зв'язків різноманітних показників з пожежною небезпекою вже застосовувався кореляційний аналіз, який не дав можливості повністю охопити та оцінити взаємозв'язки між цими показниками. Тому застосовано кластерний аналіз, реалізацією якого є дендрограма кореляційних залежностей, побудована за методом серединних зв'язків, який відображає зв'язки між всіма парами показників, а тому найчастіше застосовується з метою ієрархічної кластеризації біологічних об'єктів [465] (рис. 4.28).

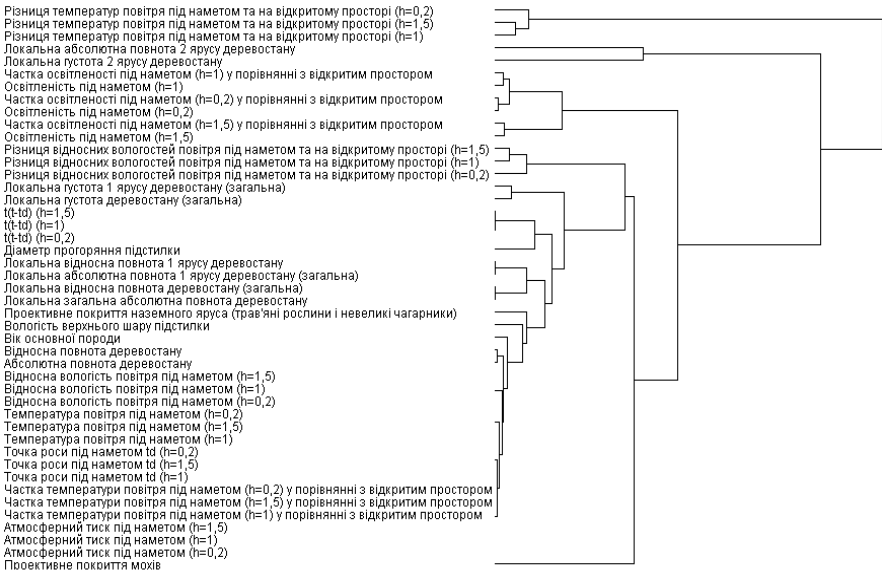


Рис. 4.28. Дендрограма кореляційних зв'язків між локальними значеннями густоти, абсолютної та відносної повноти, лісівничими параметрами деревостану на пробних площах, метеорологічними, мікрокліматичними параметрами, освітленістю, проективним покриттям трав'яних рослин і чагарників, вологістю верхнього шару підстилки та діаметром її вигорання

Діаметр вигорання та вологість верхнього шару лісової підстилки характеризують пожежну небезпеку, пов'язані між собою, але не є тотожними. Зокрема, діаметр вигорання підстилки найбільш тісно пов'язаний з показником, який визначений за формулою (4.8) і зумовлює процеси випаровування води, що відображено в належності до однієї групи, згрупованої на рівні 0,886. А вологість верхнього шару підстилки об'єднана на рівні 0,919 з групою параметрів: мікрокліматичних (атмосферний тиск, частина температури повітря під наметом у порівнянні з відкритим простором, точка роси під наметом, температура і відносна вологість повітря під наметом), лісівничих (вік основної породи, абсолютна та відносна повнота). На рівні 0,909 до цієї групи приєднується показник – проективне покриття наземного яруса рослин і невеликих чагарників. Наступним є приєднання на рівні 0,858 групи локальних лісівничих параметрів – локальної абсолютної та відносної повноти деревостану в цілому і його першого яруса. Наступне об'єднання відбувається на рівні 0,839 з групами, які містять діаметр

вигорання та вологість верхнього шару підстилки. Далі приєднуються: на рівні 0,806 – група локальних лісівничих параметрів – локальна густина деревостану і його першого ярусу, на рівні 0,641 – група мікрокліматичних параметрів – різниці відносних вологостей під наметом та на відкритому просторі, на рівні 0,617 – проективне покриття мохів і на рівні 0,96 – група параметрів, які характеризують освітленість (освітленості під наметом та їх частки у порівнянні з відкритим простором). Практично відсутні зв'язки (об'єднання на рівні 0,108) між групою об'єднаних на попередньому етапі показників та групою локальних лісівничих параметрів 2-го ярусу деревостану. І зовсім не пов'язаною (рівень групування 0,060) з попереднім об'єднанням є група мікрокліматичних параметрів – різниці між температурами повітря під наметом і на відкритому просторі. Неістотність зв'язків з параметрами 2-го ярусу зумовлена його відсутністю на деяких ділянках, а відсутність зв'язку з різницями температур за наявності, в той же час, тісного зв'язку з частками температур під наметом і на відкритому просторі вказує на важливість відносних значень температури, а не їх різниць.

Із застосуванням кореляційного аналізу додатково досліджено залежність пожежної небезпеки лісової підстилки від деяких параметрів пробних ділянок. Між проективним покриттям наземного ярусу рослин (параметр x), часткою освітленості на висоті 0,2 м (y) та вологістю верхнього шару підстилки (z) виявлено значимі кореляційні зв'язки з рівнем значущості 0,05 ($r_{xy} = 0,31$, $r_{yz} = -0,31$ і $r_{xz} = -0,43$), з яких слідує, що вологість наземного горючого матеріалу зростає із зменшенням частки освітленості під наметом, яке призводить до сповільнення висушування, та із зменшенням проективного покриття наземного ярусу рослин. Проте вологість верхнього шару підстилки є результатом комплексного впливу низки факторів. Про це свідчать нижчі часткові коефіцієнти кореляцій між цими параметрами ($r_{xy-z} = 0,21$, $r_{yz-x} = -0,21$ і $r_{xz-y} = -0,36$), з яких видно, що окремо на вологість підстилки вони впливають слабше, а вплив проективного покриття є сильнішим, ніж частки освітленості. Освітленість впливає і на зростання трав'яних рослин, що виражається у збільшенні проективного покриття з покращенням умов інсоляції під наметом.

Отже, найбільше впливають на пожежну небезпеку підстилки в лісовому насадженні майже всі мікрокліматичні показники (особливо добутки температур і їх різниць з точкою роси), а також глобальні та локальні лісівничі параметри деревостану (абсолютна і відносна повнота). Істотним є вплив деяких локальних параметрів наземного ярусу (проективне покриття). Різниці температур повітря під наметом та на

відкритому просторі і пожежонебезпечні параметри лісової підстилки не пов'язані між собою, а тому не можуть застосовуватися для оцінювання пожежної небезпеки. Замість них слід використовувати частки температур під наметом і на відкритому просторі.

Вплив дерев деяких порід на вологість лісової підстилки. Середня вологість лісової підстилки в порівнянні з її верхнім шаром за відсутності опадів є, здебільшого, вищою. На цей показник окрім просторової структури лісу та мікроклімату впливає породний склад та вік. Під час досліджень на деяких пробних площах визначено вологість підстилки у проміжку між стовбурами дерев у молодняках (рис. 4.29) і насадженнях старшого віку (рис. 4.30). Для соснових насаджень (див. рис. 4.29 а, б; 4.30 а) найбільша вологість підстилки спостерігається посередині між деревами, що пояснюється наявністю вільного простору між кронами та відсутністю затримування опадів, які випали за декілька днів до вимірювання, що дало змогу радіалям опадів майже повністю досягати наземного ярусу. А низька вологість безпосередньо біля стовбурів зумовлена як затримуванням кронами, так і вибиранням вологи кореневою системою.

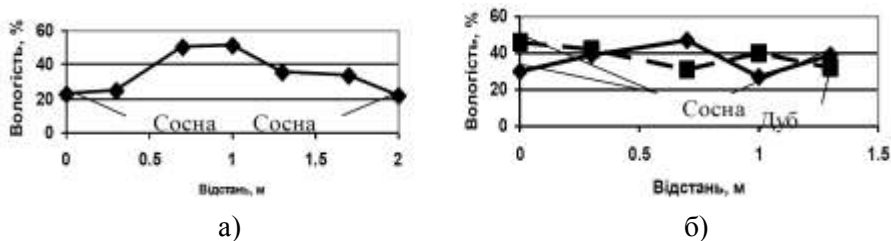
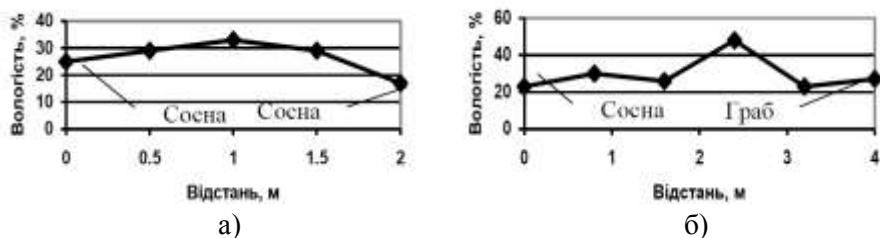


Рис. 4.29. Залежність вологості підстилки від відстані до дерев у молодняках на пробних площах: а – ПП7; б – ПП8



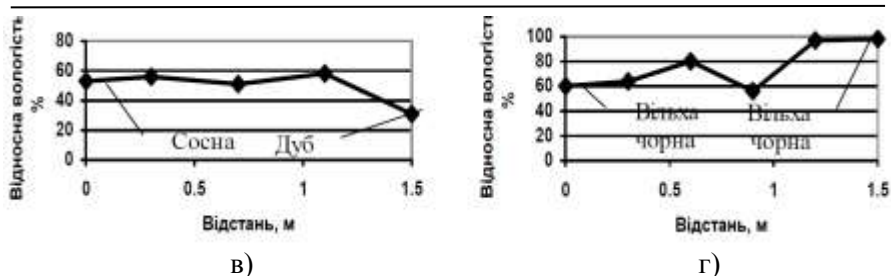


Рис. 4.30. Залежність вологості підстилки від відстані до дерев старшого віку на пробних площах:
а – ПП9; б – ПП12; в – ПП15; г – ПП16

При вимірюванні вологості між сосною та листяними деревами виявлено (див. рис. 4.29 б; 4.30 б-в), що максимум вологості розташований ближче до дерева листяної породи, а це пояснюється більшою проникністю радіальних потоків сонячної радіації крізь крони сосни, ніж листяних порід. Під листяним деревом вологість дещо менша, ніж під сосною, що є наслідком затримування вологи його кронами. У чорновільхових деревостанах (див. рис. 4.30 г) вологість підстилки є високою практично всюди та досягає максимуму біля одного з дерев, що пояснюється високою вологістю ґрунтів і подекуди заболоченістю.

Багаторусні ліси в порівнянні з однарусними характеризуються більшим затриманням кронами сонячного випромінювання та опадів, меншою температурою та більшою відносною вологістю під наметом, меншим коливанням цих параметрів [231]. Тому небезпека поширення пожеж у таких лісах буде меншою. Проте багаторусність створює кращі умови переходу від низової пожежі до верхової, а тому за сухої погоди та високої інтенсивності низової пожежі їх небезпека є вищою, ніж однарусних. На пожежну небезпеку таких лісів істотно впливає породний склад. Наявність у соснових лісах другого листяного яруса зменшує небезпеку переходу пожежі у верхову, а хвойно-листяна структура опадів сприяє швидкій мінералізації. А наявність у другому ярусі хвойних порід збільшує небезпеку переходу пожежі у верхову форму [218].

Особливості флористичного складу і вертикальної структури фітоценозів та їх вплив на пожежну небезпеку. На території Малого Полісся навіть невеликі за площею території відзначаються значним різноманіттям типів лісорослинних умов, на основі яких формуються відповідні типи лісу. Наприклад, на території лише ДП Жовківське лісове господарство в лісорослинних умовах 16 типів зростають ліси 33 типів. Подібною є ситуація і в інших частинах Малого Полісся, зумовлюючи неоднакову пожежну небезпеку.

Для дослідження залежності пожежонебезпечних властивостей фітоценозів Малеого Полісся від вертикальної структури та флористичного складу досліджено 16 пробних площ (ПП) (див. табл. А.1 додатку А) з різними рослинними асоціаціями. Мікрокліматичні параметри деревостанів та вологість підстилки, визначені під час досліджень, наведені в табл. 4.4. Виявлені асоціації в межах пробних площ описані в табл. 4.5.

Таблиця 4.4

Мікрокліматичні параметри деревостанів та вологість підстилки на пробних площах

№ п.п.	Склад деревостану	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Швидкість вітру, м/с	Вологість підстилки, %
1	7Сз3Дз+Ябл, Кул, Брсл	20,6	55	0	39
2	7Сз3Дз+Чрш	21,4	49	0	36
3	8Сз2Дз+Гор, Лщн, Брсл	21,5	48	0	42
4	10Сз+Бп	18,1	40	0,5	54
5	10Сз	15,2	52	0,8	23
6	7Сз3Чрш+Влч, Дз, Лщн	15,2	52	0,8	55
7	10Сз	16,7	47	0	23
8	10Сз	15,8	49	0	38
9	8Сз2Дз+Клн, Влч	15,5	46	0,5	21
10	6Сз4Дз+Чрш	16,4	54	1	57
11	5Влч2Дз3Врб+Лщн	13,5	52	3	51
12	7Сз3Гр	13,5	51	2	26
13	4Сз4Гр2Ялн+Лщн	13,5	52	2	55
14	10Дз+Лщн од Сз	14,1	50	3	47
15	8Сз2Дз+Брсл	12,9	52	0,5	28
16	10Влч+Дз	12,3	62	0,5	60

Таблиця 4.5

Асоціації, виявлені в межах пробних площ

№ п.п.	Асоціації
1	2
1	Сосна + дуб + яблуня + черешня + крушина ламка + козяча верба + бруслина + терен + ожина + трави (щитник)
2	Сосна + дуб + черешня + ліщина + крушина + горобина + ожина + папороть + бальзамін + тонконіг
3	Сосна + дуб + горобина + ліщина + бруслина + ожина
4	Сосна + береза + злаки + мохи
5	Сосна + ожина + різнотрав'я
6	Сосна + черешня + вільха + дуб + ліщина + ожина + різнотрав'я

1	2
7	Сосна
8	Сосна + різнотрав'я
9	Сосна + дуб + клен + вільха + ожина
10	Сосна + дуб + черешня + ожина
11	Сосна + дуб + граб + клен + ліщина + верба + ожина + осока
12	Сосна + граб + ялина + ожина + різнотрав'я
13	Граб + сосна + ялина + клен + ліщина + ожина + різнотрав'я (трилисник)
14	Дуб + ліщина + сосна + граб + різнотрав'я
15	Сосна + дуб + бруслина + ожина + різнотрав'я (щитник, трилисник)
16	Вільха + дуб + ожина

Вертикальні структури найтиповіших для Малеого Полісся асоціацій зображені на рис. 4.31.

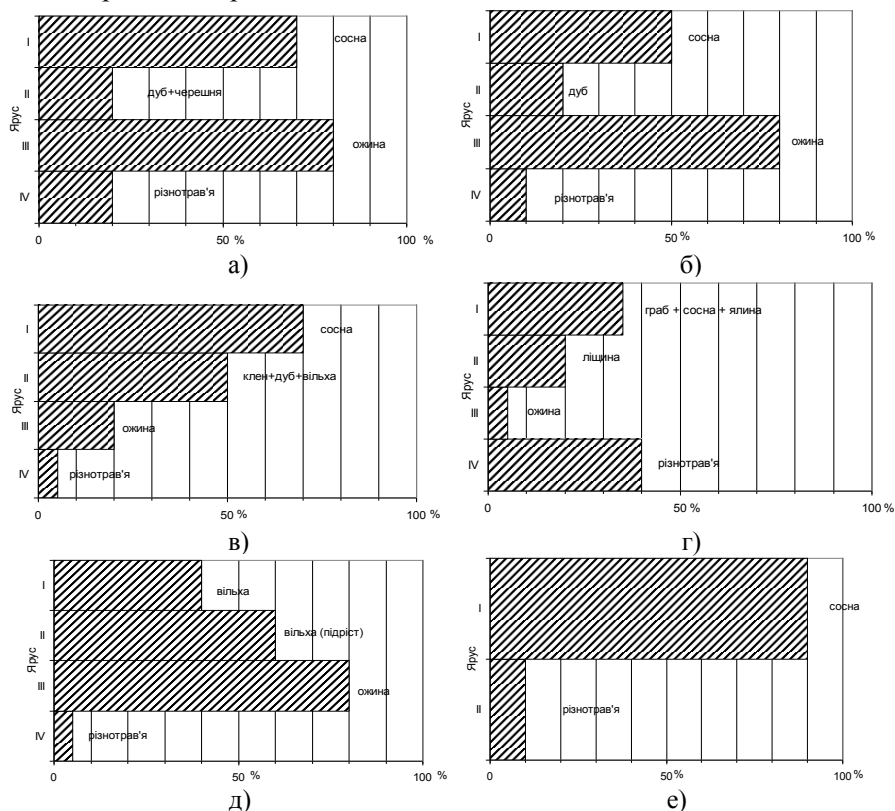


Рис. 4.31. Вертикальна структура типових асоціацій:

а – ПП 2; б – ПП 3; в – ПП 9; г – ПП 13; д – ПП 16; е – ПП 7-ПП 8

В асоціаціях з сосною в першому ярусі на рясність різнотрав'я та підліску більше впливає частка листяних порід у другому ярусі, ніж частка сосни (див. рис. 4.31 а-в). Густота різнотрав'я зумовлює неоднакову пожежну небезпеку у вегетаційний період, до його початку і після завершення, а від частки листяних залежать структура та горючі властивості підстилки. В асоціаціях з переважанням листяних порід у першому ярусі другий ярус і підлісок виражені слабо, проте частка різнотрав'я становить біля 40 % (див. рис. 4.31 г). Пожежна небезпека таких асоціацій зростає за умов посухи, до і після вегетаційного періоду. В асоціаціях з участю чорної вільхи в першому ярусі та її підросту у другому частка ожини досягає подекуди 80 %, а трав'яна рослинність виражена дуже слабо (див. рис. 4.31 д). Пожежна небезпека таких асоціацій є невисокою переважно через заболоченість і значну вологість підстилки. У лісорозсаднику з сосновими молодняками (див. рис. 4.31 е) пожежна небезпека висока. Структура інших асоціацій наведена в додатку І.

Природну пожежну небезпеку на пробних площах визначено за різними методиками: за шкалою І. С. Мелехова та бальною шкалою пожежної небезпеки (див. табл. 3.2). Результати наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Показники природної пожежної небезпеки на пробних площах і коефіцієнти кореляцій r_{xy} з вологістю підстилки (див. табл. 4.4)

№ п.п.	Тип лісорослинних умов	Породний склад	Комплексний показник за умовами погоди	Клас природної пожежної небезпеки І. С. Мелехова	Бальна оцінка пожежної небезпеки (табл. 3.2)	
					за 10-бальною шкалою	за 3-бальною шкалою
1	2	3	4	5	6	7
1	С ₃	7С33Дз+Ябл, Кул, Брсл	156	3	7	2
2	С ₃	7С33Дз+Чрш	156	3	7	2
3	С ₃	8С32Дз+Гор, Лщн, Брсл	156	3	8	2
4	В ₂	10С3+Бп	253	2	8	2
5	В ₃	10С3	253	3	8	2
6	С ₃	7С33Чрш+Влч, Дз, Лщн	253	3	5	2
7	А ₂	10С3	253	1	10	3
8	А ₂	10С3	253	1	8	2
9	С ₃	8С32Дз+Клн, Влч	253	3	8	2
10	С ₃	6С34Дз+Чрш	131	3	6	2

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7
11	C ₄	5Влч2Дз3Врб+Лщн	131	4	6	2
12	C ₃	7Сз3Гр	131	3	8	2
13	C ₃	4Сз4Гр2Ялн+Лщн	131	3	5	2
14	C ₂	10Дз+Лщн од Сз	131	3	5	2
15	C ₃	8Сз2Дз+Брсл	131	3	7	2
16	C ₄	10Влч+Дз	131	4	4	1
<i>r_{xy}</i>				0.34	-0.76	-0.49

Коефіцієнт кореляції вологості з 10-бальною оцінкою пожежної небезпеки становить $-0,76$ (значимий з рівнем значущості $0,05$), з 3-бальною $-0,49$, а з шкалою І. С. Мелехова – не є значимим.

Польові дослідження проводили за низьких значень комплексного показника пожежної небезпеки за умовами погоди, відповідно до яких небезпека класифікувалася як відсутня. Небезпечні ділянки характеризуються високою часткою сосни в складі деревостану, молодим віком хвойних насаджень, високою повнотою та наявністю хвойного підросту у нижніх ярусах (ПП 4, ПП 7 і ПП 8). Відсутність або незначна частка трав'яного покриву та листяних дерев сприяють накопиченню опадів хвої, який має невисоку вологість і легко займається. Висока повнота, зімкнутість крон та наявність низьких гілок створюють сприятливі умови для поширення пожежі, переходу її у верхову форму. Трава в сухому стані, захаращеність території також становлять значну небезпеку, що підтверджують виявлені неподалік від ПП 4 сліди пожежі, яка виникла від горіння стихійного сміттєзвалища (рис. 4.32).

Менш пожежонебезпечними є ділянки лісу, до складу яких поряд із сосною входять навіть у незначній кількості листяні породи (окрім вільхи, верби та інших гігрофітів) (ПП 5, ПП 6, ПП 9, ПП 12, ПП 15 і ПП 16). Наявність листяних дерев, особливо в нижніх ярусах, забезпечує більше затінення поверхні ґрунту, відповідно, нижчий відсоток або відсутність трав'яного покриття, заростання ожини, більшу вологість підстилки та швидшу мінералізацію опадів. На таких ділянках пожежі можливі за тривалої посухи.

Відносно безпечними є ділянки мішаного лісу з переважанням листяних порід, значним віком хвойних, невисокою повнотою, складним узліссям та участю вологолюбних порід (ПП 1, ПП 2, ПП 3, ПП 10, ПП 11 і ПП 13) (рис. 4.33). Затінення листяними деревами ґрунту сприяє формуванню мікрокліматичних параметрів, які збільшують вологість підстилки (становить понад 25%). Слідів пожеж поблизу таких ділянок не виявлено.

Безпечними можемо вважати листяні ліси, прикладами яких є ділянки дубового ПП 14 та чорновільхового лісу ПП 16.



Рис. 4.32. Сліди низової пожежі в ДП Рава Руський лісгосп (ПП 4) (фото автора)



Рис. 4.33. Ділянка мішаного лісу в ДП Жовківський лісгосп (ПП 1) (фото автора)

Відсутність хвойних порід зумовлює меншу пожежну небезпеку листяного опад та підстилки в листяних лісах (рис. 4.34 а), а провідниками горіння можуть бути опад сухого листя влітку та восени за умови тривалої сухої погоди, а також сухий хмиз. У чорновільхових насадженнях на вологих і багатих ґрунтах, незважаючи на захарашеність (див. рис. 4.34 б), через високу вологість підстилки пожежонебезпечний стан практично не виникає. Їх вважаємо безпечними.



Рис. 4.34. Ділянки у ДП Буський лісгосп:
а – дубове насадження біля автошляху Ожидів-Тур'є;
б – Чорновільхове насадження поблизу м. Буськ (фото автора)

Території навколо ПП 7 та ПП 8 зазнають рекреаційного навантаження, під час якого від необережного поводження з вогнем може виникнути пожежа.

Таким чином, проведені на пробних площах дослідження структури асоціацій та їх пожежонебезпечних властивостей, підтвердили доцільність класифікації насаджень за природною пожежною небезпекою не лише з використанням шкали І. С. Мелехова, але і за допомогою бальної шкали оцінювання (див. табл. 3.2). Це підтверджено, зокрема, наявністю слідів виникнення пожежі поблизу ПП 3, яка є однією з найбільш пожежонебезпечних (8 балів за 10-бальною шкалою). При оцінюванні пожежної небезпеки слід враховувати вертикальну структуру асоціацій, від якої залежать як пожежонебезпечні властивості наземного горючого матеріалу, зокрема вологість підстилки, так і здатність до переходу пожежі у верхову форму.

Під час проведення Національної інвентаризації лісів України, метою якої є визначення продуктивності лісів та поглинання вуглецю, основними показниками передбачаються характеристики ділянки, якісні характеристики дерев, дендрометричні показники, характеристики пнів і відмерлої деревини, а також лісорослинні умови [316]. Такі дані можуть використовуватися і для оцінювання пожежної небезпеки лісів, але їх слід доповнити інформацією про горизонтальну та вертикальну структуру лісів з урахуванням локальної повноти та густоти. Реалізацію такого опису можна здійснити, зокрема, на основі ГІС лісового господарства та технологій дистанційного зондування Землі [267].

Отже, на виникнення і поширення лісових пожеж значно впливає еколого-просторова структура лісу, наслідком якої є формування неоднакових пожежонебезпечних властивостей, зумовлених впливом лісорослинних умов фітоценотичним складом, ярусністю, геометричними та топологічними особливостями структури деревостану та способом розміщення у ньому дерев, а також ступенем зовнішнього впливу на формування умов, сприятливих для виникнення і поширення пожежі в залежності від місця всередині масиву.

Пожежна небезпека узлісся. У зв'язку з важливим значенням узлісся в процесі формування латеральних потоків, проаналізовано найосновніші його параметри та їх вплив на пожежну небезпеку. Просторова структура узлісся, флористичний склад, розташування та густота дерев, чагарників і трав'яних рослин у поєднанні з метеорологічними та кліматичними умовами впливають на радіальні та латеральні потоки, формують відповідний мезо- і мікроклімат, зволоження, ґрунтовий покрив та інші чинники, які зумовлюють небезпеку виникнення й поширення пожеж [179].

Узлісся поділяють на внутрішні та зовнішні. Як внутрішнє, так і зовнішнє узлісся за структурою поділяються на несправжні, елементарні та багатокомпонентні [30], структура яких зумовлює відмінності напрямків та інтенсивностей не лише латеральних, але і радіальних потоків (рис. 4.35), які впливають на наземний шар лісового горючого матеріалу в порівнянні з ділянкою всередині лісу (див. рис. 4.14).

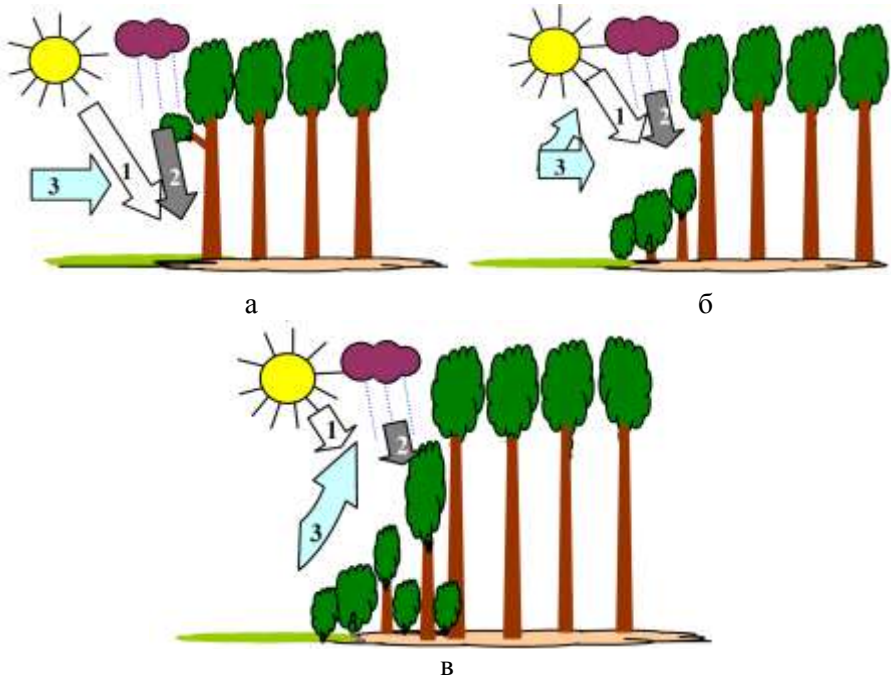


Рис. 4.35. Схема впливу радіальних

(1 – сонячна радіація; 2 – опади) і латеральних (3 – вітер) потоків на наземний лісовий горючий матеріал для основних видів узлісся: а – несправжнє узлісся; б – елементарне узлісся; в – багатокомпонентне узлісся

Несправжнє узлісся виникає, як правило, на межі зрубів. Незважаючи на схожість структури з лісовим масивом, таке узлісся істотно відрізняється мікрокліматом і зволоженням ґрунту від решти лісу. Відмінності зумовлені більшою інтенсивністю радіаційних теплових потоків сонячних променів та більшою швидкістю вітру. Внаслідок проникнення сонячної радіації не лише крізь намет, але і зі сторони узлісся – між стовбурами дерев (так зване переднє світло), температура повітря на несправжньому узліссі буде більшою, ніж у решті лісу та може навіть

перевишувати температуру на відкритому просторі. Найбільша різниця температур повітря на такому узліссі та вглибині лісу спостерігається в сонячний день з південної сторони лісу. Це призводить до нагрівання і прискорює висушування опаду та підстилки. Крізь несправжнє узлісся вглиб лісу проникають і латеральні потоки вітру, сприяючи висушуванню наземного горючого матеріалу. Однак на несправжньому узліссі внаслідок підвищеної інсоляції формується трав'яний покрив, густина і видове різноманіття якого вищі, ніж всередині лісу. Трава у вегетаційний період має високий вміст вологи, обмежує радіаційні потоки, які діють на підстилку, знижуючи її температуру та сповільнюючи висушування, що зменшує пожежну небезпеку узлісся, однак восени і навесні за сухої погоди небезпека зростає.

Протягом декількох років за відсутності господарських заходів під впливом інсоляції та вологості відбувається заростання узлісся не лише трав'яними рослинами, які проникають з відкритого простору, але і чагарниками та підростом зі сторони лісу. Екологічні умови для рослин на узліссі сприятливіші, ніж вглибині лісу чи на відкритому просторі, а тому узлісся трансформується в інший вид: елементарне або багатоконпонентне.

Елементарне узлісся характеризується шириною, меншою за висоту деревостану та наявністю, хоча з незначною різноманітністю, дерев, чагарників і трав'яних рослин. Його рослинність ослаблює потоки сонячних променів та опадів, затримує вітер і сповільнює випаровування ефективніше, ніж несправжнє узлісся. Елементарні узлісся за вертикальною зімкнутістю різняться між собою, тому їх поділяємо на напівзакриті та закриті. Сукупна дія радіальних та латеральних потоків на елементарних узліссях зумовлює більшу вологість підстилки у порівнянні не лише з несправжнім узліссям, але і з ділянкою всередині лісу, що зменшує небезпеку виникнення пожеж. Тому елементарне узлісся є менш пожежонебезпечне, ніж несправжнє. Але за умов тривалої теплої погоди пізньої осені та навесні суха трава, чагарники і підріст можуть зайнятися та спричинити перехід пожежі у верхову [218].

У природних умовах за відсутності втручання людини протягом тривалого часу формуються багатоконпонентні узлісся, ширина яких більша, ніж елементарних, а також значно більше різноманіття рослин. Наприклад, в узліссях 104 кварталу Любельського лісництва ДП Жовківський лісгосп налічується 9 видів чагарників. Таким узліссям властиві трави з високими стеблами. Багатоконпонентні узлісся, як і елементарні, обмежують інтенсивність радіальних сонячних потоків, сповільнюють опади та випаровування з поверхні ґрунту, затримують і

змінюють спрямування латеральних потоків вітру. Пожежна небезпека таких узлісь є схожою до небезпеки елементарних, проте значно більша ширина чагарників і листяного підросту краще відмежує узлісся від відкритих ділянок та може сприяти сповільненню або зупинити проникнення пожежі в ліс з відкритого простору. Значна вертикальна та горизонтальна зімкнутість багатокomпонентного узлісся обмежує його прохідність тваринами та людьми, знижуючи антропогенний ризик пожежі.

Перехід з відкритого простору в ліс супроводжується зміною мікрокліматичних параметрів – зменшенням температури повітря та зростанням відносної вологості (рис. 4.36). Зміни відчутніші для елементарних узлісь у напрямі "відкритий простір-узлісся", а у напрямі "узлісся-ліс" менш виражені. Для несправжніх узлісь, навпаки, відчутнішими є зміни у напрямі "узлісся-ліс", а слабшими – у напрямі "відкритий простір-узлісся".

Вологісний стан ґрунту та підстилки на узліссі залежить від снігового покриву, товщина якого більша поблизу узлісся, ніж у лісі особливо для узлісь зі сторони переважаючих вітрів. Це сприяє накопиченню вологи навесні після танення снігу та зменшенню небезпеки виникнення пожеж. Товщина снігового покриву при переході з відкритого простору до лісу зростає, досягаючи максимуму на межі стовбурів крайніх дерев, а потім спадає (рис. 4.37). Для будь-якого напрямку переходу товщина шару снігу всередині лісу була меншою, ніж на узліссі чи відкритому просторі. Густина снігу під час вимірювання товщини становила 423 ± 7 кг/м³.

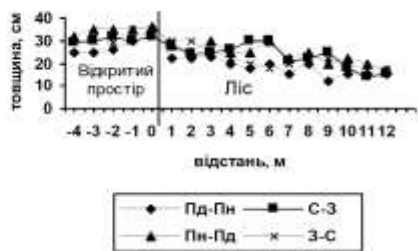


Рис. 4.36. Температура та відносна вологість повітря при переході через елементарне узлісся, 12.09.2010 о 15.00, південно-західна сторона лісового масиву поблизу м. Великі Мости

Рис. 4.37. Товщина снігового покриву при переході через елементарні узлісся, вимірювання 20.02.2010 о 16.00, лісовий масив поблизу м. Великі Мости

Подальші мікрокліматичні дослідження проведено для несправжнього, елементарних напівзакритого та закритого узлісь (рис. 4.38).

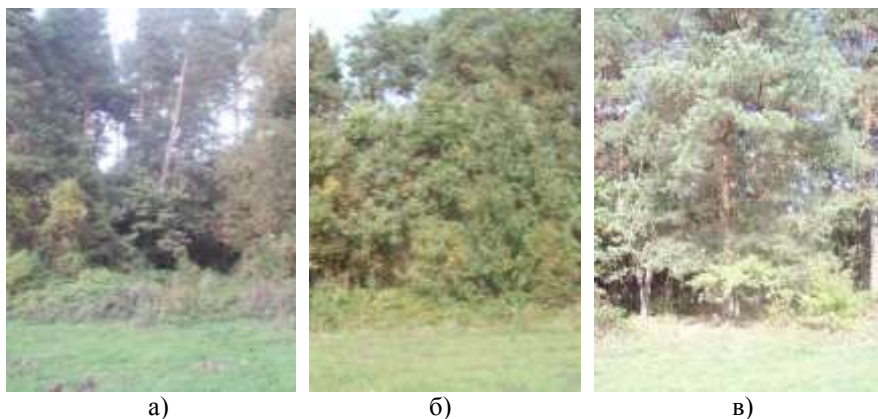


Рис. 4.38. Узлісся, при переході через які з дійснювалися вимірювання мікрокліматичних показників:
а – елементарне напівзакрите узлісся; б – елементарне закрите узлісся;
в – несправжнє узлісся (фото автора)

Під час низки досліджень навесні, влітку та восени 2012 р. визначали температуру, вологість повітря і швидкість вітру на висоті 1 м при переході з відкритого простору в ліс через узлісся кожного з типів. Одночасно вимірювали вологість лісової підстилки (на відкритому просторі – шару ґрунту) на глибині 0-5 см. Значення мікрокліматичних показників при переході через кожне з узлісь навесні наведені на рис. 4.39. При переході через несправжнє узлісся зі сторони відкритого простору температура повітря та відносна вологість незначно спадають. Для напівзакритого і закритого узлісь температура повітря незначно зростає, а відносна вологість – спадає. Швидкість вітру є найменшою на відстані 5-10 м від межі лісу, а далі для несправжнього та напівзакритого узлісь незначно зростає, а на закритому – спадає. В закритому узліссі на відстані 5 м від межі лісу спостерігається істотне зменшення відносної вологості повітря, яке підвищує його пожежну небезпеку через відсутність листя на чагарниках і деревах і наявність запасу сухої трави.

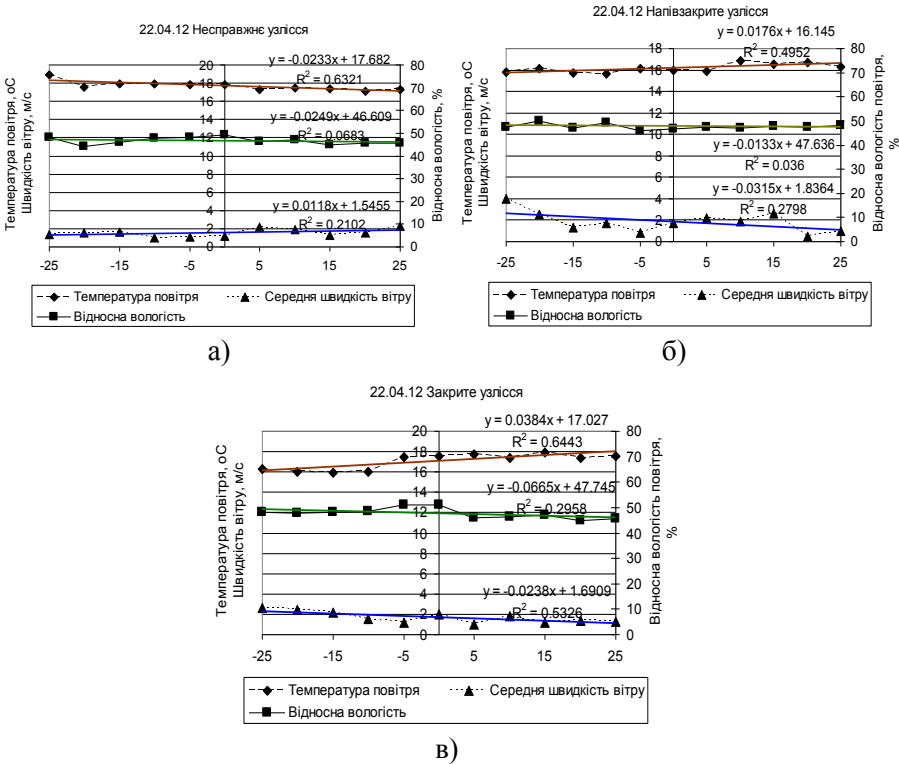


Рис. 4.39. Мікрокліматичні показники, визначені 22.04.12 при переході через узлісся різних типів: а – несправжнє; б – напівзакрите; в – закрите

Влітку мікрокліматичні показники при переході через узлісся змінюються (рис. 4.40). Температура повітря при переході через несправжнє узлісся зростає, а відносна вологість – зменшується. Для напівзакритого узлісся температура повітря зменшується, проте спадає і відносна вологість повітря. Для переходу через закриті узлісся, незважаючи на незначне зростання на межі лісу, температура повітря має тенденцію до зниження, а відносна вологість – до зростання. Схожа тенденція виявлена і наприкінці вересня. Результати інших мікрокліматичних досліджень наведені в додатку К.

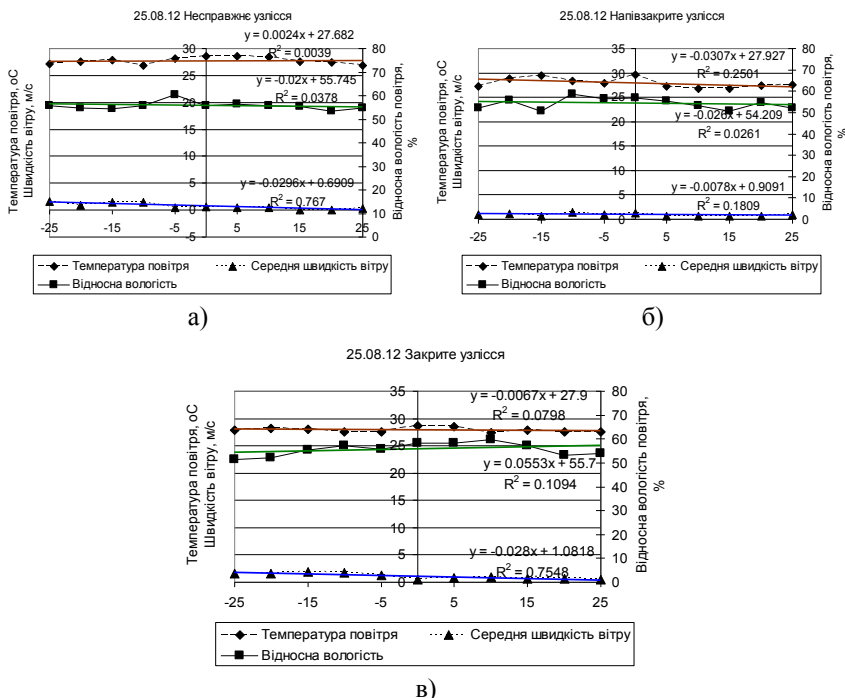


Рис. 4.40. Мікрокліматичні показники, визначені 25.08.12 при переході через узлісся різних типів: а – несправжнє; б – напівзакрите; в – закрите

У переважній більшості випадків перехід з відкритого простору в ліс супроводжується зниженням температури, відносної вологості повітря та швидкості вітру. Для елементарного закритого та напівзакритого узлісь зміни значень мікрокліматичних показників у деяких випадках помітні ще на межі лісу або на відстані 5 м до неї. Для несправжнього узлісся певні зміни відчутні, здебільшого, вглибині лісу на відстані 5 м від межі.

Для оцінювання впливу мікрокліматичних факторів на локальну пожежну небезпеку використано запропоновану раніше величину добутку температури повітря та її різниці з температурою точки роси $t(t-t_d)$ (див. формулу (4.8)). Значення $t(t-t_d)$ порівняли з вологістю підстилки (або верхнього шару ґрунту на глибині до 5 см). На рис. 4.41 зображено значення відносної вологості підстилки (ґрунту) та обчислені на основі відповідних мікрокліматичних показників значення $t(t-t_d)$ для відповідних типів узлісь.

Розділ 4. Природа лісових пожеж

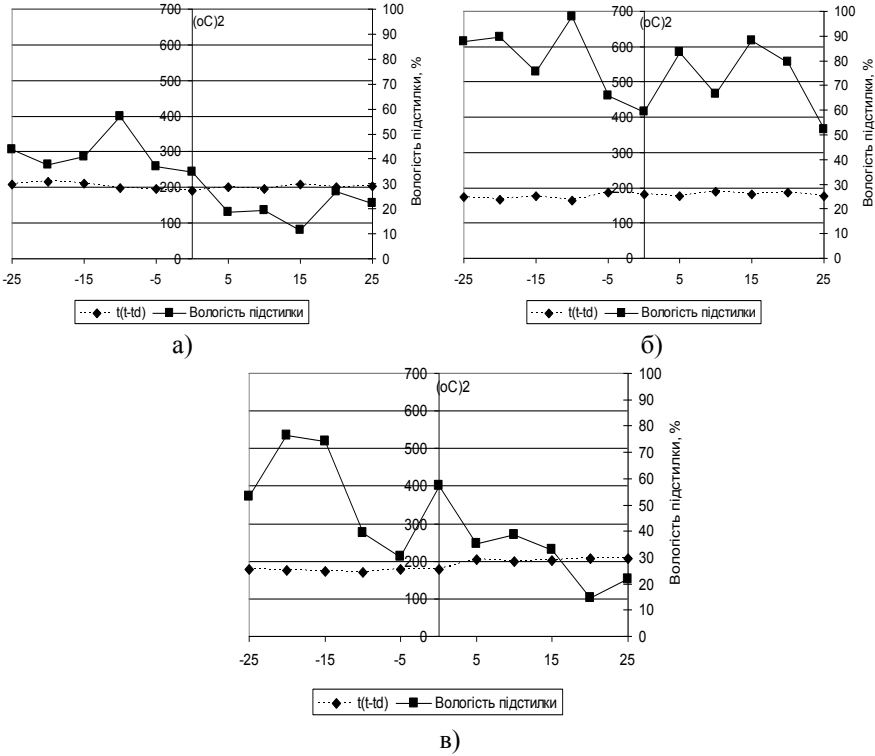


Рис. 4.41. Вологість підстилки та величина $t(t-t_d)$, визначені 29.04.12 при переході через узлісся різних типів: а – несправжнє; б – напівзакрите; в – закрите

Навесні при переході зі сторони відкритого простору через несправжнє узлісся пожежна небезпека, охарактеризована добутком $t(t-t_d)$ спадає, а вологість підстилки зростає. Для напівзакритого узлісся зростання небезпеки відбувається на відстані 5 м від межі лісу, а для закритого найбільшою є небезпека на межі лісу. Вкінці літа (рис. 4.42) пожежна небезпека елементарного і закритого узлісь досягає мінімуму на межі лісу, а далі зростає. Для напівзакритого узлісся пожежна небезпека на межі лісу є найбільшою.

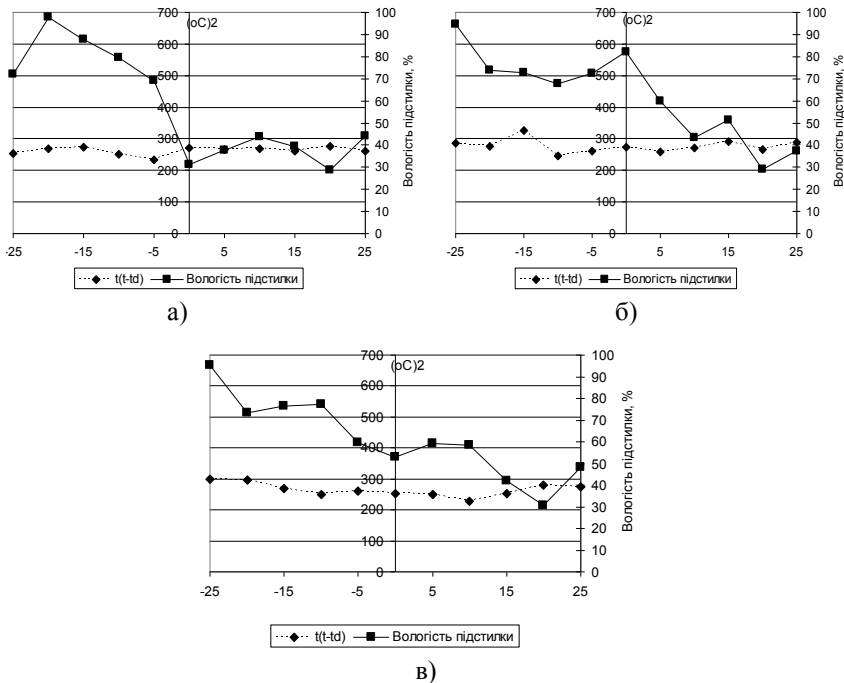


Рис. 4.42. Вологість підстилки та величина $t(t-d)$, визначені 25.08.12 при переході через узлісся різних типів: а – несправжнє; б – напівзакрите; в – закрите

Схожа закономірність спостерігається і восени (див. додаток К), проте мінімум пожежної небезпеки на елементарному узліссі перемістився на 5 м вглиб лісу, а напівзакрите і закрите узлісся мають максимумами пожежної небезпеки на межі лісу, що зумовлено завершенням вегетаційного періоду трав'яних рослин.

Як видно з рис. 4.41-4.42, вологість підстилки на узліссі є переважно вищою, ніж всередині лісу, а лише на відстані 15-20 м від межі лісу зменшується. Межі зміни вологості підстилки при переході через несправжнє узлісся є вузькими, ніж для елементарних узлісь.

Величина $t(t-d)$ корелює з вологістю підстилки (табл. 4.7, значимі коефіцієнти кореляції з рівнем значущості 0,05 виділені жирним шрифтом, 0,10 – курсивом), Хоча кореляційні зв'язки у більшості випадків не є значимими, майже скрізь зберігається тенденція до зростання вологості підстилки із зменшенням $t(t-d)$. Для елементарного закритого узлісся коефіцієнти кореляції між цими показниками є зав-

жди високими. Проте під час мікрокліматичних досліджень наприкінці вересня спостерігалася протилежна залежність для елементарних узлісь, зумовлена початком фенологічних змін, які спричинили підвищення показника $t(t-t_d)$, і високим показником вологості підстилки, який є наслідком незначних опадів у другій половині дня напередодні досліджень, що призвело до різкого зростання вологості на межі лісу та відкритого простору, яка ще не встигла знизитися внаслідок висушування. Для узлісь інших типів коефіцієнти кореляцій є, як правило, меншими, а у деяких випадках – близькими до 0, що свідчить про меншу чутливість мікрокліматичних показників при переході через такі узлісся та неоднорідність пожежної небезпеки середовища.

Таблиця 4.7

Коефіцієнти кореляцій між вологістю підстилки та величиною $t(t-t_d)$ при переході з відкритого простору в ліс через узлісся

Вид узлісся	Дата вимірювання			
	22.04.12	29.04.12	25.08.12	29.09.12
Елементарне напівзакрите	0,07	-0,51	-0,12	0,43
Елементарне закрите	-0,90	-0,68	-0,75	0,58
Несправжнє	-0,84	0,03	-0,78	-0,47

Зобразивши на площині точки, координатами яких є вологість підстилки та показники $t(t-t_d)$ для кожного з типів узлісь, помічаємо лінійні регресійні залежності між цими величинами, які характеризують пожежну небезпеку (рис. 4.43). Менші значення коефіцієнта детермінації R^2 для регресійної залежності даних 29.04.12, 25.08.12 та 29.09.12 у порівнянні з 22.04.12 зумовлені більшими значеннями $t(t-t_d)$ та, відповідно, їх розкидом. Зростаюча лінійна регресійна функція для даних 29.09.12 (див. рис. 4.43 г) на відміну від спадних залежностей для інших досліджень (див. рис. 4.43 а-в) зумовлена тими ж причинами, про які вже зазначалося для пояснення додатних коефіцієнтів кореляцій між цими величинами для елементарних узлісь – опадами напередодні досліджень. Тому для оцінювання локальної пожежної небезпеки у лісі та на узліссі окрім вологості підстилки можна використовувати величину $t(t-t_d)$, проте за умов тривалої відсутності опадів.

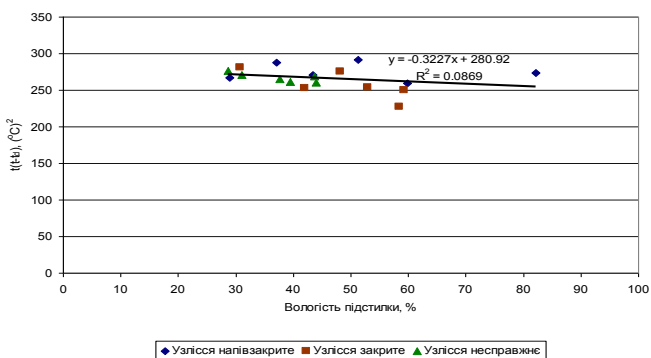
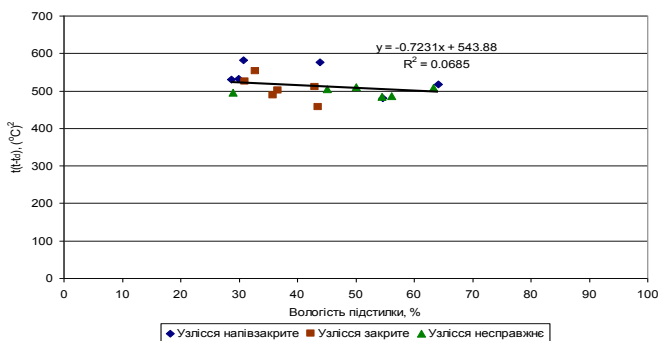
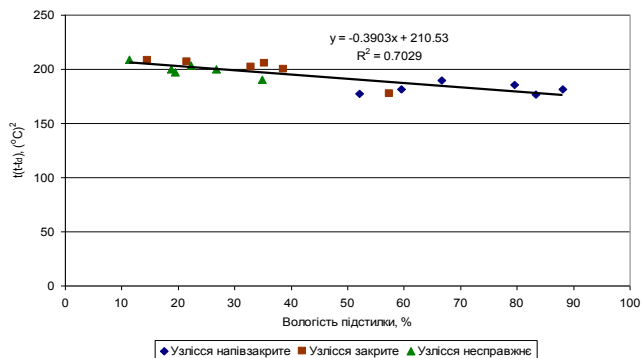


Рис. 4.43. Залежності між вологістю підстилки та величиною $t(t-t_d)$, отримані при переході з відкритого простору в ліс через узлісся під час мікрокліматичних досліджень:
 а – 22.04.12; б – 29.04.12; в – 25.08.12; г – 29.09.12

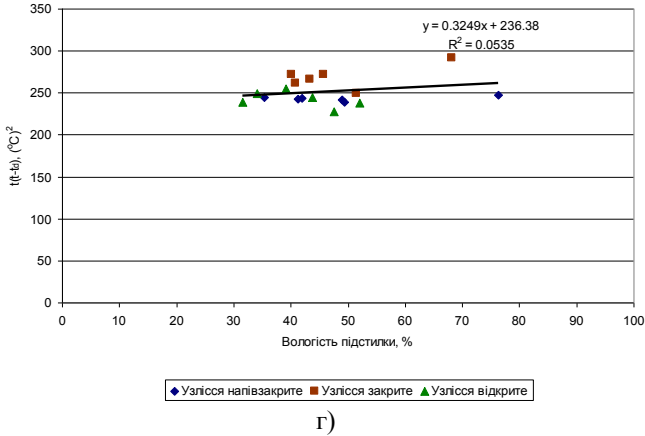


Рис. 4.43. (Продовження)

Особливу небезпеку виникнення лісових пожеж становлять сільськогосподарські пали сухої трави на суміжних з лісовими масивами територіях. Вогонь за їх неконтрольованого проведення і сприятливих умов може призвести до займання узлісся та спричинити пожежу всього лісового масиву, причому на несправньому узліссі – низову, а у випадку інших типів узлісь – верхову або й суцільну. Під час одного з таких випадків 25.03.2012 р. поблизу лісового масиву с. Туринка (В'язівське лісництво ДП Жовківський лісгосп) вогонь поширився на самосів сосни звичайної, спричинивши його займання (рис. 4.44).



Рис. 4.44. Займання самосіву сосни 25.03.2012 р. під час відпалу трави поблизу с. Туринка з загрозою виникнення лісової пожежі у кварталі лісового масиву В'язівського лісництва (фото автора)

Висота полум'я під час горіння трави становила 0,5-1,7 м. Лише своєчасне втручання пожежної охорони запобігло поширенню лісової пожежі.

Швидкість поширення вогню трав'яної пожежі залежить від швидкості та напрямку вітру. Навіть у напрямку проти вітру, швидкість якого становила 4,2-4,9 м/с, швидкість поширення горіння травою була дуже високою та становила 0,5-0,6 м/хв. Тому випалювання трави на відкритих ділянках становить загрозу виникнення лісових пожеж і у випадку, коли вітер спрямований зі сторони лісу (див. рис. 4.44). Але надзвичайну небезпеку для лісу становить випалювання трави поблизу узлісь зі сторони переважаючих вітрів (для Малого Полісся – північно-західних) (рис. 4.45).

Під час лісових пожеж горіння поширюється не лише в межах лісового масиву, але і з однієї зв'язної ділянки лісу на іншу. Запобігти такому поширенню поряд з мінералізованими смугами та протипожежними розривами можуть багатокомпонентні листяні узлісся.

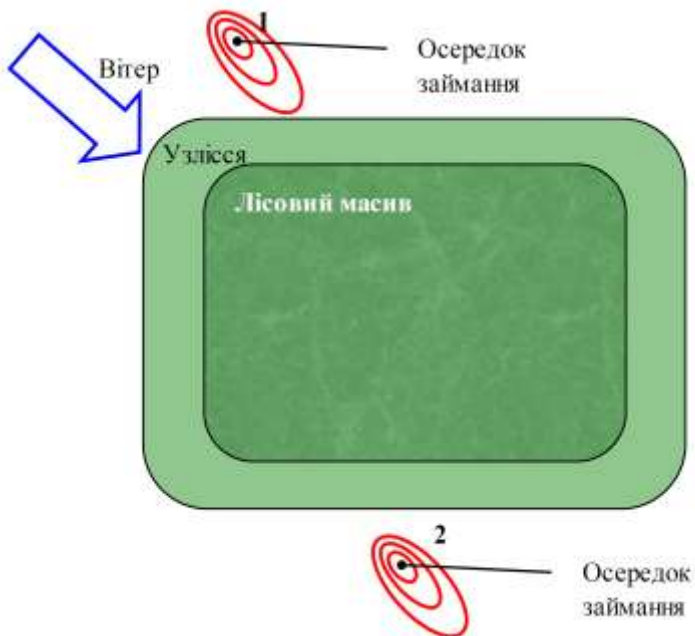


Рис. 4.45. Небезпека поширення вогню від сільськогосподарських палів при різному розташуванні осередків займання:

1 – надзвичайно висока; 2 – висока

З огляду на важливу роль узлісь у пожежній безпеці лісів виникає потреба оцінювання їх протяжності та виділення у лісовій таксації. Для визначення питомої протяжності узлісь певної території використовують відношення сумарної довжини узлісь території G до його площі, яке описується формулою:

$$L_{num} = \frac{\sum_{l_i \in G} l_i}{S}, \quad (4.33)$$

де l_i – довжина i -го узлісся, м, S – площа території G , га. Показник L_{num} визначають у м/га. Зростання довжини узлісь на території фіксованої площі свідчить про збільшення фрагментарності лісу, спричинене лісокористуванням, зокрема рубками, які призводять до появи нових внутрішніх і зовнішніх узлісь, утворення просік, тощо.

Іншою мірою протяжності узлісь є їх питома довжина, тобто відношення довжини узлісся до площі лісового масиву, яка також визначається у м/га. Наприклад, для i -го масиву питома довжина обчислюється за формулою:

$$L_{num,i}^* = \frac{l_i + \sum_j l_{ij}}{S_i - \sum_j S_{ij}}, \quad (4.34)$$

де l_i – довжина зовнішнього узлісся, м, l_{ij} – довжина внутрішнього j -го узлісся у i -му масиві, м, S_i – площа масиву, га, S_{ij} – площа внутрішньої j -ої галявини у i -му масиві, га. Відношення довжини узлісся до площі лісового масиву буде найменшим для кругової, дещо більшим для квадратної форми лісу за відсутності галявин. За прямокутної та інших форм лісового масиву, а також за наявності галявин питома довжина узлісся буде ще більшою. Проте ця величина є залежною не лише від форми, але і від розмірів ділянки лісу. Наприклад, для квадратної форми лісового масиву без галявин питома довжина обернено пропорційна довжині сторони квадрата та становить $L_{num,i}^* = 4 \cdot 10^4 a^{-1}$ м/га, де a – сторона квадрата, м. У зв'язку з цим з метою оцінювання протяжності узлісь доцільніше використовувати не їх питому довжину (4.34), а питому протяжність (4.33).

Найбільш небезпечними є несправжні узлісся у хвойних лісах. Окрім низької вологості підстилки, яка має кращі умови висихання, дерева на таких узліссях менш стійкі до вітровалів у порівнянні з тими, що зростають всередині лісового масиву. Їх стовбури мають тоншу кору та менш захищені від сонячної радіації гілками, ніж на природ-

них узліссях. Внаслідок цього виникає опік стовбурів і відбувається всихання дерев. Дереву таких узлісь більше, ніж всередині масиву, вражаються шкідниками, ослаблюються та всихають [268], що призводить до значного зростання запасу сухого горючого матеріалу і сприятливих умов виникнення та поширення пожеж.

Таким чином, пожежна небезпека узлісся – екотону лісового фітоценозу зумовлена його видом і залежить від природних, кліматичних та метеорологічних умов. Основними факторами виникнення пожеж на узліссях є антропогенна діяльність і вища швидкість висушування лісового горючого матеріалу, ніж вглибині лісу, внаслідок відповідних мікрокліматичних параметрів: більшої температури, меншої відносної вологості та більшої швидкості вітру. Особливо небезпечними є несправжні узлісся у хвойних лісах, на яких, окрім названих факторів, існує загроза хвороб дерев, враження шкідниками, усихань та вітровалів. З метою зниження небезпеки виникнення пожеж працівникам лісового господарства слід сприяти формуванню листяних елементарних і багатокомпонентних узлісь, враховувати та мінімізувати їх питому протяжність, особливо несправжніх узлісь, не допускати їх зростання, розчленовування масиву, а також не засмічувати чи захищувати узлісся.

4.5. Джерела займання і лісова пожежа

Лісова пожежа може виникати від різноманітних джерел займання, які найчастіше є наслідком діяльності людини. Наприклад, лише з січня до жовтня 2005 року в Україні зафіксовано 4223 лісові пожежі, причинами виникнення яких у 92 % випадків були порушення правил пожежної безпеки населенням, заготівельниками та підприємствами, і лише 8 % виникли від ударів блискавки та сільськогосподарських палів [244]. Подібна картина спостерігається і в інші роки. Пожежа найчастіше виникає внаслідок порушень правил пожежної безпеки в лісах. Причинами виникнення пожеж стають малопотужні джерела займання: недопалок сигарети, сірник, жаринки від багаття, іскри різноманітного походження та ін. Джерела займання за сприятливих мікрокліматичних умов та пожежонебезпечного стану підстилки спричиняють її займання. Схема основних джерел займання лісів наведена на рис. 4.46.

Оскільки найбільше пожеж мають антропогенне походження та виникають через необережне поводження з вогнем (залишене без догля-

ду багаття, необережність під час паління), проведено лабораторні дослідження відповідних джерел займання: цигарки та жаринки від багаття. Джерела займання розташовували на поверхні горючого матеріалу (опадку хвої), розміщеного на негорючій поверхні. Вологість горючого матеріалу становила $2,3 \pm 0,1$ %, за якою пожежна небезпека класифікується як найвища (див табл. 1.4 [545]), а його температура – $22,3 \pm 1,2$ °С.

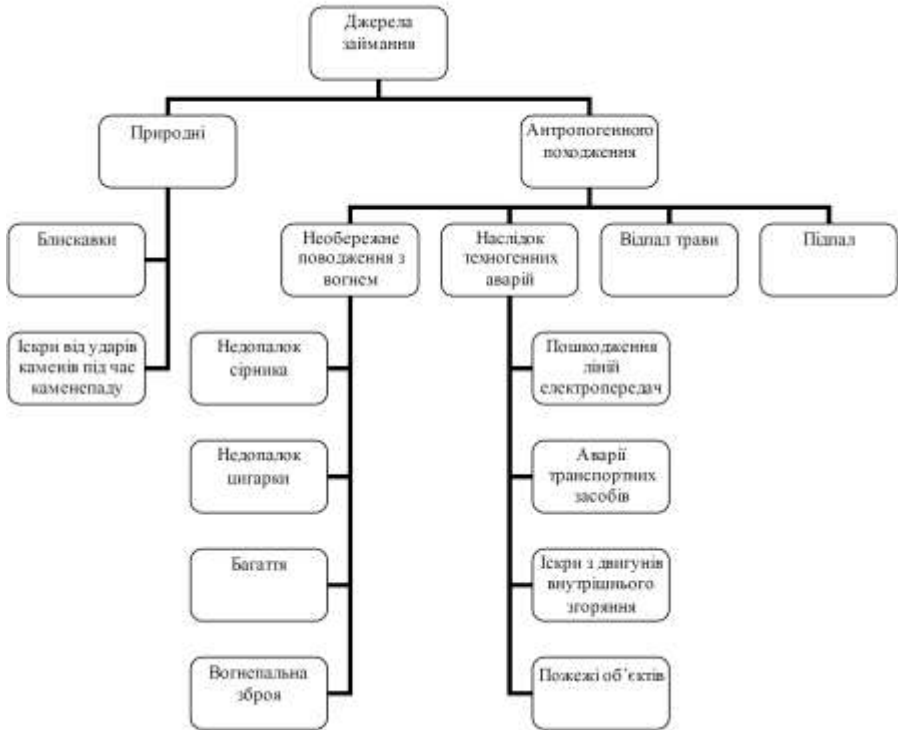
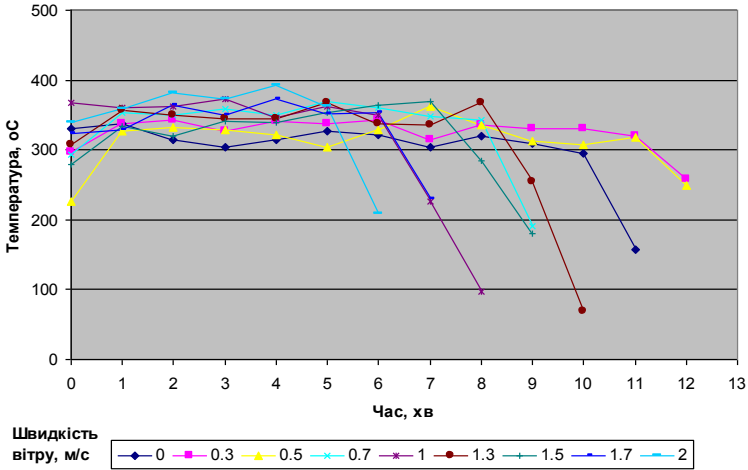


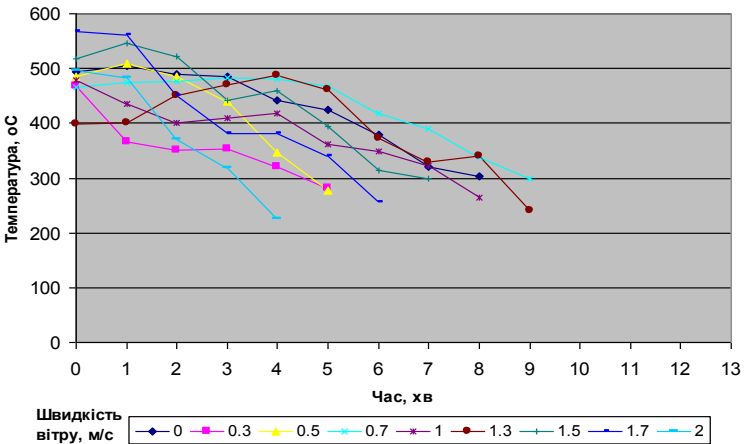
Рис. 4.46. Схема основних джерел займання лісів

Вимірювання температури тління цигарки та жаринки здійснювали щохвилини до досягнення значень, нижчих за 300°С, оскільки температура самозаймання деревини сосни становить 290°С [333]. Оскільки швидкість вітру біля поверхні зменшується через ефект пограничного шару, дослідження здійснювали в діапазоні 0–2 м/с. Залежності середньої температури поверхні джерел займання від часу для відповідних швидкостей вітру наведено на рис. 4.47. Температурні режими поверхонь джерел займання мають певні відмінності. Температури цигарки від початку другої

хвилини тління і до його завершення (різко знижується температура) зазнають незначних коливань (див. рис. 4.47 а). А температури поверхні жаринки (див. рис. 4.47 б) переважно досягають максимуму на 1–4-ій хв, а потім майже лінійно спадають.



а)



б)

Рис. 4.47. Залежності середньої температури джерел займання від часу для деяких швидкостей вітру: а – цигарка; б – жаринка

Залежності максимальних температур від швидкостей вітру для кожного виду джерел займання наведені на рис. 4.48.

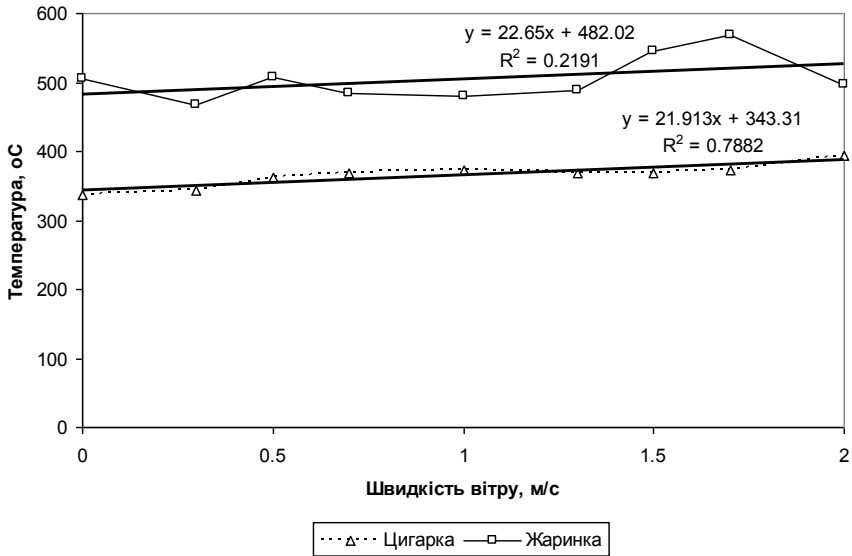


Рис. 4.48. Залежності максимальних температур поверхні джерел займання від швидкості вітру

Для цигарки в дослідженому діапазоні швидкостей максимальна температура поверхні зростає із зростанням швидкості вітру за майже лінійним законом з високим коефіцієнтом детермінації $R^2=0,7882$ (див рис. 4.48). У жаринок відзначається схожа тенденція, проте менш рівномірна ($R^2=0,2191$), що пояснюємо особливостями їх форми, яка зумовлює процес охолодження та тління. Залежності періоду часу (починаючи з 2-ої хвилини), протягом якого температура поверхні джерел займання перевищувала 300°C , від швидкості вітру зображено на рис. 4.49. Тривалість охолодження поверхні тління цигарки до температури, нижчої за 300°C , досягає максимальних значень за швидкості вітру $0,3-0,5$ м/с, що пояснюємо охолодженням поверхні повітрям, яке надходить в зону горіння. Далі тривалість зменшується, досягаючи мінімуму для швидкості вітру 1 м/с, що зумовлене оптимізацією забезпечення процесу тління оксисеном. За швидкості вітру $1,3$ м/с відбувається повернення тривалості охолодження до 8 хв та подальше спадання із зростанням швидкості вітру до 5 хв, спричинене проникненням оксисену всередину матеріалу.

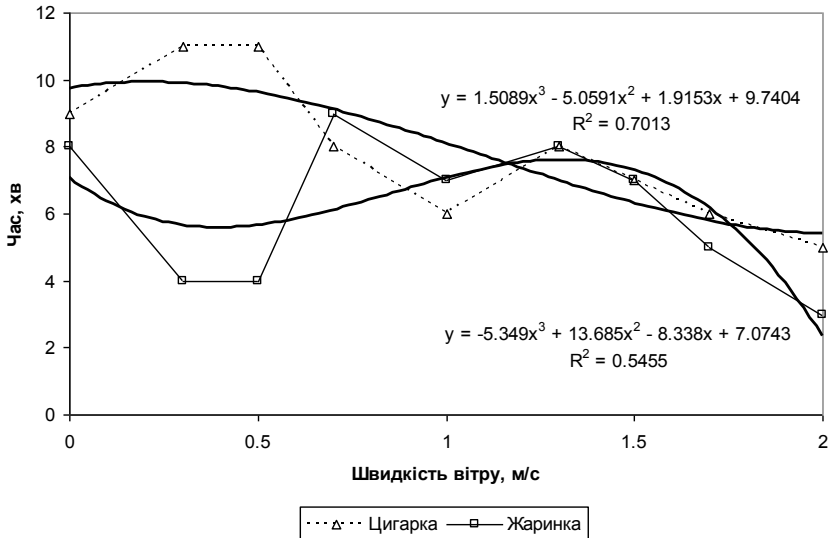


Рис. 4.49. Залежності тривалості охолодження поверхні джерела займання до температури, нижчої за 300°C

Для жаринки тривалість охолодження зменшується під час вітру зі швидкістю 0,3-0,5 м/с за рахунок оптимізації процесу тління. Із зростанням швидкостей вітру до 0,7-1,3 м/с відбувається сповільнення охолодження (із незначним прискоренням при 1 м/с), після чого цей процес інтенсифікується, що зумовлене тими ж причинами, що і для цигарки.

Під час досліджень спостерігалось обуглювання поверхні хвої в місці контакту з джерелом, іноді процес переходив у нетривале тління. Для цигарки тління спостерігалось дуже рідко, а жаринки – майже завжди на 1-й – 4-й хв.

Отже, небезпека займання від цигарки є меншою, ніж від жаринки, через нижчу температуру її поверхні тління. Жаринка становить пожежонебезпеку, зберігаючи високу температуру протягом 1-4 хв, а цигарка – протягом 5-11 хв. Максимальна температура поверхні кожного з джерел займання зростає із зростанням швидкості вітру. Тривалість охолодження цигарки є найбільшою за незначного вітру (0,3-0,5 м/с) і має тенденцію до зменшення із зростанням швидкості вітру, а жаринки – зменшується за незначних швидкостей вітру, зазнаючи подальшого зростання для швидкостей вітру 0,7-2,3 м/с та спадання.

Експериментальні дослідження залежності займистості лісового горючого матеріалу від його вологості. Дослідження залежності займистості лісової підстилки як основного виду горючого матеріалу в умовах низової пожежі від виду та вологості проведені на Полігоні вогневих випробувань Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за розробленою методикою. Досліджено такі види, які найчастіше займаються на початкових стадіях лісової пожежі: підстилка з хвої сосни, сухих гілочок діаметром до 0,5 см та шишок; підстилка листяних порід з незначним (до 5 %) вмістом соснової хвої; суха трава (з часткою листя до 10 %). Мікрокліматичні умови на початку дослідження: температура повітря 29,8°C, відносна вологість повітря 43 %, вітер південний з швидкістю 0-0,5 м/с. Всього сформовано 15 взірців лісового горючого матеріалу (по 5 кожного виду однакової маси і морфологічної структури) (рис. 4.50).



Рис. 4.50. Взірці на початку досліду з випробування займання лісового горючого матеріалу (фото автора)

Необхідна вологість взірців горючого матеріалу досягнута зволоженням водою, кількість якої розраховано з урахуванням маси та рівноважної вологості. Біля кожного із взірців розташували джерела вогневої дії та підпалили їх. Тривалість впливу джерел запалювання на горючий матеріал становила $3 \pm 0,5$ хв. Займистість матеріалу оцінювали за відстанню, на яку поширилося полум'я (рис. 4.51). Експеримент повторили тричі.

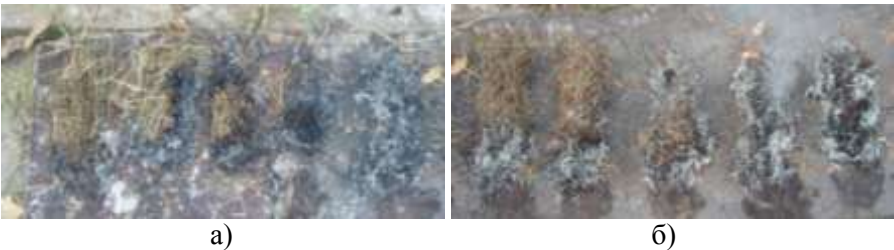


Рис. 4.51. Взірці після завершення досліду займання лісового горючого матеріалу:

а – суха трава, б – хвойна підстилка, в – листяна підстилка (фото автора)



в)

Рис. 4.51. (Продовження)

Пожежонебезпечні властивості досліджених видів лісового горючого матеріалу різняться між собою та залежать від вологості.

Залежності середньої відстані поширення полум'я від виду і вологості наведені на рис. 4.52.

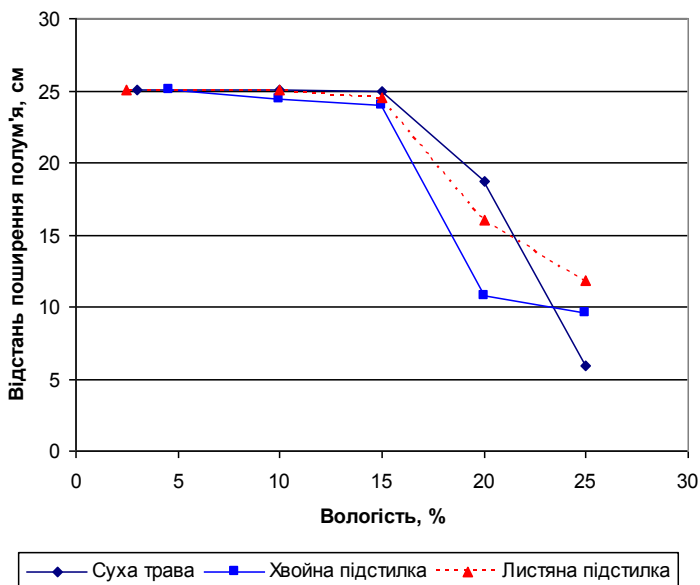


Рис. 4.52. Залежності середньої відстані поширення полум'я від вологості горючого матеріалу:

а – суха трава; б – хвойна підстилка; в – листяна підстилка

Суха трава з вологістю 25 % виявилась найбільш безпечною, проте при зниженні вологості до 20 % небезпека цього горючого матеріалу перевищила інші види. Хвойна підстилка була безпечною з вологістю 20-25 %, проте при її зниженні до 15 % згоряла майже повністю. Небезпека листяної підстилки з вологістю 25 % була найнижчою, з 20 % – середньою, а з 15 % зрівнялася з іншими видами. Загалом, за зниження вологості до 15 % всі матеріали становили однакову пожежну небезпеку, оскільки вигорали майже повністю.

Таким чином, найбільшу небезпеку виникнення пожежі становить суха трава, понад 75 % якої інтенсивно вигорає при вологості, нижчій за 20 %, хоча при вологості 25 % цей горючий матеріал є найбільш безпечним. Дещо меншу небезпеку становлять хвойна і листяна підстилки, які майже повністю вигорять при вологості 15 %. Пожежонебезпечний стан цих горючих матеріалів із зменшенням вологості починаючи з 25 % настає повільніше, ніж сухої трави. Критичною вологістю з огляду на пожежну небезпеку для трави є 20 %, а для хвойної та листяної підстилки – 15 %.

4.6. Процеси теплопередачі та лісова пожежа

Займання лісового горючого матеріалу і поширення лісової пожежі зумовлені процесами теплопередачі, до яких належать теплопровідність, конвекція та радіаційне теплове випромінювання. Теплопровідність є важливою, проте вимагає наявності безпосереднього контакту нагрітого тіла і горючого матеріалу, наприклад жаринки від багаття, яка потрапляє на лісову підстилку. Конвективні потоки від нагрітих тіл і полум'я спричиняють нагрівання горючого матеріалу, а також перенесення водяної пари, яка виділяється при цьому, внаслідок чого відбувається висушування. Полум'я та нагріті до високої температури тіла випромінюють радіаційний тепловий потік, який також спричиняє нагрівання розташованих поруч горючих матеріалів і їх висушування. У висушеному матеріалі за подальшого нагрівання відбуваються процеси піролізу, які сприяють його займанню та самозайманню.

Мікрокліматичні параметри повітря поблизу вогню та їх вплив на висушування лісових горючих матеріалів. Навколо вогню утворюється температурне поле, яке описують теоретичними або експериментальними методами [482]. Але при цьому до уваги не беруть інші мікрокліматичні параметри, зокрема, відносну вологість повітря,

яка разом з температурою істотно впливає на процес висушування горючих матеріалів, внаслідок якого виникає та поширюється пожежа. Математична модель [71], за допомогою якої досліджують час висушування лісового горючого матеріалу, також не враховує вологості повітря, хоча у подальших дослідженнях [446] все-ж зазначається важливість врахування відносної вологості за низькотемпературного висушування (до 60°C). З теорії висушування відомо, що вологість повітря істотно впливає на процес висушування деревини [161, 305]. З урахуванням цього з метою вивчення процесів виникнення та поширення лісових пожеж проведено експериментальні дослідження мікрокліматичних параметрів, які формуються поблизу вогню, зокрема, температури і відносної вологості повітря, та оцінено їх вплив на висушування лісового горючого матеріалу [186].

Для дослідження мікрокліматичних параметрів поблизу вогню в лісовому масиві розведено багаття з діаметром основи $0,5$ м. Вимірювання температури та відносної вологості повітря здійснювали як над полум'ям, так і поблизу нього за схемою (рис. 4.53).

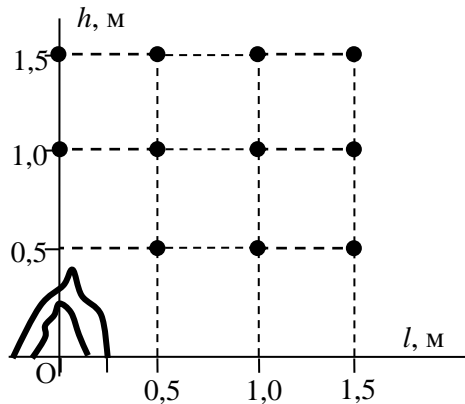


Рис. 4.53. Точки вимірювання температури та відносної вологості повітря поблизу багаття

Оскільки верхня межа вимірювання температури аспіраційного психрометра становить $+40^{\circ}\text{C}$, то над полум'ям вимірювання проводили на висоті 1 м і $1,5$ м. Досліди проводили двічі: 16 та 24 жовтня 2010 р. Під час проведення першого дослідження температура повітря становила 10°C , відносна вологість – $65,9\%$, швидкість вітру $0-2$ м/с. Другий дослід проводився за наявності вітру, швидкість якого становила $5-7$ м/с, температура повітря 15°C , відносна вологість – $41,6\%$.

Відносну вологість повітря визначали за показами сухого і вологого термометрів двома аналітичними методами (додаток Б). Результати вимірювань температури та відносної вологості повітря з використанням обох методів наведені в табл. 4.8 (атмосферний тиск P приймали сталим – 1000 гПа).

Таблиця 4.8

Температура, °С (в чисельнику) та відносна вологість повітря, %, за I та II методом (у знаменнику), визначені поблизу багаття

		Горизонтальна відстань до багаття, м			
		0	0,5	1,0	1,5
Дослід 1					
Висота, м	1,5	<u>12,9</u> 59,8 (60,0)	<u>13,0</u> 59,9 (60,1)	<u>11,5</u> 64,0 (64,2)	<u>10,6</u> 76,5 (77,2)
	1,0	<u>14,0</u> 56,6 (56,7)	<u>12,6</u> 58,4 (58,6)	<u>12,0</u> 57,5 (57,8)	<u>10,4</u> 65,3 (66,1)
	0,5	–	<u>12,0</u> 59,6 (60,1)	<u>11,8</u> 65,1 (65,6)	<u>11,2</u> 66,0 (67,0)
Дослід 2					
Висота, м	1,5	<u>19,0</u> 35,0 (35,8)	<u>17,2</u> 42,9 (43,0)	<u>16,0</u> 50,6 (50,8)	<u>16,0</u> 55,5 (55,8)
	1,0	<u>18,0</u> 34,5 (35,5)	<u>17,5</u> 40,3 (40,5)	<u>16,2</u> 50,9 (51,1)	<u>16,0</u> 51,9 (52,5)
	0,5	–	<u>17,4</u> 40,1 (40,3)	<u>16,2</u> 44,4 (44,6)	<u>16,0</u> 43,6 (44,3)

Відхилення значень відносної вологості, визначеної за кожним із методів для даних кожного дослідження не перевищували 1 %, а коефіцієнт кореляції між цими наборами значень становив 0,999, що підтвердило рівнозначність методів.

Висушування лісового горючого матеріалу наближає його вологість до рівноважної, яка залежить від температури і відносної вологості повітря [317]. Рівноважну вологість визначали теоретичним методом [467] (табл. 4.9).

Для з'ясування впливу відносної вологості та температури повітря використано математичну модель висушування тонкої деревини, яка описується диференціальним рівнянням [161]

Таблиця 4.9

**Рівноважні вологості деревини (у %),
які відповідають даним табл. 4.8**

		Горизонтальна відстань до багаття, м			
		0	0,5	1,0	1,5
		Дослід 1			
Висота, м	1,5	10,67 (11,36)	10,70 (11,36)	11,33 (12,35)	13,99 (15,6)
	1,0	10,17 (10,63)	10,39 (11,10)	10,17 (10,96)	11,47 (12,72)
	0,5	–	10,55 (11,38)	11,57 (12,57)	11,69 (12,82)
		Дослід 2			
Висота, м	1,5	6,95 (6,72)	8,12 (8,06)	9,31 (9,43)	10,16 (10,32)
	1,0	6,82 (6,69)	7,71 (7,62)	9,37 (9,47)	9,53 (9,66)
	0,5	–	7,68 (7,59)	8,28 (8,34)	8,15 (8,23)

$$\frac{dW}{d\tau} = -\frac{\beta}{R}(W - W_p), \quad (4.35)$$

де τ – час висушування, с, $2R$ – характерний розмір (товщина матеріалу), м, β – коефіцієнт вологовіддачі, м/год, $W=W(\tau)$ вологість матеріалу, % та W_p – його рівноважна вологість, %. Проінтегрувавши це рівняння з урахуванням початкової умови $W(0)=W_{\Pi}$, отримуємо розв’язок

$$\tau = \frac{R}{\beta} \ln \left(\frac{W_{\Pi} - W_p}{W - W_p} \right), \quad (4.36)$$

який описує час висушування.

Для матеріалу сталої товщини $2R$, вважаючи, що коефіцієнт вологовіддачі β є сталою величиною, досліджено зміну часу висушування в залежності від рівноважної вологості, яка залежить від мікрокліматичних параметрів поблизу вогню. Початковою вважаємо вологість живої деревини, яка для гілок сосни становить 57,5 %, кінцевою – вологість 25 %, за якої можливе виникнення пожежі [40, 368]. Розглянемо відношення

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{\ln \left(\frac{W_{\Pi} - W_p}{W - W_p} \right)}{\ln \left(\frac{W_{\Pi} - W_{p0}}{W - W_{p0}} \right)} \quad (4.37)$$

часу висушування τ з рівноважною вологістю W_p , яка відповідає визначеним поблизу вогню значенням температури та відносної вологості повітря, до часу висушування τ_0 за найбільшої рівноважної вологості W_{p0} , яка спостерігалася під час експерименту. Досліджено функцію

$$f(W_p) = \frac{\ln\left(\frac{W_{\Pi} - W_p}{W - W_p}\right)}{\ln\left(\frac{W_{\Pi} - W_{p0}}{W - W_{p0}}\right)},$$

графік якої для сталих значень $W_{\Pi} = 57,5 \%$, $W = 25 \%$ та $W_{p0} = 15 \%$ зображено на рис. 4.54. Оскільки рівноважна вологість приймає лише невід’ємні значення, функцію $f(W_p)$ розглядали на інтервалі $0 \leq W_p < W$. Її похідна

$$f'(W_p) = \frac{1}{\ln\left(\frac{W_{\Pi} - W_{p0}}{W - W_{p0}}\right)} \cdot \frac{W_{\Pi} - W}{(W - W_p)(W_{\Pi} - W_p)}$$

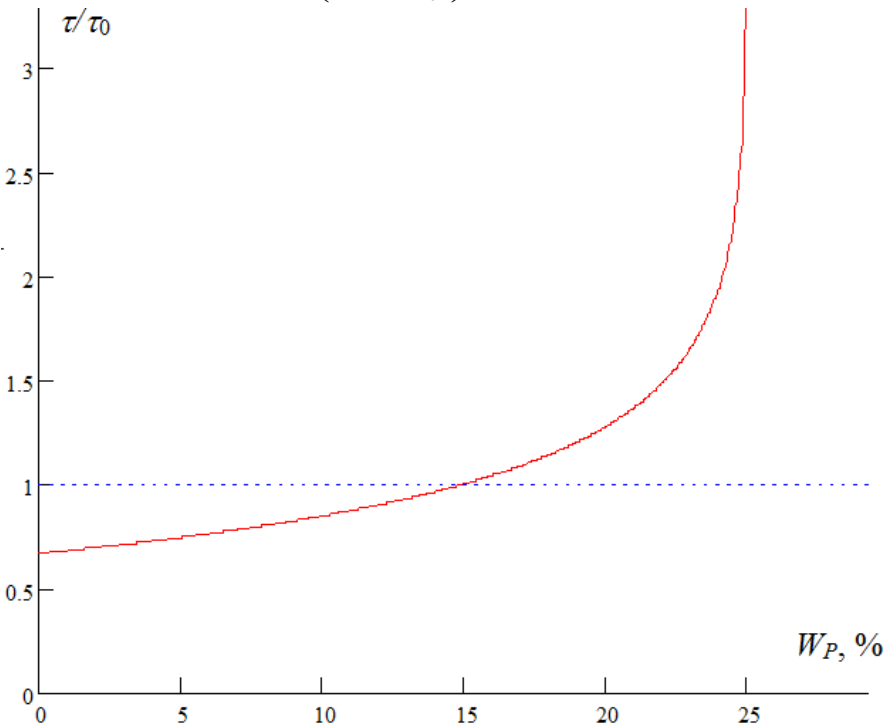


Рис. 4.54. Залежність $f(W_p)$ відношення часу висушування за змінної рівноважної вологості деревини до часу висушування за сталої рівноважної вологості від рівноважної вологості ($W_{\Pi} = 57,5 \%$, $W = 25 \%$, $W_{p0} = 15 \%$)

додатна на вказаному інтервалі, а тому функція $f(W_p)$ є зростаючою. Тому із зниженням рівноважної вологості деревини відношення $\frac{\tau}{\tau_0}$ також буде зменшуватися, тобто висушування відбуватиметься швидше.

За (4.37) обчислено, у скільки разів зміниться час висушування поблизу вогню. Результати обчислень для даних табл. 4.9 наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Відношення часу висушування поблизу багаття до часу висушування за максимальної рівноважної вологості (з використанням даних табл. 4.9)

		Горизонтальна відстань до багаття, м			
		0	0,5	1,0	1,5
Дослід 1					
Висота, м	1,5	0,815 (0,807)	0,816 (0,808)	0,851 (0,843)	1,000 (1,000)
	1,0	0,791 (0,783)	0,806 (0,798)	0,802 (0,795)	0,865 (0,863)
	0,5	–	0,816 (0,810)	0,860 (0,854)	0,869 (0,869)
Дослід 2					
Висота, м	1,5	0,875 (0,877)	0,917 (0,916)	0,965 (0,965)	1,000 (1,000)
	1,0	0,874 (0,877)	0,903 (0,902)	0,967 (0,966)	0,974 (0,979)
	0,5	–	0,902 (0,901)	0,927 (0,927)	0,923 (0,925)

Зауважимо, що наведені розрахунки не враховують теплового випромінювання від полум'я, яке також бере участь у нагріванні поверхні лісових горючих матеріалів. Тому висушування матеріалу відбуватиметься ще швидше за рахунок потрапляння на поверхню радіаційного теплового потоку.

У результаті експериментальних досліджень виявлено, що температура повітря зменшується із збільшенням горизонтальної відстані від полум'я та висоти. Відносна вологість повітря зростає із збільшенням висоти і горизонтальної віддалі від полум'я, проте на висоті 1 м вона менша, ніж на більшій чи меншій висотах (для кожного значення горизонтальної віддалі від полум'я). Збільшення температури та зменшення відносної вологості повітря спричиняє зниження рівноважної вологості деревини, яке призводить до зменшення часу висушування тонких гілок дерев, чагарників і листя, розташованих над полум'ям, до вологості 25 % на висоті 1 м на 12-22 %, на висоті 1,5 м – на 12-20 %, внаслідок чого зростає пожежна небезпека.

Математичне моделювання теплового радіаційного потоку від полум'я на горизонтальну поверхню. Під час лісової пожежі полум'я є джерелом радіаційного теплового випромінювання, оцінювання інтенсивності якого є важливим для прогнозування займання та поширення горіння. На інтенсивність дії теплового потоку на деяку точку простору, впливає відстань від джерела випромінювання, його форма і розташування в просторі. Для дослідження впливу радіаційного теплового потоку від полум'я на горизонтальну та вертикальну поверхні застосоване математичне моделювання [188, 190, 213].

У загальному вигляді здійснено постановку задачі про теплове випромінювання від поверхні полум'я. Нехай джерелом випромінювання є поверхня S , розташована над площиною Oxy . Потрібно визначити тепловий потік, який діє на ділянку горизонтальної поверхні площею dS_2 з центром у довільній точці $M(x_0, y_0, 0)$ цієї площини (рис. 4.55).

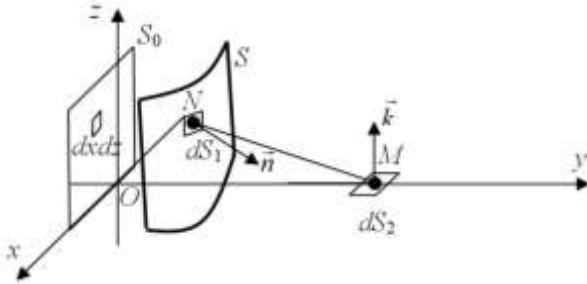


Рис. 4.55. Випромінювання поверхнею S на горизонтальну ділянку dS_2

Основною характеристикою джерела запалювання, яка характеризує випромінювання, є інтенсивність теплового потоку – кількість теплоти, яка проходить через одиницю площі за одиницю часу. За законом Ламберта інтенсивність випромінювання I поверхні одиничної площі під кутом θ до нормалі описується формулою

$$I = I_n \cos \theta, \quad (4.38)$$

де I_n – інтенсивність випромінювання по нормалі до поверхні одиничної площі, Вт/м². Величина I_n обчислюється як частка

$$I_n = \frac{E}{\pi}, \quad (4.39)$$

де E – потужність випромінювання, Вт/м², яка пропорційна четвертому степеню абсолютної температури T , К, і обчислюється з закону Стефана-Больцмана

$$E = \varepsilon \sigma T^4, \quad (4.40)$$

де ε – відносна випромінювальна здатність, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – стала Стефана-Больцмана. Нехай поверхня S задана неперервною функцією $y=f(x,z)$, яка визначена в області S_0 , розташованій на площині Oxz ($z \geq 0$) і має неперервні часткові похідні. Тоді елементарна поверхня dS_1 , розташована на S на висоті z від горизонтальної поверхні, випромінює на елементарну поверхню dS_2 тепловий потік $d\Phi$, який обчислюється за формулою [94]

$$d\Phi = I_n \cos \theta \cos \beta dS_2 d\omega, \quad (4.41)$$

де I_n – інтенсивність випромінювання в напрямку нормалі до поверхні з поверхні одиничної площі, θ – кут між нормаллю \vec{n} до поверхні dS_1 , проведеною у точці N , та напрямком випромінювання (відрізок NM), β – кут між цим відрізком і нормаллю \vec{k} до поверхні dS_2 , а $d\omega$ – елементарний тілесний кут, під яким видно поверхню dS_1 з поверхні dS_2 та який обчислюється за формулою

$$d\omega = \frac{dS_1}{R^2}, \quad (4.42)$$

у якій R – відстань між серединами поверхонь (довжина відрізка NM), м.

Перейшовши у (4.41) до декартової системи координат і проінтегрувавши його з урахуванням (4.42) по S_0 , отримуємо формулу, яка описує інтенсивність теплового потоку з поверхні S на dS_2 :

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \iint_{S_0} I_n \frac{\left((x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - f(x, z))^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx dz. \quad (4.43)$$

За формулою (4.43) визначено тепловий потік, який діє на ділянку dS_2 , з поверхні джерел різної форми: конуса, циліндра та площини.

Полум'я малопотужного джерела запалювання (наприклад, сірника) найчастіше має форму, близьку до конічної (рис. 4.56). Тому з (4.43) отримано залежність для конуса (див. виведення в додатку Л).

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-r \sqrt{\frac{y_0^2 - r^2}{y_0^2} \left(1 - \frac{z}{H}\right)}}^{r \sqrt{\frac{y_0^2 - r^2}{y_0^2} \left(1 - \frac{z}{H}\right)}} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0 - x)}{r \sqrt{\frac{(z-H)^2 - x^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2 - x^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right) + \frac{(z_0 - z)(z - H)r}{H^2 \sqrt{\frac{(z-H)^2 - x^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2 - x^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx. \quad (4.44)$$

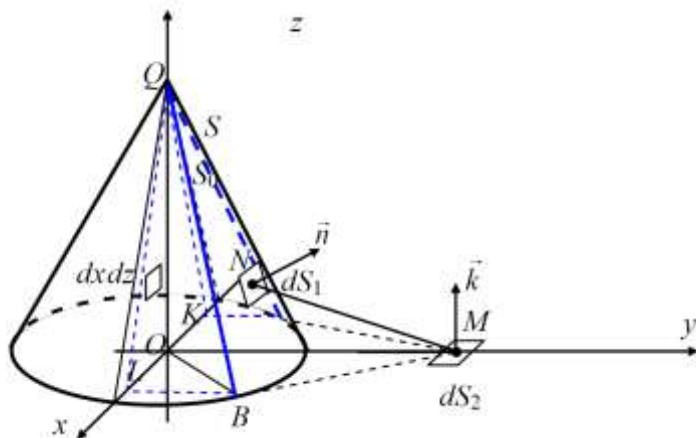


Рис. 4.56. Випромінювання поверхню конуса на горизонтальну ділянку dS_2

Провівши аналогічні перетворення, отримано формулу для обчислення теплового потоку від циліндра висотою H і основою радіуса r , яка співпадає з основою розглянутого конуса

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-\sqrt{y_0^2-r^2}}^{\sqrt{y_0^2-r^2}} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0-x)}{\sqrt{r^2-x^2}} - (y_0 - r\sqrt{r^2-x^2}) \right) (z_0 - z)}{\left((x_0-x)^2 + (y_0 - \sqrt{r^2-x^2})^2 + (z_0-z)^2 \right)^2} dx. \quad (4.45)$$

Для циліндра в [189] виведено і проінтегровано аналогічну до (4.45) формулу в циліндричній системі координат.

У випадку, коли поверхню випромінювання є прямокутник висотою H та шириною $2r$, розміщений над площиною Oxy перпендикулярно до осі Oy та симетричний відносно площини Oyz , тепловий потік визначається за формулою

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-r}^r I_n \frac{-(y_0 - r)(z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - r)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx. \quad (4.46)$$

Для обчислення (4.44)-(4.46) застосовано чисельне інтегрування. Графіки, які порівнюють залежності теплового потоку від відстані та висоти полум'я для джерел випромінювання у формі конуса, циліндра та прямокутника ($I_n = 1$ кВт/м²), зображені на рис. 4.57.

Тепловий потік, який діє на горизонтальну ділянку з поверхні джерела випромінювання у формі конуса, спадає із зростанням відстані до ділянки і зростає із збільшенням висоти конуса. При цьому із збільшенням відстані вплив висоти полум'я на величину теплового потоку є менш відчутним, ніж безпосередньо поблизу основи конуса.

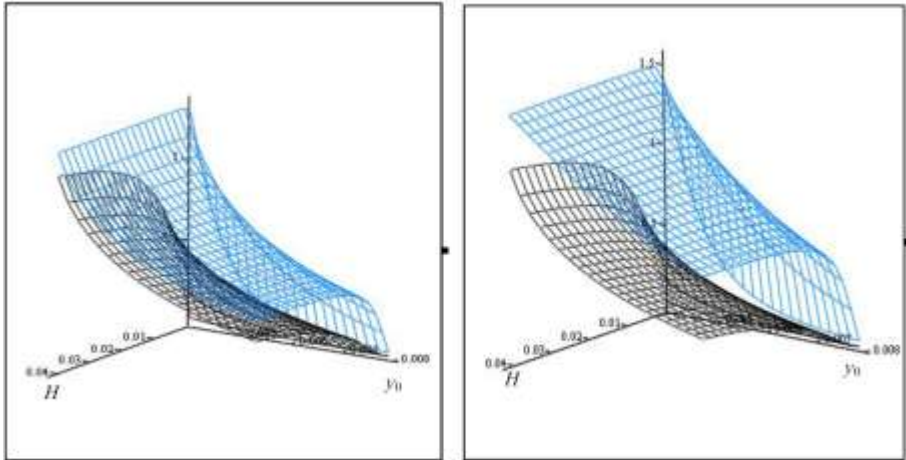


Рис. 4.57. Залежність теплового потоку від значень H та y_0 , який випромінюється з поверхонь ($I_n = 1 \text{ кВт/м}^2$):
 а – конуса (нижня поверхня) та циліндра (верхня поверхня);
 б – конуса (нижня поверхня) та прямокутника (верхня поверхня)

Тепловий потік є найслабшим у випадку, якщо джерелом випромінювання є поверхня конуса, сильнішим у випадку поверхні в формі циліндра, основа і висота якого співпадають з відповідними елементами конуса і найсильнішим – коли випромінювання відбувається від вертикально розташованого прямокутника. Із збільшенням відстані від джерела випромінювання до ділянки величина теплового потоку зменшується для кожного з цих джерел.

Інтенсивність теплового потоку I_n можна отримати за формулами (4.39)-(4.40) з урахуванням температури поверхні полум'я. Значення інтенсивностей випромінювання з поверхні полум'я для деяких видів горючих матеріалів, обчислених для $\varepsilon=0,95$, наведено на рис. 4.58.

Нехай тепловий потік, який визначається за однією з формул (4.44), (4.45) чи (4.46), нагріває підстилку з деякою площею $S_2, \text{ м}^2$. Тоді, як зазначалося вище, для займання матеріалу потрібно передати йому кількість теплоти

$$Q = (c_v m_v + c_{rech} m_{rech})(T_{кин} - T_0) + \lambda_v m_v + c_{rech} m_{rech}(T_{займ} - T_{кин}), \quad (4.47)$$

де c_v та c_{rech} – питомі теплоємності води і речовини в підстилці, Дж/(кг·К), та масовими частками m_v та m_{rech} , кг, λ_v – питома теплота пароутворення води, Дж/кг, T_0 , $T_{кин}$ та $T_{займ}$ – температури навколишнього середовища, кипіння води та займання речовини, К.

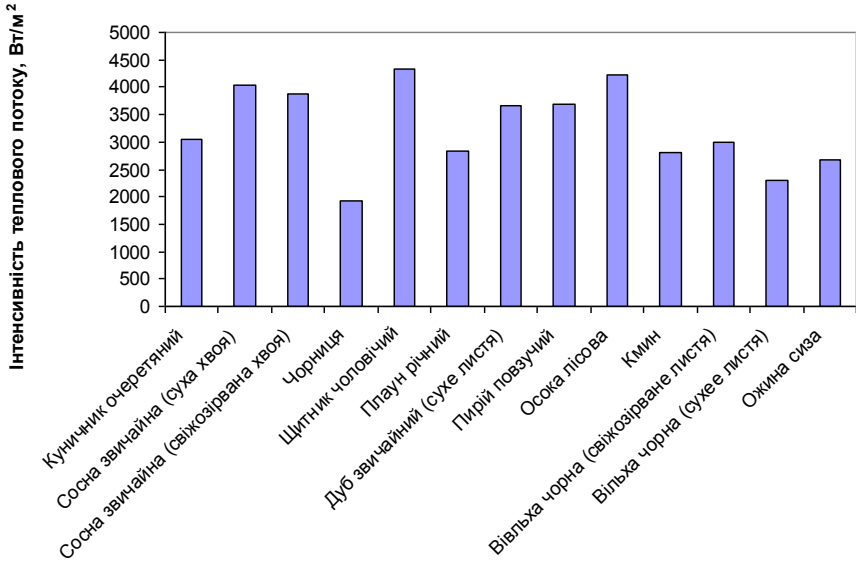


Рис. 4.58. Інтенсивність теплового потоку з поверхонь полум'я під час горіння деяких лісових горючих матеріалів

З іншого боку, кількість теплоти від випромінювання, яке потрапляє на поверхню з площею S_2 , обчислюється за формулою

$$Q = \frac{d\Phi}{dS_2} S_2 \tau, \quad (4.48)$$

де τ – час. Прирівнявши праві частини співвідношень (4.47) та (4.48), отримуємо формулу, за допомогою якої обчислюється час, необхідний для займання лісової підстилки внаслідок дії теплового потоку.

$$\tau = \frac{(c_v m_v + c_{rech} m_{rech})(T_{кин} - T_0) + \lambda_v m_v + c_{rech} m_{rech}(T_{займ} - T_{кин})}{\frac{d\Phi}{dS_2} S_2}. \quad (4.49)$$

Отриману формулу (4.49) застосовано для оцінювання часу займання хвойної підстилки. Якщо її запас становить 5 кг/м^2 , вологість – 4 %, теплоємність води $c_w=4,182 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ [95], питома теплота випаровування води $\lambda_w=2257 \text{ кДж/кг}$ [221], теплоємність сухої хвої $c_{rech}=0,28 \text{ ккал/(кг}\cdot\text{К)}=1,17236 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ [147], температура середовища $T_0=293^\circ\text{К}$, температура кипіння води $T_{кип}=373^\circ\text{К}$, тоді для нагрівання полум'ям свічки конічної форми висотою $H=0,042 \text{ м}$ і радіусом $r=0,004 \text{ м}$ сухої хвої площею 1 см^2 , розташованої горизонтально на відстані $0,1 \text{ мм}$ від основи полум'я, до температури займання $T_{займ}=505^\circ\text{К}$ потрібно час $2,89 \text{ хв}$. Із збільшенням відстані до $1,1 \text{ мм}$ час зростає до $4,45 \text{ хв}$, а на відстані $3,1 \text{ мм}$ він становитиме $6,94 \text{ хв}$. За вологості 20 % час займання на відстані $0,1 \text{ мм}$ зростає майже вдвічі – до $5,45 \text{ хв}$. На відстані $1,1 \text{ мм}$ час займання становить $8,39 \text{ хв}$, а на відстані $3,1 \text{ мм}$ – $13,09 \text{ хв}$. Якщо ж вологість становить 2,2 %, тоді час займання на відстані $0,1 \text{ мм}$ становить $2,55 \text{ хв}$, $1,1 \text{ мм}$ – $3,93 \text{ хв}$ і $3,1 \text{ мм}$ – $6,12 \text{ хв}$.

Отже, з використанням методу математичного моделювання теплового випромінювання встановлено, що щільність теплового потоку від поверхні полум'я конічної форми, який потрапляє на горизонтальну поверхню, спадає із зростанням відстані та зменшенням висоти полум'я. Вплив висоти полум'я більш відчутний на малій відстані від його основи. Для нагрівання тепловим потоком хвойної підстилки вологістю 4 % полум'ям свічки, розташованим майже поруч, до температури займання потрібно $2,89 \text{ хв}$, проте при збільшенні вологості хвої до 20 % відповідний час зростає до $5,45 \text{ хв}$, що погіршить умови займання та зменшить пожежну небезпеку, підтвердивши результати експериментальних досліджень, наведені вище.

Моделювання теплового радіаційного потоку від полум'я на вертикальну поверхню. При дослідженнях поширення лісових пожеж у вертикальному напрямку, яке зумовлює перехід низової пожежі у верхову, важливим є оцінювання потоку теплового випромінювання не лише на горизонтальну поверхню, але і на розташовану на певній висоті над поверхнею ґрунту перпендикулярно або під деяким кутом до неї. Прикладами таких поверхонь є стовбури дерев і чагарників, низько розташовані гілки, листя та ін. Для цього дослідження розроблено іншу математичну модель, яка описує випадок, у якому елементарна поверхня dS_2 розташована на висоті z_0 над площиною Oxy і є перпендикулярною до осі Oy (рис. 4.59).

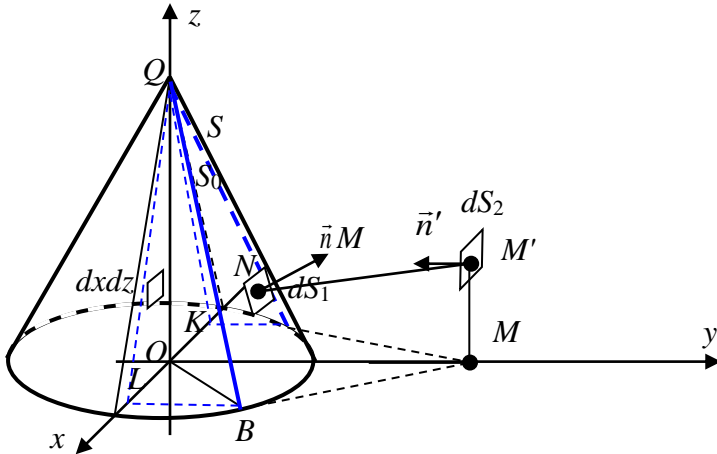


Рис. 4.59. Випромінювання поверхнею конуса на вертикальну ділянку dS_2 , розташовану на відстані y_0 від осі Oz та на висоті z_0 від площини Oxy

З урахуванням взаємного розміщення поверхні випромінювання у формі конуса та ділянки поверхні горючого матеріалу dS_2 , отримано формулу

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-r\sqrt{\frac{y_0^2 - r^2}{H^2} - \left(\frac{z}{H}\right)^2}}^{r\sqrt{\frac{y_0^2 - r^2}{H^2} - \left(\frac{z}{H}\right)^2}} I_n \left(\frac{-\frac{x(x_0 - x)}{r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} - \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right) + \frac{(z_0 - z)(z-H)r}{H^2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right)^2 + (z_0 - z)^2\right)^2} \right) \times \left(r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} - y_0 \right) dx. \quad (4.50)$$

За формулою (4.50), здійснивши чисельне інтегрування, отримано залежності теплового потоку на вертикальну поверхню від відстані до початку координат y_0 для різних висот z_0 (рис. 4.60). Тепловий потік з віддаленням ділянки dS_2 на відстань декількох мм від основи конуса досягає максимуму, а потім спадає, окрім розташування ділянки dS_2 на площині основи Oxy .

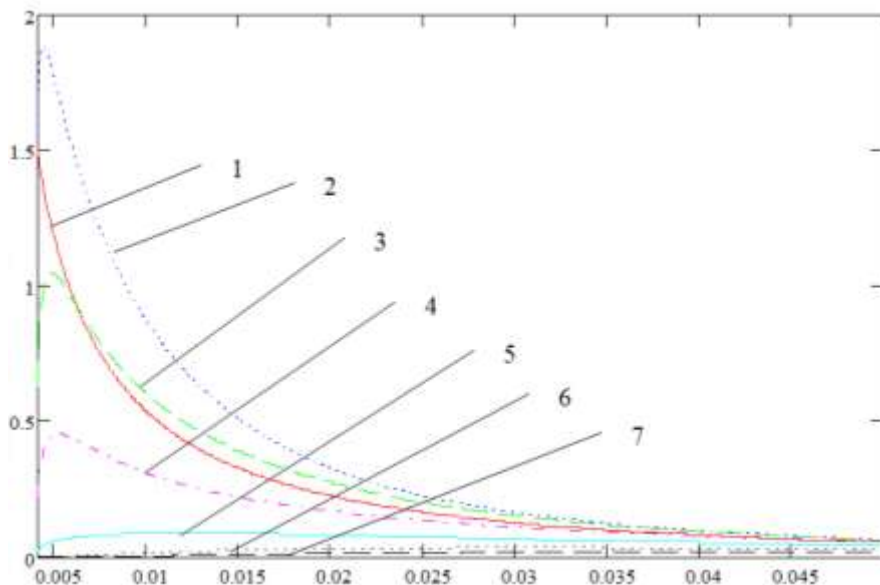


Рис. 4.60. Залежність теплового потоку з поверхні конуса на вертикальну ділянку від відстані y_0 ($I_n = 1$ кВт/м²):
 1 – на висоті $z_0=0$; 2 – на висоті $z_0=H/4$; 3 – на висоті $z_0=H/2$; 4 – на висоті $z_0=3H/4$; 5 – на висоті $z_0=H$; 6 – на висоті $z_0=5H/4$; 7 – на висоті $z_0=3H/2$

Відстань, на якій досягається екстремум, зростає із зростанням висоти ділянки опромінення. На висоті $H/4$ тепловий потік досягає більшої величини, ніж на інших розглянутих висотах. Тепловий потік, який діє на вертикальну поверхню від джерела конічної форми, залежить не лише від відстані до осі конуса, але і від висоти над поверхнею z_0 . Це істотно впливає на нагрівання фрагментів рослин, розташованих на різних висотах над поверхнею. З огляду на пожежну небезпеку, найбільший інтерес становлять максимальні значення теплового потоку, які нагрівають відповідний фрагмент до пожежонебезпечної температури (температури займання або самозаймання). Для встановлення висоти, на якій тепловий потік досягає максимальних значень, використано (4.50). Застосувавши чисельне інтегрування, отримано залежності теплового потоку від висоти для різних відстаней від осі конуса (рис. 4.61).

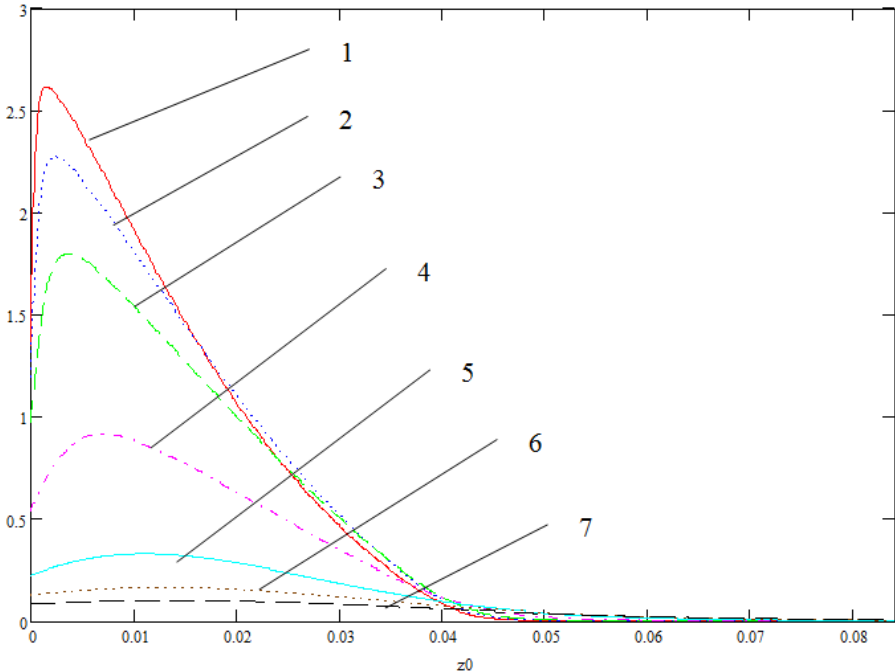


Рис. 4.61. Залежність теплового потоку з поверхні конуса на вертикальну ділянку від висоти z_0 для різних відстаней від осі конуса y_0 (див. рис. 4.59) ($I_n = 1 \text{ кВт/м}^2$):

1 – $y_0 = 0,0045 \text{ м}$; 2 – $y_0 = 0,005 \text{ м}$; 3 – $y_0 = 0,006 \text{ м}$; 4 – $y_0 = 0,01 \text{ м}$;
5 – $y_0 = 0,02 \text{ м}$; 6 – $y_0 = 0,03 \text{ м}$; 7 – $y_0 = 0,04 \text{ м}$

Тепловий потік на кожній з відстаней має відповідний екстремум, який із збільшенням відстані від конуса досягається на більшій висоті.

Таким чином, отримані формули дозволяють оцінити час, необхідний для нагрівання вертикально розташованого горючого матеріалу до температури займання внаслідок дії теплового потоку від поверхні джерела випромінювання конічної форми. Зокрема встановлено, що в розглянутому діапазоні висот, тепловий потік, що потрапляє на вертикальну поверхню, є найбільшим на висоті, яка дорівнює чверті висоти полум'я.

4.7. Поширення горіння лісовим горючим матеріалом у різних топографічних умовах

Внаслідок процесів теплопередачі відбувається формування стану середовища, в якому поширюється пожежа. Опис процесу поширення горіння на основі теплофізичних законів є складним і потребує врахування низки даних про середовище поширення, які через його неоднорідність на практиці важко отримати. Але поширення можна оцінити і за допомогою спрощених моделей, які враховують узагальнені параметри пожежі. Лісова пожежа від осередку займання поширюється шаром горючого матеріалу в напрямках фронту, флангів і тилу. Основною її характеристикою є лінійна швидкість поширення, яка залежить, в основному, від виду горючого матеріалу, його вологості, фізичних характеристик, просторового розташування та дії вітру.

Експериментальні дослідження поширення горіння лісовим горючим матеріалом. Для з'ясування впливу на поширення горіння ухилу та вітру проведено експериментальні дослідження на Полігоні вогневих випробувань Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Під час дослідження визначено швидкості поширення горіння без впливу вітру та під його впливом, висоту полум'я, його температуру та щільність теплового потоку, який потрапляє на вертикальну поверхню, розташовану на відстані 0,1 м від поверхні полум'я. Перед початком досліджень визначено мікрокліматичні умови. Температура повітря становила 25,5°C, відносна вологість 63 %, вітер практично відсутній. Для дослідження процесів поширення пожежі шаром наземного лісового горючого матеріалу використано найпоширеніші його види: хвойну підстилку, листяну підстилку та суху траву. Матеріал розташували на площині під кутами 0°, 7,5° і 15° (рис 4.62). Для кожного виду горючого матеріалу та кута нахилу дослід повторювали тричі. Параметри горючого матеріалу наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Параметри шару горючого матеріалу на початку експерименту

Вид матеріалу	Хвойна підстилка	Листяна підстилка	Суха трава
Маса матеріалу, кг	1,00±0,05	0,27±0,03	0,24±0,06
Початкова вологість матеріалу, %	5,4±1,0	5,0±0,8	4,3±0,2
Товщина взірця, см	4,0±0,5	5,0±0,5	7,0±0,5
Просторова щільність матеріалу, кг/м ³	55,6±2,4	12,0±1,2	7,6±1,8

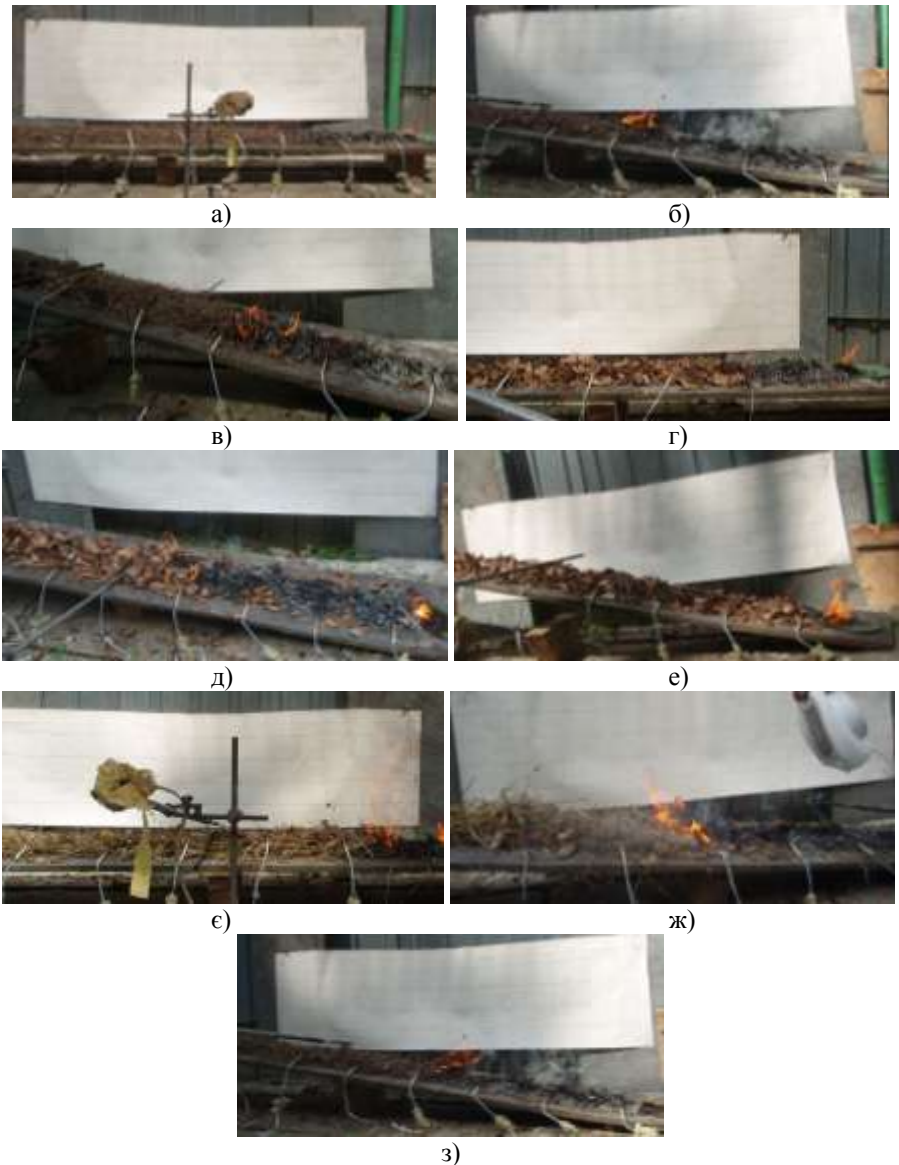


Рис. 4.62. Дослідження процесів поширення вогню лісовим горючим матеріалом площиною, нахиленою під кутом (фото автора): а – хвойна підстилка, 0° ; б – хвойна підстилка, $7,5^\circ$; в – хвойна підстилка, 15° ; г – листяна підстилка, 0° ; д – листяна підстилка, $7,5^\circ$; е – листяна підстилка, 15° ; є – суха трава, 0° ; ж – суха трава, $7,5^\circ$; з – суха трава, 15°

У кожному досліді після займання від джерела вогневого впливу вогонь поширювався поверхнею спочатку без впливу вітру, а після проходження відстані понад 1 м здійснювалася імітація впливу вітру швидкістю 1 м/с у напрямку поширення горіння вентилятором, розташованим на відстані 0,4 м від полум'я. Пройдена вогнем відстань фіксувалася з періодом 0,5 хв. На кожному з періодів визначалася швидкість поширення вогню. У випадку значної швидкості (понад 0,5 м/хв) фіксувався час, за який вогонь поширювався на відстань 0,1 м.

Результати випробувань наведені в табл. 4.12, з якої видно, що швидкість поширення полум'я хвойною підстилкою істотно не змінилася із збільшенням кута нахилу. Під дією вітру швидкості поширення цим матеріалом зросли пропорційно. Схожими є результати для листяної підстилки, але швидкість поширення за відсутності вітру була в 1,7-1,8 разів більшою, ніж хвойною. За одночасного впливу ухилу та вітру швидкість зростала інтенсивніше.

Таблиця 4.12

Результати випробувань поширення горіння

Вид матеріалу	Хвойна підстилка			Листяна підстилка			Суха трава		
	0	7,5	15	0	7,5	15	0	7,5	15
Кут нахилу площини до горизонту, градуси									
Середня швидкість горіння без впливу вітру, м/хв	0,19 ±0,03	0,21 ±0,02	0,22 ±0,03	0,29 ±0,04	0,30 ±0,05	0,31 ±0,05	0,30 ±0,06	0,48 ±0,08	0,52 ±0,09
Середня висота полум'я без впливу вітру, м	0,15 ±0,05	0,20 ±0,05	0,20 ±0,05	0,07 ±0,03	0,07 ±0,03	0,08 ±0,03	0,45 ±0,05	0,47 ±0,06	0,47 ±0,06
Максимальна температура полум'я на висоті 0,1 м від поверхні, °С	319,9 ±8,5	384,6 ±7,2	376,5 ±6,6	278,7 ±6,3	294,1 ±7,2	342,7 ±6,5	175,2 ±7,9	357,1 ±8,8	372,1 ±9,5
Максимальна температура поверхні горючого матеріалу, °С	355,6 ±9,4	434,4 ±10,3	444,6 ±11,5	351,1 ±8,5	377,9 ±13,8	380,6 ±11,0	299,0 ±9,2	390,2 ±14,4	366,6 ±10,6
Середня щільність теплового потоку від полум'я, кВт/м²	11,8 ±0,5	12,0 ±0,3	12,3 ±0,4	7,0 ±0,4	6,9 ±0,6	7,0 ±0,5	12,0 ±0,5	11,6 ±0,4	11,9 ±0,7
Середня швидкість горіння під впливом вітру з швидкістю 1 м/с, м/хв	0,29 ±0,03	0,35 ±0,04	0,37 ±0,04	0,40 ±0,05	0,46 ±0,04	0,54 ±0,06	0,65 ±0,12	0,80 ±0,15	0,83 ±0,14

У дослідах із сухою травою швидкість поширення горіння зростала як під дією вітру, так і зі зростанням ухилу та перевищувала аналогічні показники для інших горючих матеріалів. За наявності одночасного впливу ухилу та вітру швидкість поширення полум'я також зростала, проте більш відчутною була зміна кута нахилу від 0 до $7,5^\circ$, в той час, як для листяної підстилки більшим було зростання швидкості при переході від $7,5$ до 15° . Це пояснюється більшою висотою шару сухої трави в порівнянні з листяною підстилкою, що покращує умови попереднього підігріву горючого матеріалу. Найбільша висота полум'я спостерігалася при горінні сухої трави, найменша – листяної підстилки. Щільність теплового потоку від полум'я практично не змінювалася із зростанням ухилу, але залежала від виду горючого матеріалу. Найменшою ця величина була для листяної підстилки, найбільшою – для хвої та сухої трави.

Таким чином, внаслідок експериментальних досліджень поширення горіння основними видами наземного горючого матеріалу, зібраними в лісових масивах Малого Полісся, визначено, що лінійні швидкості поширення горіння залежать від кута нахилу і є найбільшими для сухої трави, середніми – для листяної підстилки і найменшими – для хвойної підстилки. Такий розподіл зберігається і за одночасної дії ухилу та вітру. Температури полум'я, поверхні горючого матеріалу в зоні горіння та величини щільності теплового потоку від полум'я зростають із збільшенням кута нахилу поверхні. Хоча щільності теплового потоку від полум'я хвойної підстилки і сухої трави є близькими, проте під час горіння хвої вагомішим є вплив температури полум'я у порівнянні з його геометричними характеристиками, зокрема висотою. У випадку сухої трави, полум'я якої має меншу температуру, більш істотною є площа його поверхні, яка залежить від висоти.

Математичне моделювання поширення лісової пожежі. Більшість відомих моделей процесу поширення лісової пожежі використовують принцип Гюйгенса-Френеля, який полягає в тому, що кожна точка межі полум'я є вторинним джерелом. Проте в умовах рельєфу їх складно застосовувати, оскільки рельєф впливає як на швидкість розповсюдження пожежі, так і на її характер. На переважно рівнинній території Малого Полісся нема значних перепадів висот, проте трапляються різноманітні схили та горби, вкриті лісовою рослинністю, наприклад, на пробній площі 5 (рис. 4.63).



Рис. 4.63. Ділянка з нерівномірним рельєфом у Верблянському лісництві ДП Буський лісгосп

Швидкість поширення на таких ділянках значно зростає у порівнянні з рівнинами. Тому дослідження поширення лісових пожеж в умовах рельєфу є актуальним і для Мало́го Полі́сся.

Математичне моделювання поширення пожежі в умовах рельєфу. Для моделювання поширення пожежі в умовах рельєфу у [189, 191] розроблено математичну модель поширення поверхнею G (рис. 4.64), вкритою лісовим горючим матеріалом, яка в системі координат Охуз описується диференційовною функцією

$$z = f(x, y). \quad (4.51)$$

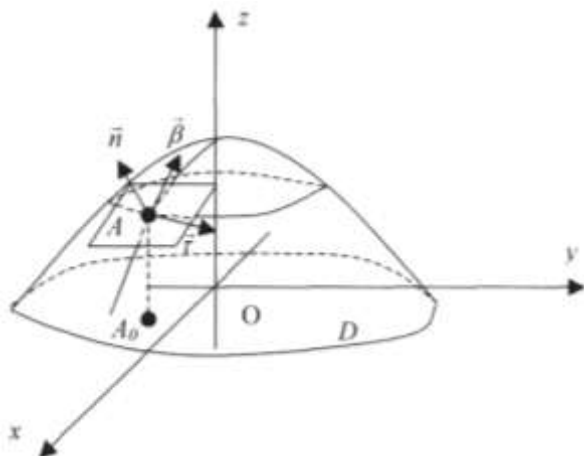


Рис. 4.64. Поширення пожежі в умовах рельєфу з осередком у точці A

Не зменшуючи загальності, наводимо випадок наявності одного локального максимуму (однієї вершини). Розглянемо поширення пожежі з осередком у точці $A(x_0, y_0, z_0) \in G$ без урахування швидкості та напрямку вітру.

Функція $z = f(x, y)$ відображає деяку область D , розташовану на площині Oxy , в поверхню G . Будемо вважати, що вся поверхня рівномірно вкрита однорідною рослинністю або горючим матеріалом. Розглянемо деяку внутрішню точку $A_0(x_0, y_0, 0) \in D$. Їй відповідає значення функції $z_0 = f(x_0, y_0)$, яке характеризує висоту над рівнем горизонтальної основи. Розглянемо поширення пожежі з осередком у точці $A(x_0, y_0, z_0) \in G$ без урахування швидкості та напрямку вітру. Припустимо, що поширення вогню за час Δt відбувається по площині, дотичній до поверхні в точці A . Знайдемо часткові похідні функції f та позначимо їх через $f'_x = f'_x(x_0, y_0)$, $f'_y = f'_y(x_0, y_0)$. Тоді рівняння дотичної площини в точці A має вигляд

$$f'_x \cdot (x - x_0) + f'_y \cdot (y - y_0) - (z - f(x_0, y_0)) = 0. \quad (4.52)$$

Введемо локальну систему координат з початком в точці A . Однією з осей координат виберемо пряму, яка є дотичною до лінії рівня $z_0 = f(x, y)$, на якій лежить точка A , друга вісь – перпендикулярна до цієї лінії та знаходиться в дотичній площині (бінормаль), третя вісь – нормаль до дотичної площини. Напрямними векторами осей локальної системи координат є

$$\vec{n} = (f'_x; f'_y; -1), \quad (4.53)$$

$$\vec{\tau} = (f'_y; -f'_x; 0), \quad (4.54)$$

$$\vec{\beta} = \vec{\tau} \times \vec{n} = (f'_x; f'_y; (f_x'^2 + f_y'^2)), \quad (4.55)$$

які в нормованому вигляді записуються наступним чином

$$\vec{n}_0 = \left(\frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{-1}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}} \right), \quad (4.56)$$

$$\vec{\tau}_0 = \left(\frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; \frac{-f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; 0 \right) \quad (4.57)$$

та

$$\vec{\beta}_0 = \left(\frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_x'^2 + f_y'^2}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right). \quad (4.58)$$

У локальній системі координат $Ax_Ay_Az_A$ побудуємо одиничний вектор $\vec{v}_0 = \vec{v}_0(\alpha)$ можливого напрямку поширення пожежі, який залежний від кута α ($0 \leq \alpha < 2\pi$), відклавши його від додатного напрямку осі Ax_A проти годинникової стрілки (рис. 4.65). В цій локальній системі вектор \vec{v}_0 буде мати такі координати

$$\vec{v}_0 = (\cos \alpha; \sin \alpha; 0) = \vec{\tau}_0 \cos \alpha + \vec{\beta}_0 \sin \alpha. \quad (4.59)$$

В системі координат $Oxyz$ координати цього вектора записуються у вигляді

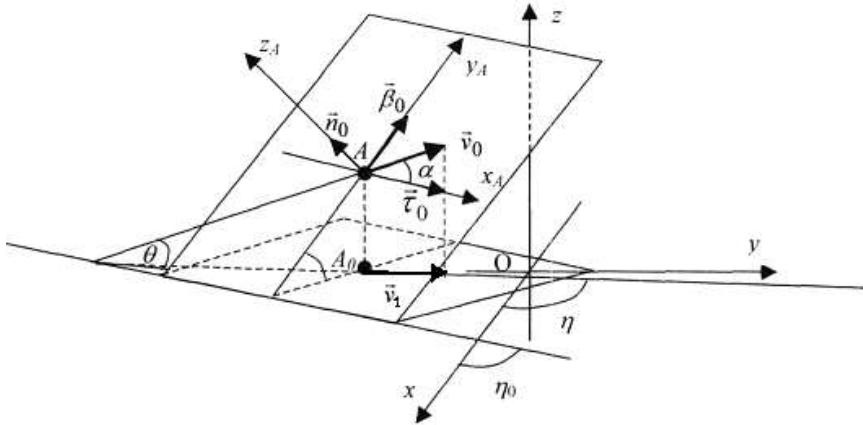


Рис. 4.65. Локальна система координат з початком в осередку виникнення пожежі (точка A)

$$\vec{v}_0 = \left(\frac{f'_y \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_x \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{-f'_x \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_y \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right) \quad (4.60)$$

Кут $\theta = \theta(\alpha)$ між вектором \vec{v}_0 та площиною Oxy знайдемо з формули скалярного добутку цього вектора та вектора $\vec{k} = (0;0;1)$. Маємо

$$\sin \theta = \frac{\vec{v}_0 \cdot \vec{k}}{|\vec{v}_0| \cdot |\vec{k}|} = \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}, \quad (4.61)$$

тоді

$$\theta = \arcsin \left(\frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right), \quad 0 \leq \alpha < 2\pi. \quad (4.62)$$

Нехай вектор \vec{v}_1 – проекція вектора \vec{v}_0 на площину (Oxy) . Тоді

$$\vec{v}_1 = \left(\frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; 0 \right). \quad (4.63)$$

Оскільки за час Δt часу пожежа поширюється з точки $A(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ в напрямку вектора \vec{v}_0 під кутом θ до горизонту із швидкістю $v(\theta)$, то кінцем вектора $v(\theta)\Delta t \cdot \vec{v}_0$ є точка, до якої за цей проміжок часу пошириться пожежа. Проекцією цього вектора на площину (Oxy) буде вектор $v(\theta)\Delta t \cdot \vec{v}_1$.

З урахуванням наведеного отримуємо формули, які описують координати точок, у які пошириться пожежа в напрямку кута α , $0 \leq \alpha < 2\pi$, відкладеного від дотичної до горизонталі, проведеної в точці A , за час Δt :

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left(\frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right), \\ y &= y_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left(\frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right), \\ z &= f(x, y), \end{aligned} \quad (4.64)$$

де $v(\theta)$ – лінійна швидкість поширення пожежі поверхнею, нахиленою до горизонту під кутом θ , який залежить від кута α . Кожна з таких то-

чок може бути вторинним осередком пожежі, до якого знову застосовуємо формули (4.64).

Таким чином, знаючи залежність лінійної швидкості поширення пожежі від напрямку та кута нахилу площини до горизонту, наведені формули описують межу поширення пожежі в кожен момент часу. Запропонований метод є придатним для застосування у випадку поверхонь, які мають декілька вершин. Формули координат точок межі пожежі в кожен момент часу можуть бути основою моделі поширення пожежі для підсистеми автоматизованої системи керування пожежно-рятувальними підрозділами не лише на територіях Малого Полісся з рельєфом, але і в гірській місцевості, зокрема в Карпатах, де актуальним завданням є організація протипожежного захисту лісів [205, 208].

Математичне моделювання поширення лісової пожежі з одночасним урахуванням рельєфу та вітру. На процес розповсюдження пожежі істотний вплив чинять різноманітні фактори: фізичні характеристики горючого матеріалу, швидкість вітру і нахил поверхні, якою відбувається поширення. Цими факторами зумовлюється інтенсивність горіння, висота полум'я та його нахил до поверхні, якою поширюється пожежа. На швидкість поширення впливають теплопровідність середовища, конвекція повітряних мас, сила і напрямок вітру [94]. Для ландшафтної пожежі в [20] наведено модель її поширення з урахуванням швидкості та напрямку вітру. Проте, ця модель не враховує того, що вплив факторів суттєво змінюється при розвитку пожежі похилою поверхнею в умовах змінного рельєфу. Спроби одночасного врахування впливу швидкості вітру і кута нахилу здійснювалися багатьма дослідниками [51, 301, 468, 498, 538, 539, 556 та ін.]. Проте у [468, 539, 556] одночасний вплив розглядався лише у випадках однакових або протилежних напрямків вітру та ухилу поверхні. У [498] поширення пожежі моделювалося методом клітинних автоматів на основі методу [538], який полягає в одночасному врахуванні факторів швидкості вітру та ухилу в коефіцієнті, який є лінійною функцією суми відповідних параметрів. У [51] врахування впливу швидкості вітру, ухилу місцевості та відносної вологості повітря на швидкість поширення пожежі описувалося добутком коефіцієнтів, які залежать від вказаних факторів. У [405] описано метод розрахунку поширення ландшафтної пожежі у будь-якому напрямку на основі годографів швидкостей поширення під дією вітру та під дією рельєфу. Але такий метод лише наближено описує швидкість поширення пожежі, оскільки кожен з факторів діє по-різному і в загальному випадку ці фактори не є адитивними. У [301] в результаті експериментальних досліджень в аеродинамічній трубі встановлено, що за невеликих швидкостей (до 2 м/с) та невеликих ухилів (до 18°) обидва

фактори впливають на процес поширення незалежно один від одного. Проблема опису залежності швидкості поширення пожежі від вітру і рельєфу потребує пошуку методів, які характеризують спільну дію цих факторів на основі фізичних закономірностей. Одним з таких методів описано в [222], але він недостатньо враховує сукупну дію рельєфу та вітру. А запропонований у [220] метод визначення швидкості поширення пожежі враховує вплив обох факторів на такий параметр, як кут нахилу полум'я до площини поширення пожежі.

Під час горіння внаслідок конвективних процесів полум'я піднімається вгору. За відсутності вітру полум'я утворює з вертикаллю кут $\theta_p = 0^\circ$. Під дією вітру полум'я буде відхилятися в напрямку вітру. Залежність кута нахилу полум'я θ_p від швидкості вітру описується формулою [542]

$$\theta_p = \arctg(a \cdot Fr^b), \quad (4.65)$$

де $a = 1,22$, $b = 0,5$, а Fr – число Фруде, яке визначається за формулою

$$Fr = \frac{v_B^2}{gH}, \quad (4.66)$$

де v_B – швидкість вітру, м/с, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння, H – висота полум'я, м. Параметри a і b в залежності (4.65) можуть набувати й інших значень в залежності від виду та стану горючого матеріалу. Їх визначають експериментальним методом. Деякі значення цих параметрів наведені в [528].

Під час пожежі на горизонтальній поверхні (рис. 4.66 а) кут між полум'ям і поверхнею буде становити $\gamma = 90^\circ - \theta_p$, а напрямок найшвидшого поширення визначатиме вектор швидкості вітру.

Розглянемо пожежу на похилій площині (рис. 4.66 б). Площина, якою поширюється пожежа, описується рівнянням

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (4.67)$$

де A, B, C, D – коефіцієнти рівняння, (x, y, z) – координати точок площини, а кут між полум'ям і поверхнею площини визначається як кут між полум'ям і його проекцією на площину. Нормаллю цієї площини є вектор $\vec{n} = (A, B, C)$. Задамо напрямок полум'я вектором \vec{w} . За відсутності вітру полум'я буде напрямлене вертикально вгору, кут θ між векторами \vec{w} і \vec{n} дорівнює куту нахилу площини до горизонту, а довжина вектора \vec{w} дорівнює висоті полум'я H .

Для полум'я висотою H з урахуванням (4.65)-(4.66) визначимо приведену швидкість вітру v_{Bp} , під дією якої у випадку, якщо площина поширення пожежі була б горизонтальною, полум'я відхилялося б від

нормалі (вектор \vec{n}) на кут θ . Формула для обчислення величини приведеної швидкості вітру має вигляд

$$v_{Bp} = \sqrt{gH \left(\frac{tg \theta}{a} \right)^{\frac{1}{2b}}}, \quad (4.68)$$

а її напрямок паралельний до горизонту і співпадає з проекцією напрямку ухилу площини Π на горизонтальну поверхню.

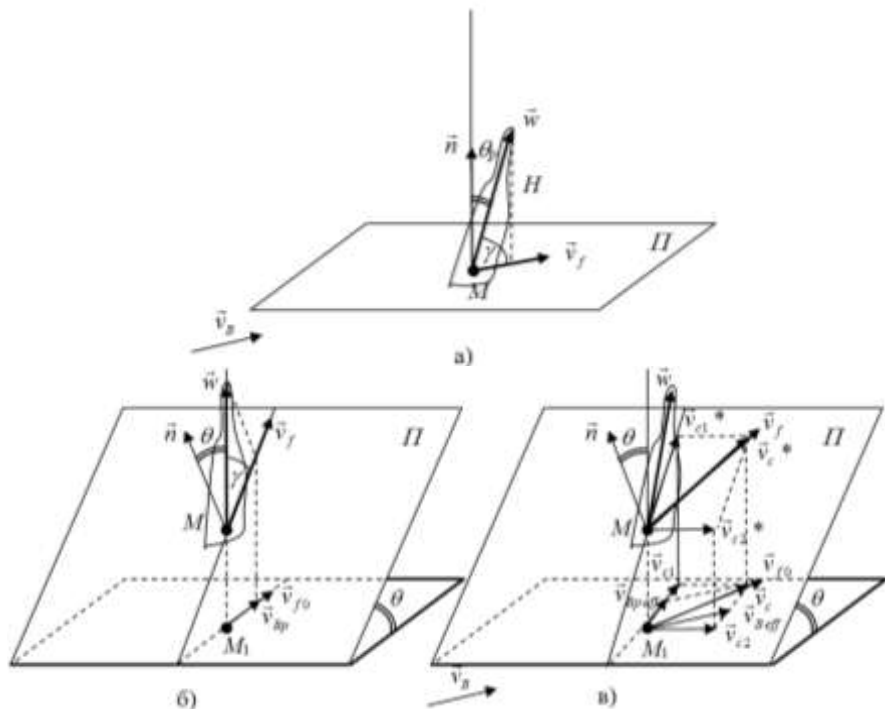


Рис. 4.66. Напрямок поширення фронту пожежі \vec{v}_f

а – горизонтальною площиною під дією вітру; б – похилою площиною без впливу вітру; в – похилою площиною з впливом вітру

Коефіцієнт впливу швидкості вітру v_v на швидкість поширення фронту пожежі відповідно до [51] з коефіцієнтом вірогідності $R^2=0,9957$ апроксимований емпіричною формулою

$$k_v = ce^{dv_v}, \quad (4.69)$$

де $c=0,9893$ і $d=0,4843 \text{ м}^{-1}\text{с}$. Коефіцієнт k_v дає можливість визначати швидкість поширення фронту пожежі горизонтальною поверхнею за формулою

$$v_f = k_v v_0, \quad (4.70)$$

де v_0 – швидкість поширення пожежі горизонтальною поверхнею без впливу вітру та ухилу, м/с, яка залежить від властивостей горючого матеріалу.

У випадку поширення під гору коефіцієнт впливу приведеної швидкості вітру обчислюється за формулою

$$k_v^* = \frac{k_v}{\cos \theta}, \quad (4.71)$$

у якій k_v обчислюється за (4.69) з використанням приведеної швидкості вітру v_{Bp} замість v_v . Отримане значення k_v^* використовується у формулі (4.70) замість k_v . Порівнюємо значення коефіцієнтів k_v^* для кутів θ від 0° до 40° з відповідними коефіцієнтами впливу ухилу k_θ , наведеними в [51] та [538] (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Коефіцієнт впливу приведеної швидкості вітру та коефіцієнти впливу ухилу, на швидкість поширення пожежі при різних значеннях кута нахилу площини

Кут нахилу площини θ , градуси	Коефіцієнт впливу приведеної швидкості вітру k_v^* (при $H=3 \text{ м} / H=4 \text{ м}$)	Коефіцієнт впливу ухилу k_θ [51]	Коефіцієнт впливу ухилу k_θ [538]
0.0	0.99 / 0.99	1.0	1.00
10.0	1.45 / 1.54	1.2	1.65
15.0	1.80 / 1.97	1.5	2.51
20.0	2.28 / 2.59	2.0	3.78
25.0	2.99 / 3.55	2.5	5.57
30.0	4.15 / 5.19	4.0	8.00
35.0	6.23 / 8.28	6.0	11.30
40.0	10.45 / 15.05	12.0	15.79

За висоти полум'я $H = 3 \text{ м}$ коефіцієнт кореляції між значеннями, обчисленими за формулами (4.68), (4.69) і (4.71) та наведеними в [51] табличними, становить 0,99, а стандартне відхилення їх різниць становить 0,65. За висоти полум'я $H = 4 \text{ м}$ у такому ж діапазоні значень ку-

тів ухилу θ коефіцієнт кореляції між значеннями, обчисленими за формулами (4.68), (4.69), (4.71) та формулою [538]

$$k_{\theta} = 1 + 5,275 \cdot \beta^{-0,3} \operatorname{tg}^2 \theta, \quad (4.72)$$

де β – відношення густини шару горючого матеріалу до густини самого матеріалу (вважаємо, що $\beta = 0,01$), становить 0,96, а стандартне відхилення їх різниць дорівнює 1,18.

У випадку поширення пожежі похилою площиною під дією вітру (див. рис. 4.66 в) на швидкість і напрямок поширення фронту одночасно впливають обидва фактори. Оскільки залежності коефіцієнтів впливу ухилу та приведеної швидкості вітру від кута нахилу площини θ в діапазоні від 0° до 40° є близькими між собою, то за одночасного впливу вітру й ухилу останній можна розглядати як додаткове джерело вітру, а тому додавати вектори швидкості вітру \vec{v}_B та приведеної швидкості впливу вітру \vec{v}_{Bp} .

Оскільки кожен з цих векторів збільшує лінійну швидкість поширення фронту пожежі v_0 у відповідному напрямі, то вплив кожного з них описується векторами

$$\vec{v}_{B\text{eff}} = (k_v - 1)v_0 \frac{\vec{v}_B}{|\vec{v}_B|}, \quad (4.73)$$

$$\vec{v}_{Bp\text{eff}} = (k_v^* - 1)v_0 \frac{\vec{v}_{Bp}}{|\vec{v}_{Bp}|}, \quad (4.74)$$

співнаправленими, відповідно, з векторами \vec{v}_B і \vec{v}_{Bp} , де k_v і k_v^* – коефіцієнти впливу вітру та ухилу, обчислені за формулами (4.69) і (4.71) з урахуванням (4.68). Тоді фронт пожежі буде поширюватися в напрямку вектора

$$\vec{v}_c = \vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}, \quad (4.75)$$

який задає напрямок сумарного впливу обох факторів у горизонтальній проекції площини Π . Швидкість поширення фронту пожежі у напрямку цього вектора в горизонтальній проекції площини Π зросте на величину $v_c = |\vec{v}_c|$ і буде дорівнювати

$$v_{f0} = v_0 + v_c. \quad (4.76)$$

У векторній формі вектор швидкості поширення фронту пожежі в горизонтальній проекції площини записується у вигляді

$$\vec{v}_{f0} = \left(1 + \frac{v_0}{|\vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}|} \right) (\vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}), \quad (4.77)$$

а її модуль

$$v_{f0} = v_0 \left(\sqrt{(k_v - 1)^2 + (k_v^* - 1)^2 + 2(k_v - 1)(k_v^* - 1)\cos\varphi} + 1 \right), \quad (4.78)$$

де φ – кут між векторами \vec{v}_B та \vec{v}_{Bp} . Швидкість поширення в напрямках флангів та тилу обчислюється з використанням відповідних коефіцієнтів [51, 538]. Проте відповідно до [94] можемо також вважати, що величина модуля швидкості поширення пожежі в напрямку флангів і тилу співпадає з швидкістю v_0 . Внаслідок цього контур пожежі в горизонтальній проекції площини Π за умов однорідного середовища поширення набуває форми еліпса.

На похилій площині Π напрямком сумарного впливу вітру та ухилу задається вектором \vec{v}_c^* , який розмішений у цій площині, а його проекцією на горизонтальну площину є вектор \vec{v}_c . Тоді напрямком швидкості поширення фронту пожежі площиною Π співпадає з вектором \vec{v}_c^* , а відповідна швидкість поширення обчислюється за формулою

$$v_f = v_{f0} \sqrt{\frac{\cos^2\phi}{\cos^2\theta} + \sin^2\phi}, \quad (4.79)$$

де ϕ – кут між векторами \vec{v}_c і \vec{v}_{Bp} . Швидкість поширення в напрямках флангів і тилу визначається з урахуванням припущення, що вона дорівнює швидкості v_0 поширення пожежі горизонтальною поверхнею без впливу ухилу та вітру. Контур пожежі за умови однорідності середовища поширення в цьому випадку також набуває форми еліпса.

Зауважимо, що у випадку співпадіння напрямків впливу ухилу та вітру частковим випадком формул (4.78) і (4.79) є відома залежність Rothermel [538].

Перевірку математичної моделі здійснено для даних експериментальних досліджень поширення пожежі горизонтальною поверхнею і площиною, нахиленою під кутом $7,5^\circ$ і 15° , без впливу вітру та з його впливом. Для розрахунку використано отриману експериментальним шляхом швидкість v_0 . Досліджувався випадок, під час якого напрямком

вітру співпадав з напрямком дії ухилу. Результати обчислень і експериментальні дані наведені в табл. 4.14.

Таблиця 4.14

Швидкості поширення фронту пожежі під впливом рельєфу та вітру

Назва горючого матеріалу	Швидкість вітру, м/с	Кут нахилу, градуси	Швидкість поширення пожежі, м/хв.	
			обчислена за формулами (4.78)-(4.79)	отримана експериментально
Хвойна підстилка	0	0	0,19	0,19
		7,5	0,20	0,21
		15	0,22	0,22
	1	0	0,30	0,29
		7,5	0,32	0,35
		15	0,34	0,37
Листяна підстилка	0	0	0,28	0,29
		7,5	0,30	0,30
		15	0,32	0,31
	1	0	0,46	0,40
		7,5	0,48	0,46
		15	0,50	0,54
Суха трава	0	0	0,39	0,40
		7,5	0,44	0,48
		15	0,51	0,52
	1	0	0,64	0,65
		7,5	0,69	0,80
		15	0,76	0,83

Для випадку поширення горизонтальною площиною та під вказаними кутами до горизонту швидкість поширення, отримана за допомогою математичної моделі, добре узгоджується з результатами експерименту (рис. 4.67), а коефіцієнт кореляції між ними дорівнює 0,98. У випадку дії вітру із швидкістю 1 м/с швидкість поширення горизонтально та під кутом до горизонту також досить точно описується математичною моделлю. Для листяної підстилки математична модель дає дещо гірші результати, а задовільними вони є для сухої трави, оскільки цей горючий матеріал найбільш неоднорідний за просторовою щільністю

розташування. Середнє значення відносної похибки моделі становить 5,7 %, а максимальна відносна похибка не перевищує 15,9 %.

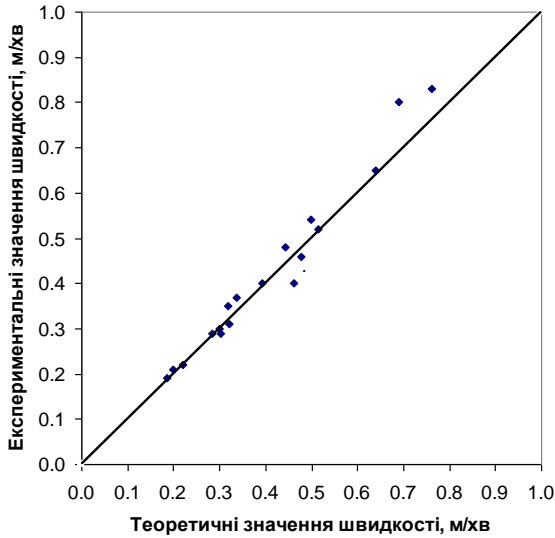


Рис. 4.67. Залежність між теоретичними та експериментальними значеннями швидкостей поширення пожежі

У випадку поширення пожежі горючим матеріалом на поверхні з рельєфом, описаній функцією (4.51), в околі кожної точки поверхні, слід розглядати дотичну площину (4.67), в якій за наведеним методом визначати напрямок і швидкість поширення фронту пожежі.

Таким чином, швидкість поширення фронту пожежі залежить від ухилу поверхні та вітру і описується математичною моделлю, яка добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень, особливо для хвойної підстилки – горючого матеріалу найбільш пожежонебезпечних хвойних лісів.

Висновки до розділу 4

1. Температура займання залежить від виду лісового горючого матеріалу і є вищою в сухому стані у порівнянні з свіжозірваним, окрім хвої сосни звичайної. Температура полум'я під час горіння сухого листа вільхи чорної є нижчою, ніж інших порід, а сухої соснової хвої – найвищою, що зумовлює високу інтенсивність теплового випромінювання і небезпеку поширення пожеж у соснових лісах. Температури займання більшості видів сухих рослин наземного яруса знижуються із зростанням трюфності та вологості. Пожежна небезпека підстилки залежать від часток листя, яке її зменшує, та мохів, які її збільшують, але найбільше – від вологості, зменшуючись з її зростанням.

2. Вологість надземної частини живих трав'яних рослин і чагарників здебільшого зростає із збільшенням трюфності та вологості. Відносно низькою є вологість гілок з хвоєю сосни звичайної. Серед досліджених рослин у сухому стані високу небезпеку за рівноважною вологістю становлять кунічник очеретяний і осока лісова, низьку – ожина сиза, малина звичайна, анемона дібровна та деревій тисячолістий, а небезпека інших є середньою. Високою є вологість свіжозірваного листа у вільхи чорної, середньою – у граба звичайного та бука лісового, низькою – у дуба звичайного, що є однією з причин низької пожежної небезпеки чорновільхових лісів. Рівноважна вологість сухого листа є високою у дуба звичайного, середньою – вільхи чорної та граба звичайного і низькою – бука лісового, що зумовлює виникнення низових пожеж у букових насадженнях за умов тривалої посухи. Набуття вологості, близької до рівноважної, більшістю рослин надземного яруса після зривання за відсутності дощу триває 1–3 доби. Найповільніше висихає листя вільхи чорної, але його рівноважна вологість, як й інших порід, зазнає коливань більшої амплітуди, ніж більшості трав'яних рослин та чагарників. Процес висушування свіжозірваних гілок сосни звичайної відбувається досить повільно та істотно відрізняється від інших горючих матеріалів, а добові коливання вологості майже непомітні.

3. Виявлено залежності пожежної небезпеки лісів від радіальних та латеральних потоків енергії та речовини, а з допомогою розробленої на їх основі динамічної математичної моделі встановлено, що за умов хмарної погоди без дощу висушування хвойної підстилки до стану рівноважної вологості триває 4 доби, а за умов сонячної погоди – вдвічі швидше.

4. Пожежна небезпека лісів залежить від горизонтальної та вертикальної структури деревостану, оскільки зумовлені ними мікрокліматичні параметри та освітленість під наметом впливають не лише на флористичний склад наземного яруса та його параметри, але і на пожежонебезпечні властивості лісової підстилки. Підвищення точності оцінювання пожежної небезпеки досягається застосуванням локальних параметрів деревостану: локальної густоти, повноти та зімкнутості крон. Високою є пожежна небезпека у хвойних лісах за відсутності другого яруса, а також у хвойних молодняках, низькою – у багатоярусних листяних насадженнях. Пожежна небезпека на узліссі залежить від його типу та сезону і відрізняється від небезпеки всередині лісу.

5. У Малому Поліссі виникнення лісових пожеж з природних причин відбувається дуже рідко. Загрозу становлять джерела займання антропогенного походження, з яких найбільш небезпечними є жарника від полум'я та запалений сірник. Займистість залежить від виду та стану горючого матеріалу, найбільш небезпечним видом якого є суха трава за вологості, нижчої за 20 %. Хвойна та листяна підстилки добре займаються за вологості, нижчої за 15 %.

6. Процеси теплопередачі сприяють виникненню та поширенню лісової пожежі. Конвективні потоки поблизу вогню прискорюють висушування лісового горючого матеріалу за рахунок зміни мікрокліматичних умов. Потік теплового випромінювання від поверхні полум'я нагріває матеріал до температури займання. Встановлено, що інтенсивність теплового потоку зростає із зростанням висоти полум'я та із зменшенням відстані до нього.

7. Внаслідок експериментальних досліджень встановлено, що швидкість поширення пожежі шаром горючого матеріалу залежить від його виду, ухилу місцевості та вітру, зростаючи із збільшенням ухилу та вітру. Найбільшою є швидкість поширення пожежі шаром сухої трави, меншою – шаром листяної підстилки і найменшою – шаром хвойної підстилки. Математичне моделювання поширення пожежі в умовах змінного рельєфу шаром горючого матеріалу підтверджує експериментальні дані та описує залежність швидкості поширення фронту пожежі від ухилу та вітру.

Розділ 5

ВПЛИВ ПОЖЕЖ НА ЛІСОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ

5.1. Екологічні аспекти лісових пожеж

Проблема лісових пожеж полягає не лише в матеріальних збитках. Одним із важливих аспектів лісових пожеж є їх вплив на екологічні умови існування людини і живих організмів. Іншим, проте не менш важливим аспектом, є вплив екологічних особливостей лісу на пожежу, зокрема, на її виникнення та поширення. Різноманітний характер таких впливів зумовлює необхідність їх чіткої структуризації [166, 184].

Загрози, які несе лісова пожежа, зумовлені її основними факторами: полум'ям, температурою, радіаційним тепловим випромінюванням і продуктами горіння. Висока температура і теплове випромінювання як наслідки піролізу та горіння знищують або пошкоджують структури клітин живих організмів, порушують обмін речовин і спричиняють інтоксикацію. Лісова пожежа негативно впливає на природне середовище та об'єкти діяльності людини (рис. 5.1). Наслідки цього впливу становлять небезпеку для флори, фауни і життєдіяльності людини. Негативні впливи поділяємо на локальні (території лісу, які зазнали впливу вогню, суміжні з ними ділянки лісу, луків, об'єкти житлової та промислової інфраструктури, які межують з лісами) та глобальні – на екологічну систему планети в цілому (атмосферу, гідросферу тощо). Також виділяємо безпосередні (які виникають під час пожежі) та далекосяжні (виникають після її завершення) впливи. З огляду на природне середовище їх класифікуємо таким чином: атмосферні, ґрунтові, гідрологічні, флористичні та фауністичні.

Лісова пожежа також негативно впливає на антропогенне середовище та його об'єкти.

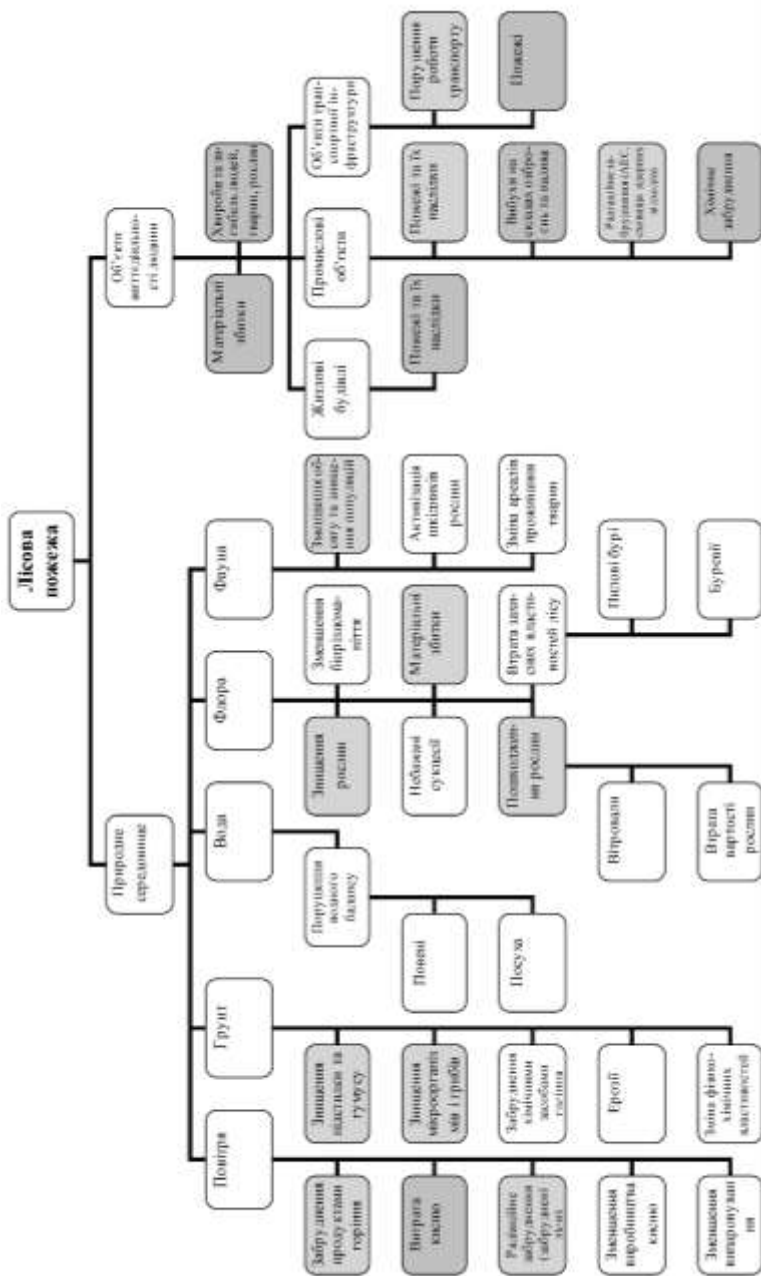


Рис. 5.1. Схема залежності екологічних умов існування живих організмів від лісових пожеж

□ – безпосередні;

■ – далекосяжні

Вплив виявляється не лише в шкідливій дії на організми людей, свійських тварин і культурних рослин, матеріальних збитках внаслідок знищення чи пошкодження вогнем будівель та споруд, порушенні роботи транспорту і ушкодженні транспортної інфраструктури. Лісові пожежі особливо небезпечні у випадку перебування лісу з об'єктами підвищеного рівня безпеки, в першу чергу атомними електростанціями, підприємствами хімічної та паливної галузі, військовими складами озброєнь, об'єктами зберігання і транспортування палива, оскільки внаслідок займання таких об'єктів виникають загрози вибухів, радіаційного та хімічного забруднення територій, що становить загрозу людині й довкіллю. У цьому полягає вторинний вплив лісової пожежі на навколишнє середовище. В Україні відомі масштабні надзвичайні ситуації на військових складах Новобогданівки та інших складах зброї, для запобігання яких внаслідок лісових пожеж розроблені Рекомендації [360]. Реальною є загроза надзвичайних ситуацій, спричинених лісовими пожежами, і на атомних електростанціях. Наприклад, у Росії під час пожеж влітку 2010 року вогонь був зупинений на відстані лише 4 км від Нововоронезької АЕС [336].

Окремо слід зазначити також про вплив лісових пожеж на лісове господарство. Окрім економічних збитків, пов'язаних із знищенням дерев, затратами на ліквідацію пожеж, ризику для життя і здоров'я працівників, які гасять пожежі, виникають і проблеми, пов'язані з очищенням територій згарищ від обгорілих решток дерев та лісовідновленням, розв'язання яких потребує значних матеріальних і трудових ресурсів. Пожежа становить загрозу об'єктам лісогосподарювання та лісозаготівельній техніці.

Окрім впливу лісових пожеж на екологічні умови життя живих організмів існує і зворотній – вплив екологічних та лісівничих особливостей лісу, зумовлених його типологічною належністю, типом деревостану, просторовою структурою, віком, повнотою, густотою й іншими параметрами на виникнення та розвиток пожеж (рис. 5.2). Типологічна характеристика лісу містить один з важливих параметрів, який впливає на виникнення і розвиток пожежі – вологість [181]. Від неї залежить вологість опаду та підстилки – основних лісових горючих матеріалів, які першими займаються під час виникнення низової пожежі та є провідниками горіння. Вологість ґрунтів впливає на трав'яний покрив, який в сухому стані також є добрим провідником горіння. Вона впливає і на розвиток дерев, які є горючим матеріалом, особливо за верхових пожеж. Окрім вологості, тип лісу характеризується родючістю ґрунтів, яка в поєднанні з вологістю зумовлює відповідний фітоценотичний склад і розвиток лісу, який впливає на виникнення та поширення пожежі.

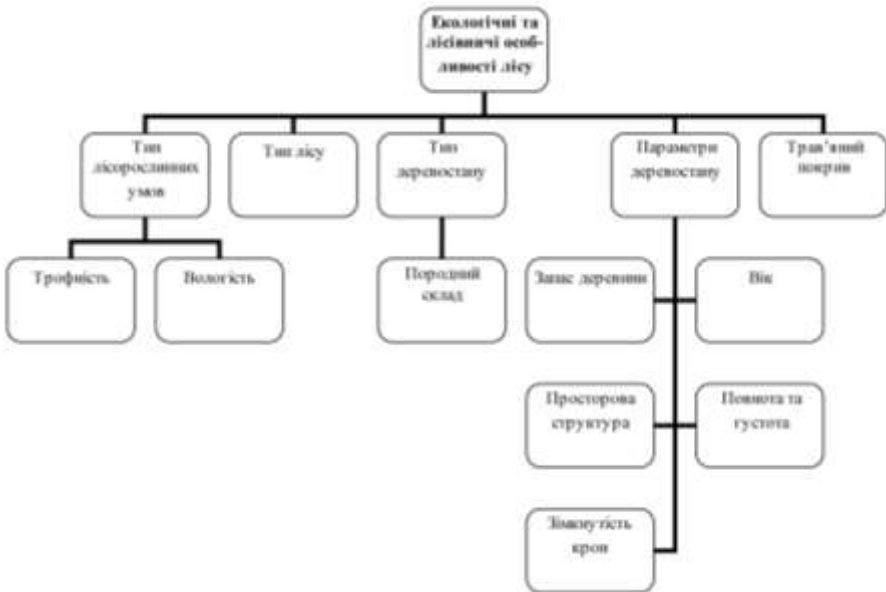


Рис. 5.2. Схема екологічних і лісівничих особливостей лісу, від яких залежать виникнення та розвиток пожеж

Тип деревостану вказує на породний склад лісу, який зумовлює його пожежонебезпечні властивості. Небезпека виникнення та поширення пожеж є різною в хвойних, листяних і мішаних лісах, оскільки від породного складу залежать горючі властивості окремих компонентів лісу.

Просторова структура, вік, зікнутість крон, повнота та густота впливають на формування мікроклімату, який зумовлює виникнення лісової пожежі. Від цих параметрів залежить освітленість поверхні ґрунту в лісі, затримування опадів кронами, ослаблення вітру. Ці фактори зумовлюють вологісний стан опадів та підстилки, а також характер розвитку наземної трав'яної рослинності. Проте найбільший вплив просторової структури в поєднанні з типологічними особливостями виявляється в поширенні пожежі, зокрема її переходу з низової у верхову.

Як уже зазначалося, негативні фактори лісової пожежі, навіть незначної інтенсивності, впливають на лісові рослини, що призводить до зміни екологічних умов їх існування. Наприклад, пошкодження дерев і їх падіння внаслідок низової пожежі призведе до зменшення повноти, внаслідок чого збільшиться освітленість поверхні ґрунту, що в сукупності з мінералізацією підстилки зумовить інтенсивний розвиток

трав'яних рослин і чагарників, вплине на розвиток вцілілих дерев, зокрема, їх ріст, структуру крон тощо та в подальшому на виникнення і поширення пожеж. Ерозії ґрунтів після пожежі негативно впливають на відновлення лісів. Після великих пожеж на згарищах протягом певного часу зростає пожежна небезпека. Порушення водного балансу території може призвести до кліматичних змін, внаслідок яких змінюється едафотоп, який визначає тип лісу, що відновлюється, а також його породний склад.

В окремих випадках лісові пожежі спричиняють і позитивний вплив. Наприклад, пожежі звільняють територію для молодих насаджень, тому з цією метою іноді здійснюють відпали. Незначні за силою низові пожежі сприяють інтенсивному лісовідновленню внаслідок проростання насіння сосни і розвитку дерев віком понад 5 років [48].

Таким чином, існують прямі та зворотні залежності між лісовою пожежею і екологічними умовами. Впливи лісових пожеж на середовище лісу та пов'язані з ним екосистеми розподіляємо на безпосередній опосередковані, які також слід враховувати в лісогосподарській діяльності. Оскільки екологічні та лісівничі особливості лісів впливають на пожежну безпеку, то цілеспрямованими лісівничими заходами можна зменшити загрозу виникнення пожеж.

5.2. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної

Під час відпалів трави поблизу лісових насаджень вогонь часто переходить у простір під наметом, спричиняючи низову лісову пожежу. На території Малоого Полісся у весняний період майже скрізь, незважаючи на заборону, щорічно здійснюють відпали. Пожежно-рятувальні підрозділи не завжди можуть запобігти знищенню та ушкодженню зелених насаджень. Окремі дерева внаслідок дії вогню знищуються повністю, інші зазнають часткових уражень, які часто спричиняють їх подальшу загибель. Особливо небезпечним є вплив вогню на молоді дерева, які мають тонку кору і зазнають значних ушкоджень навіть від пожежі низької інтенсивності. Для з'ясування впливу низової пожежі на насадження сосни звичайної проведено польові дослідження, під час яких визначали залежність життєздатності рослин від ступеня ураження [168]. Відібрано зразки тканин для мікробіологічних досліджень.

Дослідження проводили 2.05.2012 на території Малого Полісся у 104 кварталі Бутинського лісництва ДП Жовківське лісове господарство лісгосп (поблизу с. Боянець) на місцях пожежі, яка відбулася у березні цього року в насадженнях сосни звичайної віком 10 років. За лісорослинними умовами насадження відносяться до типу С₃. Метеорологічні умови під час досліджень: температура повітря 29,8°C, відносна вологість 28,3%, швидкість вітру 0,2-0,8 м/с, атмосферний тиск 989,7 гПа. Дослідженню передувала погода без опадів тривалістю 7 діб (останні опади в кількості 6 мм зафіксовані 25.04.2012 [328]).

Для дослідження відібрано за ступенем ушкодження 4 групи дерев: 2 – слабоушкоджені, 3 – середньоушкоджені, 4 – сильноушкоджені та 5 – усохлі. Для порівняння досліджено також контрольну групу 1 неушкоджених дерев. Деякі біометричні показники груп і показники ушкоджень наведені в табл. 5.1.

За висотою нагару встановлено, що дерева груп 2 та 3 є близькими за ушкодженнями, оскільки зазнали впливу пожежі низької та, подекуди, середньої інтенсивності, групи 4 – середньої та іноді низької інтенсивності, а групи 5 – високої інтенсивності [265]. Маса сухих хвоїнок зменшувалася із зростанням ступеня ушкодження. Маса живих хвоїнок також була в 1,3-1,5 разів вищою в групі 1 у порівнянні з 2, 3 та 4. Незначне перевищення маси живих хвоїнок у групі 4 в порівнянні з 3 та сухих у групі 4 в порівнянні з 5 пояснюється більшими біометричними показниками групи 4, зокрема діаметром стовбурів.

Таблиця 5.1

Деякі біометричні показники груп дерев сосни звичайної за ступенем ушкодження та ознаки ушкодження (Боянець)

№ групи	Ступінь ушкодження	Діаметр, см	Частка сухої хвої в кроні, %	Висота нагару, см	Маса 100 хвоїнок, г	
					живих	сухих
1	Неушкоджені (контроль)	9,62 ^{±0,74}	0	0	5,53 ^{±1,14}	0
2	Слабоушкоджені	7,96 ^{±0,95}	5,5 ^{±1,5}	66 ^{±1,6}	4,38 ^{±0,47}	2,25 ^{±0,10}
3	Середньоушкоджені	4,93 ^{±0,74}	10,0 ^{±3,3}	37 ^{±1,8}	3,35 ^{±0,15}	1,61 ^{±0,08}
4	Сильноушкоджені	7,44 ^{±0,35}	51,0 ^{±15,2}	98 ^{±11,6}	3,90 ^{±0,33}	1,69 ^{±0,27}
5	Усохлі	5,72 ^{±1,50}	100	178 ^{±85,6}	0	1,62 ^{±0,24}

З метою порівняння і уточнення аналогічні дослідження проведено 26.05.2012 у 52 кварталі Новояворівського лісництва ДП Рава-Руське лісове господарство (поблизу с. Страдч), де зазнали пожежі соснові насадження віком 8 років. Метеорологічні умови на час досліджень: температура повітря 18,4°C, відносна вологість повітря 52,1%, штиль, атмосферний тиск 982,8 гПа. Найближчі опади спостерігалися за дві доби до досліджень 24.05 кількістю 20 мм за добу [328]. Біометричні показники (табл. 5.2) дещо відрізняються від попередніх (див. табл. 5.1), оскільки насадження зростають в інших лісорослинних умовах – В₂.

Таблиця 5.2

Деякі біометричні показники груп дерев сосни звичайної за ступенем ушкодження та ознаки ушкодження (Страдч)

№ групи	Ступінь ушкодження	Діаметр, см	Частка сухої хвої в кроні, %	Висота нагару, см	Маса 100 хвоїнок, г	
					живих	сухих
1	Неушкоджені (контроль)	5,14 ^{±0,99}	0	0	3,89 ^{±0,64}	0
2	Слабоушкоджені	4,80 ^{±1,00}	10,0 ^{±4,0}	60,2 ^{±9,4}	4,05 ^{±0,69}	1,24 ^{±0,26}
3	Середньоушкоджені	5,43 ^{±1,51}	68,3 ^{±5,6}	112,7 ^{±3,8}	3,71 ^{±1,05}	1,34 ^{±0,15}
4	Сильноушкоджені	5,30 ^{±1,00}	82,5 ^{±2,5}	123,5 ^{±46,4}	5,08 ^{±0,95}	1,47 ^{±0,04}
5	Усохлі	5,04 ^{±1,18}	100	230,8 ^{±9,4}	0	1,51 ^{±0,39}

На відміну від груп дерев поблизу с. Боянець, дерева на ділянці поблизу с. Страдч за ушкодженнями розподілені дещо інакше: групи середньоушкоджених та сильноушкоджених дерев є близькими за ступенем ушкодження, оскільки пожежа мала середню інтенсивність, група слабоушкоджених дерев зазнала пожежі здебільшого низької інтенсивності, а група усохлих дерев уражена пожежею, яка перейшла у верхову форму.

Маса живої хвої характеризує не лише життєздатність дерева, але і його забезпечення водою. Розподіл мас 100 зелених хвоїнок за групами дерев і вологості ґрунту на глибині 0,1 м на кожній з ділянок наведено на рис. 5.3.

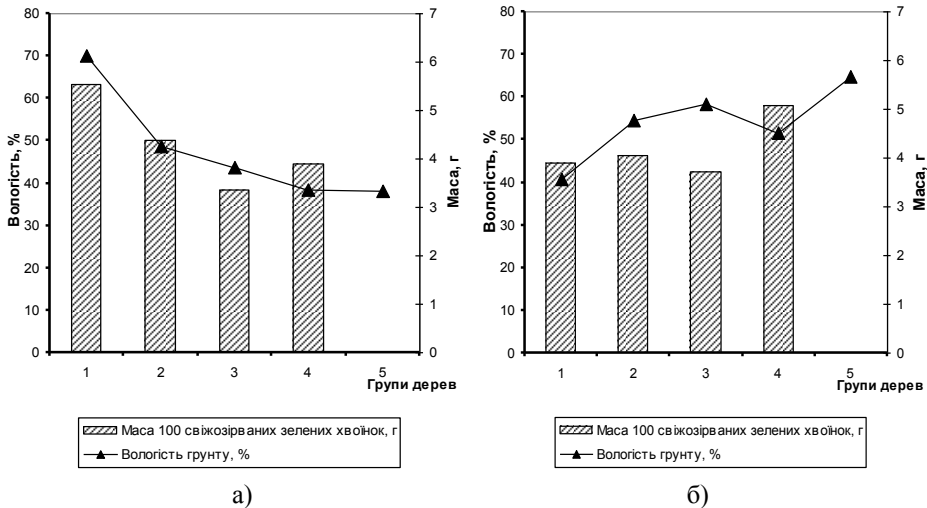


Рис. 5.3. Маса 100 свіжозірваних хвоїнок сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньо-ушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі) та вологість ґрунту для кожної з груп на глибині 0,1 м: а – Боянець, 02.05.2012; б – Страдч, 26.05.2012

На обох ділянках майже незалежно від ступеня ушкодження спостерігається зростання маси живої хвої із зростанням зволоження. Проте у Боянці ці показники зменшуються із зростанням ступеня ушкодження, що зумовлене висушуванням ґрунту під час пожежі та подальшою відсутністю опадів. У Страдчі із зростанням ступеня ушкодження, здебільшого, зростає вологість ґрунту, але з причини залежності споживання води рослинами від ушкодження. Порівняно високу вологість ґрунту поблизу дерев групи 1 у Боянці навіть за тривалої відсутності опадів пояснюємо умовами вологого сугруду на відміну від Страдча, де суборовий едафотоп забезпечує швидку фільтрацію та зниження вологості. Відсутність чіткої залежності маси хвої від ступеня ушкодження в Страдчі пояснюємо відмінністю діаметрів, а саме: у групах 1 і 2 діаметр менший, ніж у 3 та 4.

З метою дослідження подальших змін у групах дерев, дослідження у Боянці повторно проведені 10.08 та 29.09, а у Страдчі – 11.08 та 6.10.2012. Оскільки суха хвоя, яка збереглася на частково ушкоджених деревах, не забезпечувалася вологою та здебільшого опала, під час повторних досліджень її не зважували. Маси живої хвої та вологості ґрунту наведені на рис. 5.4. У Боянці вологість ґрунту в серпні змен-

шилася і стала рівномірнішою для всіх груп (див. рис. 5.4 а), що зумовлено погодними умовами. У вересні спостерігалось рівномірне незначне підвищення цього показника (див. рис. 5.4. в). Залежності між ступенем ушкодження і вологістю в серпні та вересні є схожими. Для них характерним є те, що вологість ґрунту в групі сильноушкоджених дерев є дещо вищою, ніж у групах 1-3, що зумовлене інтенсивнішим споживанням води деревами з меншим ушкодженням. Цей стрибок був непомітним під час першого дослідження (див. рис. 5.3 а), оскільки в цей час ґрунт був висушений пожежею. У Страдчі також вологість влітку зменшилася у порівнянні з травнем, а восени зросла (див. рис. 5.4 б, г). У кожному з досліджень зростання цього показника було характерним для групи середньоушкоджених дерев. Проте мінімум з групи 1 у травні перемістився в групу 2 у серпні та жовтні. Збільшення вологості ґрунту в Страдчі із зростанням ступеня ушкодження, на відміну від Боянця, зумовлене не лише залежністю споживання води від ушкодження, але і відмінністю гідрологічного режиму едафотопів. Маса живої хвої в Боянці влітку зменшилася у всіх групах, а особливо в неушкоджених та сильноушкоджених дерев, що є результатом сухої погоди. Незначне підвищення спостерігалось в групі 2.

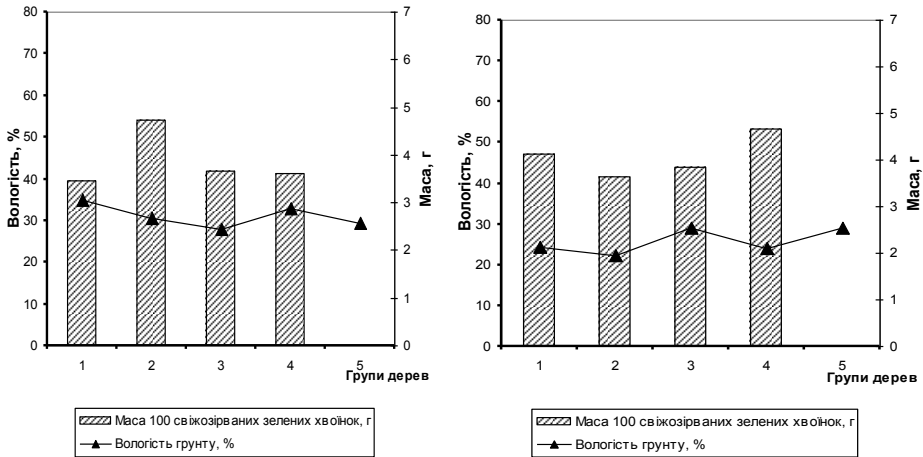


Рис. 5.4. Маса 100 свіжозірваних хвоїнок сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньо-ушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі)

та вологість ґрунту для кожної з груп на глибині 0,1 м:

а – Боянець, 10.08.2012; б – Страдч, 11.08.2012;
в – Боянець, 29.08.2012; г – Страдч, 06.10.2012

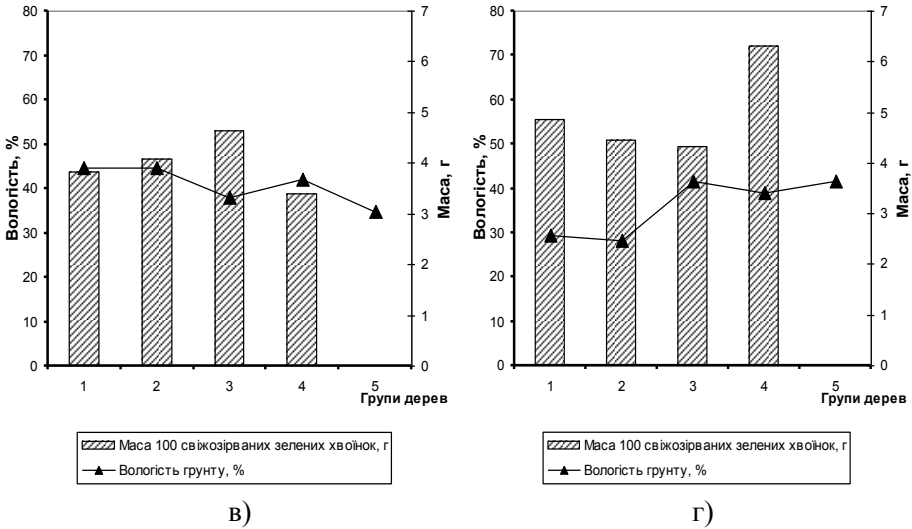


Рис. 5.4. (Продовження)

Восени цей показник знизився у групі 2, а в групі 3 зріс. Його зниження влітку зумовлене посухою, а підвищення у групі 2 може бути результатом позитивної дії стресу дерев внаслідок незначного ураження пожежею. Аналогічно пояснюємо зростання цього показника восени в групі 3, дерева якої відновили життєздатність. У Страдчі маса хвої зменшилася в серпні у групах 2 і 4, в інших майже не змінилася. В жовтні маси хвої майже рівномірно зросли в усіх групах за рахунок збільшення вологості ґрунту. Значне зростання цього показника восени в групі 4 пояснюємо відновленням життєздатності.

Ступінь ушкодження і життєздатність дерева. оцінювали не лише за часткою сухої хвої в кроні та її масою, але і за електрофізіологічними показниками: імпедансом, поляризаційною ємністю прикамбіального комплексу тканин та біопотенціалом. Оскільки всихання розпочиналося з нижніх гілок крон, тому вимірювання імпедансу та поляризаційної ємності здійснювали на стовбурах на висотах 0,1 і 1,3 м. Зростання імпедансів у травні (рис. 5.5) свідчить про порушення вологообміну в напрямку вздовж стовбура.

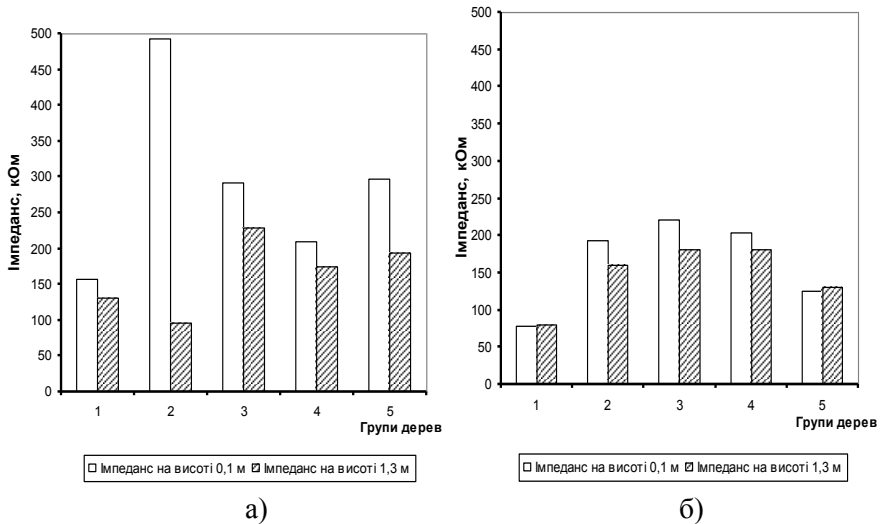


Рис. 5.5. Імпеданс прикамбіального комплексу тканин сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньоушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі):
а – Боянець, 02.05.2012; б – Страдч, 26.05.2012

Це є наслідком дії високих температур. Із зростанням ступеня ушкодження дерев виявлено тенденцію до зростання імпедансу. Проте в групі 2 спостерігалось більше зростання імпедансу на висоті 0,1 м у порівнянні з групами 3, 4 та 5 (див. рис. 5.5 а), що, на нашу думку, зумовлене виявленим під час досліджень інтенсивним виділенням живиці в нижній частині стовбурів дерев цієї групи під лубом. У групах 3-5 виділення живиці не спостерігалось або було незначним, що є наслідком тривалішої дії або вищих температур. Окрім того, отримане під час досліджень 02.05.2012 у Боянці значення імпедансу на висоті 0,1 м незначно перевищувало відповідний показник на висоті 1,3 м в усіх групах. Це пояснюємо більшою вологістю деревини сосни на висоті 1,3 м у порівнянні з частиною стовбура поблизу кореневої шийки. Найменшою є різниця між цими показниками у групі 1. У Страдчі через більший період після пожежі виявлено деякі відмінності (див. рис. 5.5 б). Зокрема, у групі 1 імпеданси на обох висотах були практично однаковими, проте нижчими, ніж у відповідної групи в Боянці. Не спостерігалось значного підвищення імпедансу в групі 2, як і інтенсивного виділення живиці. У групах 2-4 імпеданс на висоті 0,1 м, як і у відповідних групах в Боянці, перевищував відповідний показник на висоті 1.3 м. Але група 5 харак-

теризувалася нижчими значеннями імпедансу, ніж з ушкодженнями, спричиненого, ймовірно, ураженням грибами. Імпеданс на висоті 0,1 м у цій групі є дещо нижчим, що свідчить про більший ступінь ураження. Відносно високі значення імпедансу усохлих дерев у Боянці свідчать про відсутність значних уражень грибами.

У серпні в Боянці імпеданс зріс у всіх групах дерев (рис. 5.6 а), що свідчить про погіршення вологообміну рослин через недостатнє зволоження ґрунту під час посухи. Особливо він зріс у групі 5, а його значення на висоті 1,3 м перевищило відповідне на висоті 0,1 м, що є наслідком висушування деревини. Вкінці серпня (рис. 5.6 б) імпеданс підвищився не лише в групі 5 (5154,2 кОм), але і в 1 та 2. Він істотно зріс у цей період і в групі 4, особливо на висоті 0,1 м (3441 кОм) через порушення вологообміну та усихання, проте на висоті 1,3 м різних змін не відбулося, оскільки дерева зберегли життєві функції.

Така ж тенденція спостерігалася і в групі середньоушкоджених дерев. Загалом восени імпеданс зріс практично в усіх групах дерев на всіх висотах незважаючи на зростання зволоження. Це може бути реакцією дерев на початок осені.

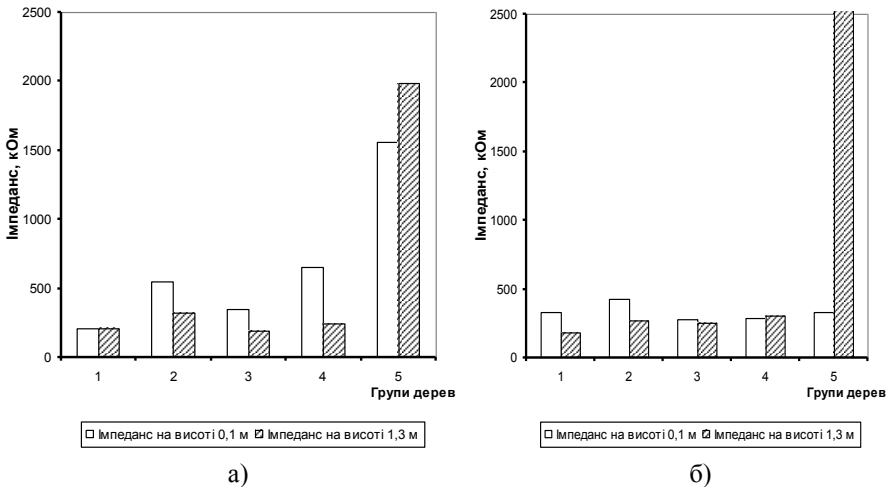


Рис. 5.6. Імпеданс прикамбіального комплексу тканин сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньоушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі): а – Боянець, 10.08.2012; б – Страдч, 11.08.2012; в – Боянець, 29.08.2012; г – Страдч, 06.10.2012

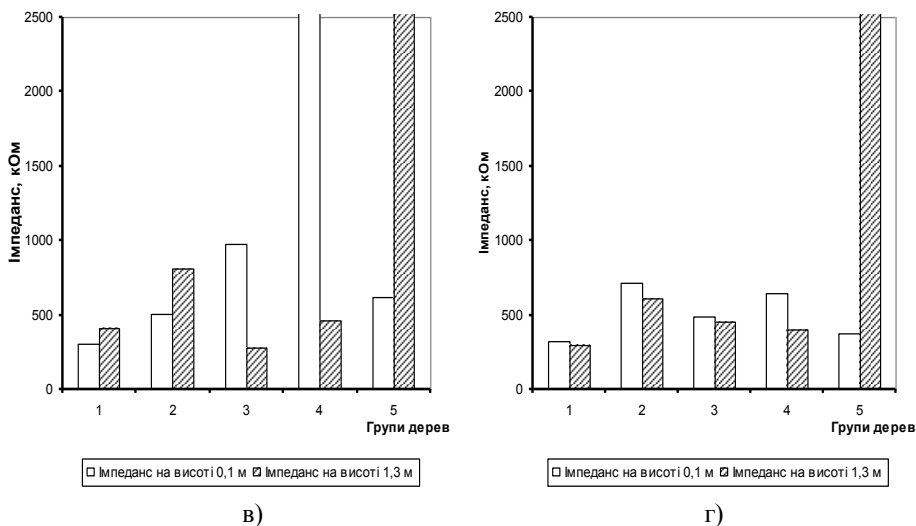


Рис. 5.6. (Продовження)

У Страдчі в серпні та на початку жовтня (див рис. 5.6 б, г) також зафіксовано зростання імпедансу в усіх групах дерев і на всіх висотах, особливо в групі 5 на висоті 1,3 м (10233,8 кОм у порівнянні з 328,2 кОм на висоті 0,1 м). Вкінці вересня таке перевищення було ще значнішим (14219,2 кОм у порівнянні з 376,8 кОм), що свідчить про всихання дерева. Про всихання свідчать і візуальні ознаки – поздовжні тріщини на стовбурах, а також висока твердість деревини, яка ускладнювала введення електродів під час вимірювань. Порівняно невисоке значення імпедансу на висоті 0,1 м у дерев цієї групи, на нашу думку, зумовлене ураженням стовбура грибами, на яке вказує і невисока твердість деревини та інтенсивне опадання кори.

У групі 2 в Боянці зростання імпедансу відбулося на висоті 1,3 м, а на висоті 0,1 м зміни були майже непомітними (імпеданс дещо знизився). Подібна залежність спостерігалася і для неушкоджених дерев. Загалом зростання імпедансу для цих груп, на нашу думку, свідчить про зменшення вологообміну, спричиненого недостатністю зволоження і сезонними змінами. У Страдчі, навпаки, імпеданс більше зріс у групі слабоушкоджених дерев на висоті 0,1 м, а в групі неушкоджених дерев зріс на висоті 1,3 м, а на висоті 0,1 м навіть дещо зменшився. Це свідчить про початок сповільнення циркуляції води внаслідок сезонних змін, хоча на висоті 0,1 м забезпеченість вологою зросла у зв'язку з більшою зволоженістю ґрунту.

Поляризаційні ємності, виміряні в травні на обох ділянках на висотах 0,1 та 1,3 м, наведені на рис. 5.7, а у серпні та вересні-жовтні – на рис. 5.8. Ці величини добре корельовані з відповідними їм імпедансами. Коефіцієнти кореляції між сукупними результатами трьох дослідів становлять для Боянця $-0,60$ і Страдча $-0,45$ і є значимими з рівнем значущості 0,05. Якщо розглядати тісноту зв'язку для результатів вимірювань на кожній з висот, то для висоти 0,1 м коефіцієнти кореляції становлять: Боянець $-0,44$, Страдч $-0,45$ (значимі з рівнем значущості 0,10). Для висоти 1,3 м, коефіцієнти кореляцій є вищими і становлять, відповідно, $-0,71$ і $-0,72$ (значимі з рівнем значущості 0,05). Меншу тісноту зв'язку між цими величинами на висоті 0.1 м пояснюємо ураженням грибами стовбура, виділенням живиці, а також різною фізичною природою імпедансу та поляризаційної ємності. Наприклад, у травні в Боянці (див. рис. 5.7 а) співвідношення між поляризаційними ємностями та імпедансами в однакових групах не завжди є протилежними. Така особливість спостерігається і в Страдчі (див. рис. 5.7 б), але зростання ємності у групі усохлих дерев як результат ураження грибами є відчутнішим, ніж зменшення імпедансу.

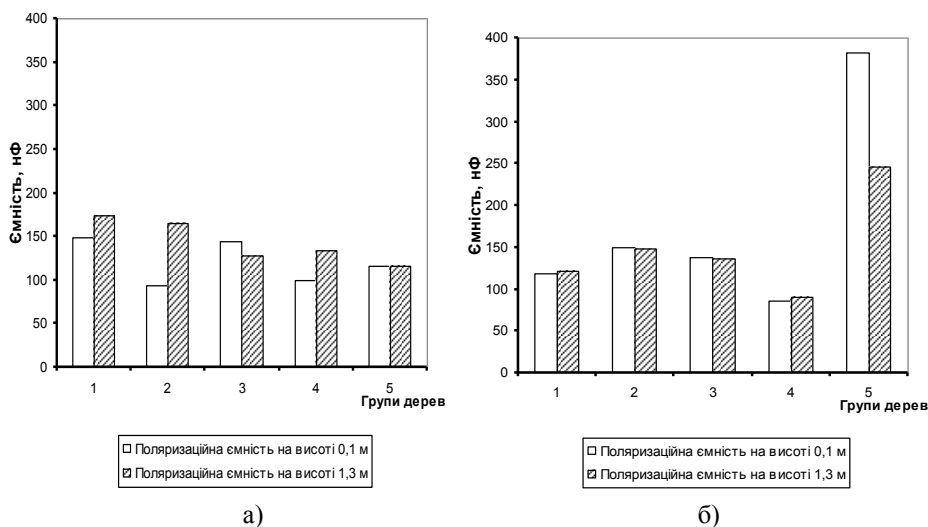


Рис. 5.7. Поляризаційна ємність прикамбіального комплексу тканин сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньоушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі):
а – Боянець, 02.05.2012; б – Страдч, 26.05.2012

У групі 1 в Боянці (див рис. 5.7 а, 5.8 а, в) поляризаційна ємність на висоті 0,1 м у серпні зменшилася та зросла вкінці вересня, перевищивши показники групи 2, що свідчить про неповне відновлення життєздатності дерев цієї групи. На висоті 1,3 м у серпні зафіксовано зменшення ємності, яке збереглося і у вересні.

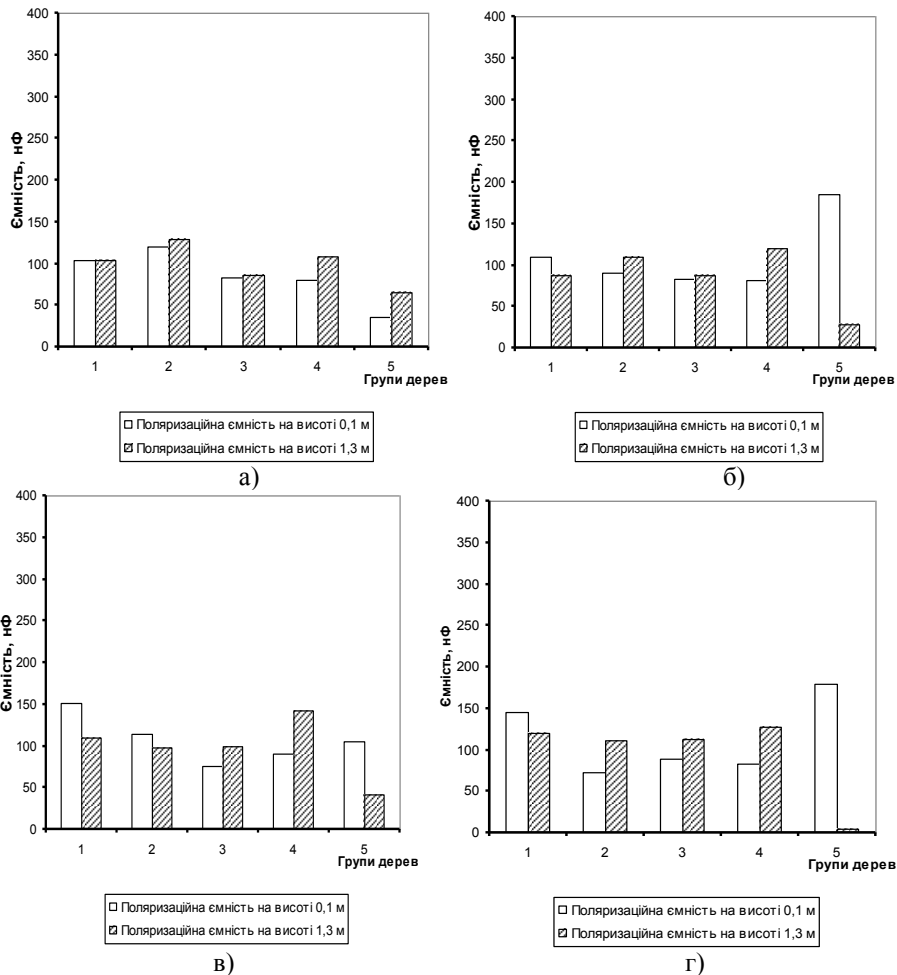


Рис. 5.8. Поляризаційна ємність прикамбіального комплексу тканин сосни звичайної у групах з різним ступенем ушкодження (1 – неушкоджені; 2 – слабоушкоджені; 3 – середньоушкоджені; 4 – сильноушкоджені; 5 – усохлі):

а – Боянець, 10.08.2012; б – Страдч, 11.08.2012;

в – Боянець, 29.08.2012; г – Страдч, 06.10.2012

У Страдчі (див рис. 5.7 б, 5.8 б, г) поляризаційна ємність також незначно зменшилася влітку і зроста восени, що зумовлено зволоженням ґрунтів.

Під час досліджень у травні в Боянці у групі 2 виявлено зниження поляризаційної ємності на висоті 0,1 м в порівнянні з висотою 1,3 м (див. рис. 5.7 а), що, як і у випадку імпедансу, є наслідком інтенсивного виділення живиці. В подальшому ємність зроста (див. рис. 5.8 а, в), що свідчить про відновлення життєвих функцій дерев цієї групи. У Страдчі поляризаційна ємність в аналогічній групі на висоті 0,1 м також зменшилася наприкінці літа і восени (див рис. 5.7 б, 5.8 б, г), що є наслідком низької вологості ґрунту.

В групі 3 у Боянці (див рис. 5.7 а, 5.8 а, в) поляризаційна ємність у серпні знизилась, на висоті 0,1 м, як у порівнянні з показниками у травні, так і в порівнянні з показниками на висоті 1,3 м. Подальші дослідження у вересні виявили зростання ємності на висоті 1,3 м. На висоті 0,1 м зміни практично непомітні. У Страдчі в цей час (див рис. 5.7 б, 5.8 б, г) спостерігалася практично ідентична динаміка поляризаційної ємності в цій групі.

У Боянці в групі 4 у серпні зафіксовано зниження поляризаційної ємності на обох висотах, а вкінці вересня ці показники знову зросли, особливо на висоті 1,3 м, перевищивши відповідні показники інших груп (див рис. 5.7 а, 5.8 а, в). Таке підвищення може бути результатом як відновлення життєздатності, так і ураження грибами. У Страдчі в цій групі така ж динаміка ємності, проте зміни відбуваються у вужчих діапазонах (див рис. 5.7 б, 5.8 б, г). Зростання ємності на висоті 1,3 м вважаємо свідченням відновлення життєздатності дерев.

Поляризаційна ємність усохлих дерев у Боянці на висоті 1,3 м зменшувалася з часом (див рис. 5.7 а, 5.8 а, в), що свідчить про перебіг процесу висушування відмерлих клітин стовбурів. На висоті 0,1 м відбулося її зменшення, проте восени зафіксовано початок зростання ємності, що свідчить про ураження грибами тканин стовбура на цій висоті. У Страдчі на висоті 1,3 м високі значення ємності наприкінці травня (див. рис. 5.7 б), які є результатом ураження грибами, знижувалися в серпні та жовтні (див рис. 5.8 б, г), що є результатом погіршення водозабезпечення і висушування грибів, якими уражені тканини стовбура. На висоті 0,1 м у серпні та жовтні ємність незначно зменшилася, однак залишалася високою через ураження грибами.

Для поляризаційної ємності, на відміну від імпедансу, спостерігається тенденція до зменшення із зростанням ступеня ушкодження тканин. Цей показник також свідчить про зменшення вологості із зростанням ушкодження, проте не лише у вертикальному напрямку вздовж стовбура, але і в горизонтальному напрямку до ядра, оскільки ємність має іншу фі-

зичну природу, ніж імпеданс. Високі значення поляризаційної ємності в ушкоджених тканинах стовбура свідчать про ураження грибами.

Лабораторні мікробіологічні дослідження фрагментів тканин стовбурів, відібраних у Боянці 13.05.2012, підтвердили зроблені на основі вимірювань імпедансу та спостережень під час досліджень припущення про виділення живиці в групах, які зазнали незначних ушкоджень від вогню (рис. 5.9). Це свідчить про збереження життєздатності дерев та заліковування травм.

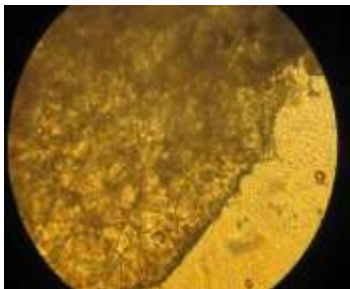


Рис. 5.9. Тканини стовбура сосни звичайної з вмістом живиці

Виявлено і ураження грибами тканин стовбура, спричинене наслідками пожежі залежно від ступеня ушкодження. Наприклад, у фрагментах стовбурів неушкоджених дерев живі клітини ксилеми і флоеми не уражені грибами (рис. 5.10). Не виявлено слідів грибів і в тканинах слабоушкоджених дерев, хоча там наявні як живі, так і згорені клітини (рис. 5.11). Проте в середньоушкоджених дерев спостерігаються спори грибів у мертвій тканині стовбурів (рис. 5.12). У тканинах стовбурів сильноушкоджених та подекуди середньоушкоджених рослин процеси розвитку грибів інтенсифікувалися.

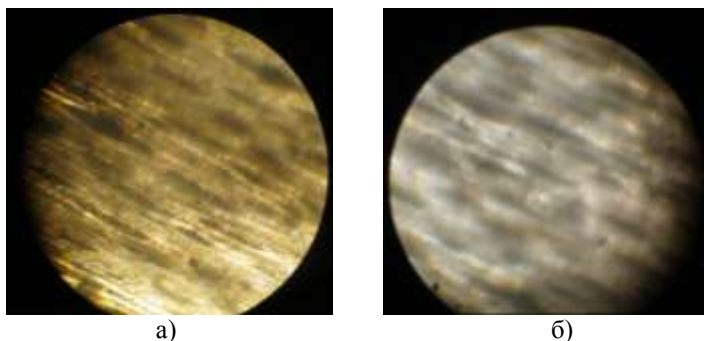


Рис. 5.10. Живі клітини, не уражені грибами:
а – ксилеми; б – флоеми

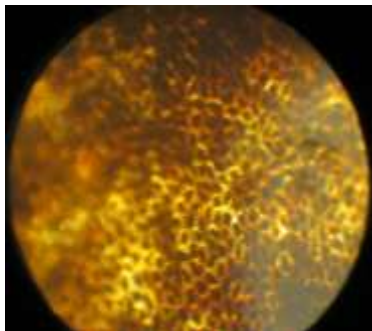


Рис. 5.11. Живі клітини поряд зі згореними

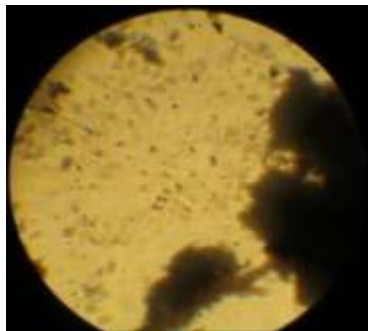
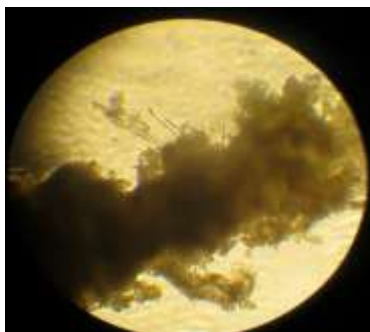
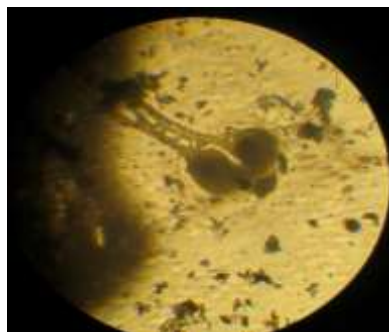


Рис. 5.12. Спори грибів і мертві тканини рослин



а)



б)

Рис. 5.13. Гіфи грибів розкладають деревину:
а – Penicillium; б – Aspergillum

Про це свідчать гіфи грибів *Penicillium* (див. рис. 5.13 а) і *Aspergillum* (див. рис. 5.13 б). У групі усохлих дерев клітини тканин повністю обгорнені міцелієм гриба (див. рис. 5.14), що свідчить про активний розвиток грибів і руйнування клітин. Це підтверджує й опадання кори дерев, які не відновили життєві функції, низькі імпеданси та високі поляризаційні ємності на висоті 0,1 м.

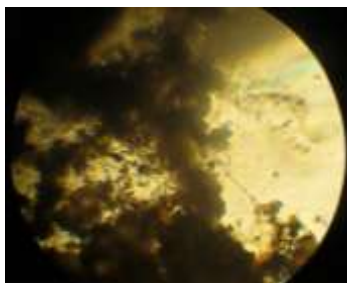


Рис. 5.14. Клітини тканин стовбура всохлої сосни звичайної, обгорнені міцелієм гриба

Біопотенціал визначали для дерев кожної з груп за різницею потенціалів між кореневою шийкою і точкою на стовбурі на висоті 1,3 м (рис. 5.15).

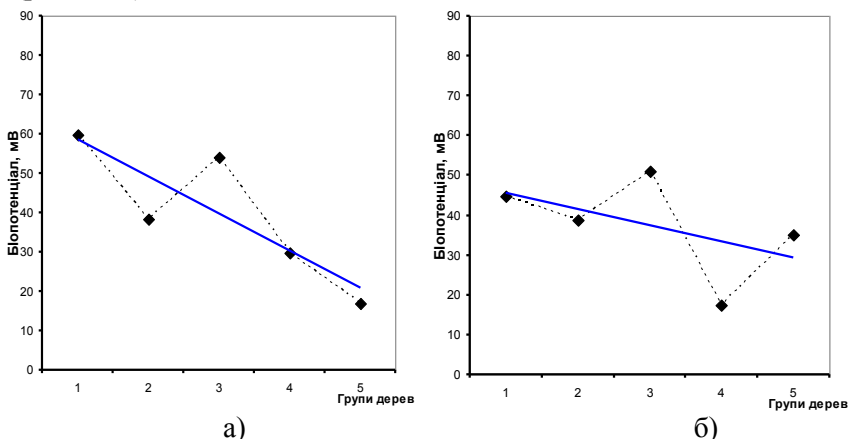


Рис. 5.15. Залежність біопотенціалу стовбура сосни, виміряного між кореневою шийкою та точкою на висоті 1,3 м, від ступеня uszkodження пожежею:
а – Боянець, 02.05.2012; б – Страдч, 26.05.2012

Із зростанням ступеня uszkodження спостерігалася тенденція до зменшення біопотенціалу. Зростання біопотенціалу із зменшенням uszkodження свідчить про збільшення інтенсивності процесів вологообміну в дереві та його життєздатність. Максимальні значення цього показника у Боянці зафіксовані в групі 1 (див. рис. 5.15 а). Дещо меншими є значення для групи 3, а найменшими – в групі 5. У Страдчі біопотенціал в групі 3 перевищував відповідні показники в інших групах, зокрема, в 1 (див. рис. 5.15 б). Така ж тенденція збереглася і в серпні та вересні (рис. 5.16). Але у

серпні в Боянці найбільші значення біопотенціалу були характерними для групи 2, а у вересні – групи 3 (див. рис. 5.16 а, в). Це є свідченням відновлення життєздатності після ушкоджень внаслідок пожежі у відповідні періоди. Таке припущення підтверджує і перевищення маси живої хвої в цих групах (див. рис. 5.4 а, в). Стабільними залишалися значення біопотенціалу (біля 60 мВ) у групі 1. Зростання біопотенціалу відбулося і в групі 4, що також вказує на успішні спроби дерев відновити життєздатність. Зниження біопотенціалу восени для групи 2 зумовлене, найімовірніше, погіршенням умов зволоження, хоча на час вимірювань вологість ґрунту, на якому зростають дерева цієї групи, не зменшувалася. У Страдчі біопотенціал у серпні зріс для всіх груп, окрім 5 (див. рис. 5.16 б, г). Найбільшим був приріст цієї величини в групі 4, досягнувши на початку жовтня відповідного значення для групи 3. Закономірним є зниження біопотенціалу в групі 5. А низькі значення біопотенціалу в травні, які в подальшому зросли і досягнули у жовтні значень, близьких до оптимальних (60 мВ), є наслідком браку вологи в цей період (див. рис 5.3 б).

На інтенсивність процесів вологообміну вказує й температура камбію, яка зменшується внаслідок охолодження водою, що транспортується ксилемою, і внаслідок транспірації. Тому температура поверхні стовбура усохлих дерев має наближатися до температури поверхні ґрунту, а життєздатних – дещо нижчою.

Проведено вимірювання температури поверхні стовбурів з північної сторони на висотах 0,2, 0,5, 1, 1,3 і 1,5 м, температури поверхні ґрунту, а також температури ґрунту на глибині 0,1 м.

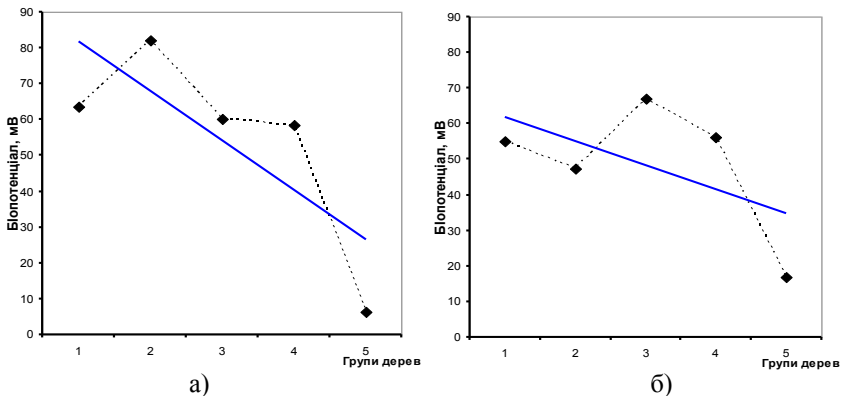


Рис. 5.16. Залежність біопотенціалу стовбура сосни, виміряного між кореневою шийкою та точкою на висоті 1,3 м, від ступеня ушкодження пожежею:

а – Боянець, 10.08.2012; б – Страдч, 11.08.2012;
в – Боянець, 29.08.2012; г – Страдч, 06.10.2012

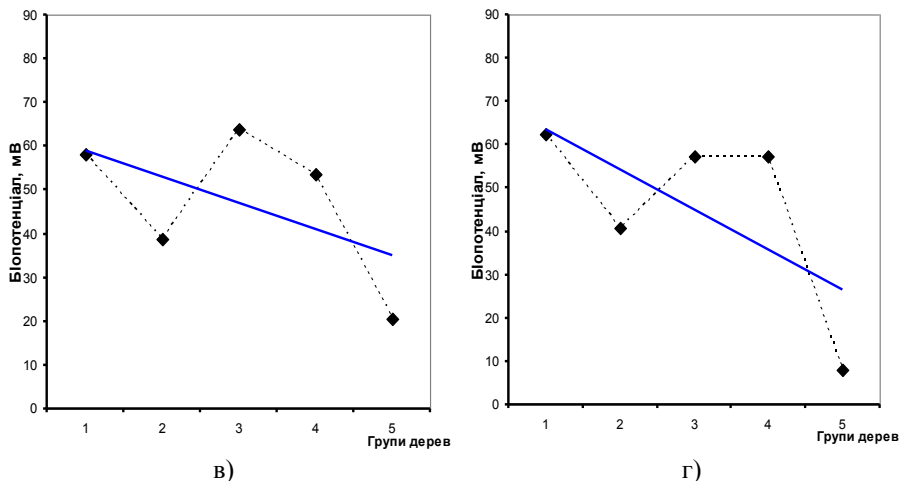


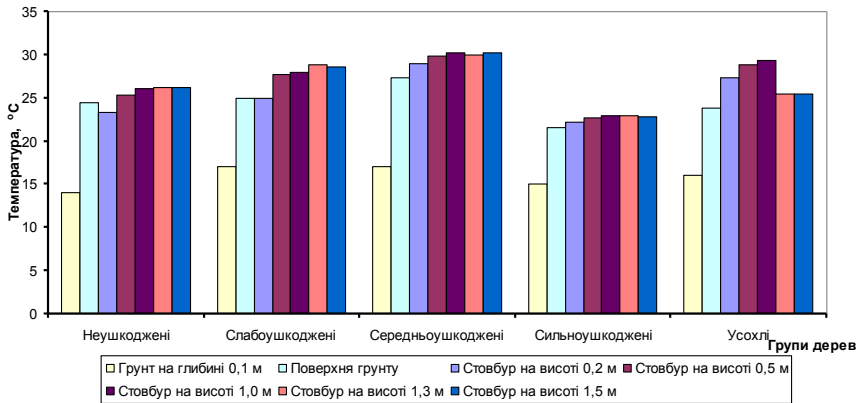
Рис. 5.16. (Продовження)

Температури стовбурів з північної сторони в усіх групах дерев, які зазнали впливу пожежі, є вищими, ніж поверхні ґрунту (рис. 5.17). Це зумовлено як конвективним теплообміном з навколишнім середовищем, так і сповільненням процесів транспортування води в стовбурах. Характерним є те, що із збільшенням висоти температури зростає. Лише в групі 5 після зростання до висоти 1 м на висоті 1,3 м спостерігається зниження температури, зафіксоване для кожного її представника. Проте температура на цій висоті в інших групах перевищує температуру поверхні ґрунту. Для групи 1 на висоті 0,2 м спостерігається зниження температури у порівнянні з температурою поверхні ґрунту, що свідчить про високу інтенсивність процесів вологообміну. Близькими до температури поверхні ґрунту є значення температури на цій висоті у групі 2. Із збільшенням висоти температура поверхні стовбура в цих групах зростає. Зниження температури стовбура на висоті 0,2 м у порівнянні з температурою поверхні ґрунту зберігається в серпні та вересні (див. рис. 5.17 б, в). Відповідне зниження, зафіксоване в групі 4 у серпні, вважаємо наслідком транспортування води стовбуром від кореня та часткового ураження грибами тканин стовбура.

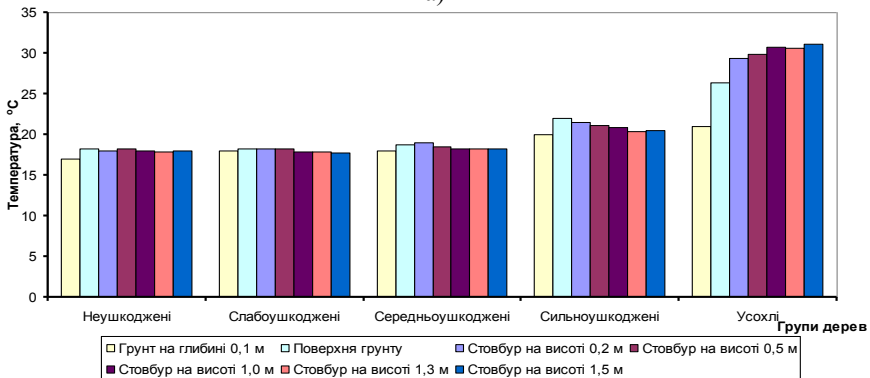
Для порівняння проаналізовано температури ґрунту на глибині 0,1 м, його поверхні та поверхні стовбурів на ділянці в Страдчі (рис. 5.18). Для дерев у групі неушкоджених на цій ділянці також спостерігається зменшення температури поверхні стовбура на висоті 0,2 м, зу-

мовлене інтенсивним переміщенням холодної води від кореня стовбуром. У групі сильно ушкоджених дерев у травні та серпні також спостерігається зниження температури на цій висоті у порівнянні з температурою поверхні ґрунту, що має таке ж пояснення, як і у відповідній групі дерев у Боянці. Перевищення температурою ґрунту на глибині 0,1 м температури його поверхні (див. рис. 5.17 в, 5.18 а, б) зумовлене акумуляцією тепла ґрунтом, яка виявляється вранці.

Оскільки на життєздатність рослин впливають ґрунтові умови, окрім вимірювань для кожної з груп дерев вологості ґрунтів на глибині 0,1 м (див. рис. 5.3-5.4) визначено і їх рівень рН.



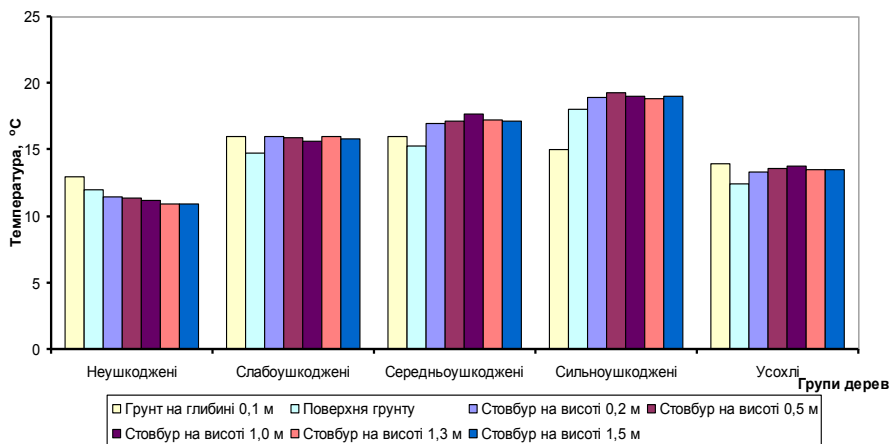
а)



б)

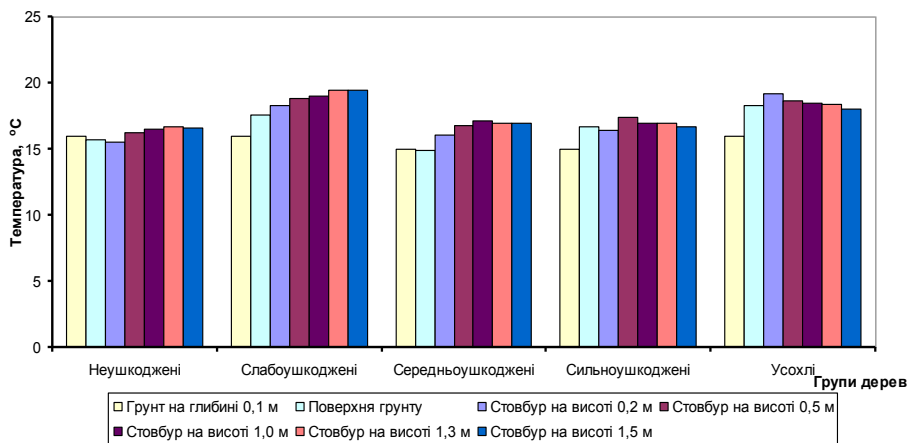
Рис. 5.17. Температури ґрунту на глибині 0,1 м, поверхні ґрунту та поверхні кори стовбурів сосни звичайної з різним ступенем ушкодження на ділянці у Боянці:

а – 02.05.2012; б – 10.08.2012; в – 29.09.2012



в)

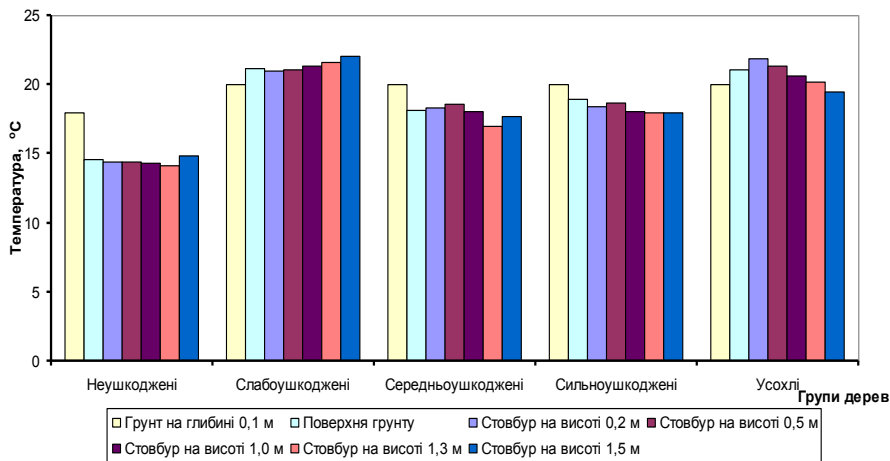
Рис. 5.17. (Продовження)



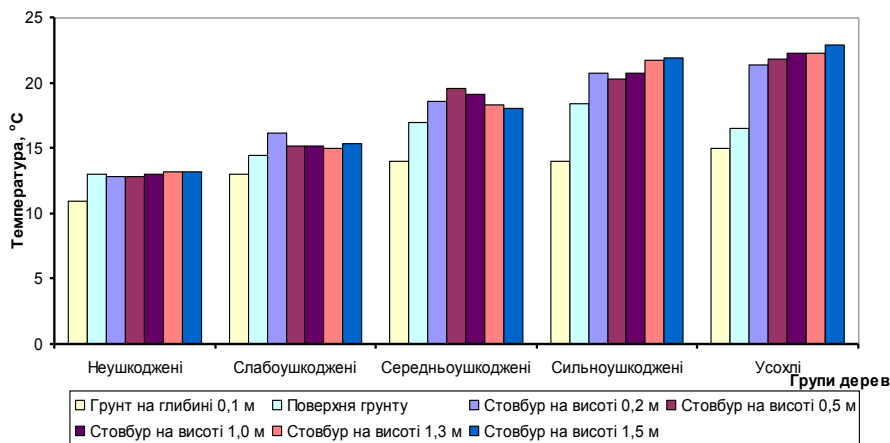
а)

Рис. 5.18. Температури ґрунту на глибині 0,1 м, поверхні ґрунту та поверхні кори стовбурів сосни звичайної з різним ступенем ушкодження на ділянці у Страдчі: а – 26.05.2012; б – 11.08.2012; в – 06.10.2012

Розділ 5. Вплив пожеж на лісове середовище та вогнестійкість його компонентів



б)



в)

Рис. 5.18. (Продовження)

Результати наведені в табл. 5.3.

**Рівень рН ґрунтів на ділянках з різним ступенем ушкодження,
визначений електрофізичним методом на глибині 0,1 м**

№ групи	Ступінь ушкодження	Рівень рН					
		Боянець			Страдч		
		02.05	10.08	29.09	26.05	11.08	06.10
1	Неушкоджені (контроль)	8.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
2	Слабоушкоджені	7.5	7.0	7.5	7.0	7.0	7.0
3	Середньоушкоджені	7.5	7.0	7.5	7.5	7.0	7.0
4	Сильноушкоджені	7.5	7.0	7.5	7.5	7.0	7.0
5	Усохлі	7.5	7.0	7.0	7.5	7.0	7.0

На ділянках у Боянці, які зазнали дії пожежі, в ґрунтах зменшився рівень рН, хоча за даними [47, 343, 434] цей показник має зрости внаслідок мінералізації підстилки та гумусу. Основною причиною підвищення кислотності, на нашу думку, є дія високої температури на ґрунт, що підтверджує результати досліджень [355], якими встановлено, що при нагріванні підстилки та ґрунту до 200°C відбувається зростання кислотності, а за вищих температур – зменшення. У серпні кислотність стала ще вищою та зрівнялася на ділянках як з ушкодженнями, так і без них. Але виявлене зростання кислотності ґрунту на ділянках, які зазнали пожежі, – явище тимчасове. На нашу думку, рівень рН через певний період повинен зрости внаслідок процесів фільтрації водних розчинів продуктів горіння після опадів. Це підтвердили вимірювання рН у вересні, які виявили його зростання на ділянках груп 3-5. У Страдчі, навпаки, відбулося зменшення кислотності на ділянках таких груп. Це пояснюємо більшою давністю пожежі та опадами, які спричинили фільтрацію розчинів продуктів горіння в супіщаний ґрунт. Але подальші опади сприяли продовженню фільтраційних процесів та відновленню кислотності. У Боянці фільтрація сповільнена через інший гранулометричний склад – суглинки.

Ознакою життєздатності рослини є її ріст, який характеризується приростами. Для кожної з груп виміряно головні та бічні прирости (рис. 5.19).

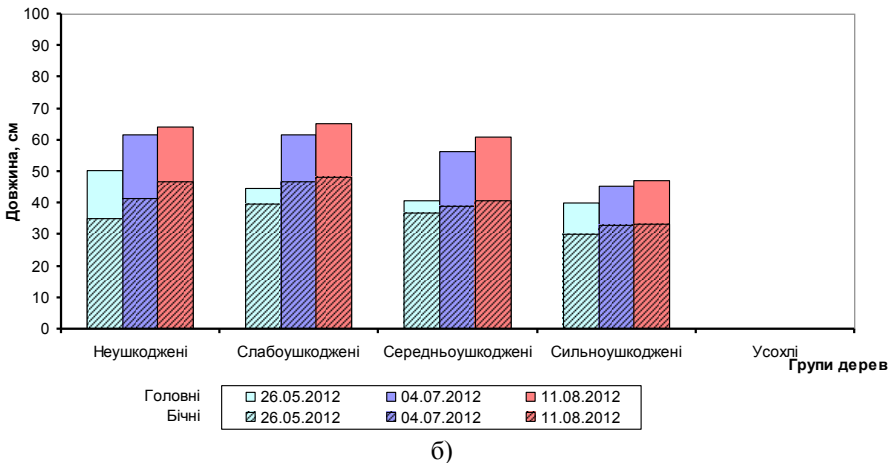
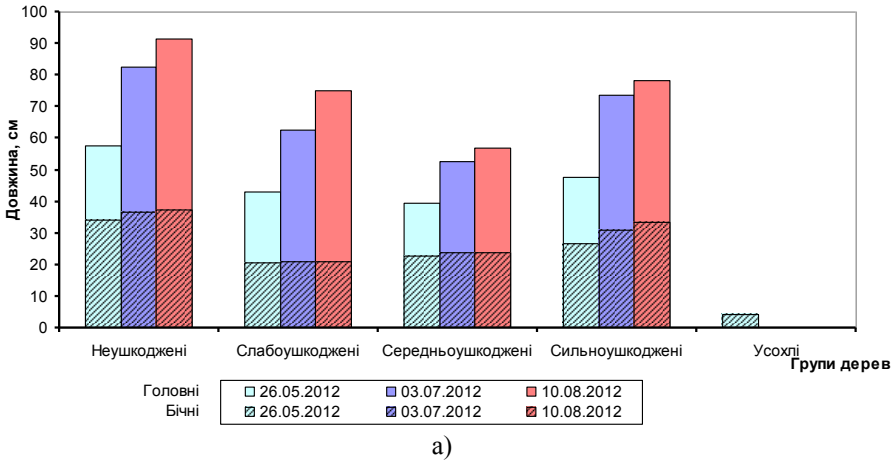
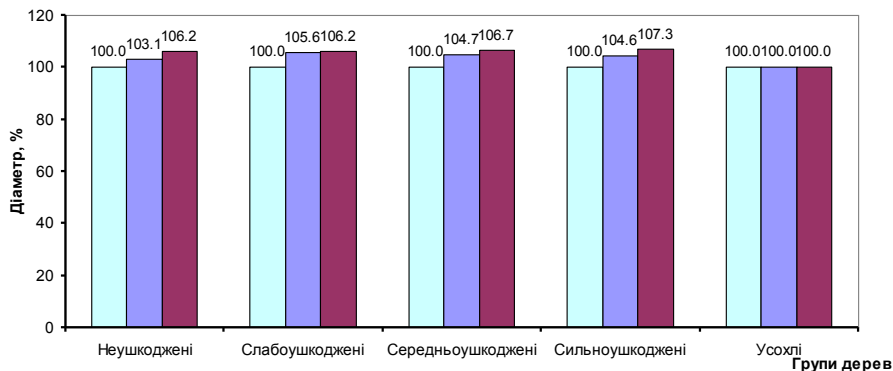


Рис. 5.19. Головні та бічні прирости сосни звичайної в групах за ступенем ушкодження:
а – Боянець; б – Страдч

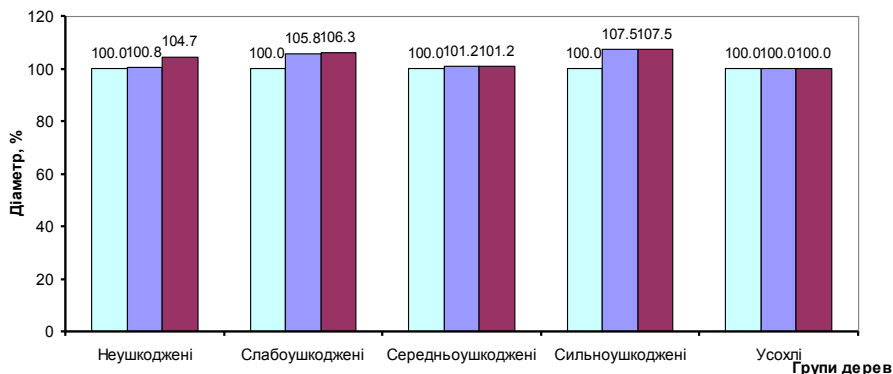
На початку досліджень виявлено, що головні прирости залежать від ступеня ушкодження та зменшуються із його зростанням. У Боянці найбільшими були головні та бічні прирости у групі 1. Після них найбільше зростали прирости групи 4, які перевищували відповідні показники в групах 2 та 3. Така тенденція збереглася і надалі, що свідчить про інтенсивне відновлення життєздатності рослин з сильним ушкодженням, найімовірніше внаслідок стресу. На величину приростів у

групі 4 могло вплинути і те, що біометричні показники рослин цієї групи переважали інші. Бічні прирости в групах 2 і 3 зростали майже непомітно. У групі 1 бічні прирости були найбільшими, проте зростали повільніше, ніж в групі 4. У групі 5 зафіксовано невеликий бічний приріст, проте внаслідок усихання прирости припинилися.

Досліджено залежність діаметра дерев на висоті 1,3 м від ступеня ушкодження (рис. 5.20).



а)



б)

Рис. 5.20. Прирости діаметрів сосни звичайної в групах за ступенем ушкодження: а – Боянець; б – Страдч

На ділянці в Боянці у серпні найбільше зростають діаметри групи 2, далі – 3, 4 та 1 (див. рис. 5.20 а). Наприкінці вересня найбільшими у порівнянні з травнем приростами діаметрів характеризується група 4, за ними – 3, а завершують 2 та 1. У Страдчі найбільше зростання діаметрів у серпні зафіксовано в групі 4, далі йдуть 2, 3 і 1. На початку жовтня у порівнянні з травнем найбільші прирости залишилися у групі 4 (не зросли у порівнянні з серпнем), далі йдуть 2, 1 і 3 (також не зросли з серпня).

Загалом у представників сосни звичайної внаслідок пожежних травм порушується функціонування клітин, органів і тканин, внаслідок чого змінюється їх життєздатність, яка відображається у зміні електрофізіологічних та біометричних показників: із зростанням ступеня uszkodження збільшується імпеданс, зменшується поляризаційна ємність, біопотенціал, зменшуються прирости, маса хвої та ін. Внаслідок незначних уражень інтенсифікується виділення живиці, а за значних uszkodжень відбувається ураження грибами, яке відображається не лише у зовнішніх ознаках, але і в електрофізіологічних показниках: зменшується імпеданс і зростає поляризаційна ємність. Частково зміни внаслідок уражень виявляються і за від'ємною різницею температур на поверхні стовбура на висоті 0,2 м і поверхні ґрунту. Зміни стосуються не лише рослин, але й середовища їх зростання: змінюється вологість і кислотність ґрунтів, зазнає змін видовий та кількісний склад фітоценозів. Подальші дослідження виявили, що зі збереженням загальної тенденції до розподілу електрофізіологічних і біометричних показників, виявлених під час першого дослідження, вони можуть перерозподілятися в групах за uszkodженнями, що свідчить про інтенсифікацію і відновлення фізіологічних процесів після вогневих uszkodжень, особливо в групах слабо- та сильноушкоджених дерев. Отримані результати в Страдчі добре корелюються з відповідними показниками у Боянці, окрім вологості ґрунту та рівня рН, для яких коефіцієнти кореляції є від'ємними, що пояснюємо відмінністю едафотопів.

З метою дослідження впливу пожежі на сосну звичайну досліджено модельне дерево віком 7 років, яке зазнало uszkodжень вогнем. Частка сухої хвої в кроні становила близько 60 %, а висота нагару 0,76 м (пожежа середньої інтенсивності). За запропонованою класифікацією (див. табл. 5.1-5.2) таке дерево належить до групи середньоушкоджених. Після зрізання здійснене поперечне розпилювання обгорілої частини стовбура з кроком 0,1 м (рис. 5.21). Для кожного розпилу визначали діаметр, товщину прогоряння та вологість деревини зі сторони площини розрізу. Залежності товщини прогоряння та вологості від висоти наведені на рис. 5.22.



Рис. 5.21. Поперечні розрізи модельного дерева сосни звичайної (фото автора)

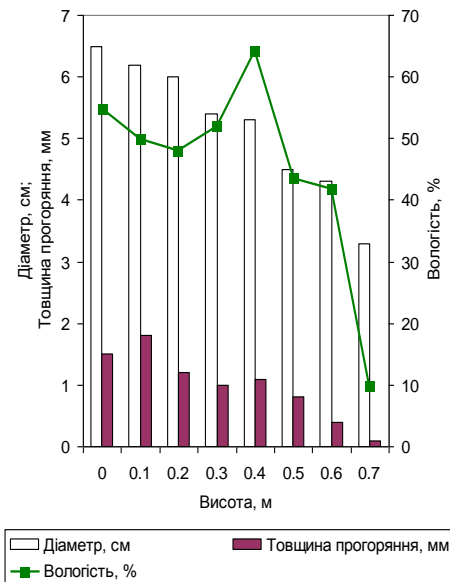


Рис. 5.22. Залежності діаметра, товщини прогоряння і вологості деревини модельного дерева від висоти

Найбільшою є товщина прогоряння на висоті 0,1 м, далі цей показник спадає. Максимальна вологість деревини виявлена на висоті 0,4 м, яка зменшується із подальшим зростанням або спаданням висоти. Всі величини добре корельовано між собою (табл. 5.4), виділено значимі коефіцієнти кореляції з рівнем значущості 0,05, окрім висоти та вологості, коефіцієнт кореляції між якими становить $-0,65$ з рівнем значущості 0,10.

Таблиця 5.4

Кореляційна матриця між параметрами модельного дерева

	Висота	Діаметр	Товщина прогоряння	Вологість
Висота	1	-0.98	-0.94	-0.65
Діаметр	-0.98	1	0.95	0.77
Товщина прогоряння	-0.94	0.95	1	0.73
Вологість	-0.65	0.77	0.73	1

Дія високих температур і полум'я низової пожежі впливає на життєздатність дерев, яка виявляється як за візуальними ознаками, так і за біометричними, електрофізіологічними та температурними показниками, а також за станом ґрунтів, зокрема вологістю. Незважаючи на близькі значення висоти нагару на деревах (наприклад у групах 2 та 3 у Боянці, 3 та 4 у Страдчі), ушкодження різняться між собою, що свідчить про локальний характер процесів перебігу низової пожежі та їх впливу на дерево. За незначного ушкодження спостерігається інтенсивне виділення живиці в нижній частині стовбурів, які зазнали уражень, що свідчить про намагання дерева відновити життєздатність. На цей процес вказує великий імпеданс у групі 2 на висоті 0,1 м. Зменшення вологості ґрунту, спричинене пожежею, пов'язане із знищенням опадів та підстилки. Разом з тимчасовим зменшенням рівня рН це додатково ускладнює відновлення життєздатності дерев після пожеж.

5.3. Вода у деревостані як фактор вогнестійкості

Під час лісової пожежі на процеси займання та горіння деревини, як і інших горючих матеріалів, впливає їх вологість. У зв'язку з цим проаналізовано вміст води в деревостані як фактор вогнестійкості. Вміст фітомаси та води у її складі для надземної частини чистих і мішаних сосново-дубових насаджень, які найчастіше зустрічаються в умовах Малеого Полісся, оцінено теоретичним методом. Моделювання здійснено для гіпотетичних деревостанів з породним складом 10Сз, 7Сз3Дз, 5Сз5Дз, 3Сз7Дз і 10Дз та віком 20, 40, 60, 80 та 100 років. З використанням [300] зроблено припущення, що запаси деревини для відповідного віку становлять 80, 250, 350, 450 та 500 м³/га. Результати обчислень фітомаси зображено на рис. 5.23 а. Вміст води в надземній частині деревостанів обчислювали з урахуванням відносних вологостей частин дерев (див. табл. 3.1). Використано і дані експериментальних досліджень динаміки висушування хвої сосни звичайної, маса якої у свіжому стані становила 0,213 кг, а у абсолютно сухому стані – 0,102 г, за якими відносна вологість свіжої хвої – 52,1 %, яка дещо менша за наведені у [516] (57 %) та [541] (60 %).

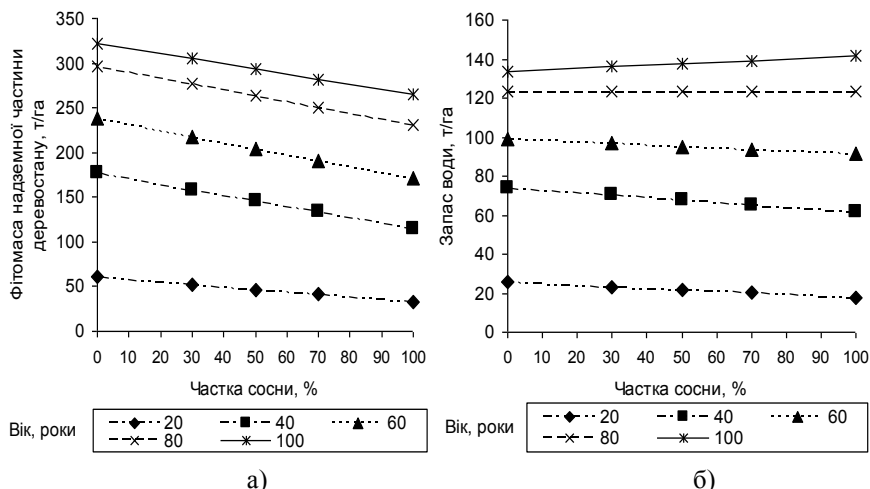


Рис. 5.23. Залежності а – фітомаси; б – запасу води надземної частини гіпотетичних чистих соснових, дубових і дубово-соснових деревостанів різного віку від частки сосни

У насадженнях віком до 80 р. (див. рис. 5.23 б), вміст води зменшується із збільшенням частки сосни. Для 80-річних деревостанів вміст води не залежить від породного складу, а в 100-річних насадженнях більше води містять деревостани із більшою часткою сосни.

За результатами моделювання фітомаси та вмісту води в надземній частині деревостану оцінено запас горючого матеріалу, який згорить у випадку виникнення суцільної лісової пожежі (рис. 5.24 а), внаслідок чого виділяться CO_2 , CO , сажа та інші продукти горіння, а також теплова енергія (рис. 5.24 б), що вплине на екологічну ситуацію: призведе до забруднення атмосфери, поверхні землі та водоймищ поблизу пожежі й сприятиме парниковому ефекту.

Для окремих ділянок лісу на території Малого Полісся з різними типами лісорослинних умов і породним складом деревостанів (див. табл. А.3 додатку А) з використанням даних лісової таксації та конверсійних коефіцієнтів обчислено фітомасу і вміст води в стовбурах, гілках та листі (хвої).

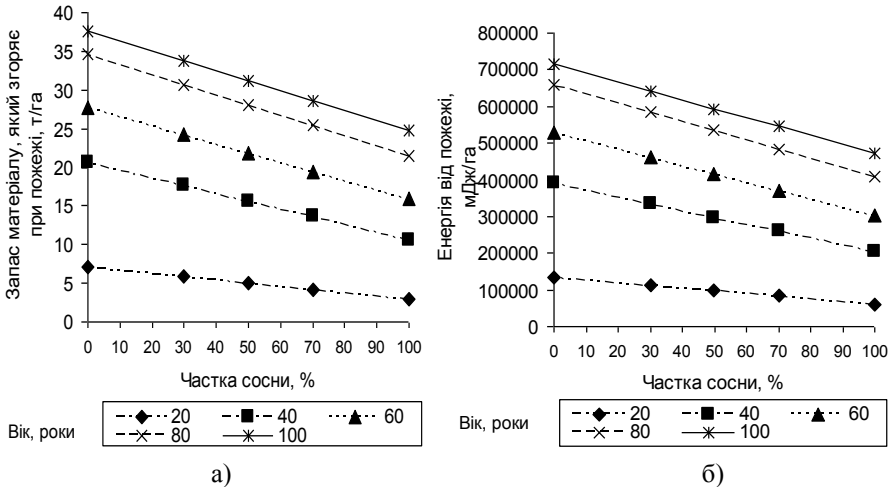


Рис. 5.24. Залежності а – запasu горючого матеріалу, який згорить під час лісової пожежі; б – енергії, яка виділиться внаслідок пожежі у гіпотетичних чистих соснових, дубових і дубово-соснових деревостанах різного віку від частки сосни

Результати наведено в табл. 5.5. Частка води у фітомасі надземної частини деревостанів становить 46-54 % і залежить від віку, запasu та породного складу.

Вогнестійкість деревостану залежить не лише від загального вмісту води в надземній частині дерев, зокрема у стовбурах, але і від вологості їх зовнішнього шару. Саме така вологість під час низової пожежі захищає дерево від ураження, забезпечуючи його вогнестійкість, оскільки при нагріванні відбувається випаровування води, внаслідок якого знижується температура поверхні горючого матеріалу. Проте теплопровідність вологого дерева є вищою, ніж сухого, а тому за умов тривалої дії високих температур відбувається прогрівання стовбура та виділення пари всередині його тканин. Внаслідок надлишкового тиску водяної пари в тканинах стовбура виникають тріщини, крізь які виводиться вода. Тріщини не лише сприяють займанню, але і травмують дерево.

Показники вмісту води та фітомаса надземної частини ділянок лісу

№ п/п	Тип лісу	Породний склад	Порода	Вік, роки	Запас, м ³ /га	Вода та фітомаса, кг/м ²			
						стовбур з корою	гілки	листя (хвоя)	надземна
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A ₁ C	10C ₃	сосна	54	220	<u>5,05</u> <u>9,51</u>	<u>0,44</u> <u>0,76</u>	<u>0,17</u> <u>0,31</u>	<u>5,66</u> <u>10,58</u>
2	A ₂ C	10C ₃	сосна	84	378	<u>9,47</u> <u>17,84</u>	<u>0,65</u> <u>1,13</u>	<u>0,24</u> <u>0,42</u>	<u>10,36</u> <u>19,39</u>
3	B ₂ D _C	10C ₃	сосна	59	425	<u>9,94</u> <u>18,72</u>	<u>0,82</u> <u>1,43</u>	<u>0,32</u> <u>0,57</u>	<u>11,09</u> <u>20,72</u>
4	C ₂ ГДC	5Д ₃ 4C ₃ 1Бп	сосна	124	126	<u>3,43</u> <u>6,47</u>	<u>0,19</u> <u>0,33</u>	<u>0,07</u> <u>0,11</u>	<u>3,69</u> <u>6,92</u>
			дуб	124	159	<u>3,71</u> <u>8,89</u>	<u>0,42</u> <u>1,06</u>	<u>0,04</u> <u>0,06</u>	<u>4,16</u> <u>10,01</u>
			береза	124	31	<u>0,81</u> <u>1,79</u>	<u>0,06</u> <u>0,15</u>	<u>0,0010</u> <u>0,0013</u>	<u>0,88</u> <u>1,94</u>
			всього		316	<u>7,95</u> <u>17,15</u>	<u>0,67</u> <u>1,54</u>	<u>0,111</u> <u>0,1713</u>	<u>8,73</u> <u>18,87</u>
5	D ₂ ГБД	10Бкл+Гз	бук	65	307	<u>2,75</u> <u>6,42</u>	<u>0,39</u> <u>0,86</u>	<u>0,04</u> <u>0,08</u>	<u>3,18</u> <u>7,36</u>
6	A ₃ C	10C ₃	сосна	64	314	<u>7,48</u> <u>14,09</u>	<u>0,59</u> <u>1,03</u>	<u>0,23</u> <u>0,40</u>	<u>8,30</u> <u>15,52</u>
7	B ₃ D _C	9C ₃ 1Влч	сосна	79	352	<u>8,74</u> <u>16,47</u>	<u>0,62</u> <u>1,08</u>	<u>0,23</u> <u>0,41</u>	<u>9,59</u> <u>17,95</u>
			вільха	79	39	<u>0,26</u> <u>0,47</u>	<u>0,02</u> <u>0,04</u>	<u>0,0023</u> <u>0,0034</u>	<u>0,28</u> <u>0,52</u>
			всього		391	<u>9,00</u> <u>16,94</u>	<u>0,64</u> <u>1,12</u>	<u>0,2323</u> <u>0,4134</u>	<u>9,87</u> <u>18,47</u>
8	C ₃ ГДC	7C ₃ 1Дз2Бп	сосна	74	136	<u>3,33</u> <u>6,27</u>	<u>0,24</u> <u>0,42</u>	<u>0,09</u> <u>0,16</u>	<u>3,66</u> <u>6,85</u>
			дуб	84	21	<u>0,36</u> <u>0,87</u>	<u>0,05</u> <u>0,12</u>	<u>0,0057</u> <u>0,0096</u>	<u>0,42</u> <u>1,00</u>
			береза	74	36	<u>0,59</u> <u>1,31</u>	<u>0,05</u> <u>0,13</u>	<u>0,0031</u> <u>0,0044</u>	<u>0,65</u> <u>1,43</u>
			всього		193	<u>4,28</u> <u>8,45</u>	<u>0,34</u> <u>0,67</u>	<u>0,0988</u> <u>0,174</u>	<u>4,74</u> <u>9,29</u>
9	D ₃ ДГБ	10Бкл+Гз	бук	84	367	<u>5,48</u> <u>12,79</u>	<u>0,68</u> <u>1,50</u>	<u>0,06</u> <u>0,11</u>	<u>6,22</u> <u>14,41</u>
10	A ₄ C	10C ₃	сосна	59	200	<u>4,68</u> <u>8,81</u>	<u>0,39</u> <u>0,67</u>	<u>0,15</u> <u>0,27</u>	<u>5,22</u> <u>9,75</u>
11	B ₄ D _C	10Бп+Влч, Ос	береза	32	65	<u>0,63</u> <u>1,39</u>	<u>0,07</u> <u>0,16</u>	<u>0,035</u> <u>0,049</u>	<u>0,73</u> <u>1,60</u>

Продовження таблиці 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	С ₄ Влч	8Влч2Дз+ Бп	вільха	64	117	<u>2,02</u>	<u>0,13</u>	<u>0,0246</u>	<u>2,18</u>
						3,67	0,30	0,0365	4,01
			дуб	64	33	<u>0,66</u>	<u>0,10</u>	<u>0,0145</u>	<u>0,78</u>
			всього		150	<u>1,59</u>	0,25	0,0246	1,87
						<u>2,68</u>	<u>0,23</u>	<u>0,0391</u>	<u>2,96</u>
						<u>5,26</u>	<u>0,55</u>	<u>0,0611</u>	<u>5,88</u>
13	Д ₄ Влч	10Влч+Яз	вільха	45	267	<u>18,26</u>	<u>1,21</u>	<u>0,38</u>	<u>19,86</u>
						<u>33,21</u>	<u>2,76</u>	<u>0,57</u>	<u>36,53</u>

Проведено вимірювання інтегральної вологості зовнішнього шару (товщиною до 2 см) стовбурів найпоширеніших порід дерев Малоого Полісся: сосни звичайної, дуба звичайного, вільхи чорної, осики, граба звичайного та бука лісового. Окрім вимірювання вологості на різних висотах з південної, східної, північної та західної сторін визначали також температуру поверхні стовбура. Вимірювання проводили навесні, влітку та восени 2012 р. Середні значення вологості зовнішнього шару стовбурів наведені на рис. 5.25. Серед досліджених порід найнижчою є вологість стовбура сосни звичайної, яка не перевищує 12 %. Низькою, проте вищою в порівнянні з сосною, є вологість зовнішнього шару дуба звичайного, яка лише наприкінці літа досягала 15 %, проте лише на висоті 0,2 м. На інших висотах вологість стовбура не перевищувала 13 %. Середні значення вологості є характерними для вільхи чорної (12-20 %) та осики (14-22 %). Найвищою є вологість стовбурів граба звичайного (24-54 %) та бука лісового (25-36 %). Для цих порід, особливо граба, зміна вологості із настанням весни найбільше виражена. Вологості зовнішнього шару стовбурів сосни, дуба та осики вкінці березня є найнижчими (окрім вільхи чорної), що зумовлено фізіологічними особливостями переходу від зими до весни. Ці величини мали тенденцію до зростання та подальшого спадання з висотою. На початку квітня значення вологості стовбурів на всіх висотах зросли, а в другій декаді – зменшилися. Практично для всіх листяних порід навесні спостерігалися локальні максимуми вологості на висотах 0,5-1 м, а локальні мінімуми – на висоті 0,3 м. Наприкінці літа вологості зросли, особливо на висотах 0,2 м, а на 1,5 м – майже не змінилися.

Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малеого Полісся

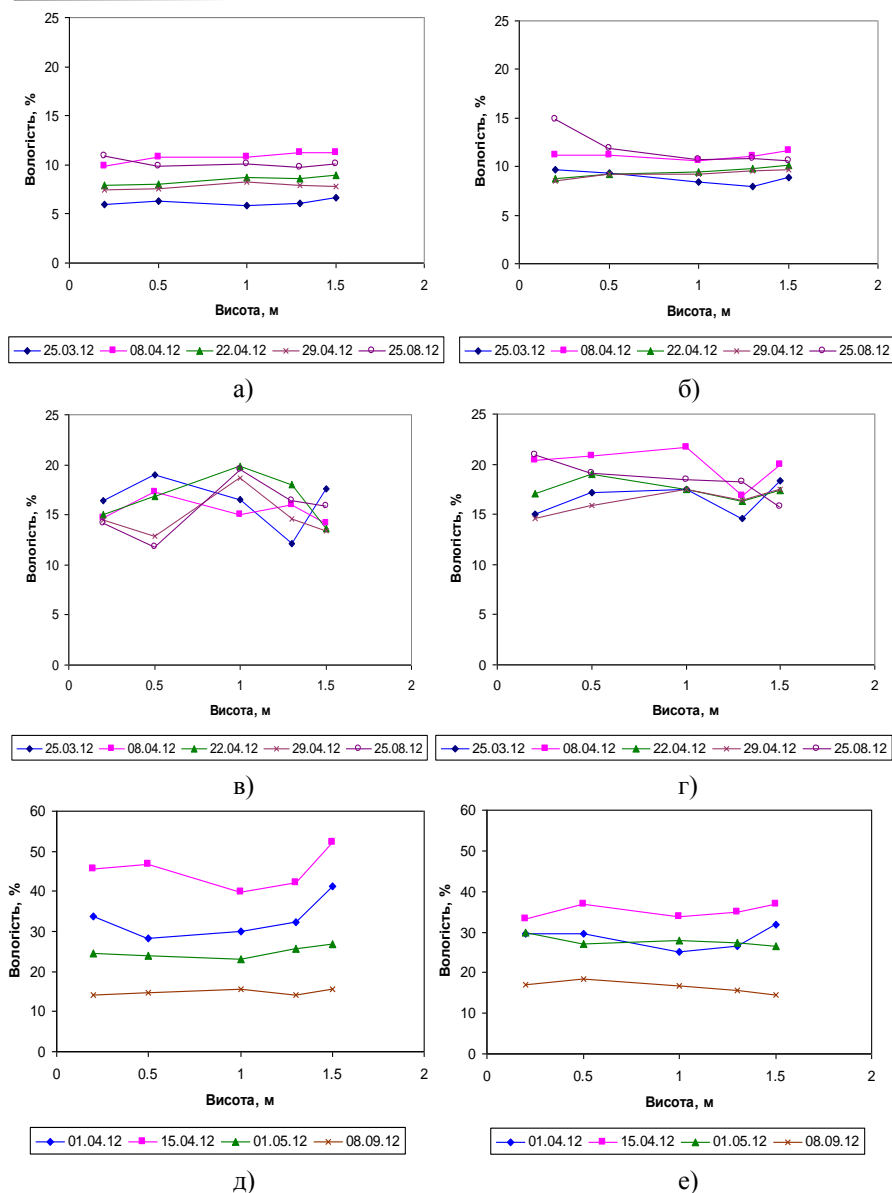


Рис. 5.25. Залежності середньої вологості зовнішнього шару стовбурів від висоти:

а – сосна звичайна; б – дуб звичайний; в – вільха чорна;
г – осика; д – граб звичайний; е – бук лісовий

Це зумовлює більшу стійкість дерев протидіяти впливу низовій пожежі, починаючи з квітня. Для вільхи чорної за незначного зменшення вологості на висоті 0,2 м спостерігався її перерозподіл на інших висотах: зменшення на висоті 0,5 м, коливання на висотах 1-1,5 м. Це може бути наслідком зниження рівня ґрунтових вод, про що свідчить висихання води в меліоративній канаві поблизу ділянки, на якій зростає вільха чорна. На початку вересня вологості стовбурів граба та бука знизилися внаслідок початку фенологічних змін. Це може сприяти займанню стовбурів дерев цих порід від полум'я низової пожежі.

Температура горючого матеріалу також впливає на його займання, оскільки йому передують нагрівання до температури піролізу. Температура поверхні стовбурів дерев залежить від висоти (рис. 5.26) і є дещо нижчою за відповідну температуру навколишнього середовища, окрім випадку нагрівання прямими потоками сонячної радіації. Це питання вже розглядалося раніше. Для більшості порід із зростанням висоти температура поверхні стовбура зростає. Незначне зниження температури на висоті 1,5 м у порівнянні з 1,3 м 01.05.2012 (див рис. 5.26 д, е), найімовірніше, зумовлене дією вітру. Проте із значним підвищенням температури повітря відбувається зниження температури стовбура осики із зростанням висоти (див. рис. 5.26 г), що може бути наслідком підвищеної транспірації вологи стовбуром з метою охолодження.

Температура поверхні стовбура не завжди однаково корелюється з вологістю, що пов'язано з сукупним впливом на температуру поверхні не лише внутрішніх факторів, але і зовнішніх: метеорологічних, мікрокліматичних, інсоляційних та ін. А вологість зумовлена, здебільшого, фізіологічними процесами, пов'язаними з фенологічними факторами, але частково залежить і від процесів водообміну з навколишнім середовищем.

Таким чином, надземна частина деревостанів усіх типів лісу вміщає близько 50 % води, яка в процесі займання та горіння повинна бути виведена висушуванням. Для хвойних порід, зокрема сосни, через особливості структури деревини висушування триває швидше і майже не залежить від пори року, що становить загрозу збільшення інтенсивності пожежі та її переходу в верхову.

Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся

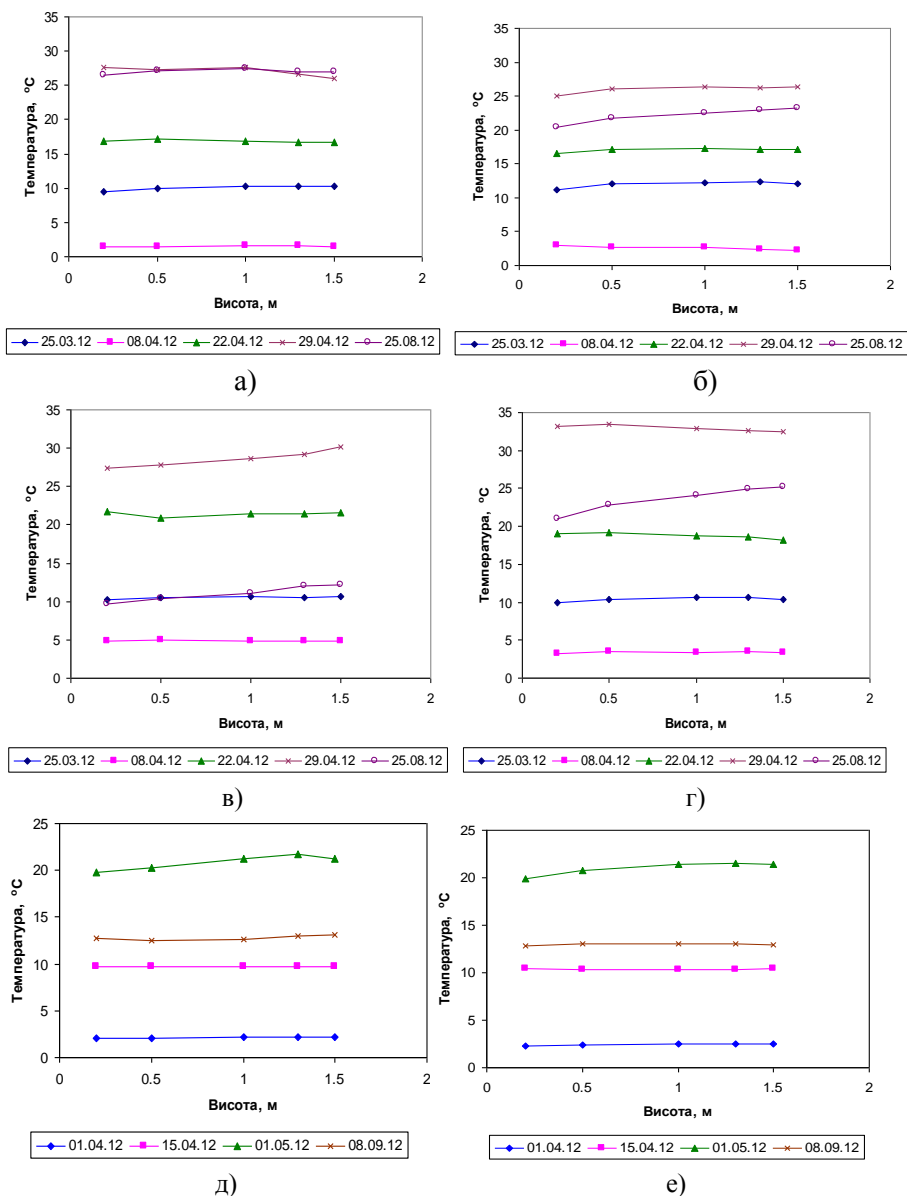


Рис. 5.26. Залежності середньої температури поверхні стовбурів від висоти:

а – сосна звичайна; б – дуб звичайний; в – вільха чорна;
г – осика; д – граб звичайний; е – бук лісовий

У листяних лісах вміст вологи починає зменшуватися з осені, а найменшим є взимку, проте в цей період зменшується і небезпека виникнення пожеж через сніговий покрив, меншу антропогенну активність і нижчу температуру повітря.

Вміст вологи в чистих і мішаних деревостанах зростає з віком. Із зменшенням частки сосни в деревостані віком до 80 р. цей показник зростає, а у віці 100 р. – спадає. Вологість зовнішнього шару стовбурів є найменшою в сосни звичайної та дуба звичайного, а найбільшою – у граба звичайного та бука лісового. Ранньою весною вологість всіх дерев є низькою, а тому пожежна небезпека лісових насаджень у цей період зростає. З настанням весни та активізацією обігу води в рослинах вологість стовбурів зростає, проте для сосни такі зміни є слабшими у порівнянні з листяними породами. Наприкінці літа та восени за умов достатнього зволоження вологість стовбурів хвойних і листяних дерев на висоті 0,2 м зростає, що забезпечує більшу пожежостійкість.

5.4. Вогнебезпечні речовини у соснових та мішаних деревостанах і їх вплив на вогнестійкість лісу

Вогнестійкість лісових насаджень зумовлена не лише запасом та вологістю горючого матеріалу, але і вмістом пожежонебезпечних речовин. Найбільшу небезпеку становлять живиця та скипидар, які містяться в тканинах хвойних дерев, зокрема у сосні звичайній. Про небезпеку свідчить і вища температура займання свіжозірваної хвої в порівнянні з сухою (див. рис. 4.2). Найбільше скипидару і живиці зосереджено в стовбурах дерев. Тому їх вміст у деревостані залежить від віку та запасу хвойних. Змодельовано залежності вмісту живиці та скипидару в надземній частині деревостанів від віку і породного складу. Методом конверсійних коефіцієнтів з припущенням, що частка цих речовин у фітомасі дерева є сталою та рівномірно розподіленою, обчислено їх вміст у гіпотетичних деревостанах різного віку та з різною часткою сосни (див. рис. 5.23-5.24). Результати наведено на рис. 5.27.

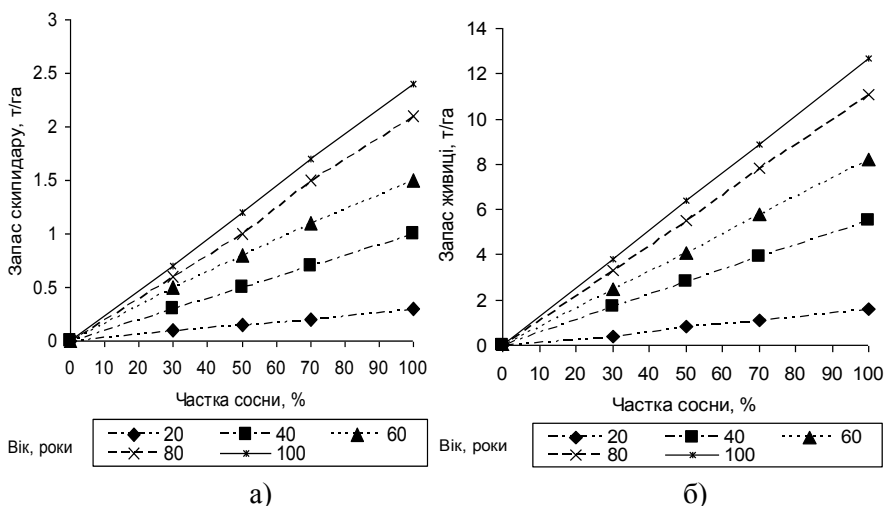


Рис. 5.27. Залежності запасу а – скипидару; б – живиці в надземній частині чистих соснових, дубових та дубово-соснових деревостанів різного віку від частки сосни

Відповідні залежності є близькими до лінійних, а вміст скипидару і живиці зростає із збільшенням віку та частки сосни в насадженні.

За цим методом в табл. 5.6 оцінено запас живиці та скипидару в надземній частині деревостанів на пробних ділянках (див. табл. А.3 додатку А).

Таблиця 5.6

Показники вмісту скипидару та живиці надземної частини окремих ділянок лісу

№ п/п	Тип лісу	Породний склад	Скипидар та живиця, кг/м ²				Частка скипидару та живиці в надземній фітомасі, %
			стовбур з корою	гілки	Хвоя	надземна	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	А ₁ С	10Сз	0,091	0,007	0,003	0,101	0,96
			0,457	0,037	0,015	0,509	4,81
2	А ₂ С	10Сз	0,171	0,011	0,004	0,186	0,96
			0,858	0,054	0,020	0,933	4,81
3	В _{2д} С	10Сз	0,180	0,014	0,005	0,199	0,96
			0,900	0,069	0,027	0,997	4,81

Продовження таблиці 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8
4	C ₂ ГДС	5Дз4Сз1Бп	<u>0,062</u> 0,311	<u>0,003</u> 0,016	<u>0,001</u> 0,005	<u>0,066</u> 0,333	<u>0,76</u> 1,76
6	A ₃ C	10Cз	<u>0,135</u> 0,678	<u>0,010</u> 0,050	<u>0,004</u> 0,019	<u>0,149</u> 0,747	<u>0,96</u> 4,81
7	BзДС	9Сз1Влч	<u>0,158</u> 0,792	<u>0,010</u> 0,052	<u>0,004</u> 0,020	<u>0,172</u> 0,863	<u>0,93</u> 4,67
8	C ₃ ГДС	7Сз1Дз2Бп	<u>0,060</u> 0,302	<u>0,004</u> 0,020	<u>0,002</u> 0,008	<u>0,066</u> 0,330	<u>0,71</u> 3,55
9	DзДГБ	10Бкл+Гз	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
10	A ₄ C	10Cз	<u>0,085</u> 0,424	<u>0,006</u> 0,032	<u>0,003</u> 0,013	<u>0,094</u> 0,469	<u>0,96</u> 4,81
11	B ₄ ДС	10Бп+Влч, Ос	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
12	C ₄ Влч	8Влч2Дз+Б п	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0
13	D ₄ Влч	10Влч+Яз	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0

Як видно з табл. 5.6, запас живиці та скипидару залежить від породного складу і зменшується із зменшенням частки сосни. На ділянках, де немає хвойних порід, ці пожежонебезпечні речовини відсутні.

Таким чином, вміст у деревостані пожежонебезпечних речовин – живиці та скипидару залежить від частки фітомаси хвойних порід, яка залежить від віку та повноти. Серед розглянутих ділянок на території Малого Полісся найбільший запас живиці в чистих хвойних деревостанах становить близько 1 кг/м², а скипидару – близько 0,2 кг/м². Найбільший приріст запасу скипидару і живиці в соснових деревостанах відбувається з віком від 20 до 40 років, а далі він дещо сповільнюється.

5.5. Пожежна небезпека лісових насаджень в різних едафотопах

Типологічна класифікація лісів відповідно до лісорослинних умов зумовлює особливості формування фітоценозів, які характеризуються різною пожежною небезпекою. Незважаючи на різноманіття пожежонебезпечних характеристик навіть у лісах одного типу, кожен едафотоп має спільні риси, які впливають на пожежну небезпеку. На основі аналі-

зу лісотипологічних особливостей [54, 312, 311, 331, 438] виділено характерні особливості кожного з едафотопів стосовно умов Малого Полісся без урахування кліматичних показників та корінних і похідних типів деревостану [217]. Використано також результати проведених польових досліджень. Відповідно до бальної шкали (див. табл. 3.2) оцінено та диференційовано едафотопи за пожежонебезпечними параметрами насаджень (рис. 5.28). Окремо оцінено пожежну небезпеку під час вегетаційного періоду та до і після його завершення за умов сухої теплої погоди навесні та восени. Виділено високий, середній та низький рівні небезпеки. Встановлено, що найбільша загальна небезпека, небезпека виникнення, поширення та переходу у верхову форму притаманна лісам борових і суборових типів лісорослинних умов. Більш безпечними є сугрудові та грудові типи з вищими показниками вологості.

Як уже зазначалося, під час комплексних польових досліджень пожежної небезпеки лісів у різних едафотопах досліджувалася пожежна небезпека лісової підстилки. Основними показниками, які характеризують небезпеку, вважали діаметр вигорання та вологість верхнього шару. Залежність середнього діаметра вигорання підстилки від едафотопів наведена в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Середні діаметри вигорання верхнього шару підстилки в деяких едафотопах, см

	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	7,9	3,6	4,5	2,8
3	17,2	3,4	7,7	7,7
4	14,4	10,0	3,3	4,5
5	-	10,0	-	-

Середні вологості верхнього шару підстилки в едафотопах наведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Середні вологості верхнього шару підстилки в деяких едафотопах, %

	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	4,1	9,0	9,7	6,2
3	4,3	6,2	3,4	3,6
4	4,0	3,4	3,3	6,0
5	-	3,4	-	-

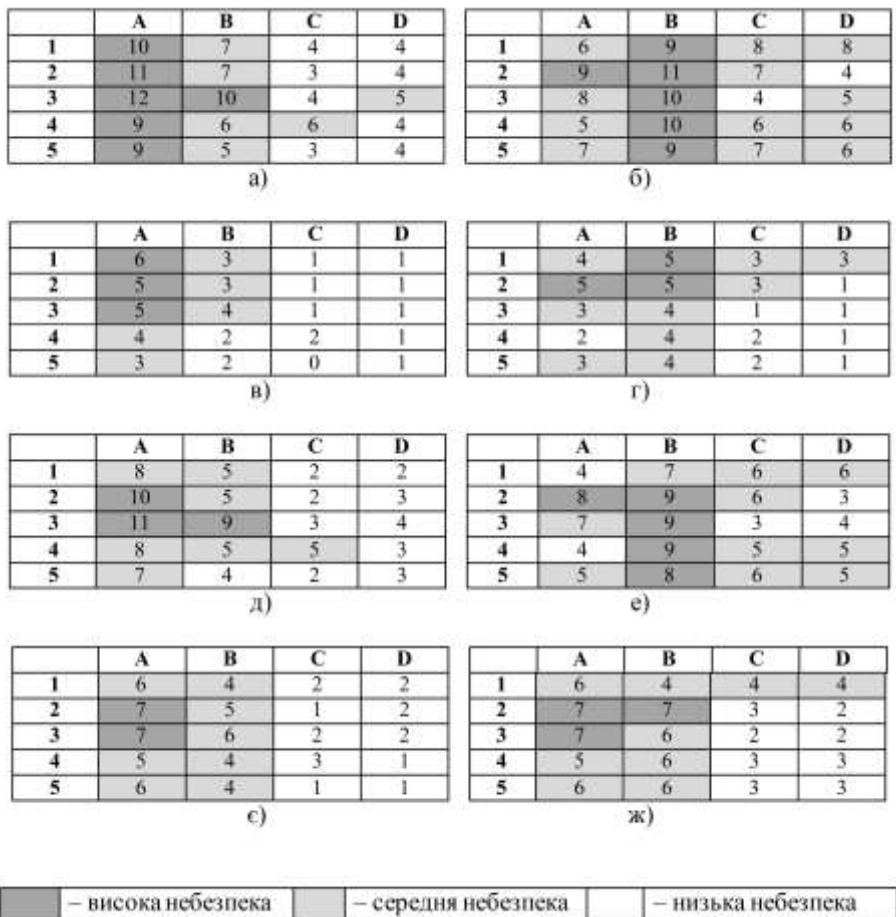


Рис. 5.28. Едафічні сітки з нанесеними відносними бальними оцінками пожежної небезпеки лісів відповідних едафотопів за сухої погоди: а – загальна у вегетаційний період; б – загальна навесні та восени; в – виникнення пожеж у вегетаційний період; г – виникнення пожеж навесні та восени; д – поширення низової пожежі у вегетаційний період; е – поширення пожежі навесні та восени; є – переходу від низової до верхової пожежі під час вегетаційного періоду; ж – переходу від низової до верхової пожежі навесні та восени

Коефіцієнт кореляції між діаметрами вигорання та значеннями вологості верхнього шару підстилки становить 0,50 (значимий із рівнем значущості 0,10). Для встановлення залежності між едафотопами і пожежною небезпекою визначено коефіцієнти кореляцій між діаметром вигорання підстилки та групами трофності і вологості (трофність позначили числами (А – 1, В – 2, С – 3 і D – 4). Коефіцієнт кореляції між показником групи трофності на пробних ділянках і діаметром вигорання становить $-0,63$ та є статистично значимим з рівнем значущості 0,05. Це означає, що пожежна небезпека зменшується із зростанням трофності. Коефіцієнт кореляції між показником групи вологості та діаметром вигорання дорівнює 0,35 і не є статистично значимим, що пояснюємо тим, що комплексні польові дослідження свіжих типів проводили невдовзі після опадів дощу, які зменшили рівень небезпеки, що відобразилося в невеликих (2,5-8 см) діаметрах вигорання, а у вологих – у період сухої погоди без дощу. Але про наявність залежності між середньою вологістю ґрунту та діаметром вигорання свідчать відповідні від'ємні коефіцієнти кореляцій $r_{1_{xy}}$ між діаметром вигорання та вологостями ґрунту на різних глибинах (табл. 5.9, статистично значимі коефіцієнти кореляцій з рівнем значущості 0,05 виділені жирним шрифтом), що дозволяє зробити припущення про зростання пожежної небезпеки не лише із тимчасовим зменшенням вологості ґрунту, але і зменшенням групи вологості едафотопу, оскільки показник вологості типу лісорослинних умов вказує на характерний для нього ступінь вологості.

Між показником трофності лісорослинних умов та середньою вологістю верхнього шару підстилки коефіцієнт кореляції становить 0,17 і свідчить про практичну відсутність зв'язку між цими величинами, оскільки зволоження верхнього шару підстилки залежить від опадів та мікрокліматичних умов. В той же час, коефіцієнт кореляції між показником вологості та вологістю верхнього шару підстилки дорівнює $-0,62$ і вказує на тісний зв'язок, але не з типами лісорослинних умов (оскільки із зростанням показника вологості вологість верхнього шару підстилки в досліджених едафотопках спадає), а з поточною вологістю ґрунтів, яка встановилася на пробних площах на момент досліджень.

Таблиця 5.9

Середні значення вологості ґрунтів, середні діаметри вигорання лісової підстилки, середні значення вологості підстилки в деяких едафотопах та коефіцієнти кореляцій між середніми вологостями ґрунтів і пожежонебезпечними показниками в едафотопах на пробних площах

Тип лісо-рослинних умов	№ п.п.	Середня вологість ґрунтів (%)							Пожежонебезпечні показники	
		на глибині, см						Серед- не ариф- мети- чне	Середній діаметр вигор- ання, см	Середня воло- гість верхньо- го шару під- стилки, %
		5	10	15	20	25	30			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A ₂	12	41,7	41,1	38,0	32,6	32,1	30,3	36,0	7,9	4,1
A ₃	13	46,8	39,4	36,1	35,6	35,0	37,3	38,4	17,2	4,3
A ₄	14	45,2	35,7	37,6	32,1	28,7	28,3	34,6	14,4	4,0
B ₂	6	55,6	69,1	76,9	80,9	76,8	74,4	72,3	3,6	9,0
B ₃	4	52,2	59,3	57,2	44,2	37,8	38,7	48,2	2,9	6,1
B ₃	7	42,0	48,2	52,7	51,9	53,0	49,3	49,5	3,4	6,4
B ₄	9	48,9	33,6	26,7	25,5	25,4	26,0	31,0	10,0	3,4
B ₅	3	28,3	33,5	29,6	28,6	25,7	26,7	28,7	10,0	3,4
C ₂	8	39,7	51,2	54,1	50,2	46,3	47,8	48,2	4,5	9,7
C ₃	1	48,9	45,7	42,4	43,2	45,3	47,3	45,5	7,7	3,4
C ₄	2	53,7	66,8	74,8	79,2	81,6	82,0	73,0	3,3	3,3
D ₂	5	57,2	80,9	84,6	83,0	82,8	85,7	79,1	2,8	6,2
D ₃	11	50,2	53,5	49,3	44,1	42,1	43,5	47,1	7,7	3,6
D ₄	10	54,9	56,9	61,1	64,2	74,2	77,4	64,8	4,5	6,0
<i>r_{1xy}</i>		-0,37	-0,75	-0,75	-0,70	-0,68	-0,66	-0,71		
<i>r_{2xy}</i>		0,15	0,47	0,53	0,48	0,41	0,39	0,45		

Про це свідчать додатні коефіцієнти кореляцій між цими величинами r_{2xy} (див табл. 5.9, курсивом виділені значимі з рівнем значущості 0,10). Проте відповідні зв'язки менш відчутні, що пов'язано з тим, що вологість верхнього шару підстилки формується під впливом ґрунтів, мікрокліматичних умов під наметом, освітленості, опадів та ін.

Загалом пожежна небезпека ділянки лісу зростає із зменшенням трофності та вологості едафотопу, що зумовлено формуванням під впливом лісорослинних умов лісів відповідних типів і породного складу з властивою їм пожежною небезпекою. Вплив показника воло-

гості типу лісорослинних умов на пожежну небезпеку є менш відчутним, оскільки він не завжди додатно корельований з вологістю підстилки, яка залежить від мікрокліматичних умов, сформованих під впливом середовища лісу і метеорологічних умов.

Взаємний вплив ґрунтів та лісових пожеж. Лісова пожежа – процес, який впливає на довкілля, в тому числі і на лісове середовище. Одним із вагомих елементів такого середовища є ґрунт. Під впливом пожежі родючий шар ґрунту зазнає пошкодження. Полум'ям і високою температурою знищуються рослини, їх кореневі системи, а також редуценти – бактерії та мікроміцети. Водночас, у ґрунті збільшується вміст мінеральних речовин, що сприяє в подальшому розвитку екзогенної сукцесії рослинного покриву. Проте ґрунт має також опосередкований вплив на пожежну небезпеку, який виявляється у створенні умов, сприятливих для виникнення лісової пожежі та її поширення. Родючість ґрунтів, яка характеризує едафотоп, є позитивним фактором у накопиченні ґрунтової біомаси, яка в сухому стані є хорошим паливом, легко займається, стаючи сприятливою основою для поширення лісових пожеж. Фільтраційні властивості ґрунтів впливають на вологісний стан наземного шару лісового горючого матеріалу.

У [195] досліджено взаємний вплив ґрунтів і лісових пожеж на основі фізико-хімічних властивостей ґрунтів лісових територій. Загалом схему взаємного впливу лісових пожеж і ґрунтів зображено на рис. 5.29.

З метою встановлення впливу властивостей ґрунтів на пожежну небезпеку лісових насаджень під час комплексних польових досліджень влітку 2012 р. відібрано проби ґрунту для лабораторних аналізів, а в польових умовах визначено поверхневу щільність, рівень Ph, вологість і температуру на різних глибинах.

Коефіцієнти кореляцій між пожежонебезпечними показниками лісової підстилки на пробних ділянках (діаметром вигорання і вологістю верхнього шару) та показниками, які характеризують ґрунти, наведено в табл. 5.10. З діаметром вигорання підстилки добре корелює вологість ґрунтів на глибині 10-30 см, із зростанням якої пожежна небезпека знижується.

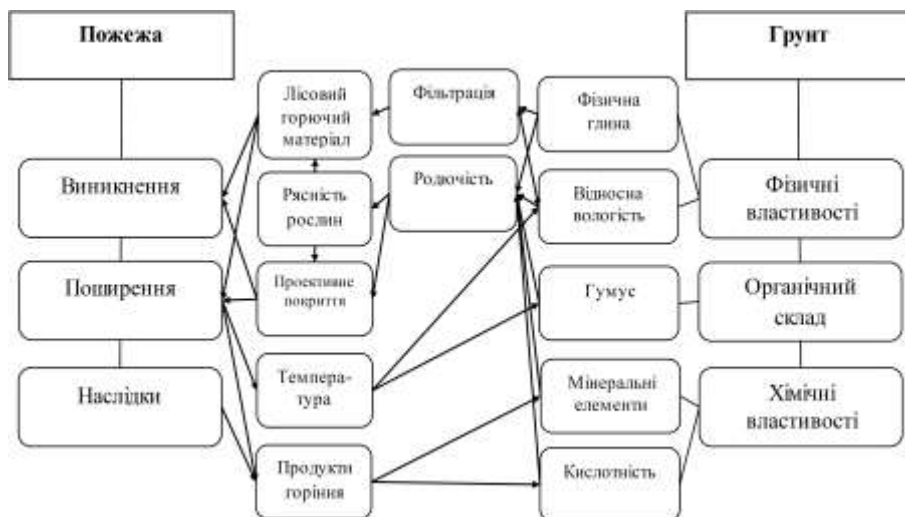


Рис. 5.29. Схема взаємного впливу пожеж та ґрунтів

Таблиця 5.10

Коефіцієнти кореляції між параметрами ґрунту на пробних ділянках та пожежонебезпечними параметрами

Параметри ґрунту на пробній ділянці			Назва пожежонебезпечного параметра пробної ділянки	
			Діаметр вигорання підстилки	Вологість верхнього шару підстилки
Вологість ґрунту	на глибині	5 см	-0,18	0,13
		10 см	-0,54	0,41
		15 см	-0,59	0,45
		20 см	-0,55	0,38
		25 см	-0,53	0,33
		30 см	-0,52	0,29
Температура ґрунту	на поверхні		0,53	-0,42
	на глибині	5 см	0,37	-0,38
		10 см	0,32	-0,32
		15 см	0,20	-0,26
		20 см	0,08	-0,17
рН			-0,18	-0,11
Щільність			0,49	-0,35

Це пояснюємо вологопровідністю ґрунту внаслідок якої відбувається випаровування, яке погіршує умови горіння. Найбільш тісним є зв'язок діаметра вигорання з вологістю ґрунту на глибині 15 см. Температура поверхні ґрунту також тісно пов'язана з діаметром вигорання, який зростає одночасно з її зростанням за рахунок інтенсифікації процесів висушування. Слабшим, проте значимим з рівнем значущості 0,05 є кореляційний зв'язок з температурою на глибині 5-10 см. Добре корельованим є такий параметр, як щільність ґрунту, із зростанням якого зростає пожежна небезпека. Для аналізу причин такого зв'язку обчислено коефіцієнти кореляцій між щільністю ґрунту та вологістю. Виявлено, що вологість ґрунту на глибині починаючи з 10 см зменшується із зростанням щільності верхнього шару за рахунок сповільнення фільтрації. Це призводить до затримування опадів поверхневими шарами та їх швидкого випаровування, що, на нашу думку, спричинює зростання пожежної небезпеки на ділянках з підвищеною щільністю ґрунту.

Між вологістю верхнього шару підстилки та вологісними і температурними параметрами ґрунтів кореляційні залежності подібні до описаних вище, але коефіцієнти кореляції мають протилежні знаки та дещо менші за модулем. Між рівнем рН ґрунту та пожежонебезпечними параметрами кореляційні зв'язки дуже слабкі та не є значимими. Залежність між гранулометричним складом ґрунту і пожежною небезпекою вже розглядалася при оцінюванні впливу трофності на пожежну небезпеку. Встановлено, що пожежна небезпека зростає із зменшенням трофності, внаслідок якого зростає інтенсивність фільтрації, що сприяє швидшому висушуванню підстилки.

Для детальнішого вивчення взаємозв'язку між фізико-хімічними властивостями ґрунтів і пожежною небезпекою проведено лабораторні дослідження ґрунтів у науково-дослідній лабораторії "Фізико-хімічних аналізів ґрунтів" Львівського національного університету ім. І. Франка. Результати наведено в табл. 5.11. За результатами виявлено деякі невідповідності між типами лісорослинних умов і гранулометричним складом ґрунтів. Зв'язно-піщаними є ґрунти на пробних площах 4 (B₃) і 14 (A₄), супіщаними – на 12 (A₂), 13 (A₃) та 3 (B₅), легкосуглинковими – на 6 (B₂), 9 (B₄), 8 (C₂), 1 (C₃), 2 (C₄), а також 11 (D₃) і 10 (D₄), середньосуглинковими – на 7 (B₃), а важкосуглинковими – на пробній площі 5 (D₂). Невідповідності, на нашу думку, пов'язані здебільшого з участю листяних порід у деревостані, подекуди заболоченістю територій і межуванням з ділянками, на яких ґрунти різняться багатством. За сольовим і водним рН ґрунти на всіх пробних площах є сильнокислими, окрім 5 (D₂) та 6 (B₂). За вмістом гумусу безгумусними є ґрунти на пробній площі 8, мізерно незначним є його вміст на 4 і 7 пробних

площад, низькогумусними є 12, 13, 14, 6, 9, 3 і 2, а на решті – середньогумусними. За коефіцієнтами кореляцій між пожежонебезпечними параметрами та властивостями ґрунтів виявлено значимі кореляційні зв'язки $r_{1_{xy}}$ між діаметром вигорання та сольовим рН, ввібраним Ca^{2+} (рівень значущості 0,10) та гранулометричним складом ґрунту (рівень значущості 0,05).

Таблиця 5.11

Фізико-хімічні властивості ґрунтів на пробних площах

Тип лісо-рослин-них умов	№ п.п.	рН		Гумус, %	Ввібрані		Рухомі		Азот легко-гідролізованний, мг на 100 г ґрунту	Фізична глина, %
		сольове	водне		Ca^{2+}	Mg^{2+}	P_2O_5	K_2O		
A ₂	12	2,36	3,34	3,88	3,60	3,21	0,80	10,68	7,07	14,76
A ₃	13	2,35	3,32	2,63	3,20	3,20	0,60	5,67	5,46	10,20
A ₄	14	2,40	3,49	2,39	4,00	3,22	1,10	7,80	5,74	9,28
B ₂	6	3,76	4,62	2,72	7,82	0,80	0,45	8,88	16,94	28,00
B ₃	4	2,41	3,43	1,44	3,20	2,81	1,30	4,23	3,22	8,48
B ₃	7	2,87	3,79	1,08	3,20	3,40	1,95	3,51	5,18	30,80
B ₄	9	2,55	3,47	3,12	3,61	3,59	0,40	7,11	8,82	28,08
B ₅	3	2,45	3,23	3,47	2,40	2,00	0,45	3,15	9,80	13,20
C ₂	8	3,06	4,22	0,73	4,40	3,60	2,60	3,51	4,20	28,80
C ₃	1	2,75	3,43	4,57	7,20	6,40	0,25	20,10	20,58	21,68
C ₄	2	3,02	3,73	2,76	8,82	5,60	0,20	10,68	17,78	24,64
D ₂	5	6,02	6,74	4,53	10,21	7,40	3,28	11,40	18,69	46,36
D ₃	11	2,57	3,20	4,48	4,42	4,00	1,90	13,20	20,72	21,60
D ₄	10	2,76	3,31	4,31	4,40	3,60	1,70	15,69	26,32	26,72
$r_{1_{xy}}$		-0,48	-0,44	0,10	-0,47	-0,20	-0,40	-0,12	-0,32	-0,60
$r_{2_{xy}}$		0,39	0,46	-0,51	0,15	-0,28	0,51	-0,30	-0,12	0,40

Це співпадає із зробленим припущенням про залежність пожежної небезпеки від трюфності, зростання якої супроводжується зростанням таких показників, як фізична глина та рН. Справедливим є і припущення про залежність пожежної небезпеки від вмісту ввібраного кальцію, який прискорює мінералізацію підстилки. Кореляційні зв'язки $r_{2_{xy}}$ між вологістю верхнього шару підстилки і водним рН, вмістом гумусу та рухомих P_2O_5 (рівень значущості 0,10) також підтверджують припущення про залежність вологості верхнього шару від багатства ґрунтів.

Оскільки на території Малого Полісся не виявлено значних за масштабами лісових пожеж, вплив таких пожеж на ґрунти досліджено у Голопристанському районі Херсонської обл., у місцях виникнення масштабних лісових пожеж. Рослинні та ґрунтові умови цих територій, на відміну від Малого Полісся, здебільшого є однорідними. Основними типами лісів на цій території є світлохвойні соснові, сосново-дубові та дубово-соснові, які зростають на борових терасах річок [103]. Ґрунти цієї території дерново-піщані та глинисто-піщані, переважно неоглеєні з слабогумусованими пісками подекуди з кучугурним рельєфом і чорноземні піщані. Пожежна небезпека у таких лісах є високою через низьку вологість підстилки та ґрунту, зумовлену значною фільтрацією ґрунтів, а також погоднo-кліматичними умовами степу. Її посилює повільна мінералізація хвойної підстилки та ксерофільні трав'яні рослини, які легко займаються в сухому стані.

У лісах борових та суборових типів, створених на Олешківських пісках у 50-х роках минулого століття [340], досліджено ділянки хвойного, мішаного та листяного лісу. Серед хвойних порід переважає сосна звичайна, проте зустрічається і сосна кримська. У мішаних лісах поруч із сосною зростають дуб звичайний та акація біла. Листяні ліси складаються переважно з акації білої. Наземний ярус сформований значною кількістю трав. У хвойних лісах підріст практично не спостерігається.

Для аналізу відібрано проби ґрунту з ділянок лісу, які зазнали впливу вогню, та які уникнули пожежі. Дослідження проводилися на 5 ділянках: I – сосновий ліс, який знищений пожежею, II – межа соснового лісу, знищеного пожежею, та вцілілого, III – сосновий ліс, який не зазнав впливу пожежі, IV – мішаний ліс (сосна звичайна та акація біла), V – листяний ліс (акація біла).

Відбір проб здійснювали 28.07.2008 біля полудня. Температура повітря біля поверхні ґрунту становила 36-39°C, його відносна вологість – 21-31%. Вологість ґрунту вимірювали на глибині 15 см. Результати досліджень наведені в табл. 5.12. Аналіз гранулометричного складу підтвердив належність лісів цієї території до борових і суборових типів. Ґрунти з такими показниками фізичної глини, як на ділянках I-IV, у лісах Малого Полісся не зустрічалися. Лише на ділянці V ґрунти легкосуглинкові.

Таблиця 5.12

**Фізико-хімічні властивості ґрунтів на території
Голопристанського лісництва (Херсонська обл.)**

№ п.п.	рН		Гумус, %	Ввібрані		Рухомі		Азот лег- когідролі- зований, мг на 100 г ґрунту	Фізич- на глина, %	Воло- гість ґрун- ту, %
	сольове	водне		Ca ²⁺	Mg ²⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O			
				мг-екв на 100 г ґрунту		мг на 100 г ґрунту				
I	6,65	4,85	0,09	11,60	1,00	4,20	1,73	2,80	4,60	15,4
II	6,41	5,07	2,24	9,60	0,80	9,00	7,20	8,40	5,60	16,0
III	6,12	4,90	0,43	6,40	2,00	11,40	2,80	4,20	8,20	21,7
IV	6,40	5,19	0,30	4,00	1,60	6,60	3,87	2,80	4,84	25,7
V	5,29	4,84	2,84	10,00	4,40	11,40	6,08	26,60	9,68	35,5
<i>rI_{xy}</i>	-0,90	-0,14	0,48	-0,22	0,94	0,55	0,30	0,78	0,73	

Найбагатшими є ґрунти на ділянках мішаного та листяного лісів. На ділянках, в цілому, вміст гумусу нижчий у порівнянні з Малим Поліссям. Вміст гумусу на ділянці I, яка зазнала впливу інтенсивної пожежі, практично відсутній. Найбільшим є вміст гумусу в ґрунтах з ділянок II та V. На цих ділянках, особливо на ділянці листяного лісу V, вміст майже всіх поживних речовин переважає ділянки соснових лісів, у тому числі, знищені лісовою пожежею. Високий вміст ввібраного Ca²⁺ на ділянці I є наслідком пожежі, а не мінералізації листяної підстилки, як у Малому Поліссі. Рівень рН на ділянках відрізняється незначно і є вищим, ніж у лісах Малого Полісся, що можна пояснити лише фільтраційними властивостями пісків.

Для визначення впливу властивостей ґрунтів на пожежну небезпеку застосовано кореляційний аналіз. Обчислено коефіцієнти кореляції *rI_{xy}* між вологістю ґрунту та іншими фізико-хімічними властивостями (див. табл. 5.12). Високий від'ємний коефіцієнт кореляції між рівнем сольового рН і вологістю ґрунту є протилежним до даних Малого Полісся, для яких він становить 0,70, і спричинений відмінностями кислотності внаслідок фільтрації. Інші кореляційні залежності в більшості співпадають з даними Малого Полісся.

Для дослідження зв'язків між властивостями ґрунтів і пожежною небезпекою введено індекси відповідних ознак ділянок. Для вивчення зв'язку з ознакою пожежі ділянкам, які не зазнали (III-V), частково зазнали (II) та зазнали (I) її впливу, присвоєно індекси 0, 1 та 2, відповідно. Щодо ознаки породного складу лісу, то ділянкам хвойного (I-III), мішаного (IV) та листяного лісу (V) присвоєно індекси 2, 1 та 0. Окремо встановлено корельованість між ознакою пожежі та властиво-

стями ґрунту для ділянок хвойного лісу (I-III), а також між ознакою порід і складом ґрунту без впливу пожежі (ділянки III-V). Коефіцієнти кореляції між ознаками ділянок і відповідними властивостями ґрунтів за результатами аналізів наведено на рис. 5.30.

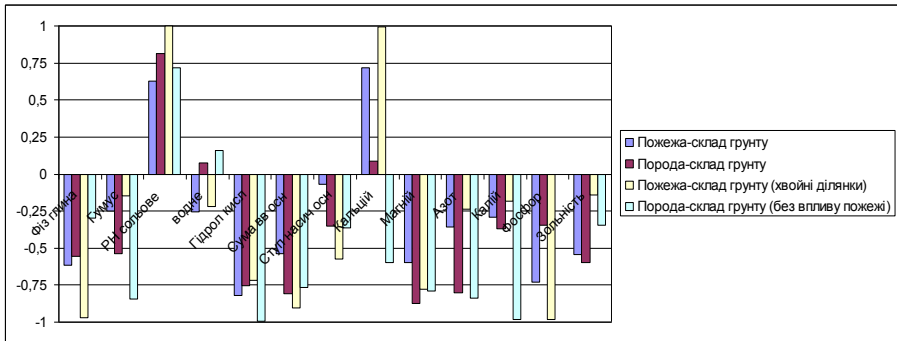


Рис. 5.30. Корельованість властивостей ґрунту та ознак ділянок

Внаслідок пожежі вміст поживних речовин у ґрунті (гумусу та більшості мінеральних елементів) знижується, спостерігається лише зростання вмісту кальцію. Найбільш помітним є вплив пожежі на зниження вмісту магнію та фосфору, а також зольності підстилки. Майже така ж залежність спостерігається і при окремому розгляді ділянок хвойного лісу. Це може свідчити про певне зменшення родючості ґрунтів внаслідок пожежі та початок процесів ерозії. Відчутний вплив пожежі виявлено на такі властивості ґрунту, як фізична глина, гідролітична кислотність і сума ввібраних основ. Розглядаючи вплив порід на властивості ґрунту, виявлено, що він також є відчутним: із збільшенням частки листяних порід спостерігається збільшення числових значень показників для таких властивостей ґрунту: фізичної глини, вмісту гумусу, гідролітичної кислотності, суми ввібраних основ, ступеню насиченості основами, вмісту мінеральних речовин (окрім кальцію), особливо магнію та азоту та зольність підстилки. Спостерігається при цьому і зниження сольового рН. Вплив хімічних властивостей ґрунту на пожежну небезпеку виражений слабше. Але високий вміст гумусу та інших поживних елементів є характернішим для ділянок мішаного та листяного лісу, що призводить до збільшення густоти і запасу трав'яного покриву, який в сухому стані становить значну пожежну небезпеку. У вегетаційний період ризик пожежі значно знижується. Вологісний стан ґрунту зумовлений гідрологічними умовами, гранулометричним складом і впливає на горючість лісової підстилки. Вологість піщаних ґрунтів у хвойних лісах є нижчою, ніж супіщаних у мішаних та листяних, зумовлюючи неоднакову пожежну небезпеку насаджень.

Таким чином, пожежна небезпека лісових насаджень як в умовах Малого Полісся, так і в Херсонській обл. зумовлена не лише породним складом, але і ґрунтовими умовами, оскільки фільтрація піщаних і супіщаних ґрунтів призводить до зменшення вологості підстилки, а низька родючість сприяє зростанню сосни, що відображається у відповідних типах лісорослинних умов та спричиняє пожежонебезпечний стан. Масштабні лісові пожежі призводять до погіршення родючості ґрунтів, що ускладнює лісовідновлення на згарищах.

5.6. Пожежостійкість рослин наземного яруса лісів

Пожежна небезпека в едафотобах залежить не лише від порід дерев та сформованої ними підстилки, але і трав'яних рослин, які входять до складу асоціацій і мікроедафотобах, є індикаторами типів лісорослинних умов та мають різну пожежну небезпеку. Пожежна небезпека рослин наземного яруса є високою в сухому стані, у якому вони легко займаються, а їх рясність характеризує відповідний запас горючого матеріалу після завершення вегетаційного періоду восени та навесні після сходження снігу і висихання. Зв'язне проективне покриття таких рослин у сухому стані є основою для поширення горіння. Під час експериментальних досліджень, описаних у розділі 4, виявлено, що в порівнянні з листяною та хвойною підстилками полум'я при згорянні трав'яних рослин в сухому стані має більшу висоту і випромінює більший тепловий потік, сприяючи займанню інших видів лісових горючих матеріалів. Протягом вегетаційного періоду трав'яні рослини містять значну кількість води, що зменшує їх пожежну небезпеку. Проте різні рослини мають неоднакову здатність до займання та горіння, зумовлену не лише вмістом води, але й морфологічними та фізіологічними особливостями.

З метою аналізу пожежонебезпеки наземного яруса в едафотобах [54] нанесено на едафічну сітку окремо ареали поширення пожежонебезпечних (рис. 5.31), слабкозаймистих і вогнестійких (рис. 5.32) рослин за запропонованою І. С. Мелеховим у [268] класифікацією [214]. Пожежонебезпечні рослини притаманні майже всім едафотобам. Проте їх небезпека є сезонною та найбільше виявляється в сухих і свіжих борових та суборових типах, яким притаманні інші фактори, які сприяють виникненню й поширенню пожеж. На фенологічні етапи зростання трав'яних рослин впливають еколого-просторові особливості середовища та погоднокліматичні умови. Слабкозаймисті та вогнестійкі рослини зустрічаються у всіх типах лісорослинних умов, проте їх наявність у лісах борових і, подекуди, суборових типів з недостатнім зволоженням через незначну рясність не може повністю знизити небезпеку пожеж. Взаємно-

однозначної відповідності між пожежонебезпечними властивостями трав'яних рослин та едафотопами немає.

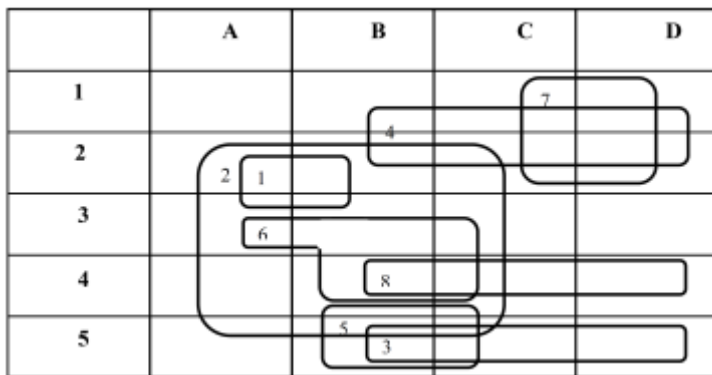


Рис. 5.31. Пожежонебезпечні трав'яні рослини [268] в едафотопах [54]:
 1 – *Calluna* (вереск); 2 – *Vaccinium* (чорниця); 3 – *Calamagrostis* (куничник);
 4 – *Poa* (тонконіг); 5 – *Agrostis* (польовиця); 6 – *Nardus* (біловус); 7 – *Festuca*
 (вівсяниця); 8 – *Deschampsia* (щучник)

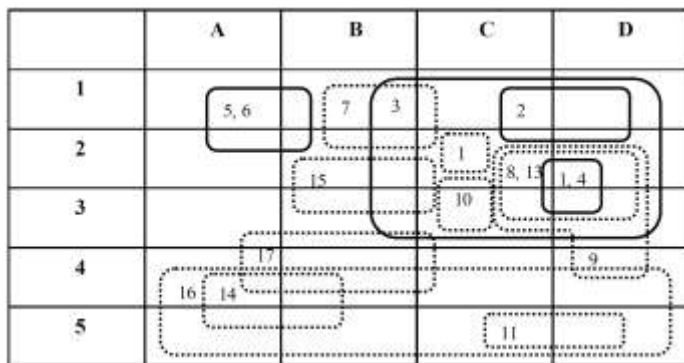


Рис. 5.32. Слабкозаймісті (1-6) та вогнестійкі (7-17) трав'яні рослини [268] в едафотопах [54]:

- 1 – *Aconitum* (борець); 2 – *Filipendula* (гадючник); 3 – *Geranium* (журавець);
 4 – *Aegopodium* (яглиця); 5 – *Antennaria dioica* (котяча лапка);
 6 – *Arctostaphylos uva ursi* (толокнянка); 7 – *Vicia cracca* (мишачий горошок);
 8 – *Geum urbanum* (гравілат міський); 9 – *Stellaria* (зірочник); 10 – *Anthriscus silvestris* (бугиля лісова); 11 – *Lathyrus* (чина); 12 – *Melampyrum* (перестріч);
 13 – *Trollius* (купальниця); 14 – *Ledum palustre* (багно звичайне);
 15 – *Lycoperidium complanatum* (зелениця сплюснута, плаун сплюснутий);
 16 – *Sphagnum* (сфагнум); 17 – *Polytrichum commune* (зозулин льон)

Це зумовлено невідповідністю між кількістю типів лісорослинних умов (20 типів) та класів пожежонебезпечних властивостей рослин (3 класи), представники яких зустрічаються в більшості едафотопів. Для виявлення залежності пожежної небезпеки від видового складу наземної рослинності спочатку висунуто гіпотезу про зв'язок пожежної небезпеки рослин з їх потребами до вологи та родючості ґрунтів, тобто небезпека зменшується з переходом від оліготрофів до мезо- та мегатрофів, а також від ксерофітів до мезо- і гігрофітів. Цю гіпотезу підтверджено лише частково, оскільки і серед гігрофітів та мегатрофів зустрічаються пожежонебезпечні рослини, а слабкозаймистими і вогнестійкими є як ксерофіти, так і оліготрофи. У лісах з індексами вологості 4 та 5, які належать до тропотопів С і D, вплив таких рослин значно послаблює пожежну небезпеку.

Проаналізований перелік трав'яних рослин є неповним і не дає можливості оцінити пожежну небезпеку довільної ділянки як у Малому Поліссі, так і на інших територіях. Тому розширено перелік пожежонебезпечних, слабкозаймистих та вогнестійких рослин, які зростають на території Малого Полісся у лісах з едафотопами [66, 68]. Окрім відсутності вимог до зволоження та багатства ґрунтів, основними ознаками пожежонебезпечності трав'яних рослин вважали з урахуванням [496] товщину стебла та листків, їх м'ясистість, а також видову належність, використовуючи аналогію з проаналізованою вище класифікацією Мелехова [268]. Враховували пожежонебезпечні характеристики найпоширеніших рослин [380] і результати власних досліджень (див. розділ 4). Класифікацію рослин за пожежною небезпекою відповідно до типів лісорослинних умов наведено в додатку М.

До пожежонебезпечних трав'яних рослин відносимо, насамперед, різноманітні види злаків або тонконогових, для яких характерним є високе та тонке стебло-соломинка, яке швидко висихає на корені після завершення вегетаційного періоду, особливо за умов посухи. Тонконогові небезпечні не лише в сухому стані, але і у вегетаційний період, оскільки під час пожежі швидко висихають і займаються. Проте рясність злаків в сухих борах Малого Полісся є невисокою, оскільки вони потребують достатнього зволоження та (або) родючості. Найбільше рослин родини тонконогових є в суборових умовах, особливо у В₃-В₅, однак їх можна зустріти і в інших лісорослинних умовах з індексами вологості 3-5. До пожежонебезпечних відносимо рослини родини осокових. Незважаючи на те, що осокам характерна дещо вища температура займання у порівнянні зі злаками (див. рис. 4.3), в сухому стані вони ста-

новлять значну небезпеку, оскільки мають тонкі довгі листки і зростають переважно щільними групами. Ареалами їх поширення є, переважно, груди та ділянки з типом лісорослинних умов В₅. Пожежонебезпечними є деякі види вересових (верес, чорниця, брусниця, буяхи та ін.), які зустрічаються в А₂, А₃, В₂, В₃, С₂ і С₃. Такі рослини швидко висихають і стають легкозаймистими. Зелені мохи та лишайники, які пристосовані до сухих, свіжих та вологих олігомезотрофних умов (А₁, В₁, А₂, В₂, А₃, В₃), під час посухи швидко висихають і можуть легко займатися. Найбільш поширеними пожежонебезпечними мохами є гілокомій блискучий, дикран багатоніжковий, плевроцій Шребера, птилій пірчастий. До пожежонебезпечних лишайників відносимо кладонію звичайну, кладонію м'яку, кладонію оленячу, кладонію струнку, Розташування мохів і лишайників на стовбурах дерев та пеньках за умов посухи збільшує небезпеку їх займання та переходу пожежі у верхову.

Слабкозаймисті рослини набагато повільніше висихають та гірше займаються. Наприклад, толокнянка не займається від сірника [268]. Це зумовлено запасом вологи у стеблі та листках. До слабкозаймистих належать рослин-мезофіти, які є здебільшого мезотрофами. Інтенсивне горіння таких рослин можливе лише за умов високої інтенсивності пожеж і сильної посухи. У Малому Поліссі представниками цієї групи є золотарник, безсмертник, звіробій, деревій, суніця, кислиця, вовче тіло та ін.

Вогнестійкі рослини мають товстіші стебла та листя в порівнянні з пожежонебезпечними та слабкозаймистими, що сповільнює їх висушування перед займанням і горінням. До них належать трав'яні рослини рядів: бобовоцвіті, губоцвіті, зонтичні, плауновидні, папоротеподібні, хвощевидні, деякі розоцвіті, вересоцвіті та жовтецевоцвіті. Вогнестійкими є мохи сфагнум та зозулин льон.

Під час комплексних польових досліджень визначено видовий склад наземного яруса рослин, їх екологічні та пожежонебезпечні властивості, кількість особин на 1 м² (додаток Н), загальне проективне покриття, видове біорізноманіття за абсолютними та відносними шкалами Сімпсона і Шеннона (табл. 5.13). Між загальною кількістю особин і вологістю верхнього шару підстилки є тісний кореляційний зв'язок з рівнем значущості 0,05. Зв'язок з аналогічною тісністю встановлено між діаметром вигорання, вологістю верхнього шару підстилки та загальним проективним покриттям наземного яруса. Регресійні залежності (рис. 5.33) свідчать про зниження вологості підстилки і зростання пожежонебезпеки внаслідок споживання води рослинами та інсоляційного режиму, що сприяє фотосинтезу і висушує підстилку.

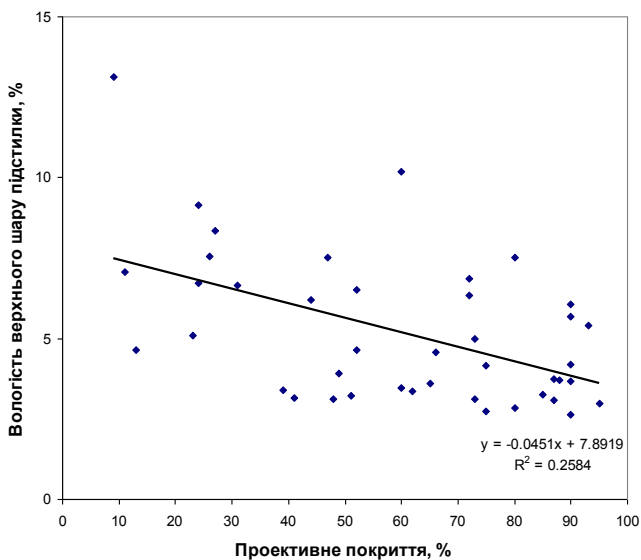
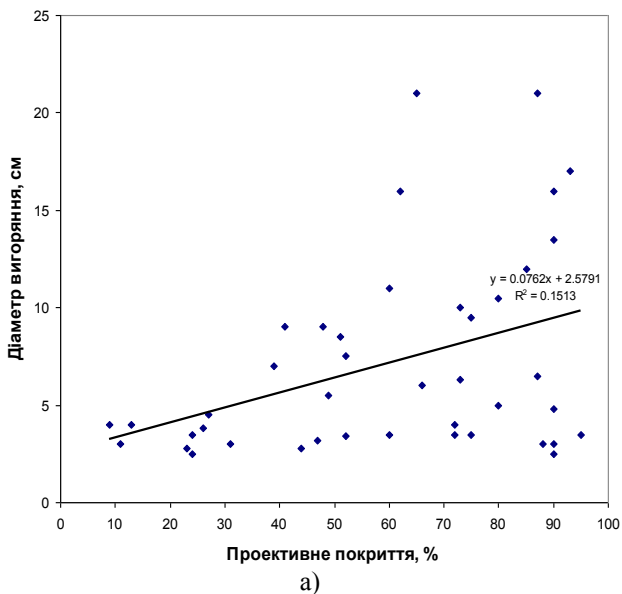


Рис. 5.33. Залежності від проективного покриття на пробних ділянках: а – діаметра вигорання; б – вологості верхнього шару підстилки

Рослини згруповано за 5-ма ознаками вимог до трофності та 6-ма – до вологості лісорослинних умов. За потребами трофності у рослин розподіл (рис. 5.34) в цілому відповідає едафотопам. Проте у борових типах наземний ярус представлений не лише оліготрофами, але і мезотрофами (ділянки 40-42), а у суборових типах подекуди переважають мегатрофи (ділянки 16-21).

Таблиця 5.13

Загальна кількість особин наземного яруса на 1 м² на пробних ділянках, кількість видів, видове біорізноманіття, проєктивне покриття та коефіцієнти кореляції між параметрами наземного яруса та діаметром вигорання r_{1xy} і вологістю верхнього шару підстилки r_{2xy}

№ ділянки і ТЛРУ	Загальна кількість особин N, од.	Кількість видів S, од.	Проєктивне покриття загальне, %	Індекс біорізноманіття Сімпсона D	Рівномірність розподілу E	Індекс біорізноманіття Шеннона H (логарифм з основою 2)	Рівномірність розподілу J
1	2	3	4	5	6	7	8
1-C ₃	78	5	51	2,25	0,45	1,53	0,66
2-C ₃	57	6	48	2,19	0,37	1,57	0,61
3-C ₃	202	2	49	1,11	0,56	0,31	0,31
4-C ₄	479	4	90	1,34	0,34	0,78	0,39
5-C ₄	421	3	95	1,29	0,43	0,65	0,41
6-C ₄	144	6	75	2,19	0,36	1,47	0,57
7-B ₅	193	6	75	3,19	0,53	1,92	0,74
8-B ₅	90	5	80	2,05	0,41	1,45	0,62
9-B ₅	226	6	73	2,02	0,34	1,52	0,59
10-B ₃	124	7	72	4,27	0,61	2,34	0,83
11-B ₃	66	4	44	1,70	0,43	1,01	0,51
12-B ₃	178	5	90	2,21	0,44	1,34	0,58
13-D ₂	35	5	24	3,41	0,68	2,02	0,87
14-D ₂	51	8	31	6,90	0,86	2,88	0,96
15-D ₂	25	5	23	3,74	0,75	2,03	0,88
16-B ₂	29	4	24	2,08	0,52	1,40	0,70
17-B ₂	45	3	26	2,15	0,72	1,21	0,76
18-B ₂	128	4	60	1,94	0,49	1,26	0,63
19-B ₃	153	3	47	1,24	0,41	0,56	0,35
20-B ₃	39	3	13	1,79	0,60	1,12	0,71
21-B ₃	13	2	11	1,17	0,58	0,39	0,39
22-C ₂	76	3	27	1,20	0,40	0,50	0,31

Продовження таблиці 5.13

1	2	3	4	5	6	7	8
23-C ₂	10	3	9	1,52	0,51	0,92	0,58
24-C ₂	18	1	80	1,00	1,00	0,00	1,00
25-B ₄	115	4	85	1,71	0,43	1,12	0,56
26-B ₄	91	6	60	2,12	0,35	1,57	0,61
27-B ₄	82	4	39	2,57	0,64	1,59	0,79
28-D ₄	108	2	72	1,02	0,51	0,08	0,08
29-D ₄	76	3	52	1,34	0,45	0,72	0,45
30-D ₄	105	4	66	1,35	0,34	0,80	0,40
31-D ₃	68	5	41	1,55	0,31	1,09	0,47
32-D ₃	101	7	52	4,55	0,65	2,40	0,85
33-D ₃	287	5	87	3,18	0,64	1,85	0,80
34-A ₂	278	3	88	1,62	0,54	0,85	0,53
35-A ₂	270	2	90	1,62	0,81	0,83	0,83
36-A ₂	150	2	90	1,01	0,51	0,06	0,06
37-A ₃	279	6	90	2,50	0,42	1,60	0,62
38-A ₃	253	5	93	1,33	0,27	0,72	0,31
39-A ₃	193	2	87	1,06	0,53	0,20	0,20
40-A ₄	279	3	73	2,28	0,76	1,37	0,87
41-A ₄	197	4	65	3,75	0,94	1,95	0,98
42-A ₄	207	4	62	3,46	0,86	1,89	0,95
rI_{xy}	0.25	0.05	0.39	0.02	0.09	0.06	0.08
$r2_{xy}$	-0.46	-0.25	-0.51	-0.08	0.09	-0.19	-0.07

Відповідно до розподілу рослин за відношенням до трофності обчислено уточнені показники трофності пробних ділянок за формулою

$$n_T = \frac{4 \sum_{k=1}^5 k \cdot n_k}{\sum_{k=1}^5 n_k} \quad (5.1)$$

для 5-и груп рослин з номерами k (1 – оліготроф, 2 – олігомезотроф, 3 – мезотроф, 4 – мегамезотроф, 5 – мегатроф), n_k – кількість рослин в кожній групі. Уточнені показники трофності добре корелюють з лісотаксаційними даними (коефіцієнт кореляції 0,79). Залежності між показниками трофності за лісотаксаційними даними та відповідними уточненими значеннями зображено на рис. 5.36 а. Найбільші відхилення показників на ділянках з трофотопами В, що, на нашу думку, зумовлене поширенням рослин з сусідніх виділів з іншими лісорослинними умовами та недостатньо чіткими межами едафотопів.

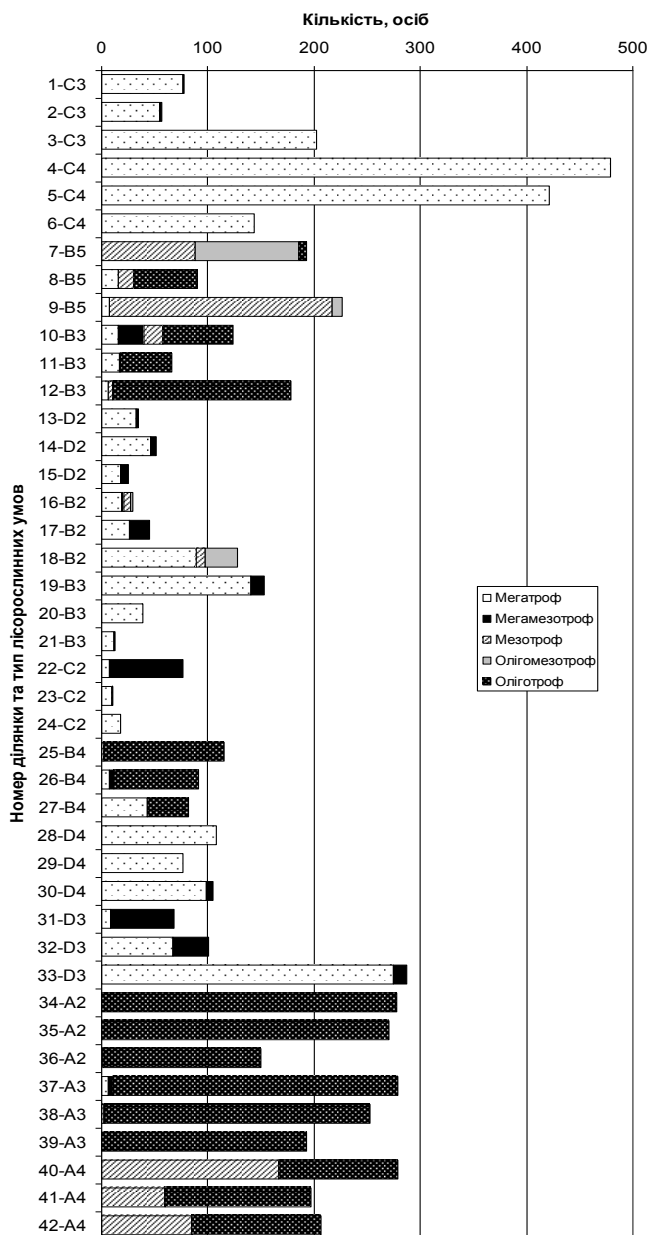


Рис. 5.34. Розподіл на пробних ділянках кількостей рослин наземного ярусу на 1 м² за трофістю

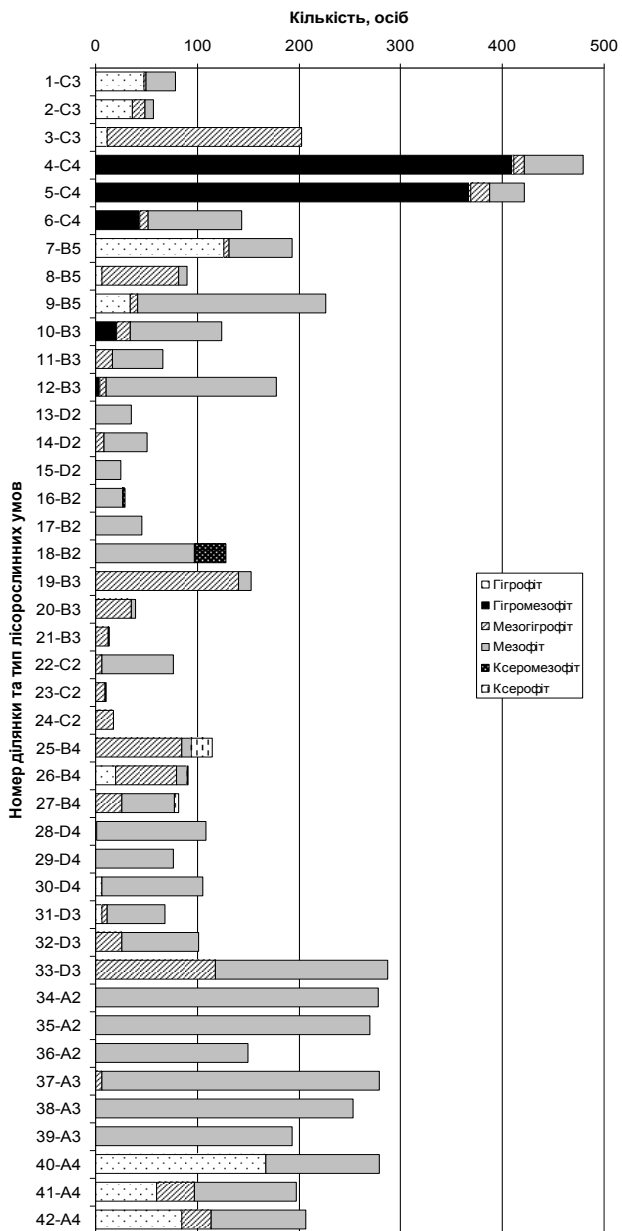


Рис. 5.35. Розподіл на пробних ділянках кількостей рослин наземного ярусу на 1 м² за вологістю

За потребами вологості невідповідності між групами вологості едафотопів та видовим складом рослин є меншими (див. рис. 5.35). Зокрема, на ділянках з сирими типами 25 і 27 трапляються ксерофіти, а на 28-30 вони домінують. Уточнені показники вологості ділянок обчислено за формулою

$$n_B = \frac{\frac{5}{6} \sum_{m=1}^6 k \cdot n_m}{\sum_{m=1}^6 n_m} \quad (5.2)$$

для 6 груп за вологістю m (1 – ксерофіт, 2 – ксеромезофіт, 3 – мезофіт, 4 – мезогідрофіт, 5 – гідромезофіт, 6 – гідрофіт), n_m – кількість рослин в групі m .

Отримані уточнені показники добре корелюють з лісотаксаційними даними, коефіцієнт кореляції 0,47. Залежності між показниками вологості за лісотаксаційними даними та відповідними уточненими значеннями зображено на рис. 5.36 б. Найбільші відхилення спостерігаються на ділянках з гідротопами 4 та 5 в сторону зменшення показника вологості, що вважаємо зумовлене тенденцією до зміни едафотопів внаслідок меліорації територій Малоого Полісся та кліматичних змін.

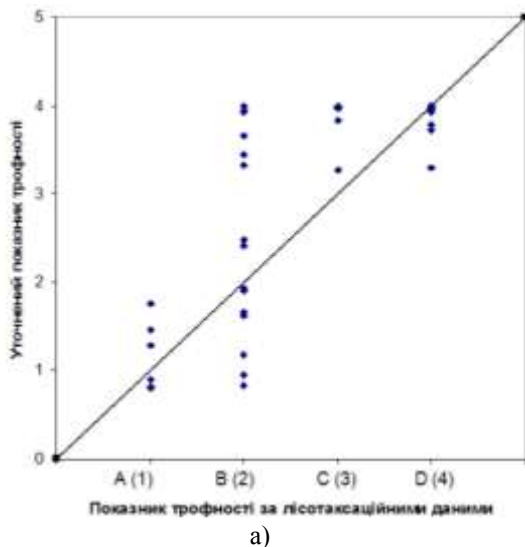


Рис. 5.36. Залежності між показниками груп едафотопів за лісотаксаційними даними та їх уточненими значеннями за кількісним складом рослин за вимогами до:
а – трофності; б – вологості

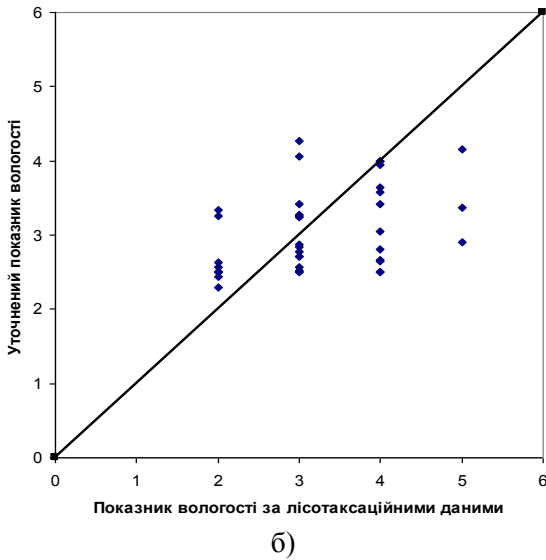


Рис. 5.36. (Продовження)

Для встановлення зв'язку між уточненими показниками трофності та пожежонебезпечними показниками пробних ділянок застосовано кореляційний аналіз. Коефіцієнти кореляцій уточненої трофності з діаметром вигорання та вологістю верхнього шару підстилки становлять, відповідно, $-0,60$ і $0,31$ (обидва значимі з рівнем значущості $0,05$), а уточненої вологості $0,09$ (не є значимим) і $-0,30$ (значимий з рівнем значущості $0,10$). Подібні результати для показників трофності та вологості едафотопів наведені раніше.

Для визначення пожежної небезпеки на пробних ділянках за ролинним складом побудовано розподіл за видовою пожежною небезпекою (рис. 5.37).

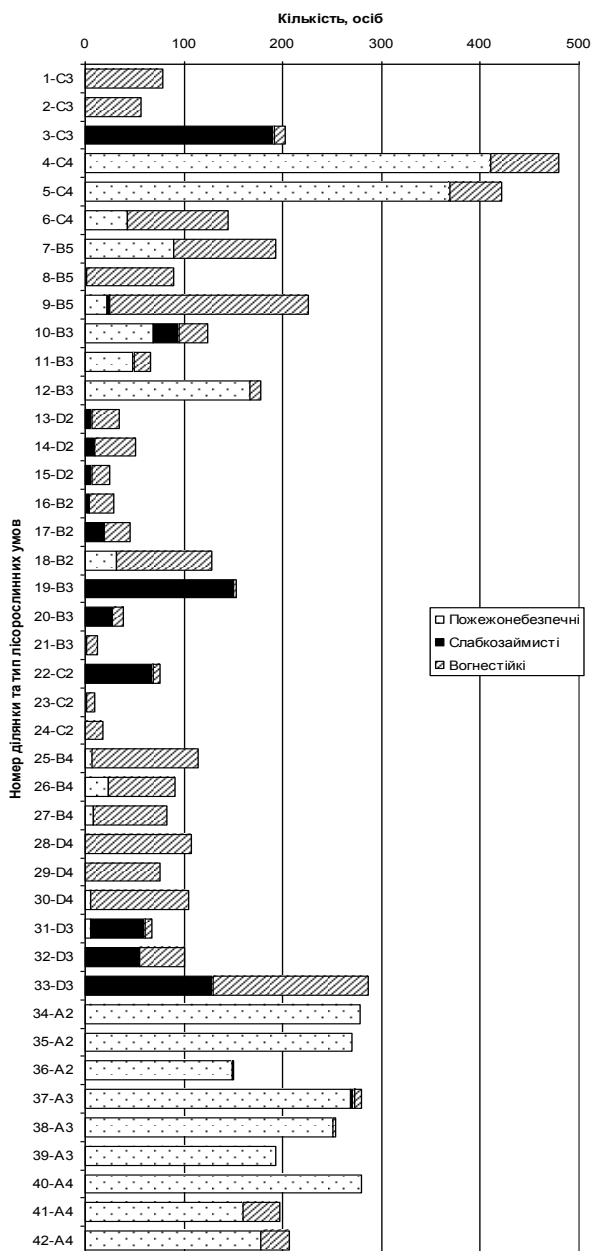


Рис. 5.37. Розподіл на пробних ділянках кількостей рослин наземного ярусу на 1 м² за пожежною небезпечкою

Найбільші абсолютні та відносні кількості пожежонебезпечних рослин характерні для борових типів, сирих сугрудів (ділянки 4, 5) та іноді вологих суборів (ділянки 10-12). Слабкозаймистих рослин найбільше на деяких ділянках у вологих суборах (ділянка 19), вологих сугрудах (ділянка 3), свіжих сугрудах (ділянка 22) та вологих грудях (ділянки 31-33). Вогнестійкі рослини найбільше зустрічаються на пробних ділянках з сирими, мокрими та іноді вологими едафотопами. Переважають вони і в свіжих грудях (ділянки 13-15) та подекуди в свіжих сугрудах (ділянки 23-24). Відносно висока частка вогнестійких рослин на ділянках 16-18 у свіжих суборових типах, на нашу думку, зумовлює низькі пожежонебезпечні показники – малі діаметри вигорання (3,5-3,8 см) і високі вологості верхнього шару підстилки (7,6-9,1 %).

Застосувавши кластерний аналіз до розподілу кількостей рослин за пожежною небезпекою на пробних ділянках (середні зв'язки), отримано розподіл пробних ділянок за трьома групами (рис. 5.38). До групи пожежонебезпечних ділянок (1 бал небезпеки) за видовим складом рослин наземного яруса (див. 1 на рис. 5.38) віднесені всі досліджені пробні ділянки в борових типах, ділянки 10 і 12 у свіжих суборових типах та 4 і 5 у сирих сугрудах (дві останні – через домінування осок). Порівняно невелика група слабкозаймистих ділянок (2 бали небезпеки) виявлена в результаті кластерного аналізу (див. 2 на рис. 5.38) у різноманітних едафотопях (ділянка 31 відноситься до D₃, 22 – до C₂, 19 і 20 – до B₃ і 3 – до C₃). Решта ділянок віднесена до вогнестійких і оцінюється 3-ма балами небезпеки.

Для оцінювання пробних ділянок за пожежною небезпекою наземного яруса рослин визначено і середні значення пожежної небезпеки за видовим рослинним складом із застосуванням бальної шкали оцінювання кожної з рослин (1 бал – пожежонебезпечні, 2 – слабкозаймисті, 3 – вогнестійкі). Результати оцінювання наведені на рис. 5.39. Для порівняння наведено і результати оцінювання за кластерним аналізом (див. рис. 5.38). Незначні неспівпадіння оцінок пожежної небезпеки ділянок за рослинним складом наземного яруса виявлено на ділянках з номерами 6, 7, 10, 11, 26 та 32.

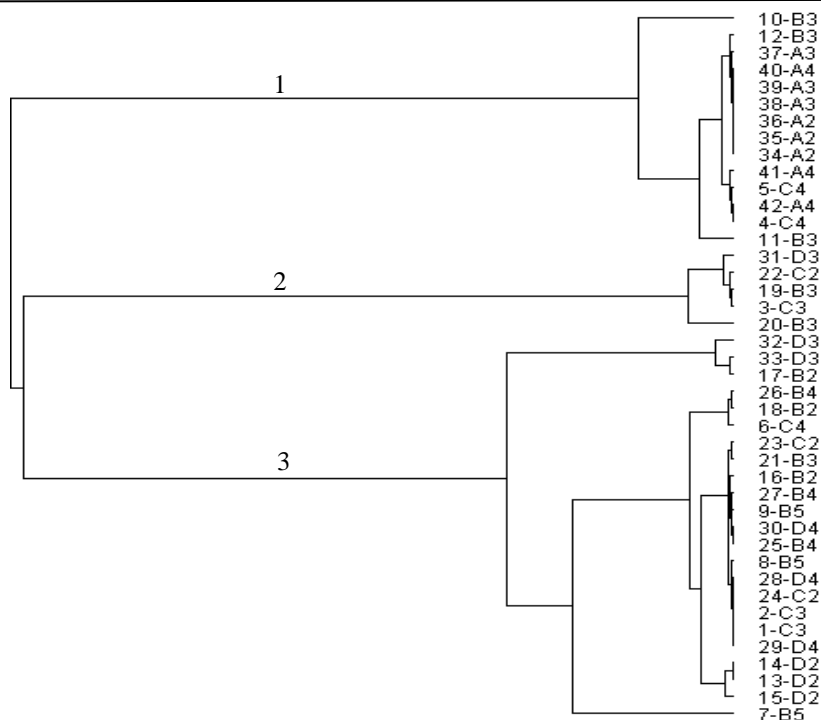


Рис. 5.38. Дендрограма пробних ділянок за кількостями пожежонебезпечних, слабкозаймистих та вогнестійких рослин на 1 м²: 1 – пожежонебезпечні; 2 – слабкозаймисті; 3 – вогнестійкі

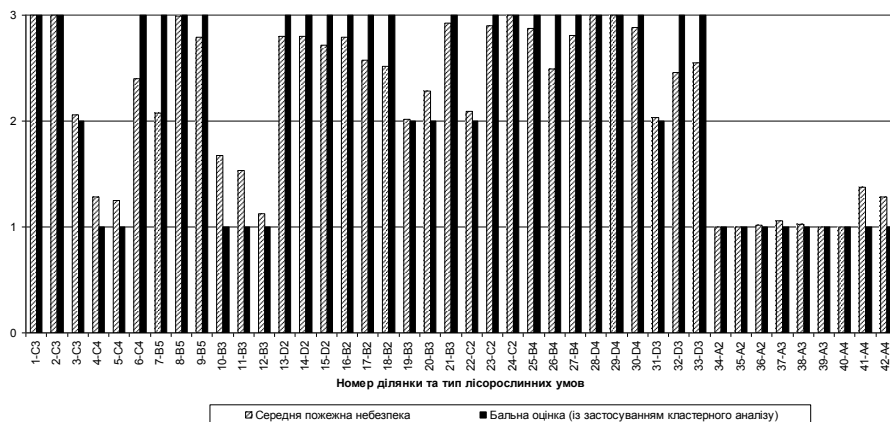


Рис. 5.39. Пожежна небезпека на пробних ділянках за рослинним складом наземного ярусу в балах

Це пояснюємо здатністю кластерного аналізу віддавати перевагу частці рослин певної групи, не враховуючи пожежну небезпеку. Розподіл пожежної небезпеки едафотопів за рослинним складом наземного яруса наведено в табл. 5.14.

Таблиця 5.14

Середня пожежна небезпека деяких едафотопів і середні значення бальної оцінки відповідно до результатів кластерного аналізу

	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	1.00 / 1.00	2.63 / 3.00	2.66 / 2.67	2.77 / 3.00
3	1.03 / 1.00	1.93 / 1.67	2.68 / 2.67	2.34 / 2.67
4	1.22 / 1.00	2.73 / 3.00	1.64 / 1.67	2.96 / 3.00
5	-	2.62 / 3.00	-	-

Відмінності між оцінками – середньою пожежною небезпекою едафотопів і середньою бальною оцінкою є незначними. Відповідно до кожної з них пожежна небезпека наземного яруса рослин зростає із зменшенням трофності та вологості.

Незважаючи на належність трав'яних рослин до кожної з груп з огляду на пожежну небезпеку, всі вони в сухому стані легко займаються та є добрими провідниками горіння. Цей стан настає за умов посухи, до початку та після завершення вегетаційного періоду.

Таким чином, важливою характеристикою пожежної небезпеки едафотопів є видова та кількісна структура наземного яруса, який формується з пожежонебезпечних, слабкозаймистих і вогнестійких рослин, а також їх проективне покриття. Із збільшенням вологості та трофності кількість видів слабкозаймистих та вогнестійких рослин зростає, а пожежонебезпечних – зменшується.

У цілому пожежостійкість наземного яруса залежить від едафотопів, зростаючи із збільшенням вологості та трофності. Відмінності між пожежної небезпекою лісового насадження протягом вегетаційного періоду та до і після його завершення є результатом впливу на пожежонебезпечний стан трав і підліску, які мають неоднакову пожежну небезпеку.

5.7. Кліматопи та їх зв'язок з пожежною небезпекою лісів

Кліматоп є одним із засобів типологічної класифікації, який доповнює едафотоп кліматичними показниками, завершуючи формування цілісної екологічної класифікаційної системи лісів [310]. На основі кліматопів та едафо-кліматичної сітки здійснено районування території України [312, 439]. Найбільшого застосування кліматопи набули у лісорозведенні. Незважаючи на те, що у багатьох дослідженнях вітчизняних та зарубіжних авторів вказується на залежність пожежної безпеки лісів від типів лісу, досліджень, присвячених застосуванню кліматопів для визначення пожежної безпеки лісів не виявлено.

Кліматопи характеризуються трьома основними показниками: T – сумою додатніх середньомісячних температур за рік у $^{\circ}\text{C}$, показником вологості клімату W (так званий термовологісний показник Воробйова), який обчислюють за емпіричною формулою

$$W = \frac{R}{T} - 0,0286T, \quad (5.3)$$

де R – сума опадів за місяці з додатньою середньомісячною температурою у мм, та A – показником континентальності, який обчислюється як різниця між найбільшою та найменшою середньомісячними температурами протягом року в $^{\circ}\text{C}$. Перші два показники, обчислені на основі багаторічних середньомісячних даних, увійшли до кліматичної сітки та до об'єднаної едафо-кліматичної сітки Воробйова. За ними здійснюється районування територій відповідно до географічного розташування та висоти над рівнем моря. Відмінність клімату спричиняє неоднакові умови зростання лісових рослин, які впливають на пожежонебезпечні характеристики середовища лісу: породний склад, просторову структуру, трав'яний покрив, а також на процеси висушування лісового горючого матеріалу. Тому можемо вважати, що кліматопи формують сприятливі (або несприятливі) умови для виникнення та поширення лісової пожежі. Але кліматопи, обчислені для даних конкретного року, будуть відрізнятися від обчислених для багаторічних середньомісячних значень і відображатимуть коливання кліматичних показників. Процеси глобального потепління також відображатимуть зміни кліматопів. У зв'язку з цим у різні роки на відповідній території формуються різні кліматопи. Оскільки річні коливання, здебільшого, періодичні, то в лісівництві ними переважно нехтують. Проте для виявлення загрози виникнення пожежі врахування таких відхилень є важливими. Вони можуть інформувати про встановлення підвищених температур повітря та малої кількості опадів. Тому для досліджень впливу кліматопів на пожежну небезпеку їх обчислюємо окремо для кожного року.

Оскільки Мале Полісся має протяжність по широті близько 300 км, тому кліматичні умови можемо вважати практично незмінними. У зв'язку з цим для досліджень впливу кліматопів на пожежну небезпеку в [178] використано дані з різних регіонів України. Такими даними є кількості пожеж N , їх площі S , га для Львівської, Херсонської, Харківської, Запорізької та Вінницької обл. [65, 294, 393, 394, 395, 445] та обчислені на основі метеорологічних даних [88, 330] показники T , W і A (табл. 5.15). Для порівняння наведено також нормативні значення кліматопів, обчислені відповідно до середньомісячних багаторічних температур і опадів [329]. Для Львівської обл. нормативні показники становлять: $T_0=95,5$, $W_0=3,5$ і $A_0=21,9$. Відповідно до них отримано нормативний кліматоп 4d, який співпадає з даними, наведеними в [250, 312, 438], відповідно до яких 4d є характерним для області сирого помірного теплого клімату – Ростоцького сирого грудю. Для наведених років кліматичні показники T перевищують нормативний T_0 , а показники вологості W є меншими за W_0 , окрім 2008 та 2009 рр. Показники континентальності A перевищують нормативний показник A_0 , окрім 2007-2008 рр. Для Херсонської обл. нормативні показники, відповідно, становлять: $T_0=121,9$, $W_0=-0,7$ і $A_0=24,1$. Нормативний кліматоп, отриманий за багаторічними даними, становить 1e і відповідно до [312, 438] є характерним для сухого відносно теплого клімату.

Визначені для зазначених років показники T перевищують нормативний, W є нижчими за нормативний, окрім 2002-2005 рр., а показники A є більшим за нормативний, за винятком 2004 і 2005 рр.

Таблиця 5.15

Статистичні дані про лісові пожежі та показники клімату

Рік	Термічний показник клімату (T , °C)	Вологість клімату (W)	Континентальність клімату (A , °C)	Кількість пожеж (N , шт.)	Сумарна площа пожеж (S , га)	Кліматопи
1	2	3	4	5	6	7
Львівська обл.						
2000	112,4	2,2	22,1	24	17	3e
2004	106,1	3,3	24,3	1	4	3e
2005	99,9	3,4	23,5	11	6	3d
2006	107,4	3,3	27,7	4	2	3e
2007	110,2	3,5	21,8	13	7	4e
2008	108,1	5,1	19,4	2	4	5e
2009	106,4	4,1	21,9	12	18	4e
Норма	95,5	3,5	21,9			4d

Продовження таблиці 5.15

1	2	3	4	5	6	7
Херсонська обл.						
2002	141,7	-0,5	29,4	275	455	1f
2003	123,4	0,3	26,0	224	251	1e
2004	130,8	2,2	20,4	129	43	3f
2005	132,4	-0,3	22,6	357	237	1f
2007	146,0	-1,5	25,5	438	8886	1f
2008	135,8	-1,1	28,2	250	257	1f
2009	145,4	-1,2	25,9	256	131	1f
Норма	121,9	-0,7	24,1			1e
Харківська обл.						
2006	116,3	-0,4	32,4	346	43	1e
2007	122,4	0,1	28	461	99	1e
2008	120,9	-0,3	28,7	380	1844	1e
Норма	120,9	-0,4	26,2			1e
Запорізька обл.						
2007	136,6	-1,7	27	233	162	0f
2008	130,1	-0,7	29,7	258	263	1f
2009	132,1	-0,8	29	167	125	0f
Норма	120,9	-0,4	26,2			1e
Вінницька область						
2002	114,3	2,5	31	2	14	3e
2003	102,6	1,3	27,1	9	9	2d
2005	104,9	0,6	26,2	5	3	1e
Норма	98,3	2,4	24,1			3d

Харківська обл. характеризується нормативними показниками кліматопів $T_0=120,9$, $W_0=-0,4$ і $A_0=26,2$, відповідно до яких кліматоп становить 1e, що характеризується як область сухого відносно теплого клімату – суха загрудова область. Показники T і A перевищують нормативні, а W є нижчими за відповідний нормативний.

Запорізька та Вінницька обл. представлені даними трьох років. Властивості кліматичних показників для них є подібними до відповідних у Харківській обл. За нормативними показниками Запорізька обл., як і Харківська, характеризується типом 1e. Вінницька обл. характеризується кліматопом вологого груду 3d, який відноситься до області вологого теплого помірного клімату. Ці дані також співпадають з наведеними у [438].

Для аналізу зв'язку між параметрами визначено спочатку коефіцієнти кореляції між кліматичними показниками та кількістю і сумарною площею пожеж окремо для кожної з областей (табл. 5.16).

Таблиця 5.16

Коефіцієнти кореляцій між кліматичними показниками та статистичними даними про пожежі

Область	r_{AN}	r_{TN}	r_{WN}	r_{AS}	r_{TS}	r_{WS}
Вінницька	0,22	-0,45	-0,67	0,92	0,72	0,98
Запорізька	0,00	-0,05	-0,13	0,49	-0,54	0,38
Харківська	-0,66	0,40	-0,30	-0,23	0,27	-0,11
Львівська	-0,23	0,39	-0,63	-0,37	0,33	-0,29
Херсонська	0,22	0,52	-0,75	0,04	0,51	-0,44

Коефіцієнти кореляцій між величинами у кожній з областей є нерівномірними та мають значне розсіювання. Області значно різняться взаємним впливом цих величин. Це, на нашу думку, зумовлене як різними природно-кліматичними умовами, так і неоднаковою лісистістю регіонів. Оскільки площі земель, покритих лісами, в кожній з областей є неоднаковими, тому для перевірки наявності зв'язку між кліматичними показниками та даними про пожежі для сукупних даних замість N та S використано, відповідно, питомі річні кількості та площі пожеж, які визначали за формулами

$$N_{num} = \frac{N}{S_l}, \quad (5.4)$$

$$S_{num} = \frac{S}{S_l}, \quad (5.5)$$

де S_l – площа земель лісового фонду, тис. га (відповідно до [395] без урахування динаміки змін лісистості для Львівської обл. S_l становить 689,8 тис. га, Херсонської – 265,1 тис. га, Харківської – 419,4 тис. га, Запорізької – 121,9 тис. га і Вінницької – 362,6 тис. га). Отримані значення кореляцій між кліматичними показниками і питомими кількостями та площами пожеж для всіх областей наведені в табл. 5.17. Виділено значимі коефіцієнти кореляцій із рівнем значущості 0,05.

Коефіцієнти кореляцій між кліматичними показниками та питомими кількостями і площами пожеж відповідно до даних табл. 5.15

	N_{num}	S_{num}
T	0,78	0,43
W	-0,84	-0,33
A	0,41	0,02

Оскільки найбільший коефіцієнт кореляції спостерігається між показником вологості клімату W і питомою кількістю пожеж N_{num} (10^{-3} га^{-1}), тому цей кліматичний показник найдоцільніше використовувати для прогнозування кількості пожеж. Для об'єднаних даних областей отримано таку емпіричну залежність:

$$N_{num} = 0,4462e^{-1,0828W} \quad (5.6)$$

Графік залежності (5.6) між показником W і питомою кількістю пожеж зображений на рис. 5.40. Коефіцієнт регресії R^2 дорівнює 0,78 і свідчить про тісний зв'язок між емпіричними та фактичними значеннями питомої кількості пожеж, а критерій Фішера з рівнем значущості 0,01 підтверджує не випадковість такого зв'язку.

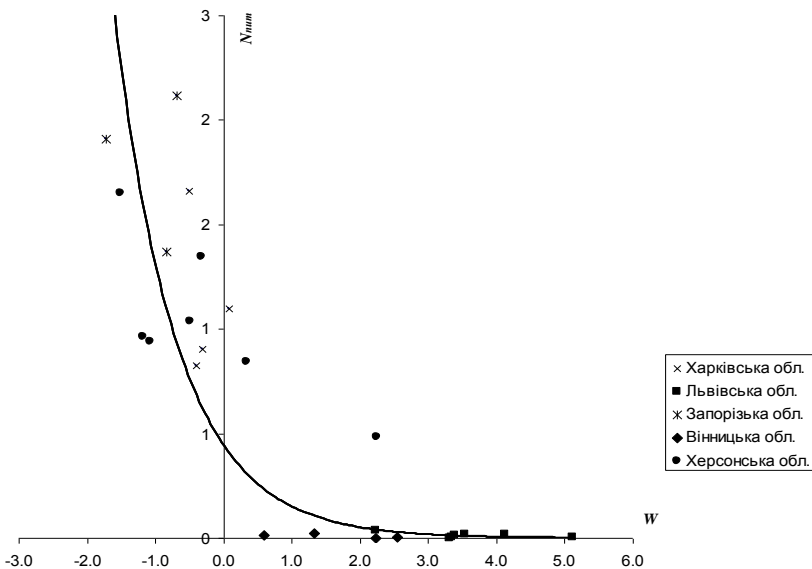


Рис. 5.40. Графік залежності питомої кількості пожеж від вологості клімату

Проте окремо розглянуті дані для Херсонської обл. краще апроксимуються формулою

$$N_{num} = 0,9096e^{-0,255W}. \quad (5.7)$$

Для неї коефіцієнт регресії R^2 є дещо меншим і становить 0,71, а критерій Фішера з дещо вищим рівнем значущості 0,05 також підтверджує невинуватість такого зв'язку. Для Львівської обл. через наявність значних відхилень кількостей пожеж за ті роки, для яких W набував близьких значень (від 3,3 до 3,5), відповідну експоненційну залежність характеризує малий коефіцієнт лінійної регресії 0,21, а критерій Фішера з прийнятним рівнем значущості не виконується. Для інших областей через невелику кількість даних і малі коефіцієнти кореляції окремо апроксимувати ці величини вважаємо недоцільним.

Аналогічно до формули (5.6) отримано залежність між іншим кліматичним параметром T та питомою кількістю пожеж N_{num} :

$$N_{num} = 4 \cdot 10^{-9} e^{0,1438T}. \quad (5.8)$$

Графік цієї залежності зображений на рис. 5.41, коефіцієнт регресії R^2 становить 0,67, а критерій Фішера з рівнем значущості 0,01 підтверджує невинуватість зв'язку між цими величинами. Для окремих областей аналогічні до (5.8) залежності застосовувати недоцільно через низькі коефіцієнти регресій та невиконання критерію Фішера.

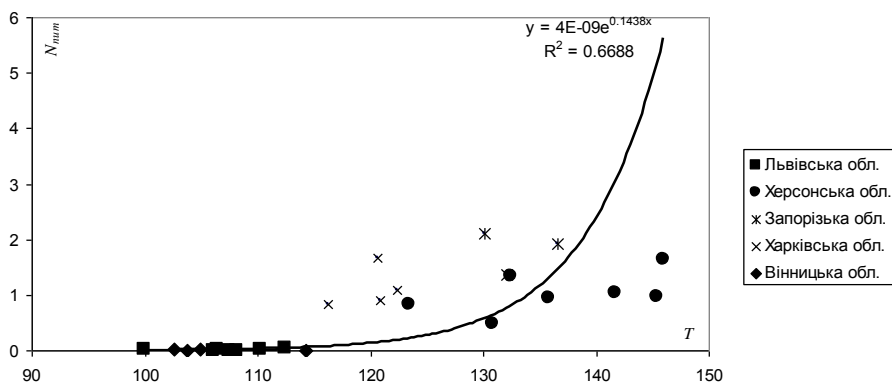


Рис. 5.41. Графік залежності питомої кількості пожеж від термічного показника клімату

Слабко корелюються, або й зовсім не корелюються між собою кліматичні показники та площі, пройдені пожежами. Це, на нашу думку, зумовлене тим, що площі пожеж залежать не лише від кліматичних умов, але і від топологічних особливостей лісових масивів, своєчасності

виявлення та організації гасіння пожеж. Показники континентальності та статистичні дані про пожежі також слабо корелюються між собою.

У результаті дослідження одночасного впливу обох кліматичних параметрів T і W на N_{num} виявлено, що для розглянутого набору даних його найкраще описує показникові регресійна залежність

$$N_{num} = 0,00029 \cdot 1,0599^T 0,4641^W, \quad (5.9)$$

Коефіцієнт множинної регресії R^2 у цьому випадку становить 0,82, а критерій Фішера з рівнем значущості 0,01 підтверджує не випадковість зв'язку.

Лінійна регресійна залежність між питомою кількістю пожеж та кліматичними показниками T та W описується рівнянням

$$N_{num} = -1,0123 + 0,0159T - 0,20452W. \quad (5.10)$$

Коефіцієнт множинної регресії є дещо меншим, ніж для нелінійної залежності (5.9), і становить 0,75. Тому залежність (5.10) є, як і (5.9), придатною для оцінювання кількості пожеж.

Таким чином, у зв'язку з відхиленнями середньомісячних температур та опадів від нормативних значень у певному регіоні, пов'язаними з природними процесами, кліматичні показники (кліматопи) слід визначати для кожного року окремо, що забезпечить відслідковування кліматичних змін, які можуть зумовлюватися погодними аномаліями, процесами глобального потепління тощо. На основі статистичного аналізу кліматичних показників і статистичних даних про пожежі в регіонах України виявлено тісний зв'язок між питомою кількістю пожеж та показниками вологості W і температури T , що дозволяє здійснювати прогнозування кількості пожеж за передбачуваними кліматичними показниками, обчисленими на основі довготермінових метеорологічних прогнозів.

Висновки до розділу 5

1. Лісова пожежа впливає на екологічні умови середовища лісу та пов'язаних з ним екосистем безпосередньо та опосередковано. Проте і середовище лісу впливає на перебіг процесів виникнення й поширення лісових пожеж, тому відповідними лісівничими заходами можна, зменшуючи небезпеку виникнення лісової пожежі, послабити її негативний вплив на довкілля.

2. Внаслідок низової пожежі сосна звичайна зазнає ушкоджень в залежності від інтенсивності. Негативний вплив виявляється не лише у зовнішніх ознаках (обгоряння стовбура, усихання хвої та ін.), але і в зміні електрофізіологічних, біометричних та температурних показни-

ків: із зростанням ступеня ушкодження зростає імпеданс, зменшується поляризаційна ємність і біопотенціал, зменшуються прирости, маса живої хвої, а температура поверхні стовбурів на висоті 0.2 м перевищує температуру поверхні ґрунту. Незначні ураження інтенсифікують виділення живиці для заліковування травм. У випадку значних ушкоджень стовбури уражаються грибами. Безпосередньо після пожежі знижується вологість ґрунтів, змінюється їх кислотність. Ці зміни залежать від інтенсивності пожежі та едафотопів.

3. Надземна частина деревостанів містить біля 50 % води, що сприяє їх пожежостійкості. Вміст води у деревостані залежить від частки в породному складі сосни звичайної та віку насадження. Через відмінності приросту фітомаси в деревостанах будь-якого віку із зростанням частки сосни зменшується запас горючого матеріалу, який згорає під час пожежі, та енергія, яка виділяється при цьому. Інтегральна вологість поверхні стовбурів, від якої залежить їх займання та ушкодження, залежить від сезону, породи дерева та висоти. Цей показник є вищим для листяних порід і нижчим – для сосни. Із зростанням висоти вологість зростає, проте, досягнувши максимуму на висоті 0,5-1 м, може далі знизитися. Вплив фенофаз на вологість стовбурів листяних порід є істотнішим, ніж сосни, особливо з настанням весни.

4. Запас пожежонебезпечних речовин – живиці та скипидару в її складі зростає в деревостанах із збільшенням частки сосни та віку і зменшується із зменшенням повноти. Найбільш інтенсивне зростання відбувається у віці 20-40 р. На досліджених ділянках у Малому Поліссі найбільший запас живиці в чистих хвойних деревостанах становив біля 1 кг/м², а скипидару – близько 0,2 кг/м².

5. Пожежна небезпека в едафотобах зменшується із зростанням трофності та вологості. Оскільки вологість ґрунту залежить не лише від едафотопів, але і від метеорологічних умов, їх теж слід враховувати в оцінюванні пожежної небезпеки у лісах різних типів лісорослинних умов. Пожежна небезпека лісової підстилки, яка виражається у вологості її верхнього шару та діаметрі вигорання, зменшується із зростанням вологості ґрунту починаючи з глибини 10 см та зменшенням його температури від поверхні до глибини 10 см. Масштабні пожежі призводять до погіршення родючості ґрунтів.

6. Пожежна небезпека наземного яруса залежить від флористичного складу фітоценозів та їх пожежної небезпеки, зумовленої відношенням до вологості та трофності умов, геометричними розмірами та вмістом вологи. Діаметр вигорання зростає із зростанням проективно-

го покриття, а вологість верхнього шару підстилки спадає із зростанням цього показника і кількості особин на одиниці площі. Небезпека зменшується із зростанням трофності та вологості едафотопів. Найбільшу небезпеку становлять вересові, зокрема чорниця, листя і стовбур якої легко займаються в живому стані. Оцінювання пожежної небезпеки за флористичним складом слід здійснювати за трибальною шкалою, а для окремої ділянки уточнювати показники трофності та вологості відповідно до екологічних характеристик флористичного складу.

7. Між питомою кількістю пожеж у регіонах України і кліматичними показниками вологості та температури існує тісний зв'язок: питома кількість пожеж зростає із зростанням термічного показника і зі спаданням показника вологості. Для моніторингу та прогнозування впливу кліматичних змін на пожежну небезпеку лісів, слід розглядати не лише кліматичні показники для середніх багаторічних даних, але й обчислювати їх для кожного року окремо.

Розділ 6

ПРОФІЛАКТИКА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

6.1. Особливості оцінювання природної пожежної небезпеки мішаних лісів

На умови виникнення пожежі та її розвиток, особливо на початковій стадії, істотно впливає породний склад лісових насаджень [210]. Проте шкала природної пожежної небезпеки (див. табл. 1.7 [351]) не дає відповіді на те, як встановлювати клас природної пожежної небезпеки мішаних лісів. Аналізуючи цю шкалу, можна зауважити, що вона не враховує й інших особливостей території лісового фонду (зрубів, згарищ, незімкнутих територій тощо). Для хвойних насаджень пожежна небезпека диференціюється залежно від віку (до та після 40 років), для хвойних і листяних – від показника вологості типів лісорослинних умов. Але не розглядається окремо небезпека темнохвойних та світлохвойних лісів, а також твердолистяних і м'яколистяних, хоча вона є різною. Не враховується шкалою оцінювання природної пожежної небезпеки і показник трюфності. Для мішаних лісів, до складу яких входять як хвойні, так і листяні породи дерев, у цій шкалі також місця не відведено. Оскільки частка мішаних лісів є значною практично в усіх регіонах України, зокрема у Малому Поліссі (наприклад, у ДП Жовківське лісове господарство, майже 9,3 тис. га, або 28% площі лісового фонду, становлять мішані ліси, у складі яких від 20 до 90 % сосни звичайної), та вони, як і чисті хвойні та листяні ліси, також становлять небезпеку виникнення пожеж, тому слід уточнити діючу методичку визначення пожежної небезпеки лісів з урахуванням їх породного складу. З цією метою запропоновано методичку встановлення класу природної пожежної небезпеки для окремої ділянки лісу (кварталу, виділу, підвиділу), на якій зростають різні породи дерев.

Як уже згадувалося, у мішаних лісах, окрім вологості, фактором впливу на пожежну небезпеку є вміст смоли в деревах хвойних порід, зокрема, у хвої, який зумовлює неоднакові умови виникнення та розвитку пожеж в залежності від співвідношення хвойних і листяних порід дерев на ділянці лісу. Окрім того, окремі складники опаду та підстилки мішаних лісів мають неоднакову здатність займатися і підтримувати горіння, а її структура впливає на пожежну небезпеку поряд з вологістю, запасом та відсотком перегнаних решток. Але розподіл лісової підстилки та опаду за структурою та запасом є нерівномірним і пов'язаним з просторовим розташуванням окремих порід у лісі. Також компоненти наземного горючого

матеріалу хвойних і листяних порід неоднаково висушуються, зволожуються та перегнивають, що ще більше ускладнює опис їх здатності до займання. У зв'язку з цим оцінювання пожежної небезпеки мішаних лісів з урахуванням еколого-просторової структури є ефективним, проте складним і потребує детальної інформації про ділянку, відсутньої для великих територій, для яких слід застосовувати узагальнені підходи. Одним з них є запропонований у [212] метод оцінювання природної пожежної небезпеки мішаних лісів за співвідношенням порід дерев.

Клас природної пожежної небезпеки за методикою І. С. Мелехова встановлюється як для окремих ділянок, так і для територій лісництв, лігоспів тощо на основі показника класу природної пожежної небезпеки Z_{np} , обчислення якого здійснюється за формулою [377]

$$Z = \frac{I \cdot S_1 + II \cdot S_2 + III \cdot S_3 + IV \cdot S_4 + V \cdot S_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5}, \quad (6.1)$$

де I, \dots, V – класи природної пожежної небезпеки, S_1, \dots, S_5 – площі ділянок, що віднесені до відповідного класу. Для встановлення класу природної пожежної небезпеки окремої ділянки основною характеристикою є тип лісорослинних умов, який описують семантично або за допомогою едафічної сітки [331]. При цьому враховується переважаюча порода та деякі інші важливі фактори (близькість доріг, особливості насаджень, захаращення, тощо). Формула (6.1) призначена для великих територій, на яких можна встановити межі ділянок з різними класами природної пожежної небезпеки. А для середніх і малих ділянок використання цієї формули ускладнене, оскільки слід враховувати розташування поруч дерев з різними показниками пожежної небезпеки деревостану та підстилки, які зумовлюють відповідний клас природної пожежної небезпеки. Складно, а іноді практично неможливо встановити чіткі межі між окремими фрагментами лісу, які мають різні класи природної пожежної небезпеки. Існуюча методика не враховує породний склад мішаного лісу, хоча він, безумовно, впливає на пожежну небезпеку. Тому встановлення класу природної пожежної небезпеки мішаних лісів пропонуємо здійснювати за формулою

$$Z = \frac{Z_c \cdot n_c + Z_{n1} \cdot n_{n1} + \dots + Z_{ni} \cdot n_{ni}}{10}, \quad (6.2)$$

де $n_c, n_{n1}, \dots, n_{ni}$ – коефіцієнти складу сосни (хвойних порід) та листяних порід, $Z_c, Z_{n1}, \dots, Z_{ni}$ – відповідні класи природної пожежної небезпеки породи дерев, які характеризують кожну з порід і можуть набувати значень від 1 до 5. Наприклад, для насадження 2С38Дз формула (6.2) буде мати такий вигляд:

$$Z = \frac{Z_c \cdot 2 + Z_{дз} \cdot 8}{10}. \quad (6.3)$$

Встановлення коефіцієнтів пожежної небезпеки породи дерев потребує врахування горючих властивостей деревини, лісової підстилки та погодних умов. У зв'язку з цим для їх визначення використано шкалу природної пожежної небезпеки (див. табл. 1.7 [351]). При цьому вважаємо, що окреме дерево відповідної породи формує навколо себе певні умови, які впливають на локальну пожежну небезпеку: опад, вологість підстилки, трав'яну рослинність, кору, структуру крони, висоту нижніх гілок та ін. Цей вплив є різним для кожної з порід і залежить від віку, повноти та інших факторів. Оскільки у лісовому масиві поруч зростають інші дерева, вони також впливають на формування пожежонебезпечних умов своїх найближчих сусідів. Але таким впливом нехтуємо, вважаючи, що в мішаному насадженні кожна порода дерев займає площу відповідно до її частки у породному складі. Наприклад, будемо вважати, що у деревостані 8Сз2Дз 80 % площі займає сосна звичайна і 20 % – дуб звичайний. Згідно з шкалою природної пожежної небезпеки хвойна порода віком до 40 років становить більшу небезпеку, ніж старша за 40 років, а та, відповідно, більш небезпечна, ніж листяна. Тому обчислення природної пожежної небезпеки невеликої території мішаного лісу (пробної площі, виділу) пропонуємо здійснювати за формулою

$$Z_m = \begin{cases} \frac{1 \cdot n_{xв} + Z_l \cdot n_l}{10}, & A_{xв} < 40, \\ \frac{Z_{xв} \cdot n_{xв} + Z_l \cdot n_l}{10}, & A_{xв} > 40, \end{cases} \quad (6.4)$$

де $A_{xв}$ – вік хвойної породи, $n_{xв}$, n_l – коефіцієнти складу хвойної та листяної порід у деревостані, $Z_{xв}$, Z_l – класи пожежної небезпеки хвойних і листяних лісів віком понад 40 років, які залежать від індексу вологості та відповідно до табл. 1.7 [351] визначаємо за формулами

$$Z_{xв} = \begin{cases} 1, & H = 0; 1; \\ 2, & H = 2; \\ 3, & H = 3; 4; \\ 4, & H = 5; \end{cases}$$

та

$$Z_l = \begin{cases} 2, & H = 0; 1; \\ 3, & H = 2; \\ 4, & H = 3; 4; \\ 5, & H = 5. \end{cases}$$

де H – індекс вологості типу лісорослинних умов.

Використання запропонованої методики визначення рівня природної пожежної небезпеки листяно-хвойних лісів проілюструємо на таких прикладах:

1. У Бутинському лісництві, яке входить до складу ДП Жовківське лісове господарство, у 15 виділі кварталу № 1 (тип лісу В₃ДС) деревостан має склад 4С3бБп. Тоді його пожежна небезпека відповідно до (6.4) буде становити:

$$Z_{.m} = \frac{3 \cdot 4 + 4 \cdot 6}{10} = 3,6.$$

2. У тому ж кварталі насадження 19 виділу відносяться до типу лісу В₂ДС і мають породний склад 9С31Бп+Дз. Пожежна небезпека у цьому виділі становить:

$$Z_{.m} = \frac{2 \cdot 9 + 3 \cdot 1}{10} = 2,1.$$

3. Насадження 20 виділу відносяться до типу лісу С₄Влч і мають склад 6Влч1С32Бп1Ос. Його природна пожежна небезпека буде:

$$Z_{.m} = \frac{3 \cdot 1 + 4 \cdot 9}{10} = 3,9.$$

Запропоновану методикау застосовано для оцінювання природної пожежної небезпеки пробних площ ПП 1 – ПП 16 (див. табл. А.1 додатку А). Для її порівняння з іншими методиками для кожної з ділянок визначено клас природної пожежної небезпеки І. С. Мелехова (див. табл. 1.7 [351]), дано бальну оцінку пожежної небезпеки (див. табл. 3.2) і визначено середню вологість лісової підстилки. Практично всі оцінки пожежної небезпеки (окрім бальної за 3-бальною шкалою) виявляють неоднакові загрози виникнення пожеж (табл. 6.1). За відсутньої пожежної небезпеки за умовами погоди критерієм загрози виникнення пожежі вважаємо середню вологість підстилки. Для порівняння методик оцінювання пожежної небезпеки між собою та з середньою вологістю підстилки застосовано кореляційний аналіз. Кореляційну матрицю, в якій виділено значимі коефіцієнти кореляцій з рівнем значущості 0,05, наведено в табл. 6.2. Оцінка природної пожежної небезпеки мішаних лісів за запропонованою методикою добре корелюється з усіма іншими оцінками, особливо з класом природної пожежної небезпеки Мелехова. З вологістю підстилки коефіцієнт кореляції уточненої оцінки становить 0,41 і хоча він не є значимим, проте є вищим, ніж вологості з класом природної пожежної небезпеки Мелехова. За-

уважимо, що вологість підстилки добре корельована лише із значеннями бальної оцінки пожежної небезпеки за 10-бальною шкалою, а для інших оцінок кореляційний зв'язок існує, проте не значимий.

За класами природної пожежної небезпеки виділів середній клас небезпеки кварталу, лісництва чи лісгоспу визначаємо за формулою

$$Z = \frac{\sum_i Z_{M_i} S_i}{\sum_i S_i}, \quad (6.5)$$

де Z_{M_i} – обчислений за формулою (6.4) клас природної пожежної небезпеки i -го виділу площею S_i , га, який входить до складу кварталу (лісництва, лісгоспу).

Таблиця 6.1

Оцінювання природної пожежної небезпеки на пробних площах

№ п.п.	Тип лісорослинних умов	Породний склад	Методика оцінювання природної пожежної небезпеки мішаних лісів (формула (6.4))	Клас природної пожежної небезпеки І. С. Мелехова	Бальна оцінка пожежної небезпеки (табл. 3.2)		Середня вологість лісової підстилки, %
					за 10-бальною шкалою	за 3-бальною шкалою	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	C ₃	7Сз3Дз+Ябл, Кул, Брсл	3,3	3	7	2	39
2	C ₃	7Сз3Дз+Чрш	3,3	3	7	2	36
3	C ₃	8Сз2Дз+Гор, Лщн, Брсл	3,2	3	8	2	42
4	B ₂	10Сз+Бп	2,0	2	8	2	54
5	B ₃	10Сз	3,0	3	8	2	23
6	C ₃	7Сз3Чрш+Влч, Дз, Лщн	3,3	3	5	2	55
7	A ₂	10Сз	1,0	1	10	3	23
8	A ₂	10Сз	1,0	1	8	2	38
9	C ₃	8Сз2Дз+Клн, Влч	3,2	3	8	2	21
10	C ₃	6Сз4Дз+Чрш	3,4	3	6	2	57
11	C ₄	5Влч2Дз3Врб+Лщн	4,8	4	6	2	51
12	C ₃	7Сз3Гр	3,3	3	8	2	26

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8
13	C ₃	4С34Гр2Ялн+Лщн	3,4	3	5	2	55
14	C ₂	10Дз+Лщн од Сз	3,0	3	5	2	47
15	C ₃	8С32Дз+Брил	3,2	3	7	2	28
16	C ₄	10Влч+Дз	5,0	4	4	1	60

Таблиця 6.2

Кореляційна матриця для оцінок природної пожежної небезпеки та вологості підстилки

	Уточнена оцінка природної пожежної небезпеки	Клас природної пожежної небезпеки Мелехова	Бальна оцінка пожежної небезпеки (10-бальна шкала)	Бальна оцінка пожежної небезпеки (3-бальна шкала)	Вологість підстилки
	1	2	3	4	5
1	1	0,98	-0,70	-0,69	0,41
2	0,98	1	-0,67	-0,66	0,34
3	-0,70	-0,67	1	0,69	-0,76
4	-0,69	-0,66	0,69	1	-0,49
5	0,41	0,34	-0,76	-0,49	1

З урахуванням наявної в лісотаксаційних даних інформації про площі хвойних, твердолистяних і м'яколистяних порід, для встановлення класів природної пожежної небезпеки великих лісових ділянок (лісництв, лісгоспів, тощо) пропонуємо подібну до (6.2) та (6.4) формулу

$$Z = \frac{Z_c \cdot m_c + Z_{лм} \cdot m_{лм} + Z_{лм} \cdot m_{лм}}{100}, \quad (6.6)$$

де m_c , $m_{лм}$, $m_{лм}$ – частки (у %) територій з переважаючими, відповідно, хвойними, листяними твердолистяними та м'яколистими породами; Z_c , $Z_{лм}$, $Z_{лм}$ – класи природної пожежної небезпеки цих порід. За формулою (6.6) встановлено класи природної пожежної небезпеки лісових насаджень ДП Буське лісове господарство, ДП Жовківське лісове господарство, ДП Львівське лісове господарство та ДП Радехівське лісове господарство. З урахуванням визначеної за результатами польових досліджень лінійної регресійної залежності між діаметром вигорання лісової підстилки d , який характеризує пожежну небезпеку, та частками хвойних, твердолистяних і м'яколистяних порід, яка описується формулою

$$d = 0,0877m_c + 0,0234m_{лм} + 0,0598m_{лм} \quad (6.7)$$

з коефіцієнтом детермінації 0,71, знайдено лінійну залежність класів природної пожежної небезпеки від коефіцієнтів регресії для опису класу природної пожежної небезпеки, за якою пожежна небезпека хвойних характеризується 2-им класом пожежної небезпеки, а твердолистяних – 5-им. Формула, яка описує цю залежність, має такий вигляд:

$$Z = -7,9701x + 6,0901, \quad (6.8)$$

де x – коефіцієнт регресії. З цієї формули, підставляючи відповідні коефіцієнти регресії (6.7), отримуємо такі класи пожежної небезпеки:

$$Z_c = 2, Z_{lm} = 5, Z_{\text{лм}} = 3,3. \quad (6.9)$$

Для перевірки методики здійснено порівняння класів природної пожежної небезпеки для цих лісгосподарських підприємств, наведених у даних Державного лісового кадастру (визначених за методикою І. С. Мелехова), з обчисленими за формулою (6.6) з використанням (6.9) (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Класи природної пожежної небезпеки деяких державних підприємств лісового господарства Малоого Полісся

Назва підприємства	Клас природної пожежної небезпеки	
	За методикою І. С. Мелехова	За формулою (6.6)
ДП Буське лісове господарство	3,13	3,24
ДП Жовківське лісове господарство	3,14	3,14
ДП Львівське лісове господарство	3,52	4,38
ДП Радохівське лісове господарство	2,90	3,09

Як видно з даних табл. 6.3, результати є досить близькими. Коефіцієнт кореляції між відповідними значеннями становить 0,93, а сума квадратів відхилень значень, обчислених за формулою (6.6), від даних Державного лісового кадастру становить 0,87, що свідчить про тісний зв'язок між цими величинами.

Отже, запропоновані методики дають змогу визначати рівень природної пожежної небезпеки як окремої ділянки мішаного лісу з урахуванням типу лісорослинних умов, породного складу та віку хвойних порід, так і великих лісових масивів у межах лісництв або лісгоспів, враховуючи частки територій з переважанням хвойних, твердолистяних і м'яколистяних порід.

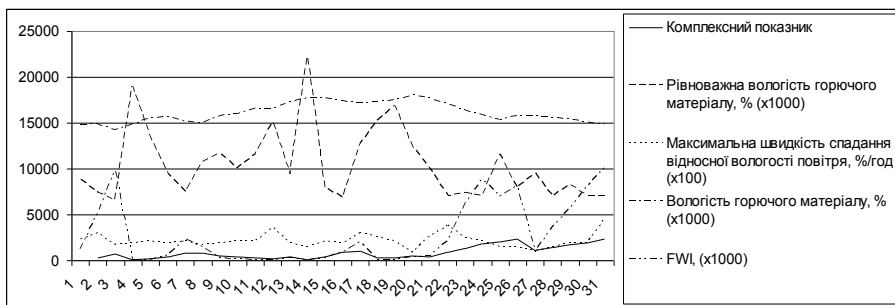
6.2. Виявлення та оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди за метеорологічними показниками

У багатьох роботах вітчизняних і зарубіжних авторів досліджувався вплив на пожежонебезпечні характеристики лісового горючого матеріалу різноманітних екологічних, кліматичних, метеорологічних та мікрокліматичних факторів, наприклад, опадів, температури і відносної вологості повітря, сонячної радіації та ін. Враховуючи те, що лісовий горючий матеріал входить до складу фітоценозу зі складною енергетичною структурою, його не можна розглядати відокремлено від зовнішнього середовища та середовища лісу. У зв'язку з цим слід дослідити вплив метеорологічних факторів на властивості лісового горючого матеріалу, враховуючи особливості структури лісового масиву, його мікроклімату та взаємодії з навколишнім середовищем.

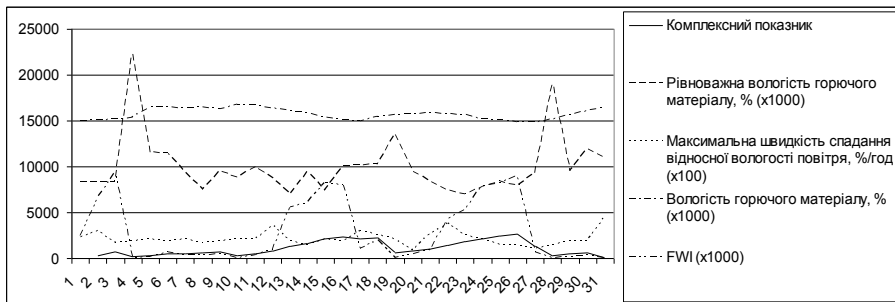
Вплив метеорологічних факторів на ксерофілізацію лісового середовища та пожежну небезпеку. Для успішної боротьби з лісовими пожежами необхідно прогнозувати небезпеку їх виникнення. З цією метою використовують метеорологічні дані та результати мікрокліматичних спостережень за станом лісу, які є вхідною інформацією для різноманітних вітчизняних і зарубіжних систем визначення пожежної небезпеки. Основними даними метеорологічних спостережень за погодою є атмосферний тиск, температура повітря, відносна вологість, стан неба, напрям і швидкість вітру та опади. Здатність лісових матеріалів займатися та поширювати горіння залежить від кожного з цих факторів, причому як від його величини, так і тривалості дії. Проте сукупний вплив метеорологічних факторів на пожежну небезпеку є складним, а існуючі системи її визначення не завжди своєчасно попереджають про виникнення високого рівня пожежної небезпеки. Для виявлення взаємозв'язку між ксерофілізацією лісового середовища, метеорологічними даними та показниками пожежної небезпеки визначено значення комплексного показника пожежної небезпеки, канадського показника FWI, максимальної швидкості спадання відносної вологості повітря, рівноважної вологості та поточної вологості лісового горючого матеріалу. З цією метою проаналізовано дані метеорологічних спостережень [484] за серпень 2007 р. – період, протягом якого на території Європи виникли значні за масштабами лісові пожежі, зокрема в Україні на Херсонщині, а також за серпень 2010 р., відомий жаркою та сухою погодою, яка сприяла виникненню лісових пожеж як в Україні, так і в Росії. На основі метеорологічних даних окрім обчислень комплексного показника пожежної небезпеки за умовами погоди

та FWI за розробленою математичною моделлю висушування визначали вологість лісового горючого матеріалу W_{12} о 12 годині дня, рівноважну вологість W_p , а також максимальну швидкість спадання відносної вологості повітря ϕ'_{\max} . Графіки (рис. 6.1) ілюструють динаміку зміни цих величин в умовах Малого Полісся (метеорологічні дані Львова за серпень 2007 і 2010 рр.) та Херсонщини (серпень 2007 р.).

На території Малого Полісся (див. рис. 6.1 а) 3, 8, 17, 22 та 28 серпня 2007 р. вологість лісового горючого матеріалу починала зменшуватися. Практично в ті ж дні комплексний показник пожежної небезпеки починав зростати, а також зростав FWI. Зменшення рівноважної вологості горючого матеріалу, незважаючи на значні коливання, також відбувалося в ці ж періоди часу, що і вологості. Швидкість спадання відносної вологості повітря починала збільшуватися 2, 12, 15, 17, 21 і 28 числа, тобто здебільшого напередодні зниження вологості.



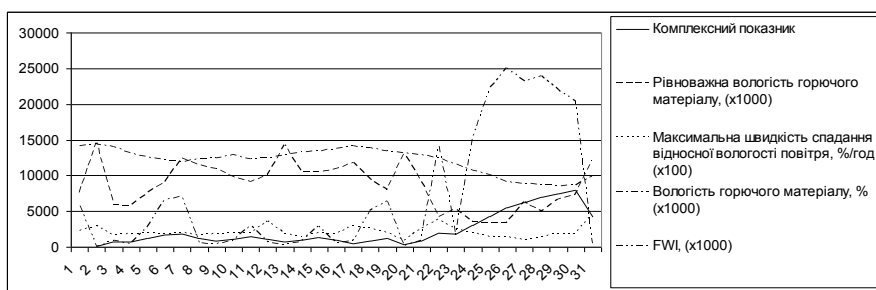
а)



б)

Рис. 6.1. Графіки показників, які характеризують пожежну небезпеку за умовами погоди, обчислені за даними [484]:

а – Мале Полісся, серпень 2007 р.; б – Мале Полісся, серпень 2010 р.;
в – Херсонщина, серпень 2007 р.



в)

Рис. 6.1. (Продовження)

У серпні 2010 р. (див. рис. 6.1 б) низька вологість спостерігалася на початку місяця, а також починала зменшуватися 11 і 23 числа. Комплексний показник починав зростати 3, 7, 12 і 21 серпня, а FWI – на початку місяця, 13 і 22 числа. W_p зменшувалася, починаючи з 5, 12, 14, 20, 29 і 31 серпня. А ϕ'_{\max} починала зростання 2, 12, 15, 17, 21 і 28 числа, попереджуючи за день про зменшення вологості лісового горючого матеріалу. Вологість горючого матеріалу в дні підвищеної пожежної небезпеки знижувалася до 15 %, що становить загрозу займання хвойної та листяної підстилки. Загроза виникнення лісової пожежі на території Малого Полісся неодноразово виникала в серпні 2007 та 2010 р.

З метою підтвердження можливості визначення загрози виникнення лісових пожеж обчислено значення показників пожежної небезпеки за даними серпня 2007 р. для умов Херсонщини (див. рис. 6.1 в). З рисунка видно, що W_{12} в цілому протягом усього місяця була нижчою, ніж в той же період у Малому Поліссі, а її зниження починалося 3, 11 і 19 числа. З 25 до 31 серпня вологість лісового горючого матеріалу досягала значень, менших за 10 %. Комплексний показник починав зростання 3, 11, 15, 19 і 22, а FWI – 5, 10, 14, 18, 21 і 24 числа. W_p починала спадати 3, 8, 14, 18, 21, 24 і 28, а ϕ'_{\max} – зростати 2, 12, 17, 21 і 29 серпня, в основному випереджаючи на 1 день зміни інших показників. На зростання рівня небезпеки 19-27 серпня 2007 року на Херсонщині під час масштабних пожеж вказують графіки, які описують комплексний показник пожежної небезпеки, FWI, вологість і рівноважну вологість горючого матеріалу.

Зауважимо, що як у Малому Поліссі, так і в Херсонській обл. спостерігався зв'язок між вологістю горючого матеріалу та іншими

показниками пожежної небезпеки. Для визначення ступеня зв'язку між величинами обчислено коефіцієнти кореляції (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Кореляційна матриця показників, які характеризують пожежну небезпеку в різних регіонах України

	W_{12}	ПН	FWI	W_p	ϕ'_{\max}
Мале Полісся, 2007					
W_{12}	1	-0,41	-0,59	<i>0,34</i>	0,11
ПН	-0,41	1	0,82	-0,56	-0,13
FWI	-0,59	0,82	1	-0,56	0,12
W_p	<i>0,34</i>	-0,56	-0,56	1	-0,04
ϕ'_{\max}	0,11	-0,13	0,12	-0,04	1
Мале Полісся, 2010					
W_{12}	1	-0,59	-0,57	-0,08	0,03
ПН	-0,59	1	0,69	-0,43	0,20
FWI	-0,57	0,69	1	-0,45	<i>0,33</i>
W_p	-0,08	-0,43	-0,45	1	-0,33
ϕ'_{\max}	0,03	0,20	<i>0,33</i>	-0,33	1
Херсонщина, 2007					
W_{12}	1	-0,96	-0,84	0,53	<i>0,34</i>
ПН	-0,96	1	0,88	-0,52	-0,36
FWI	-0,84	0,88	1	-0,69	-0,29
W_p	0,53	-0,52	-0,69	1	0,04
ϕ'_{\max}	<i>0,34</i>	-0,36	-0,29	0,04	1

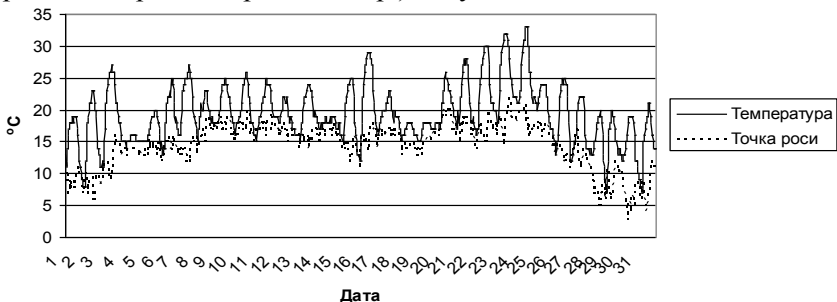
Істотність зв'язку перевірена за t -критерієм Стьюдента. Жирним шрифтом виділено коефіцієнти кореляції між такими величинами, зв'язок між якими є істотним з рівнем значущості 0,05, а курсивом – з 0,10. Встановлено тісні кореляційні зв'язки з рівнем значущості 0,05 між вологістю горючого матеріалу, комплексним показником пожежної небезпеки, FWI, а також між рівноважною вологістю та показниками пожежної небезпеки як для умов Малого Полісся, так і для Херсонщини. При цьому відповідні зв'язки у випадку Херсонщини є тіснішими, ніж для Малого Полісся. Істотні, проте з рівнем значущості 0,10, зв'язки встановлено між швидкістю зменшення відносної вологості повітря та вологістю горючого матеріалу й комплексним показником пожежної небезпеки для Херсонської обл. в серпні 2007 р., а також між цією величиною та FWI для Малого Полісся у серпні 2010 р.

Вітчизняні та зарубіжні показники пожежної небезпеки за умовами погоди використовують результати метеорологічних спостере-

жень, здійснених один раз на добу. Але на теперішній час мережа наземних метеорологічних станцій як в Україні, так і в інших країнах здійснює спостереження з вимірюванням основних метеорологічних показників цілодобово та з періодом від 0,5-1 до 3 год. Тому для більш детального аналізу впливу метеорологічних факторів на пожежну небезпеку використано такі дані.

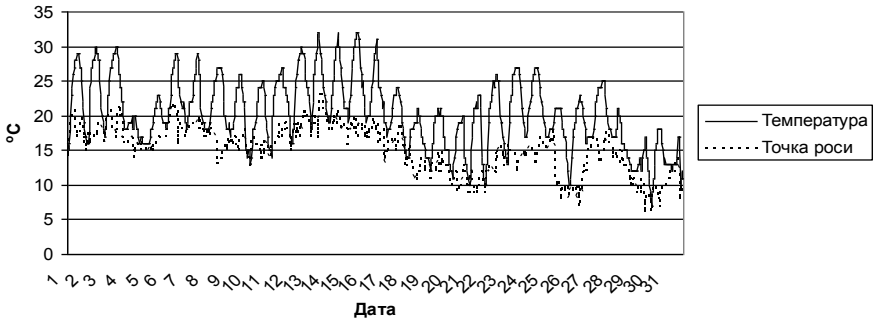
Графіки температури та відносної вологості повітря у Малому Поліссі в серпні 2007 та 2010 рр. зображено на рис. 6.2 (а, б) - 6.3 (а, б). Для порівняння наведено відповідні показники серпня 2007 р. для Херсонської обл. (див. рис. 6.2 в - 6.3 в). На рис. 6.2, окрім температури повітря, зображено графік точки роси, обчисленої теоретичним методом, а на рис. 6.3 окрім відносної вологості повітря зображено також графік швидкості її зміни. Як видно з рис. 6.2, із зростанням температури повітря зменшується температура точки роси, а, отже, зростає різниця між цими показниками, що свідчить про зростання пожежної небезпеки, яке спостерігалось 3, 16 та 24 серпня 2007 р.; 3, 15, 23 і 27 серпня 2010 р. (Мале Полісся), а також 19 серпня 2007 р. в Херсонській обл. напередодні виникнення лісової пожежі. В цей день спостерігалось значне збільшення різниці між температурою повітря та точкою роси як протягом дня, так і вночі, а ця різниця характеризує швидкість висушування лісового горючого матеріалу [386].

Як уже зазначалося, спостерігається залежність рівня пожежної небезпеки від швидкості зміни відносної вологості повітря або його температури. На території Малою Полісся (див. рис. 6.3) швидкість спадання відносної вологості понад 20 %/год спостерігалась досить часто в 2007 р. (23 дні) у 2010 р. (21 день), а в окремі дні (21, 27, 28 серпня 2007 р. і 25 серпня 2010 р.) набувала значень понад 40 %/год.

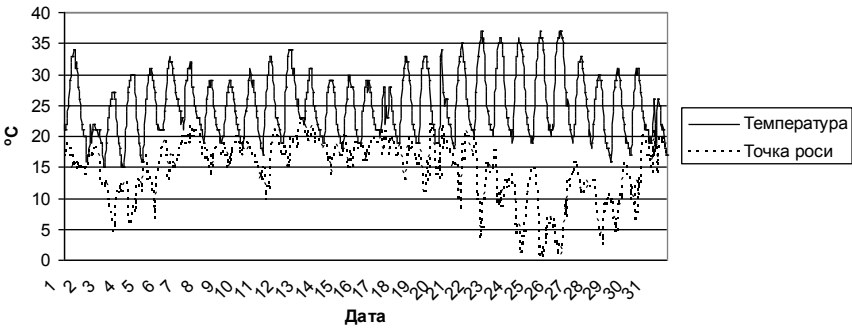


а)

Рис. 6.2. Метеорологічні спостереження температури повітря [484] та обчислені значення точки роси: а – Мале Полісся, серпень 2007 р.; б – Мале Полісся, серпень 2010 р., в – Херсонщина, 2007 р.

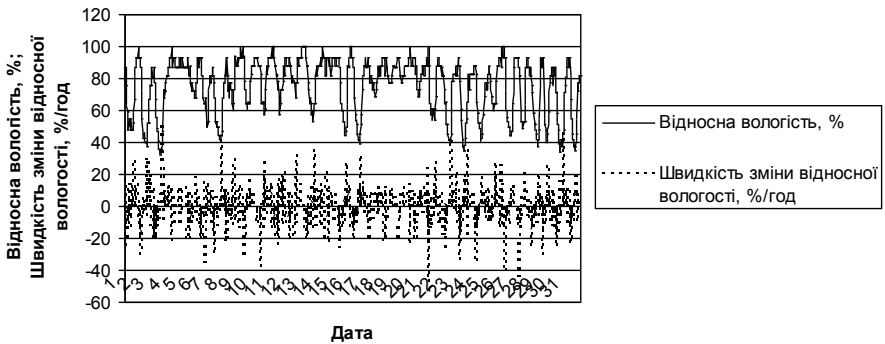


б)



в)

Рис. 6.2. (Продовження)



а)

Рис. 6.3. Метеорологічні спостереження відносної вологості повітря [484] та обчислені значення швидкості зміни відносної вологості повітря:
 а – Мале Полісся, серпень 2007 р.; б – Мале Полісся, серпень 2010 р.,
 в – Херсонщина, 2007 р.

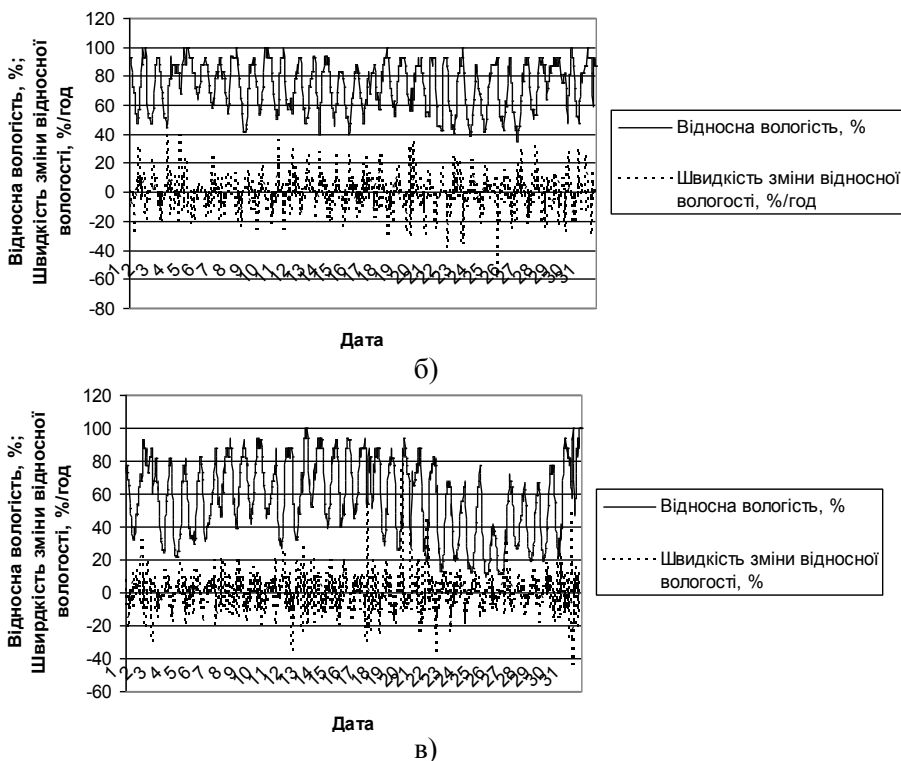


Рис. 6.3. (Продовження)

У Херсонській обл. швидкість спадання відносної вологості була меншою, що, на нашу думку, зумовлене низькими значенням відносної вологості повітря, проте її спадання відбувалося найшвидше в ранковій годині напередодні виникнення пожежі 19 серпня 2007 р., набуваючи значень понад 20 %/год. Це свідчить про те, що відносна вологість повітря цієї доби була низькою протягом більшого періоду, ніж в інші дні, забезпечуючи кращі умови для ксерофілізації, що призвело до зростання загрози виникнення пожежі. В той же час, збільшення величини комплексного показника пожежної небезпеки виявлено в день виникнення пожежі, а значного збільшення цей показник зазнав уже після її виникнення – 24-30 серпня (див. рис. 6.1 в). Це підтверджено і для метеорологічних умов Греції у серпні 2007 р. в період пожеж, які виникли поблизу Афінів приблизно в той же час, що і на Херсонщині [455]. Виявлено, зокрема, що в Греції напередодні виник-

нення пожеж спостерігалось більш різке, ніж в Україні, зростання таких параметрів, як швидкість спадання вологості та різниця між температурою та точкою роси. Це, на нашу думку, зумовлено належністю Греції до іншого кліматичного поясу.

Таким чином, на ксерофілізацію лісового середовища як в умовах Малого Полісся, так і в інших природно-кліматичних зонах істотно впливають такі метеорологічні показники, як велика різниця між температурою повітря і точкою роси, а також висока швидкість зменшення відносної вологості повітря (або швидкість зростання його температури). Спостереження за цими показниками, а також за поточною вологістю лісового горючого матеріалу дозволяють виявити початок виникнення високого рівня пожежної небезпеки, пов'язаної з ксерофілізацією лісового горючого матеріалу до стану, в якому відбувається його легке займання.

6.3. Комплексне оцінювання пожежної небезпеки лісів з урахуванням природної пожежної небезпеки та пожежної небезпеки за умовами погоди

В Україні, Росії та інших країнах колишнього СРСР для оцінювання рівня пожежної небезпеки лісів застосовують окремі методи встановлення класу природної пожежної небезпеки та пожежної небезпеки за умовами погоди. Проте ці класи характеризують один об'єкт – ліс, у якому небезпека виникнення і поширення пожеж залежить від погоди та природних особливостей насадження, які разом формують відповідний пожежонебезпечний стан лісового горючого матеріалу. Тому актуальним завданням є оцінювання небезпеки пожеж одночасно з урахуванням природної небезпеки та небезпеки за умовами погоди. Зауважимо, що за принципом одночасного врахування особливостей середовища та погодних умов побудовані відомі зарубіжні системи визначення пожежної небезпеки лісів – американська NFDRS [531] і канадська CFFDRS [480].

Показники класів природної пожежної небезпеки Z і пожежної небезпеки за умовами погоди Z_{noz} відповідно до описаних шкал набувають цілих значень від 1 до 5, але окремо не повністю характеризують пожежну небезпеку, оскільки за однакових погодних умов більш небезпечними є насадження з вищою природною пожежною небезпекою. Тому в [200] запропоновано об'єднати ці показники небезпеки в одному – індексі пожежної небезпеки I , який залежить як від погод-

них, так і природних умов. У загальному вигляді цей показник описується формулою

$$I = c(6 - Z)^\alpha Z_{\text{пог}}^\beta, \quad (6.10)$$

де α і β – числа, які характеризують внесок кожного з показників, c – нормувальний коефіцієнт. Z визначають за існуючими або запропонованими методиками для окремої ділянки лісу з урахуванням відповідних особливостей (типів лісорослинних умов, типів лісу, породного складу та ін.). $Z_{\text{пог}}$ обчислюють з урахуванням погодних умов за однією з відповідних методик (зокрема за вологістю матеріалу). Припустивши, що кожен з класів однаково впливає на індекс пожежної небезпеки, в (6.10) замість α і β підставимо одиниці. Тоді з метою визначення індекса I у найбільш зручній 5-бальній шкалі коефіцієнт c вибираємо 0,2. Формула (6.10) набуде вигляду

$$I = 0,2(6 - Z)Z_{\text{пог}}, \quad (6.11)$$

Графік залежності (6.11) наведено на рис. 6.4.

Індекс пожежної небезпеки набуватиме найвищого – 5-го ступеня небезпеки за одночасного встановлення 5-го класу пожежної небезпеки за умовами погоди та 1-го класу природної пожежної небезпеки.

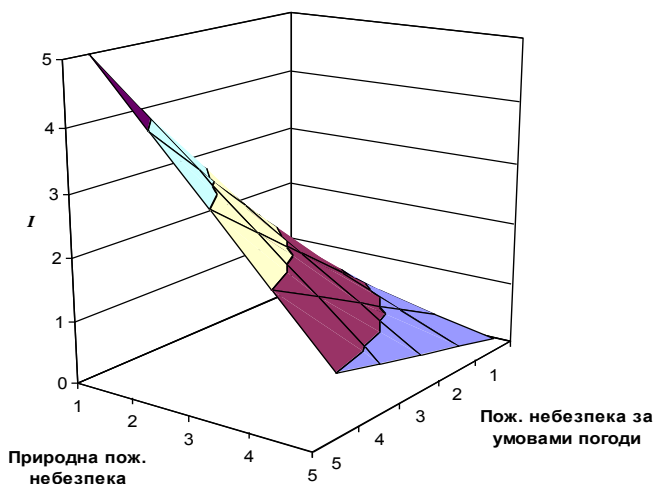


Рис. 6.4. Залежність індекса пожежної небезпеки лісів від класів природної пожежної небезпеки та пожежної небезпеки за умовами погоди

Наприклад, у червні 2004 року на території західної частини Малого Полісся встановився 4-й клас пожежної небезпеки за умовами погоди. З урахуванням природної пожежної небезпеки на ділянках з 1-м класом природної пожежної небезпеки індекс пожежної небезпеки становив

$$I = 0,2 \cdot (6 - 1) \cdot 4 = 4,$$

що свідчить про високий ступінь небезпеки. В той же час, у мішаному лісі з 3-м класом природної пожежної небезпеки ця величина становила

$$I = 0,2 \cdot (6 - 3) \cdot 4 = 2,4.$$

Таким чином, застосування індекса пожежної небезпеки дає змогу одночасно враховувати залежність пожежної небезпеки лісів від погодних умов та від особливостей лісових насаджень. Уточнення параметрів α , β та c в (6.10) може здійснюватися з урахуванням процесів виникнення та поширення пожеж у лісах за відповідних класів пожежної небезпеки за умовами погоди і природної пожежної небезпеки, а також беручи до уваги лісотипологічні особливості.

6.4. Удосконалення протипожежного захисту лісів

Функції охорони лісів, в тому числі й протипожежної, в Україні покладені на лісові господарства та лісництва. Але у випадку виникнення лісових пожеж для їх ліквідації залучаються підрозділи МНС, а тому проблеми забезпечення пожежної безпеки лісів безпосередньо стосуються і цих служб.

Найбільшу небезпеку виникнення пожежі становлять хвойні ліси. В Україні вони зосереджені, в основному, на півдні та сході, проте значну частку територій лісів на заході України також становлять хвойні породи дерев, зокрема, в Карпатах і Малому Поліссі. Існує низка організаційних заходів, виконання яких призведе до покращення пожежної безпеки лісів на вказаних територіях. До них відносяться:

- створення та удосконалення діяльності лісових пожежних станцій;
- створення системи моніторингу лісових територій;
- моделювання процесів займання і поширення лісової пожежі з урахуванням різноманітних факторів;
- проведення профілактичних протипожежних заходів у лісах;
- проведення лісогосподарських і лісозаготівельних робіт, спрямованих на покращення протипожежного стану лісів.

Здійснення цих заходів покладене на працівників лісового господарства. Їх слід реалізовувати з урахуванням різної пожежної небезпеки окремих територій. Зокрема, небезпеку виникнення пожеж необхідно враховувати під час вибору місця розташування підрозділу, функціями якого є гасіння пожежі та забезпечення реалізації протипожежних заходів. Основною одиницею пожежогасіння є пожежна команда, місцем дислокації якої є лісова пожежна станція [349]. Розташування таких підрозділів здійснюється, переважно, на територіях центральних садіб лігоспів чи лісництв. Проте для більш ефективного виявлення та ліквідації пожежі за наявності відповідної можливості перебазування лісової пожежної станції, мобільного способу її дислокації в пожежонебезпечний період і у випадку створення нової доцільним є вибір такого її розміщення, яке забезпечить мінімізацію часу прибуття до місця виникнення пожежі.

Аналіз та удосконалення протипожежного захисту лісів Малого Полісся. Незважаючи на те, що забезпечення пожежної безпеки лісових територій покладене на лісові господарства, з практики відомо, що найчастіше у разі виникнення пожежі її ліквідовують переважно пожежно-рятувальні підрозділи МНС України. В усіх випадках задіюється найближчий підрозділ, який після прибуття до місця пожежі здійснює розвідку та проводить гасіння пожежі наявними засобами. Для розв'язання задачі вибору найближчого підрозділу необхідно здійснити розбиття території на зони обслуговування. Незважаючи на низку методів, основою яких є різноманітні алгоритми пошуку найкоротшого шляху, найкращим для цієї задачі є геометричний метод, який базується на застосуванні діаграм Вороного та тріангуляції Делоне [381]. Він вже використовувався для визначення локальної густоти, повноти та зімкнутості крон деревостанів, а також для розбиття території міста на зони обслуговування пожежно-рятувальних частин [165]. Оскільки лісові господарства забезпечені пожежною технікою здебільшого недостатньо, а повідомлення про виникнення пожеж надходять в першу чергу за номером 101 Оперативно-рятувальної служби МНС, тому до гасіння пожеж першими залучаються сили та засоби МНС України, які перебувають в стані постійної готовності. У зв'язку з цим розглянемо реалізацію методу діаграм Вороного з урахуванням пожежно-рятувальних підрозділів МНС України [64], розташованих на території Малого Полісся у Львівській обл. (табл. 6.5). Відповідно до табл. 6.4 на карту Малого Полісся у межах Львівської обл. нанесено пожежно-рятувальні частини (рис. 6.5). Спочатку побудовано опуклу оболонку множини точок розташування пожежно-рятувальних частин. Отриманий багатокутник роз-

бито на трикутники, вершинами яких є пожежно-рятувальні частини, а сторонами – відрізки, які сполучають ці вершини. При цьому забезпечено виконання умови Делоне, яка полягає в тому, що будь-яке коло, описане навколо кожного з таких трикутників, не повинно містити всередині інших точок – вершин трикутників Делоне. З урахуванням цього отримано триангуляцію Делоне (рис. 6.5 а).

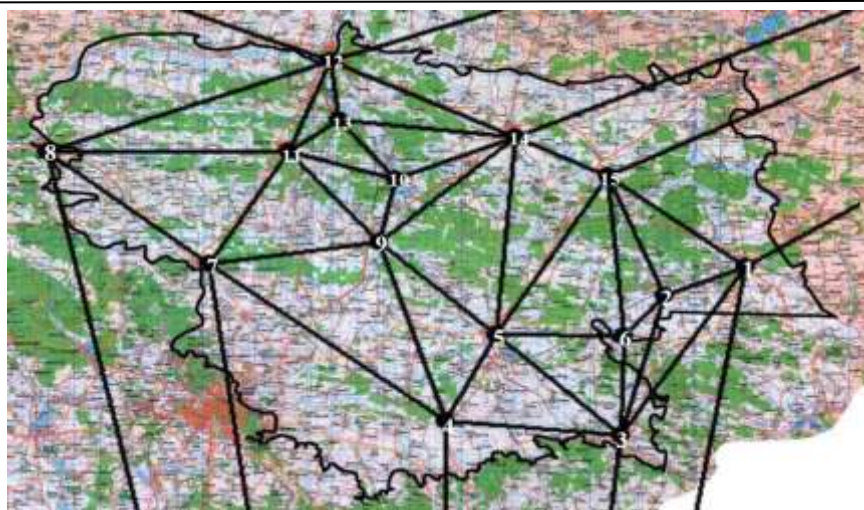
Таблиця 6.5

**Пожежно-рятувальні підрозділи, підпорядковані
ГУ МНС України у Львівській області, які залучаються
для гасіння лісових пожеж на території Малого Полісся**

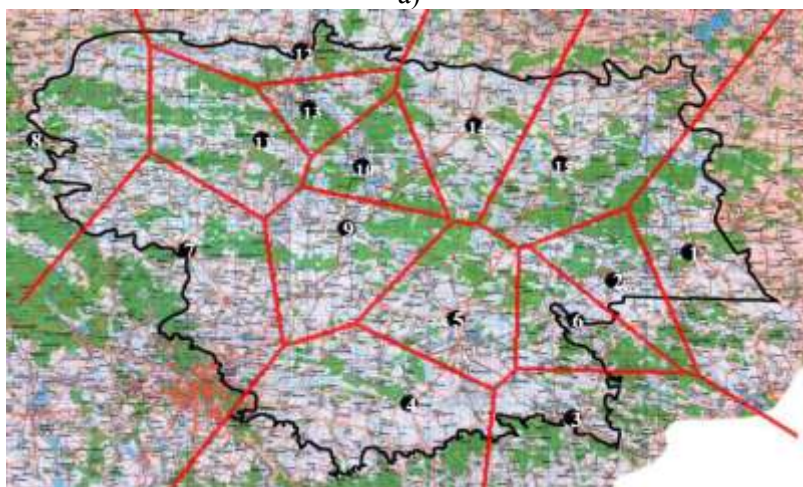
№ п/п	Скорочена назва підрозділу	Населений пункт	Адреса
1	2	3	4
1.	СДПЧ-18	м. Броди	вул. Гончарська, 7
2.	ОП	с. Заболотці	-
3.	СДПЧ-21	м. Золочів	вул. Лесі Українки, 4
4.	ОП ДПО	м. Глиняни	вул. Шептицького, 3
5.	СДПЧ-22	м. Буськ	пл. Ринок, 21
	ОП ДПО	с.м.т. Олесько	вул. Труша, 13
6.	СДПЧ-25	м. Жовква	вул. Львівська, 13
7.	ОП ДПО	м. Рава-Руська	вул. Грушевського, 22
8.	СДПЧ-26	м. Кам'янка-Бузька	вул. Незалежності, 62
9.	ОП ДПО	с.м.т. Добротвір	-
10.	ОП ДПО	м. Великі Мости	вул. Шевченка, 7
11.	СДПЧ-14	м. Червоноград	вул. Б.Хмельницького, 30
12.	ОП СДПЧ-14	м. Соснівка	вул. Львівська, 4
13.	СДПЧ-29	м. Радехів	вул. Стоянівська, 21
14.	ОП ДПО	с.м.т. Лопатин	вул. Центральна, 17

На наступному етапі побудовано діаграми Вороного, які відповідають даній триангуляції (рис. 6.5 б) і розподіляють територію Малого Полісся на зони близькості. Такий поділ забезпечує умову, що для кожної точки всередині довільної зони найближчою буде пожежно-рятувальна частина саме з цієї зони. Тому у випадку виникнення пожежі з метою найшвидшого прибуття до її осередку сил і засобів пожежогашіння слід залучати пожежно-рятувальну частину відповідної зони.

Поділ на зони за допомогою діаграм Вороного дозволяє також встановити радіуси обслуговування пожежно-рятувальних частин. Для їх визначення спочатку знайдемо найбільшу відстань від місця дислокації підрозділу до межі відповідної комірки Вороного.



а)



б)

Рис. 6.5. Побудова для пожежно-рятувальних частин на території Малого Полісся у Львівській області
а – триангуляції Делоне; б – діаграм Вороного

Для частини, розташованої всередині опуклої оболонки, такою величиною буде радіус найбільшого з кіл, описаних навколо трикутників Делоне, вершиною яких є вибрана пожежно-рятувальна частина (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Вибір місця для розташування нових пожежно-рятувальних частин на території Малого Полісся у Львівській області за радіусами описаних кіл навколо трикутників Делоне (див. рис. 6.5 а)

Для частин, які є вершинами опуклої оболонки (точки 1, 3, 4, 7, 8, 12, 14 та 15), найбільші відстані визначали аналогічно, однак при цьому додатково враховували й відстані від них до межі території Малого Полісся. Для запропонованого поділу максимальна відстань становить 27,3 км (рис. 6.7). На основі максимальної відстані оцінено найбільший шлях, який повинні пройти автомобілі від пожежно-рятувальної частини до місця виникнення пожежі. Оскільки слідування сил і засобів здійснюється не по прямій лінії, а мережею різноманітних доріг, при розрахунку відстаней враховано коефіцієнт непрямо-лінійності доріг [34, 314]. Вважаємо, що найбільше значення цього коефіцієнта в більшості випадків становить $\sqrt{2} \approx 1,4$, яке досягається у випадку, якщо відстань між точками є гіпотенузою, а слідування відбувається катетами рівностороннього прямокутного трикутника. Відповідно до нормативних документів, якими керується оперативнорятувальна служба, радіус обслуговування визначається з урахуванням слідування мережею доріг [284], а тому за максимальний радіус обслуговування взято оцінку найбільшого шляху слідування від кожної пожежно-рятувальної частини до місця пожежі в межах відповідної зони. Він досягає максимуму для частин, розташованих у м. Глиняни та с.м.т. Лопатин, і становить 47,3 км.

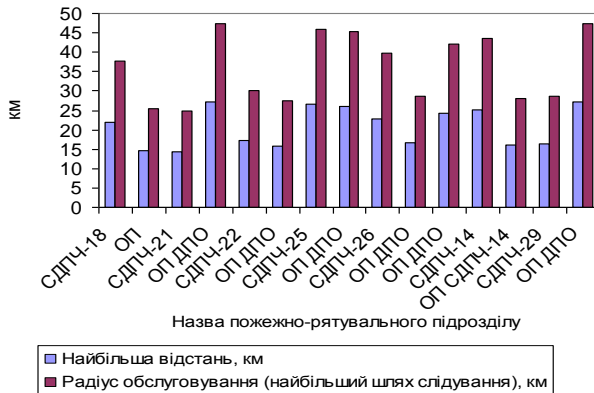


Рис. 6.7. Найбільша відстань та найбільший шлях слідування від пожежно-рятувальної частини до місця можливого виникнення пожежі з урахуванням поділу на зони (див. рис. 6.5 б)

З метою зменшення шляху слідування підрозділу до місця пожежі слід створювати нові підрозділи, розташовуючи їх на даній території. Місця найоптимальнішого розташування таких частин визначаємо за допомогою триангуляції Делоне та діаграм Вороного. При цьому, як правило, нова частина повинна розміститися в одній із вершин діаграми Вороного. З методу побудови діаграм Вороного випливає, що така вершина співпадає з центром кола, описаного навколо одного з трикутників Делоне (див. рис. 6.5 а).

Вибравши трикутники з описаними колами найбільших радіусів, центри цих кіл є місцями рекомендованих розташувань нових пожежно-рятувальних частин. Такими місцями (див. рис. 6.6) повинні бути точки *A* (с. Старий Яричів) та *B* (с. Волиця). Наприклад, розташувавши пожежно-рятувальну частину лише в точці *A*, максимальний шлях слідування для частини, розташованої у м. Глиняни зменшиться на 17 км і становитиме 30,3 км.

Таким чином, з використанням методу діаграм Вороного здійснено розв’язання задачі розбиття території Малоого Полісся на зони близькості, на основі якого оцінено максимальний шлях слідування сил і засобів відповідних пожежно-рятувальних частин, а також визначено оптимальні місця розташування нових пожежно-рятувальних частин у місцях, де щільність покриття є недостатньою. Це підвищить рівень протипожежного захисту лісів Малоого Полісся. Метод діаграм Вороного дозволяє враховувати й пожежні підрозділи інших відомств, які дислоковані на території Малоого Полісся (лісові пожежні станції, сільські, об’єктові пожежні частини та ін.), а також тимчасові мобільні пожежні пости.

Окрім розбиття території на зони обслуговування пожежно-рятувальних частин близькості, за допомогою діаграм Вороного можна розв'язувати й інші задачі удосконалення протипожежного захисту лісів:

- задача оперативного поділу на зони близькості для стаціонарних та пересувних пунктів дислокації сил і засобів, які залучаються для патрулювання;
- задача оцінювання та удосконалення мережі спостережних вишок;
- задача оцінювання та удосконалення розташування джерел водопостачання та ін.

Охарактеризуємо коротко кожен з цих задач та опишемо алгоритм їх розв'язання.

З метою проведення пожежно-профілактичної роботи, яка відноситься до сфери діяльності працівників лісового господарства, нерідко виникає потреба оперативного розподілу території лісів і визначення необхідної кількості працівників. Це завдання можна реалізувати за допомогою діаграм Вороного. Відповідно до територіального принципу розподіл лісових територій здійснюється в межах лісгоспів та лісництв за кварталами. Проте у випадках високого класу пожежної небезпеки за умовами погоди та залучення додаткових людських ресурсів з метою проведення патрулювання цей розподіл можна уточнити, побудувавши зони близькості до садіб лісництв та інших стаціонарних і пересувних пунктів дислокації основних та додаткових сил і засобів пожежогасіння. Діаграми Вороного, як зазначалося вище, дають можливість оперативно розподілити територію між підрозділами та оцінити максимальний шлях слідування від кожного з N пунктів дислокації до точок, які містяться у відповідній зоні близькості. А площі цих зон можуть використовуватися для розрахунку необхідної кількості працівників n_i для i -го пункту дислокації, що залучаються для патрулювання. Оцінювання питомої кількості працівників n_{pi} , осіб/м², з розрахунку на площу, яка припадає на кожного з них, здійснюється за формулою

$$n_{pi} = \frac{n_i}{S_i}, \quad (6.12)$$

де S_i – площа многокутника, м².

Оскільки лісистість території Малого Полісся порівняно невелика, то для більш точного розрахунку в формулі (6.12) слід брати не площу многокутників Вороного, а площу лісів, які розташовані в межах цих многокутників. Діаграми Вороного дають можливість оцінити густоту розташування існуючих пунктів дислокації N_{pi} , одиниць/м², в межах i -ої зони близькості за формулою

$$N_{pi} = \frac{1}{S_i}, \quad (6.13)$$

де S_i – площа многокутника, m^2 , і вказати місце для найбільш доцільного розташування нових, що призведе до збільшення густоти та покращить протипожежний захист лісів.

За аналогічним принципом метод розподілу на зони близькості можна застосовувати для оцінювання та удосконалення мережі спостережних вишок, які використовуються для виявлення займання лісів. За діаграмами Вороного можна визначити найбільшу відстань спостереження для кожної з вишок та їх сукупності, визначити їх густоту, на основі якої виявити території з найменшою густотою покриття вишками та встановити місця для побудови нових, введення в дію яких забезпечить більшу густоту покриття та призведе до підвищення ефективності виявлення пожеж.

Розглядаючи джерела водопостачання (природні та штучні водойми в лісах та на межі з ними, тощо), за допомогою діаграм Вороного можна побудувати зони близькості, за якими оцінювати забезпечення водою території, що допоможе керівникові гасіння пожежі ефективно використати їх мережу. На ділянках, де максимальна відстань від вододжерела не забезпечує ефективної подачі води, за допомогою діаграм Вороного можна рекомендувати місця для улаштування нових протипожежних водойм, створення яких покращить протипожежне забезпечення водою, зменшивши максимальну відстань, на яку її подаватимуть. За допомогою діаграм Вороного можна також визначити питому кількість води Q_{pi} , м, для i -го многокутника за формулою

$$Q_{pi} = \frac{V_i}{S_i}, \quad (6.14)$$

де V_i – об'єм води у відповідній водоймі, m^3 , S_i – площа многокутника, m^2 . Ця величина описує висоту рівня води, якою можна покрити кожну з комірок Вороного. У випадку тимчасового виведення з експлуатації водойм протипожежного призначення (висихання або реконструкції) з метою оперативного оцінювання поточного стану пожежного водозабезпечення в лісах слід здійснити перепланування покриття зонами близькості, виключаючи з розгляду відповідні вододжерела.

Для розв'язування таких задач запропоновано алгоритм (рис. 6.8). Вхідними даними алгоритму є координати N об'єктів – пожежних підрозділів (пожежних водойм), а також допустимі значення максимальної відстані від кожного з цих об'єктів до меж відповідної зони близькості r_{dop} , м, мінімальної густоти розташування об'єктів N_{pdop} , од./ m^2 , мінімальної питомої кількості працівників n_{pdop} , осіб/ m^2 (або мінімальної питомої кількості води Q_{pdop} , м).

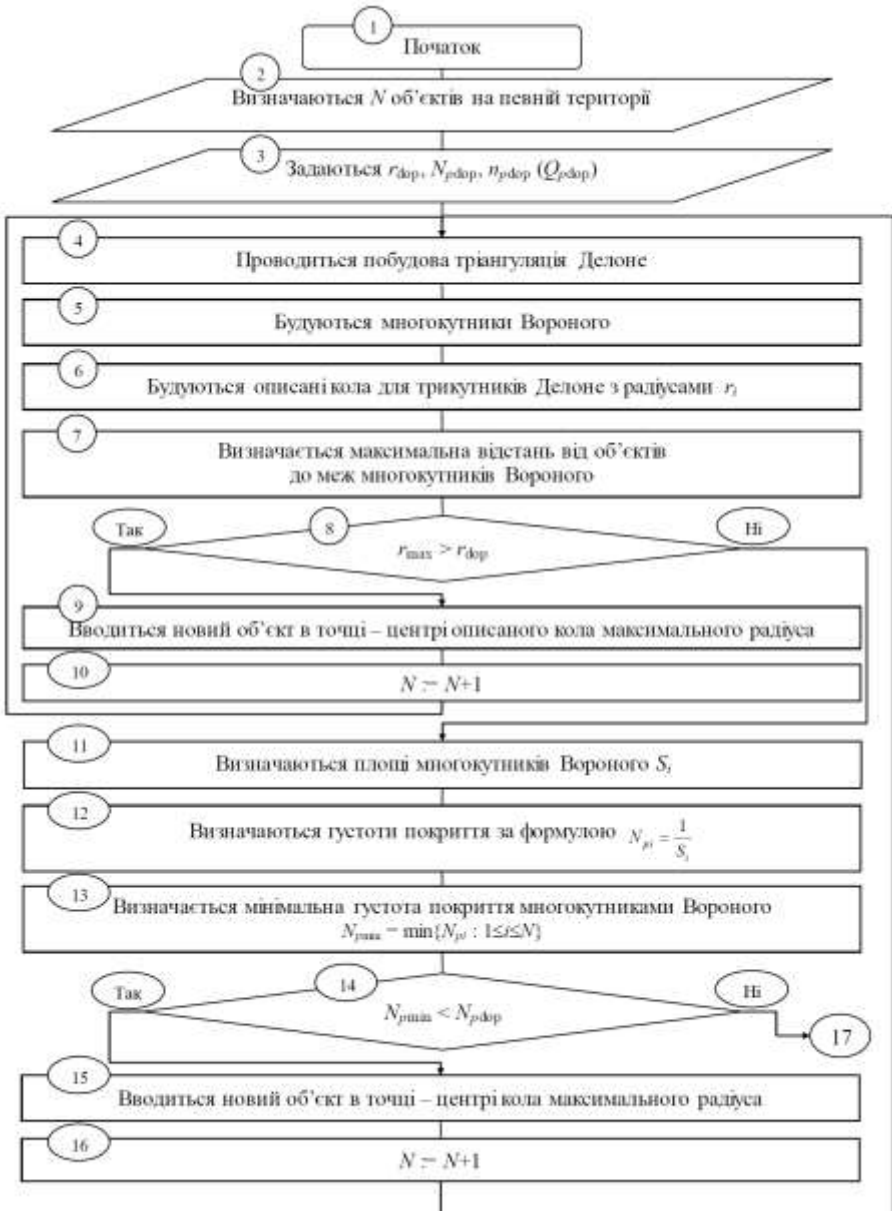


Рис. 6.8. Блок-схема алгоритму розв'язування задач удосконалення протипожежного захисту на основі методу діаграм Вороного

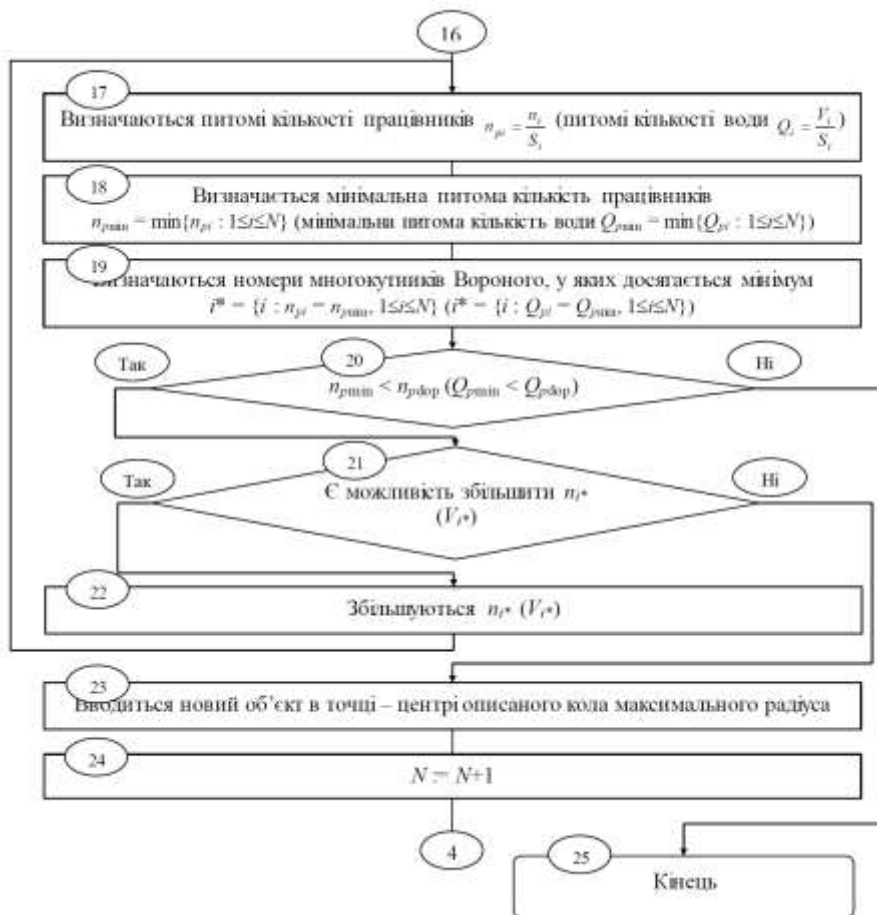


Рис. 6.8. (продовження)

Результатом роботи алгоритму є встановлення відповідності розбиття області діаграмами Вороного протипожежним вимогам розташування пожежних підрозділів, пожежних вододжерел та ін. Запропонований алгоритм можна застосовувати і для розв'язування низки інших аналогічних задач.

Таким чином, розв'язання різноманітних задач протипожежного захисту лісів із застосуванням діаграм Вороного дозволяє підвищити ефективність і удосконалити управління протипожежним захистом лісів Малого Полісся.

Вибір місця для розташування пожежних підрозділів з урахуванням природної пожежної небезпеки

Для вибору місця розташування майбутніх пожежних підрозділів, зокрема лісових пожежних станцій [349], окрім розвиненої інфраструктури, вододжерел, шляхів сполучень та інших геометричних параметрів, які характеризують час прибуття сил і засобів до місця пожежі та інші параметри їх діяльності, важливим є урахування природної пожежної небезпеки лісових насаджень, оскільки процеси займання та поширення лісових пожеж залежать від типів лісорослинних умов, породного складу, параметрів деревостану та ін. Окрім того, зона обслуговування лісової пожежної станції повинна покривати територію лісництва чи лісового господарства. З цією метою у [197, 175] запропоновано методика визначення місця розташування лісової пожежної станції яка враховує природну пожежну небезпеку.

Вважатимемо область G на площині (рис. 6.9) територією лісництва або лісового господарства. Введемо локальну систему координат на площині Oxy . Для кожної точки $M(x, y)$ цієї області, яка входить до складу деякого кварталу та виділу, відомим є клас природної пожежної небезпеки $Z(x, y)$, який може набувати дискретних значень, визначених відповідно до [351] від 1 (висока пожежна небезпека) до 5 (низька небезпека) або іншими методами, зокрема з урахуванням пожежної небезпеки едафотопів, густоти та повноти насаджень. Для ділянок, описаних на рівні окремого дерева, пожежну небезпеку слід визначати в кожній комірці Вороного.

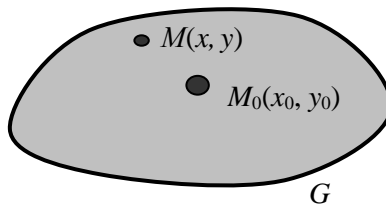


Рис. 6.9. Вибір місця розташування лісової пожежної станції

Для визначення точки оптимального розміщення лісової пожежної станції застосовано формули знаходження центра мас плоскої неоднорідної фігури [33], вибравши в ролі густини функцію

$$k(x, y) = 6 - Z(x, y). \quad (6.15)$$

На ділянках з відсутністю рослинності вважатимемо, що $k(x, y) = 0$ (нема небезпеки). Координати центра мас $M_0(x_0, y_0)$ обчислюємо за формулами

$$x_0 = \frac{\iint_G xk(x, y) dx dy}{\iint_G k(x, y) dx dy}, \quad y_0 = \frac{\iint_G yk(x, y) dx dy}{\iint_G k(x, y) dx dy}. \quad (6.16)$$

Точка з такими координатами є геометричним центром природної пожежної небезпеки для області G . Якщо ж на території лісництва або лісового господарства зростають насадження лише з одним класом пожежної небезпеки (однаковою густиною $k(x, y)$), то результатом обчислення за формулами (6.16) будуть координати геометричного центра області G , які визначаємо за формулами

$$x_0 = \frac{\iint_G x dx dy}{\iint_G dx dy} = \frac{\iint_G x dx dy}{S}, \quad y_0 = \frac{\iint_G y dx dy}{\iint_G dx dy} = \frac{\iint_G y dx dy}{S}, \quad (6.17)$$

де S – площа області G , м². Легко довести, що знайдена за (6.16) або (6.17) точка не залежить від вибору локальної системи координат.

Таким чином, для лісових господарств або лісництв, на території яких планується створення лісової пожежної станції, для вибору місця її розташування доцільно враховувати природну пожежну небезпеку території, що забезпечить рівномірність протипожежного захисту.

Оскільки лісову пожежну станцію розміщують з урахуванням мінімізації масштабів пожежі на етапі її вільного розвитку, функція густини $k(x, y)$ замість класу природної пожежної небезпеки може описувати інший параметр – швидкість поширення пожежі у відповідному лісовому насадженні, оскільки цей важливий параметр характеризує динаміку пожеж і береться за основу тактичних розрахунків під час організації гасіння [124, 407]. З цією метою проаналізовано граничні значення швидкості поширення пожежі в залежності від класу природної пожежної небезпеки відповідно до погодних умов [359, 377], а також середню швидкість поширення для найнесприятливішого класу пожежної небезпеки за умовами погоди. Як приклад, швидкість поширення розглянуто для випадку низової пожежі. Використовуючи відповідні значення швидкостей, побудовано графіки залежностей мінімальної, максимальної та середньої швидкостей від класу природної

пожежної небезпеки (рис. 6.10). Апроксимаційний поліном середньої швидкості низової пожежі описується формулою

$$y = 12,5x^2 - 87,5x + 205, \quad (6.18)$$

де x – клас природної пожежної небезпеки.

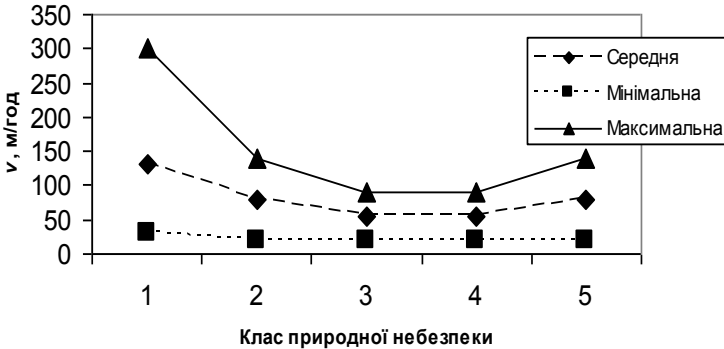


Рис. 6.10. Залежності швидкостей поширення низової пожежі від класу природної пожежної небезпеки

Таким чином, з урахуванням середньої швидкості поширення низової пожежі (6.15), у формулах (6.16) замість (6.15) слід використувати таку функцію густини:

$$k(x, y) = 12,5(Z(x, y))^2 - 87,5 Z(x, y) + 205, \quad (6.19)$$

а для фрагментів території, непокритих лісовою рослинністю, вважати, що $k(x, y) = 0$.

Аналогічний метод розрахунку місця розташування лісової пожежної станції можна удосконалити з урахуванням додаткових факторів, які впливають на функцію $k(x, y)$. До них належить розташування в межах лісових масивів або населених пунктів небезпечних об'єктів, які становлять небезпеку виникнення лісових пожеж (небезпечних виробництв, складів, паливних трубопроводів, високовольтних ліній електропередач, та ін.), наявність природних перешкод, що запобігають поширенню пожежі, рельєф місцевості, вітер, а також розташування на території лісових господарств і суміжних з ними ділянках інших пожежних підрозділів (Міноборони України, МНС України та ін.). У кожному з випадків основним завданням є формування відповідної функції густини на основі геометричних і фізичних властивостей та аналітичних методів розрахунків.

Таким чином, для створення лісових пожежних станцій вибирати місця для їх розташування слід з урахуванням природної пожежної небезпеки, а за наявності детальної інформації – з урахуванням пожежної небезпеки для окремого дерева в комірці діаграми Вороного. Одним із методів оцінювання небезпеки є урахування швидкості поширення пожежі, яка залежить від класів природної пожежної небезпеки. Врахування інших факторів є доцільним за умови їх значного впливу на пожежну небезпеку.

Антропогенні та лісівничі впливи на лісові насадження з метою зниження пожежної небезпеки. Абсолютна більшість лісових пожеж в Україні та світі виникає внаслідок діяльності людини. Через це особливого значення набуває проведення комплексу заходів, спрямованих на зниження рівня пожежної небезпеки та недопущення виникнення пожеж у лісах [206].

Пожежна небезпека лісів визначається за умовами погоди та як природна пожежна небезпека. Оскільки людина не може оперативного впливати на погодні умови, тому профілактичну діяльність необхідно проводити відповідно до рівня пожежної небезпеки за погодними умовами та з урахуванням індекса, який характеризує сумарну небезпеку. Комплекс протипожежних заходів особливо необхідний напередодні та у святкові й вихідні дні, а також при встановленні високого класу пожежної небезпеки за умовами погоди. Наприклад, влітку 2010 року у зв'язку з тривалою сухою та жаркою погодою на всій території України вводилася заборона відвідування лісів, активізувалася робота щодо влаштування протипожежних мінералізованих смуг, патрулювання, тощо. Але не завжди результати були задовільними та ефективними, оскільки враховували лише небезпеку за умовами погоди. Тому іншим напрямом запобігання пожеж повинні стати довготермінові лісівничі заходи, які враховують природну пожежну небезпеку лісових насаджень. Першим етапом у цьому напрямку є здійснення розподілу територій лісів за природною пожежною небезпекою з урахуванням типологічних і просторових особливостей та застосування диференційованого підходу до профілактичної діяльності з урахуванням такого розподілу і пожежної небезпеки за умовами погоди.

З метою ефективного проведення пожежно-профілактичних заходів слід враховувати впливи на ліс та його компоненти природних і антропогенних факторів, найосновніші з яких зображено на схемі (рис. 6.11).



Рис. 6.11. Схема основних антропогенних та лісівничих впливів на лісові насадження, які зумовлюють пожежонебезпечний стан надземного горючого матеріалу

Найбільшої уваги з огляду на пожежну небезпеку потребує наземний ярус лісу, до якого входять трав'яний покрив, чагарники, а також опад і лісова підстилка. Їх формування відбувається під впливом просторової структури, видового складу фітоценозів та едафотопів. Від структури і стану наземного яруса та підстилки залежить виникнення і поширення пожежі. З метою удосконалення стану пожежної безпеки в лісах проводять комплекс лісівничих заходів, які впливають на надземний та наземний яруси лісу. До них відносять насадження, вирубки і прочистки. Їх планування та проведення повинне здійснюватися не лише з урахуванням лісгосподарських завдань, але і з метою зменшення небезпеки пожеж, впливаючи на умови зростання трав'яних рослин та мінералізацію підстилки. Під час проведення лісівничих заходів, особливо в пожежонебезпечний період, слід дотримуватись заходів пожеж-

ної безпеки [354]. Ефективними, проте таким, що потребують значних матеріальних і людських ресурсів, є заходи з облаштування місць рекреації, збирання навколо них сухого опаду та хмизу, викошування трави, використання засобів наочної агітації на протипожежну тематику та ін. Насаджуванням дерев листяних порід можна змінювати середній клас пожежної безпеки. Але у випадку формування мішаних лісів слід враховувати взаємний вплив порід, а природну пожежну небезпеку визначати за запропонованою методикою.

На проективне покриття та ясність можна здійснювати вплив зміною повноти насаджень в залежності від породного складу деревостанів. Мінералізація підстилки залежить від повноти деревостану, а також від наявності листяних порід, які її прискорюють та зменшують пожежну небезпеку. Вирубубання з метою прорідження та очищення лісу є також ефективним протипожежним заходом, оскільки зменшує потужність опаду і підстилки. Проте надмірне прорідження може привести до збільшення освітлення наземного шару, що призведе до збільшення густоти трав'яного покриву, який у вегетаційний період сприяє зменшенню пожежної небезпеки, однак у сухому стані є вкрай пожежонебезпечним.

Боротьба з шкідниками дерев та хворобами, які зумовлюють усихання дерев, також сприяє зниженню пожежонебезпеки. Це стосується і гідрологічних та меліоративних заходів, які не повинні призвести до надмірного осушування лісових територій.

Окрім того, у лісах проводять і спеціалізовані протипожежні заходи, зокрема створюють мінералізовані смуги, які можуть сповільнити або зупинити поширення лісової пожежі та не допустити її виникнення від сільськогосподарських палів. Проте вони не впливають на показник природної пожежної безпеки. Іншими заходами є будівництво лісових доріг, впорядкування лісових водоймищ, створення мобілізаційних планів реагування на виникнення пожежі та ін. Ці заходи є організаційно-технічними, які удосконалюють тактичну сторону боротьби з лісовими пожежами, а тому потребують окремого дослідження.

Таким чином, при плануванні та проведенні лісівничих заходів слід зосереджувати увагу не лише на організаційно-технічні, але і екологічні заходи, які сприяють зниженню природної пожежної небезпеки.

Висновки до розділу 6

1. Запропонована методика визначення природної пожежної небезпеки мішаних лісів дає змогу враховувати відмінності пожежної небезпеки хвойних (соснових), твердолистяних і м'яколистяних порід.

2. На встановлення високого рівня пожежної небезпеки лісів за умовами погоди вказують велика різниця між температурою та точкою роси, висока швидкість зменшення відносної вологості повітря упродовж доби, а також низька вологість лісового горючого матеріалу.

3. Одночасне врахування природної пожежної небезпеки та небезпеки за умовами погоди за допомогою індекса пожежної небезпеки сприяє точнішому оцінюванню локальної поточної небезпеки виникнення пожеж на ділянці лісу.

4. Розбиття території західної частини Малого Полісся на зони близькості для пожежно-рятувальних підрозділів за допомогою діаграм Вороного зумовить зростання ефективності їх залучання для гасіння лісових пожеж. Визначені за допомогою розбиття місця влаштування нових пожежних частин у с. Старий Яричів та с. Волиця забезпечать зменшення максимального шляху та часу прибуття до місця пожежі рятувальних підрозділів.

5. Найбільшої ефективності протипожежного захисту обмеженої території лісу можна досягти розташуванням пожежно-рятувального підрозділу в центрі мас плоскої неоднорідної фігури, яка описує відповідну територію, з використанням в ролі густини функції, яка характеризує природну пожежну небезпеку або описує середню швидкість поширення низової пожежі.

6. Планування та проведення лісівничих заходів слід здійснювати з урахуванням залежностей пожежної небезпеки лісів від едафотопів, породного складу, просторової структури та інших факторів. При формуванні нових насаджень, лісовідновленні та інших видах лісогосподарської діяльності для зниження пожежної небезпеки слід поєднувати хвойні породи з листяними, оптимізувати повноту деревостанів, утримувати територію відповідно до протипожежних вимог.

ВИСНОВКИ

У монографії обґрунтовано еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся. Здійснено експериментальні та теоретичні дослідження пожежонебезпечних властивостей лісових горючих матеріалів, процесів їх висушування з урахуванням радіальних і латеральних геопотоків та просторової структури середовища, розроблено динамічну модель пожежної небезпеки лісів. Досліджено найпоширеніші джерела займання. Розроблено математичні моделі займання лісового горючого матеріалу внаслідок дії радіаційного теплового потоку від полум'я, поширення лісової пожежі з урахуванням впливу рельєфу та вітру. Досліджено вплив низової пожежі на сосну звичайну. Отримано залежності вмісту води та вогненебезпечних речовин у надземній частині чистих та мішаних деревостанів. Досліджено пожежну небезпеку насаджень в різних едафотобах з урахуванням особливостей структури лісів, властивостей ґрунтів та рослин наземного яруса. Отримано залежності пожежної небезпеки від кліматичних показників. Розроблено рекомендації щодо удосконалення оцінювання пожежної небезпеки та протипожежного захисту лісів Малого Полісся.

1. Пожежна небезпека лісових насаджень Малого Полісся зменшується із збільшенням тропності та вологості едафотопів.

2. Висока пожежна небезпека соснових насаджень у порівнянні з листяними зумовлена нижчою температурою займання живої хвої, ніж сухої, вмістом живиці та скипидару, повільною мінералізацією хвойного опаду та пожежонебезпечними рослинами наземного яруса.

3. Пожежна небезпека опаду, підстилки і сухих фрагментів рослин характеризується вологістю, зокрема рівноважною, і здатністю поширювати пожежу, формується радіальними та латеральними геопотоками у взаємодії з лісовим фітоценозом відповідної еколого-просторової структури залежно від виду та властивостей горючого матеріалу, часу доби, пори року, едафотопу. Вологість надземної частини живих трав'яних рослин загалом зростає із збільшенням тропності та вологості едафотопів.

4. Пожежна небезпека узлісь залежить від їх типів і фітоценотичного складу, а її зниження досягається формуванням складних узлісь, мінімізацією їх питомої протяжності, розчленовування та належним доглядом.

5. Пожежна небезпека найпоширеніших джерел запалювання залежить від їх виду та швидкості вітру і спричиняє займання хвойної та листяної підстилки за вологості, яка не перевищує 15%, а сухої трави – 20%.

6. Поширення пожежі зумовлюють мікрокліматичні умови поблизу полум'я і радіаційний тепловий потік з його поверхні, які залежать від геометричних розмірів, температури полум'я, а також вид та розташування горючого матеріалу і швидкість вітру.

7. Низова пожежа впливає на життєздатність сосни звичайної, що виявляється не лише за візуальними ознаками, але і за біометричними, електрофізіологічними та температурними показниками дерев, а також станом ґрунтів. Незначні ураження дерево заліковує інтенсивним виділенням живиці, а за значних ушкоджень усихає або уражається грибами, що відображають відповідні значення імпедансу та поляризаційної ємності.

8. Вміст води у надземній частині чистих і мішаних деревостанів як фактора пожежонебезпеки залежить від віку і частки хвойних. Вологість зовнішнього шару стовбурів залежить від фенологічних фаз та породи дерева і є низькою на початку весни, а влітку та восени за умов достатнього зволоження зростає, забезпечуючи більшу пожежостійкість. Вміст живиці та скипидару в мішаних деревостанах зростає з віком і лінійно зростає з частою сосни.

9. Трофність едафотопів є більш стабільним фактором пожежостійкості, ніж вологість, оскільки зволоження підстилки залежить і від погодно-кліматичних умов. Із зростанням кількості особин та проективного покриття внаслідок інтенсифікації освітленості зменшується і вологість верхнього шару підстилки, що призводить до зростання небезпеки.

10. Питома кількість лісових пожеж в Україні залежить від кліматичних показників Воробйова W і T , обчислених для поточного року, та описується формулами $N_{num} = 0,00029 \cdot 1,0599^T 0,4641^W$ або $N_{num} = -1,0123 + 0,0159T - 0,20452W$.

11. Уточнене оцінювання природної пожежної небезпеки мішаних лісів досягається врахуванням впливу породного складу, зокрема частки хвойних, твердолистяних і м'яколистяних. У порівнянні з існуючими системами визначення пожежної небезпеки за умовами погоди, на її підвищення чутливіше реагують вологість підстилки, екстремальна швидкість спадання відносної вологості повітря та різниця між його температурою і точкою роси, виявляючи переважно на добу

раніше настання загрози. Оцінювати поточну небезпеку слід за об'єднаною шкалою природної пожежної небезпеки та небезпеки за умовами погоди.

12. Запропоноване розбиття території Малоого Полісся на зони впливу пожежно-рятувальних частин забезпечить ефективність їх вибору для гасіння лісової пожежі. Удосконалення покриття створенням нових пожежних підрозділів призведе до зменшення максимального шляху слідування підрозділів до місць виникнення лісової пожежі принаймні на 17 км. Вибір місця для розташування нових підрозділів слід здійснювати з урахуванням природної пожежної небезпеки зони впливу.

ДОДАТКИ

Додаток А

Лісівничо-таксаційні показники пробних площ

Для дослідження впливу вертикальної структури асоціацій на пожежонебезпечні властивості насаджень закладено 16 пробних площ. Основні лісівничо-таксаційні показники деревостанів на цих пробних площах наведені в табл. А.1

Таблиця А.1

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на пробних площах, досліджених на території Малого Полісся

№ п.п	Лісицтво	Квартал	Виділ	Тип лісу	Породний склад	К-сть дерев на 0,25 га	Вік, роки	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Абсолютна повнота, м ² /га	Відносна повнота, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Любельське	104		СзДС	7Сз3Дз+Ябл, Кул, Брсл	160	84	29	28	42,20	0,91
2	Любельське	104		СзДС	7Сз3Дз+Чрш	160	84	27	27	35,95	0,92
3	Любельське	104		СзДС	8Сз2Дз+Гор, Лщн, Брсл	142	140	42	30	78,80	0,89
4	Боровецьке	35		ВзС	10Сз+Бп	380	45	11	8	34,48	0,86
5	Рава-Руське	33	7	ВзС	10Сз	128	108	37	23	53,91	0,57
6	Рава-Руське	33	11	СзДС	7Сз3Чрш +Влч, Дз, Лщн	184	108	37	24	77,50	0,41
7	Рава-Руське	-		А ₂ С	10Сз	1722	25	11	5,9	67,17	1,21
8	Рава-Руське	-		А ₂ С	10Сз	1886	25	11	5	73,58	1,04
9	В'язівське	10	5	СзГДС	8Сз2Дз+Клн, Влч	275	59	19	14	31,53	0,90
10	Верблянське	53	6	СзГДС	6Сз4Дз+Чрш	75	125	35	23	29,43	0,70
11	Ожидівське	52	1	С ₄ ГДС	5Влч2Дз3Врб +Лщн	188	58	24	15	34,49	0,87
12	Ожидівське	53	4	СзГДС	7Сз3Гр	119	123	45	20	74,12	0,86
13	Ожидівське	46	6	СзГДС	4Сз4Гр2Ялн+Лщн	113	115	39	18	53,33	0,87
14	Ожидівське	47	8	С ₂ ГДС	10Дз+Лщн од. Сз	63	76	33	13	21,53	0,49
15	Верблянське	53	6	СзГДС	8Сз2Дз+Брсл	113	118	34	13	40,26	0,95
16	Верблянське	54	9	С ₄ Влч	10Влч+Дз	81	84	34	10	29,63	0,91

Комплексні дослідження пожежної безпеки здійснювали на пробних площах, лісівничо-таксаційні показники яких наведено в табл. А.2.

Таблиця А.2

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на пробних площах у Малому Поліссі, на яких закладалися пробні ділянки для дослідження пожежної безпеки

№ п/п	Лісництво	Квартал	Виділ	Тип лісу	Породний склад	К-сть дерев на 0,25 га	Вік, роки	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Абсолютна повнота, м ² /га	Відносна повнота
1	Верблянське	53	6	С ₃ ГДС	8Сз1Дз1Чрз+Гз, Чш	152	100	36,9	30	40,78	0,87
2	Верблянське	54	11	С ₄ Влч	6Влч4Дз+Сз, Яс	112	85	36,9	28	30,36	0,75
3	Верблянське	14	20	В ₅ БС	9Сз1Дз	108	90	32,4	33	33,83	0,74
4	Верблянське	14	2	В ₃ ДС	10Сз+Дз, Влч, Бп, Грз	212	70	31,6	28	47,50	0,95
5	Бродівське	52	9	Д ₂ ГБД	9Бкл1Клг+Кля, Сз	280	70	21,3	28	40,21	0,92
6	Бродівське	52	2	В ₂ ДС	10Сз од Бкл, Гз, Дз	280	70	23,7	28	48,39	1,01
7	Лісорозсадник	7	3	В ₃ ДС	8Сз2Гз	176	81	55,4	30	55,40	0,99
8	Лісорозсадник	7	4	С ₂ ГДС	8Сз2Гз+Клг, Кля, Чш, Вшз	196	110	45,4	31	43,54	0,92
9	Верблянське	14	11	В ₄ ДС	10Сз+Дз	200	45	23,2	18	32,31	0,87
10	Бабичівське	31	5	Д ₄ Влч	9Влч1Дз+Клг, Лпш	460	75	18,5	30	43,85	1,00
11	Бабичівське	30	16	Д ₃ ГД	5Влч2Гз1Дз1Клг1Бп+Яз	328	35	24,6	23	20,94	0,63
12	Нивицьке	41	22	А ₂ С	6СБ4Сз	168	60	21,1	25	20,41	0,43
13	Нивицьке	40	7	А ₃ С	10Сз од Дз, Бп	120	80	30,5	27	33,89	0,75
14	Нивицьке	36	2	А ₄ С	10Сз од Бп	872	45	11,9	13	42,63	1,42

Для розрахунку вмісту фітомаси, води, живиці та скипидару в деревостанах соснових та мішаних лісів застосовували лісівничо-таксаційні показники деревостанів, наведені в табл. А.3.

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на пробних площах у Малому Поліссі з різними типами лісорослинних умов

№ п/п	Лісництво	Квартал	Виділ	Тип лісу	Породний склад	Вік, роки	Відносна повнота	Запас, м ³ /га
1	Соснівське	37	7	A ₁ C	10Cз	54	0,92	220
2	Низівське	62	5	A ₂ C	10Cз	84	0,74	378
3	Пристанське	4	1	B ₂ дC	10Cз	59	0,88	425
4	Соснівське	32	20	C ₂ гдC	5Дз4Cз1Бп+Гз	124	0,66	316
5	Бродівське	52	9	D ₂ гбД	10Бкл+Гз	65	0,63	307
6	Полоничне	50	12	A ₃ C	10Cз	64	0,85	314
7	Полоничне	13	7	B ₃ дC	9Cз1Влч	79	0,67	391
8	Любельське	1	15	C ₃ гдC	7Cз1Дз2Бп	74	0,52	193
9	В'язівське	32	10	D ₃ дгБ	10Бкл+Гз	84	0,64	367
10	Рава-Руське	21	7	A ₄ C	10Cз	59	0,88	200
11	Низівське	30	18	B ₄ дC	10Бп+Влч, Ос	32	0,77	65
12	Любельське	2	28	C ₄ Влч	8Влч2Дз+Бп	64	0,53	150
13	Зіболківське	2	1	D ₄ Влч	10Влч+Яз	45	0,81	267

Додаток Б

Методи визначення відносної вологості повітря та точки роси

Методи визначення відносної вологості повітря. Відносну вологість повітря визначають психрометричним методом за показами сухого та вологого термометрів та психрометричними таблицями. З метою підвищення точності та прискорення обробки результатів використано емпіричні формули [194].

Відносна вологість повітря описується формулою [25, 469]

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\%, \quad (\text{Б.1})$$

де e – пружність водяної пари у повітрі, Па, E – пружність насиченої водяної пари, Па. Величину e визначали за психрометричною формулою

$$e = E_M + AP(t_C - t_B), \quad (\text{Б.2})$$

де $A=0,000662 \text{ K}^{-1}$ – психрометрична стала для аспіраційних психрометрів, E_M – максимальна пружність насиченої водяної пари, Па, при температурі вологого термометра t_B , °C, t_C – температура сухого термометра, °C, P – атмосферний тиск, Па. Визначення пружності насиченої водяної пари E_B , мбар, для заданої температури T у шкалі Кельвіна здійснювали за емпіричною формулою [461]:

$$\lg E_B = 10,79574 \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) - 5,0281 \lg \frac{T}{T_0} + 1,50475 \cdot 10^{-4} \left(1 - 10^{-8,2969 \left(\frac{T}{T_0} - 1 \right)} \right) + \quad (\text{Б.3})$$

$$+ 0,42873 \cdot 10^{-3} \left(10^{4,76955 \left(1 - \frac{T_0}{T} \right)} - 1 \right) + 0,78614,$$

де $T_0 = 273,16 \text{ K}$ – температура плавлення льоду.

Підставивши значення E_M , обчислене замість E_B за формулою (Б.3), у (Б.2) та обчисливши значення E за цією ж формулою (Б.3), з використанням формули (Б.1) визначали відносну вологість повітря.

Застосовували й інший метод [507], у якому замість формул (Б.2) та (Б.3) обчислення значень e та E здійснюється за формулами

$$E = e'_w(P, t_C), \quad (\text{Б.4})$$

$$e = e'_w(P, t_M) - 6,53 \cdot 10^{-4} (1 + 0,000944 t_M) \cdot P \cdot (t_C - t_M), \quad (\text{Б.5})$$

у яких тиск насиченої водяної пари, Па, при температурі t , °C, та атмосферному тиску P , Па, визначається за формулою

$$e'_w(P, t) = f(P) e'_w(t), \quad (\text{Б.6})$$

де $f(P)$ – функція атмосферного тиску,

$$f(P) = 1,0016 + 3,15 \cdot 10^{-6} P - 0,074 P^{-1}, \quad (\text{Б.7})$$

а $e'_w(t)$ – парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, при температурі t , °С,

$$e'_w(t) = 6,112e^{\frac{17,62t}{24312+t}}. \quad (\text{Б.8})$$

Порівняльний аналіз методів визначення точки роси. Всі методи визначення точки роси можна розділити на експериментальні та теоретичні. Для використання найзручнішими є теоретичні методи: табличний (визначення за допомогою таблиць), графічні (за допомогою діаграм, графіків та ін.), емпіричні (за допомогою емпіричних формул) та фізико-теоретичні (за допомогою формул на основі фізичних законів).

Табличний метод та діаграму Мольє [24] використовували для визначення значення точки роси за одним або декількома значеннями температури та відносної вологості повітря.

Аналітичні методи можна поділити на емпіричні та фізико-теоретичні. Визначення точки роси цими методами здійснюється за формулами, аргументами яких є температура повітря, відносна вологість, а іноді й інші параметри. Формули є більш зручними, ніж таблиці чи діаграми, та можуть використовуватися для широкого діапазону температур та вологостей. Такі методи підходять для розробки різноманітних калькуляторів точки роси, апаратних та програмних засобів, які здійснюють автоматичне її обчислення.

Найпоширенішим та рекомендованим для використання в автоматичних метеостанціях [522] є емпіричний метод, який базується на формулах

$$t_d = \frac{b \cdot \alpha(t, \varphi)}{a - \alpha(t, \varphi)}, \quad (\text{Б.9})$$

$$\alpha(t, \varphi) = \frac{a \cdot t}{b + t} + \ln \frac{\varphi}{100}, \quad (\text{Б.10})$$

де t_d – точка роси, °С, t – температура повітря, °С, φ – відносна вологість повітря, %, $a=17,27$, $b=237,7$, °С, – сталі. Цей метод діє для діапазонів температур $0^\circ\text{C} < t < 60^\circ\text{C}$, відносних вологостей $1\% < \varphi < 100\%$ і має заявлену точність $\pm 0,4^\circ\text{C}$.

Аналогічний метод виведено на основі [46]. Формули у цьому випадку мають вигляд

$$t_d = \frac{c \ln \frac{\varphi \cdot P_w}{100} + d}{k - n \ln \frac{\varphi \cdot P_w}{100}}, \quad (\text{Б.11})$$

$$P_w = e^{\frac{kt-d}{c+nt}}, \quad (\text{Б.12})$$

де P_w – парціальний тиск насиченої водяної пари, кПа, при температурі t , °С $c=233,77$, $d=115,72$, $k=16,57$, $n=0,997$ – сталі. Він може використовуватися у дещо ширшому діапазоні температур, ніж попередній ($0^\circ\text{C} < t < 87^\circ\text{C}$). Заявлена точність методу є високою і становить $0,02^\circ\text{C}$ в усьому діапазоні температур.

Подібним до нього є метод [532]. Формули для обчислення точки роси за цим методом мають вигляд

$$t_d = \frac{q \ln \frac{\varphi \cdot P_w}{100 \cdot r}}{s - \ln \frac{\varphi \cdot P_w}{100 \cdot r}}, \quad (\text{Б.13})$$

$$P_w = r e^{\frac{st}{t+q}}, \quad (\text{Б.14})$$

де $r = 6,112$, $q = 243,5$, $s = 17,67$ – сталі коефіцієнти.

Проведено порівняння трьох методів, здійснивши за ними обчислення точки роси у діапазоні температур від 0°C до 60°C з кроком в 1°C та відносної вологості у межах від 1 до 100 % з кроком у 1 %. Значення точки роси, обчислені для цілих значень температур та відносної вологості повітря з вказаних діапазонів, є дуже близькими між собою. Так, найбільша різниця між значеннями точки роси, обчисленими за (Б.9), (Б.10) та (Б.11), (Б.12) становить $0,324^\circ\text{C}$, за (Б.9), (Б.10) та (Б.13), (Б.14) – $0,294^\circ\text{C}$, а за (Б.11), (Б.12) та (Б.13), (Б.14) – $0,619^\circ\text{C}$, причому найбільші відхилення спостерігаються при максимальних значеннях температури та відносної вологості повітря.

Порівняно значення точки роси, отримані за формулою (3.4) (див. розділ 3) зі значеннями, обчисленими за розглянутими вище емпіричними методами у діапазоні температур повітря від 0°C до 60°C та відносної вологості у межах від 1 до 100 %. Максимальне відхилення результатів обчислень, проведених за формулою (3.4) від значень, одержаних за формулами (Б.9), (Б.10) не перевищує $1,399^\circ\text{C}$, за (Б.11), (Б.12) – $1,723^\circ\text{C}$ та за (Б.13), (Б.14) – $1,104^\circ\text{C}$. Коефіцієнти кореляції між результатами є високими та становлять, відповідно, 0,992, 0,993 та 0,993.

Графік залежності точки роси, визначеної за формулою (3.4), від температури повітря та відносної вологості зображений на рис. Б.1.

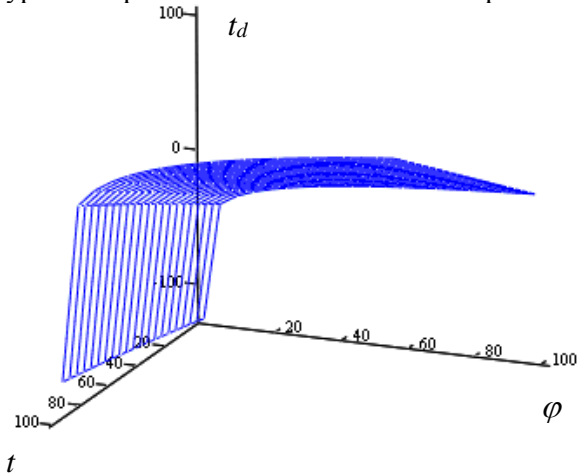


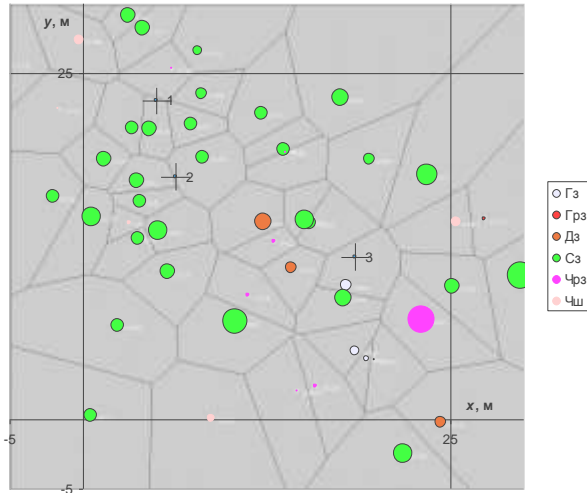
Рис. Б.1. Графік залежності точки роси t_d від температури повітря t та відносної вологості φ

Таким чином, для великої кількості обчислень точки роси слід застосовувати теоретичні методи. Оскільки різниці між значеннями, обчисленими за емпіричними та фізико-теоретичним методами для заданого діапазону температур повітря та відносної вологості, є незначними, а результати – добре корельованими, тому для визначення пожежної небезпеки лісів за умовами погоди найдоцільнішим застосування фізико-теоретичного методу визначення точки роси за формулою (3.4).

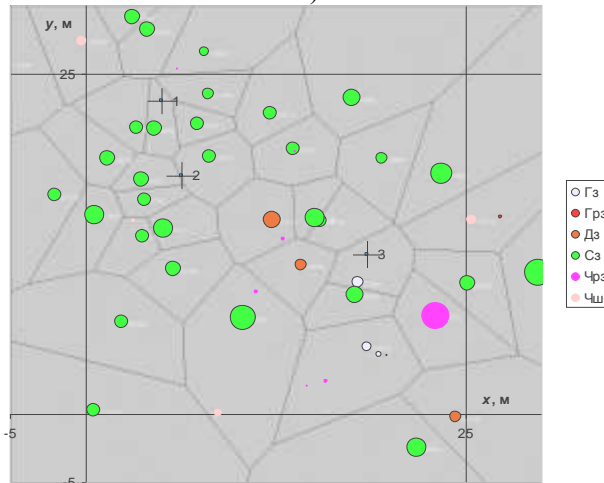
Додаток В

Схеми пробних площ

Схеми пробних площ, на яких проводилися комплексні дослідження пожежної небезпеки (див. табл. А.2 додатку А), наведені на рис. В.1-В.14. На кожній схемі цифрами 1, 2 та 3 вказані місця пробних ділянок, на яких проводилися дослідження.

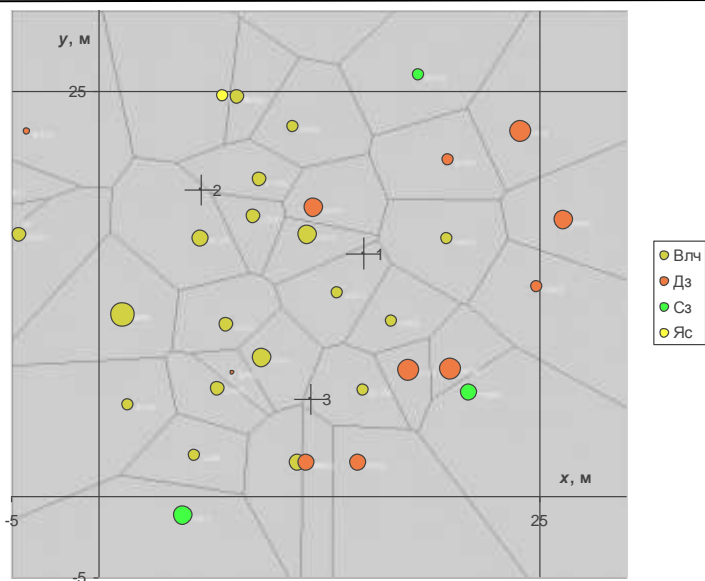


а)

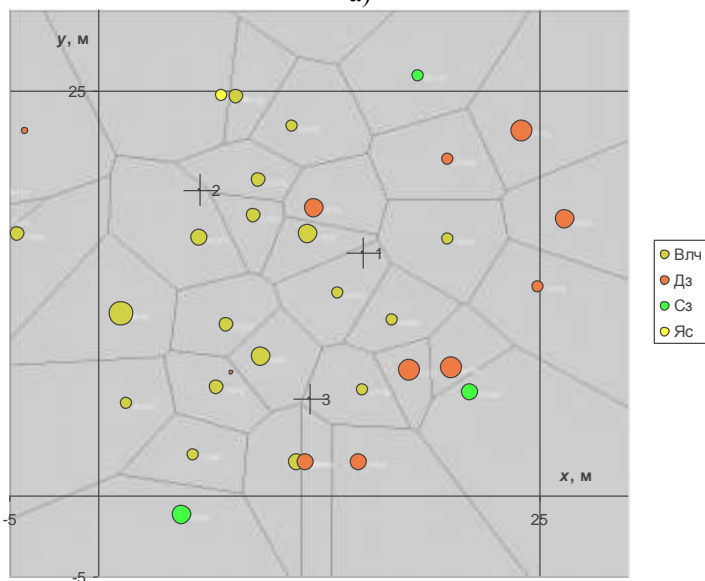


б)

Рис. В.1. Схема пробної площі 1 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса



а)



б)

Рис. В.2. Схема пробної площі 2 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го ярусу

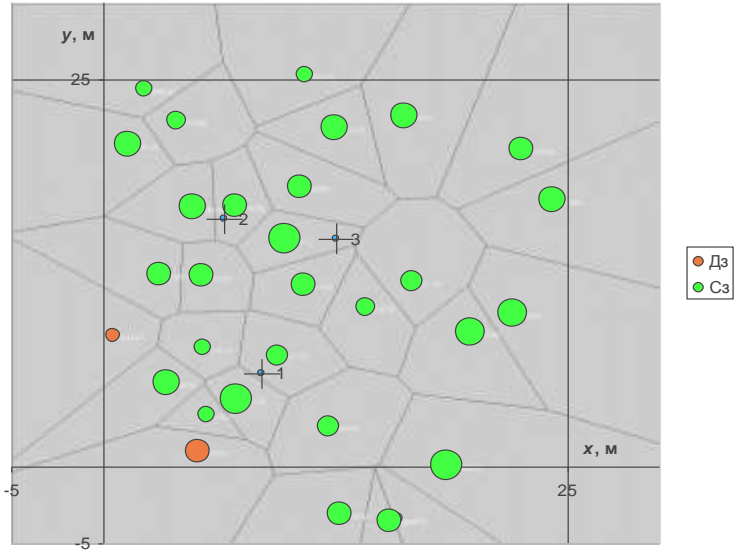
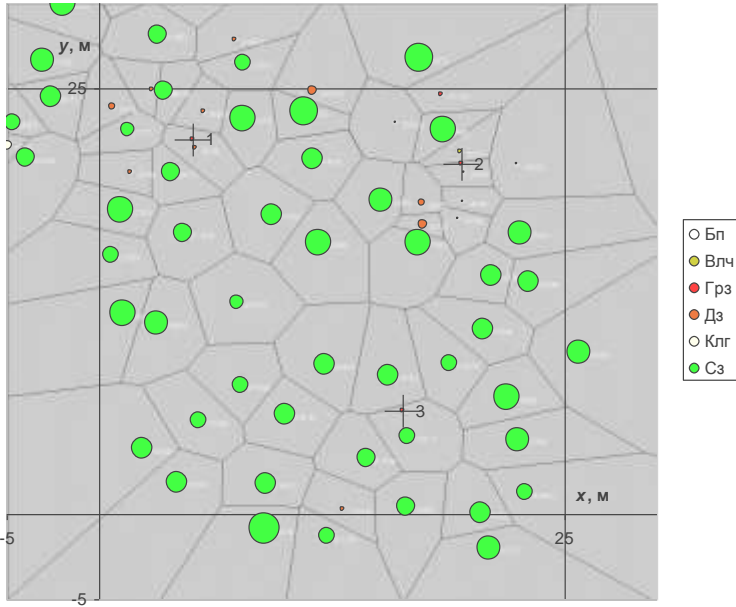
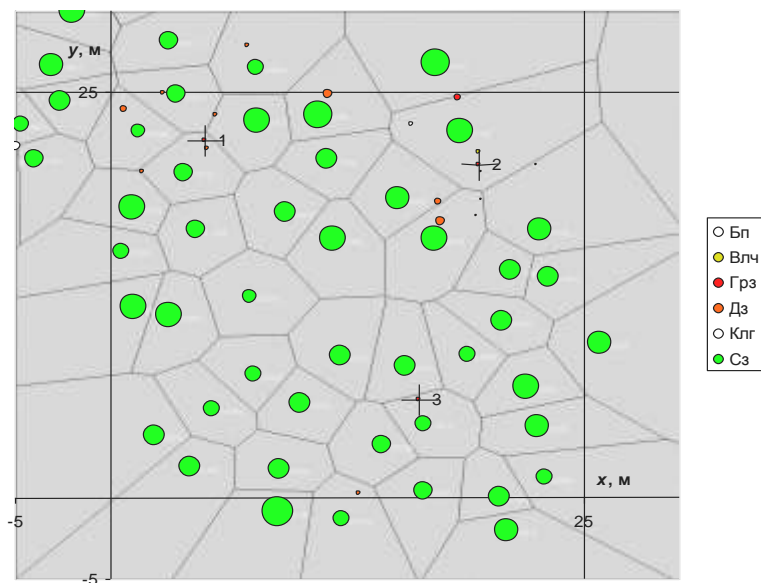


Рис. В.3. Схема пробної площі 3 з діаграмами Вороного



а)

Рис. В.4. Схема пробної площі 4 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса



б)

Рис. В.4. (Продовження)

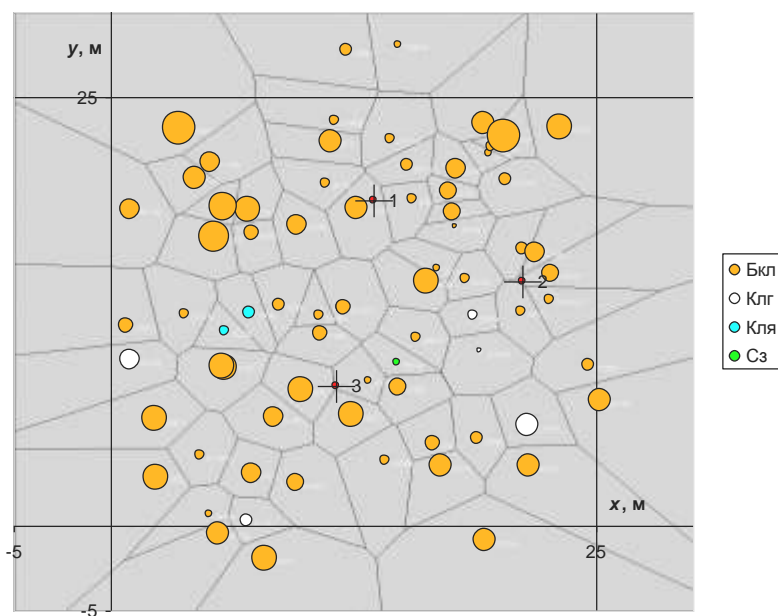
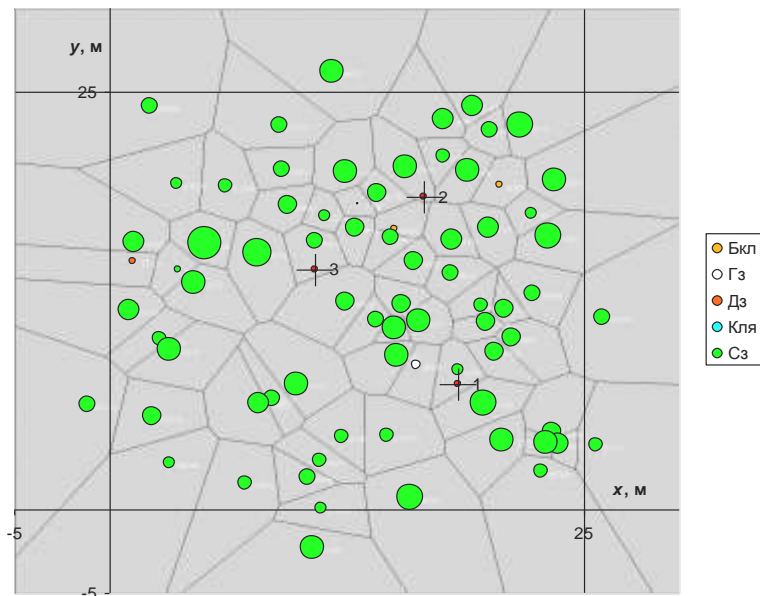
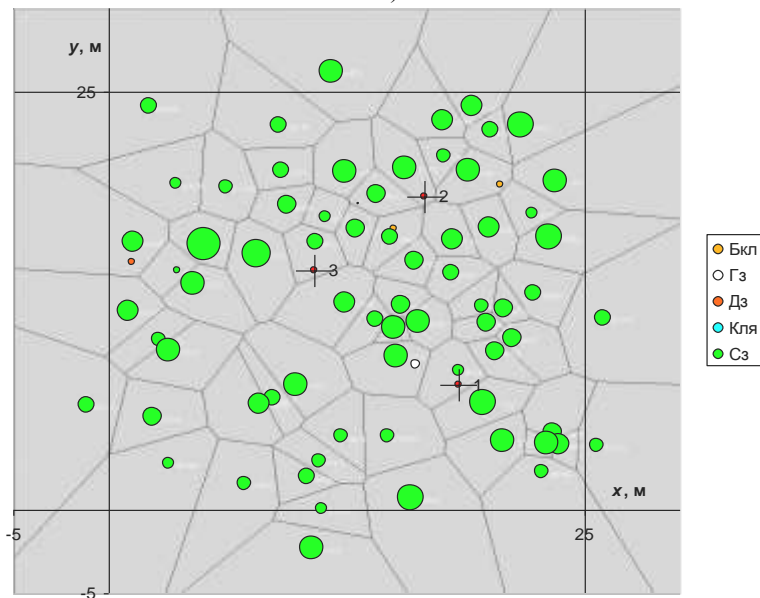


Рис. В.5. Схема пробної площі 5 з діаграмами Вороного

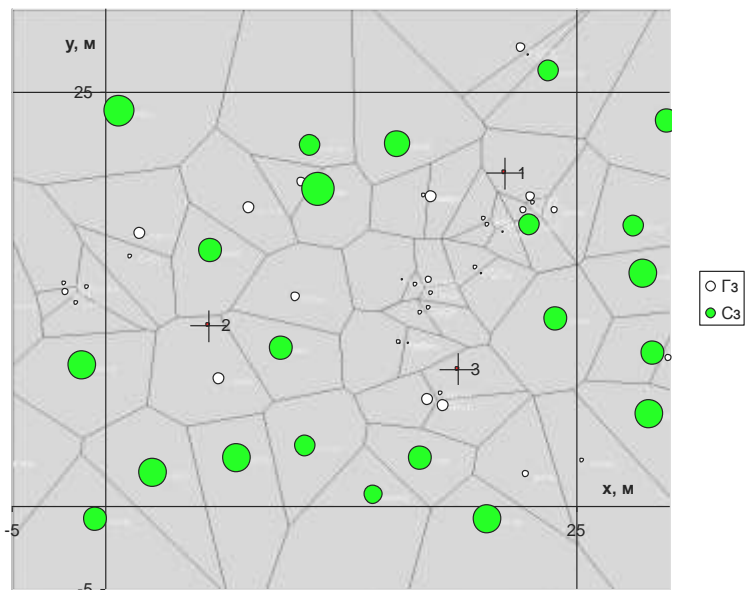


а)

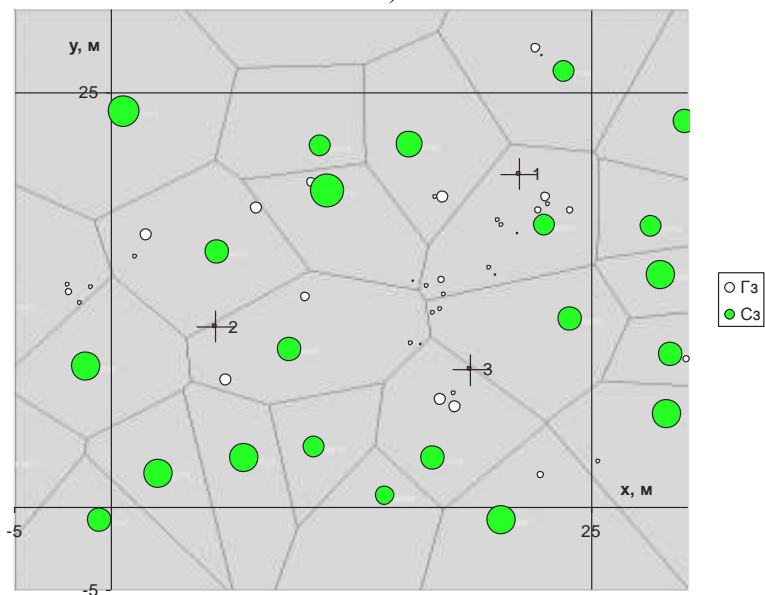


б)

Рис. В.6. Схема пробної площі 6 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го ярусу

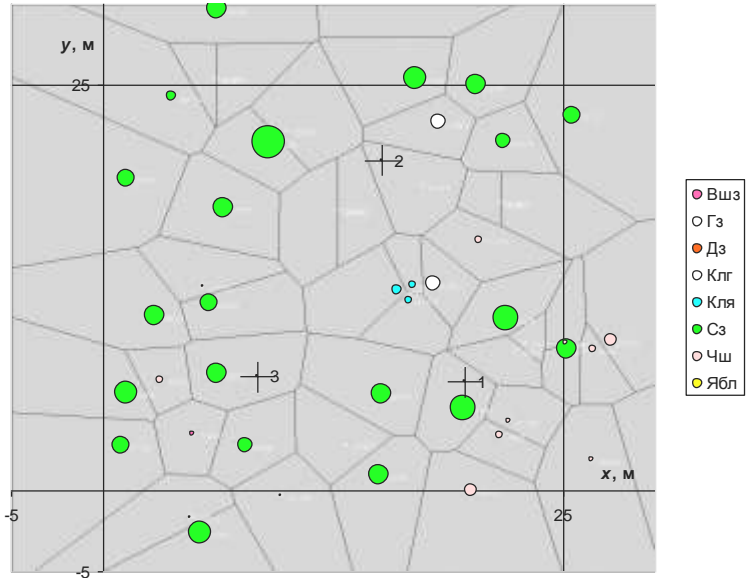


а)

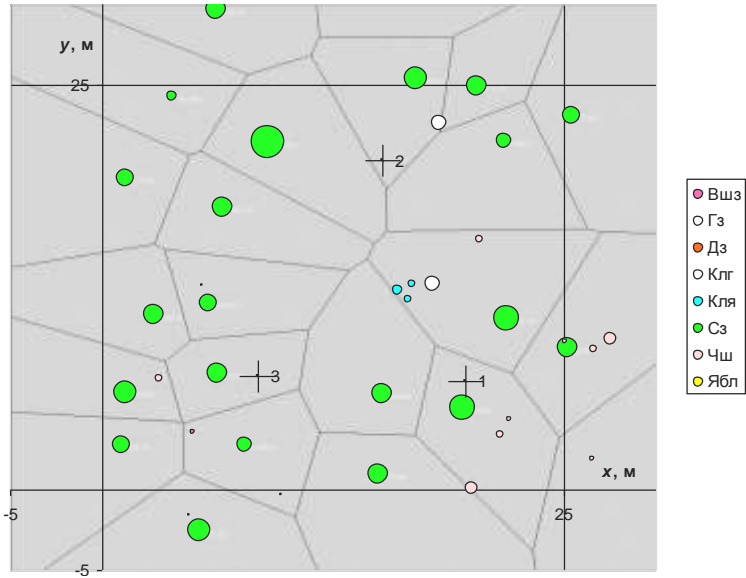


б)

Рис. В.7. Схема пробної площі 7 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса

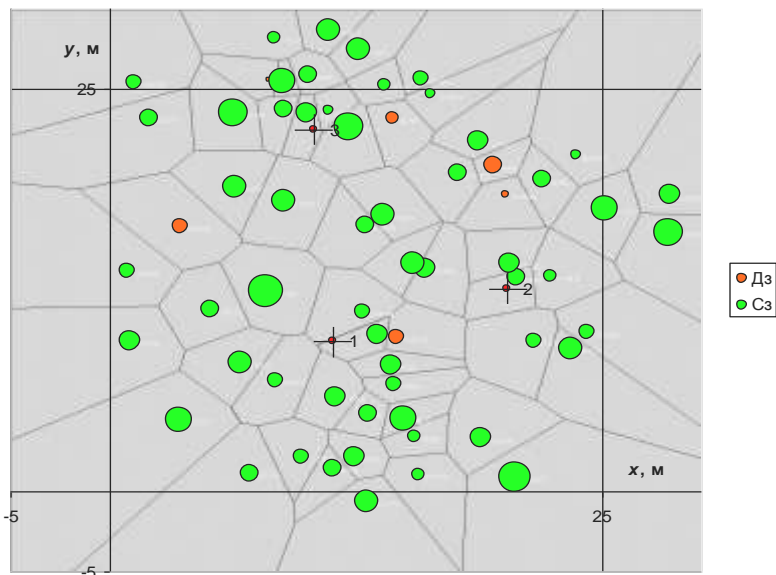


а)

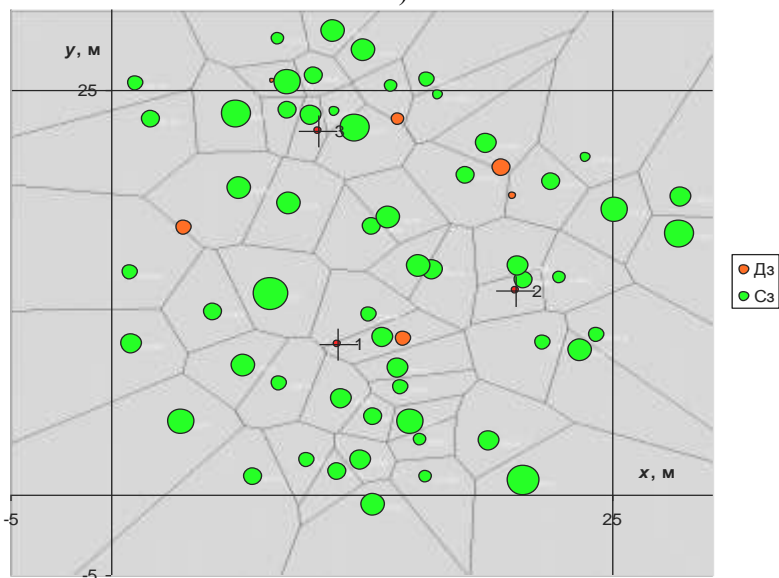


б)

Рис. В.8. Схема пробної площі 8 з діаграмами Вороного: а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го ярусу



а)



б)

Рис. В.9. Схема пробної площі 9 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса

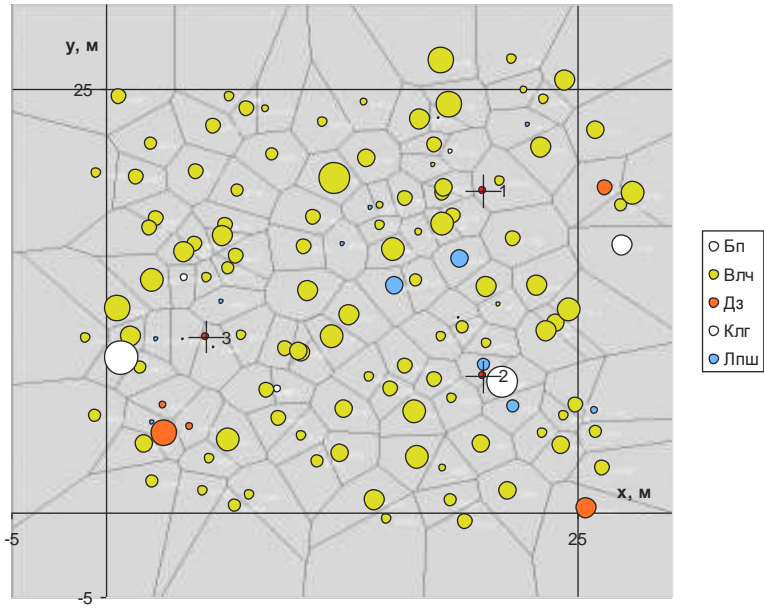
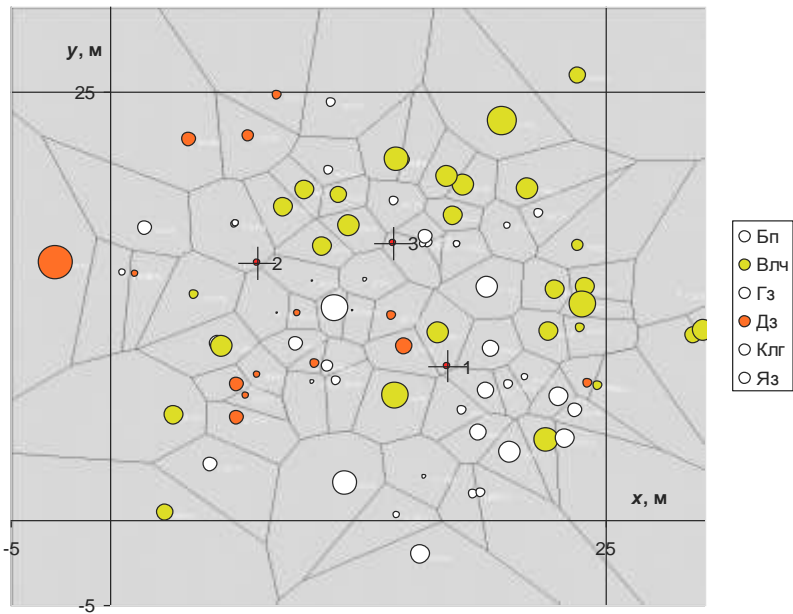
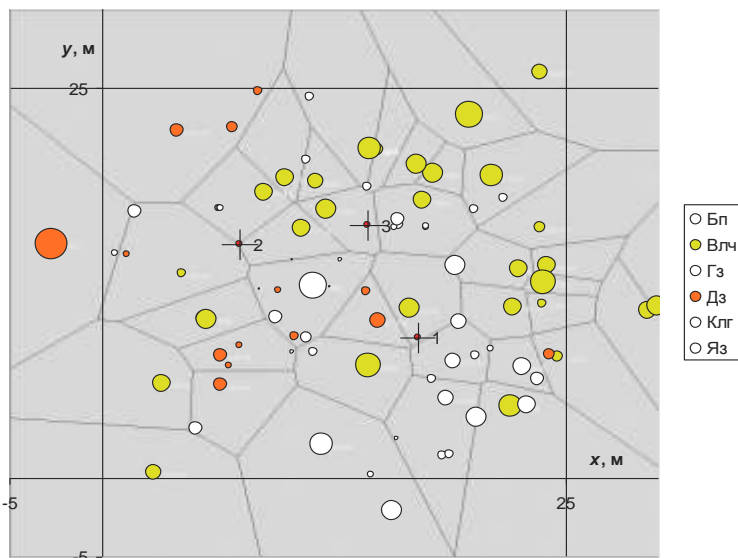


Рис. В.10. Схема пробної площі 10 з діаграмами Вороного



а)



б)

Рис. В.11. Схема пробної площі 11 з діаграмами Вороного: а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса

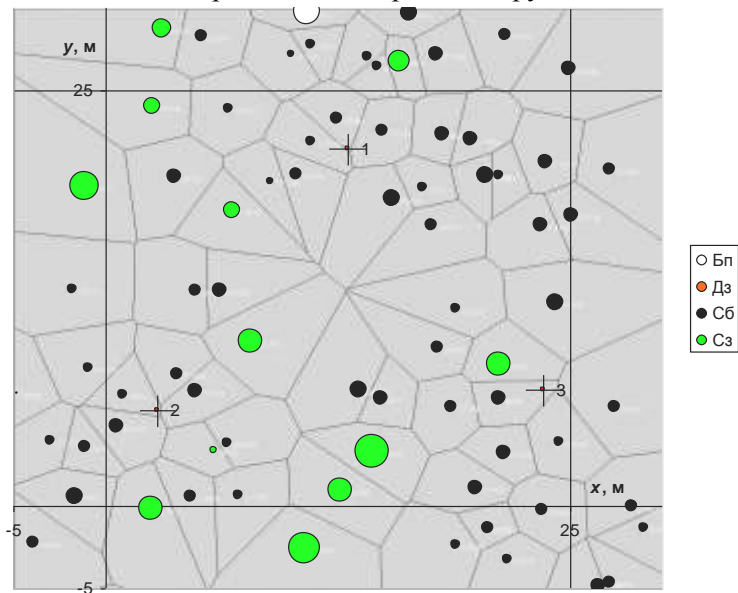
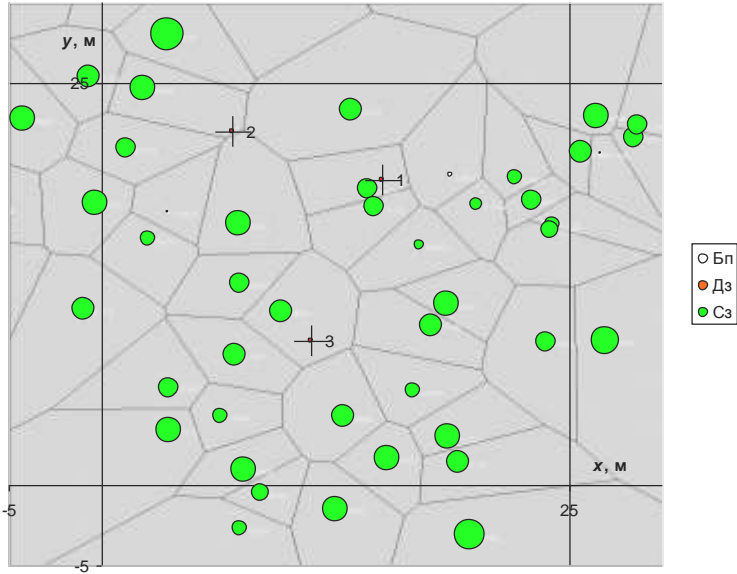
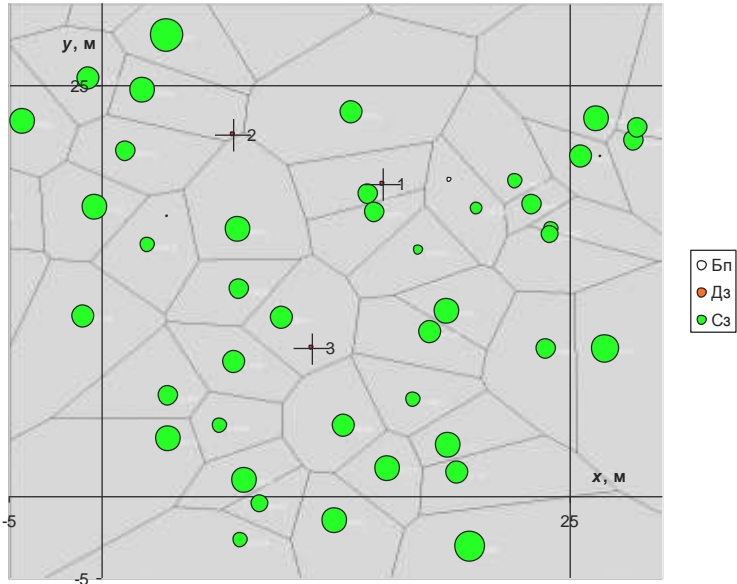


Рис. В.12. Схема пробної площі 12 з діаграмами Вороного



а)



б)

Рис. В.13. Схема пробної площі 13 з діаграмами Вороного:
а – для всіх дерев; б – для дерев 1-го яруса

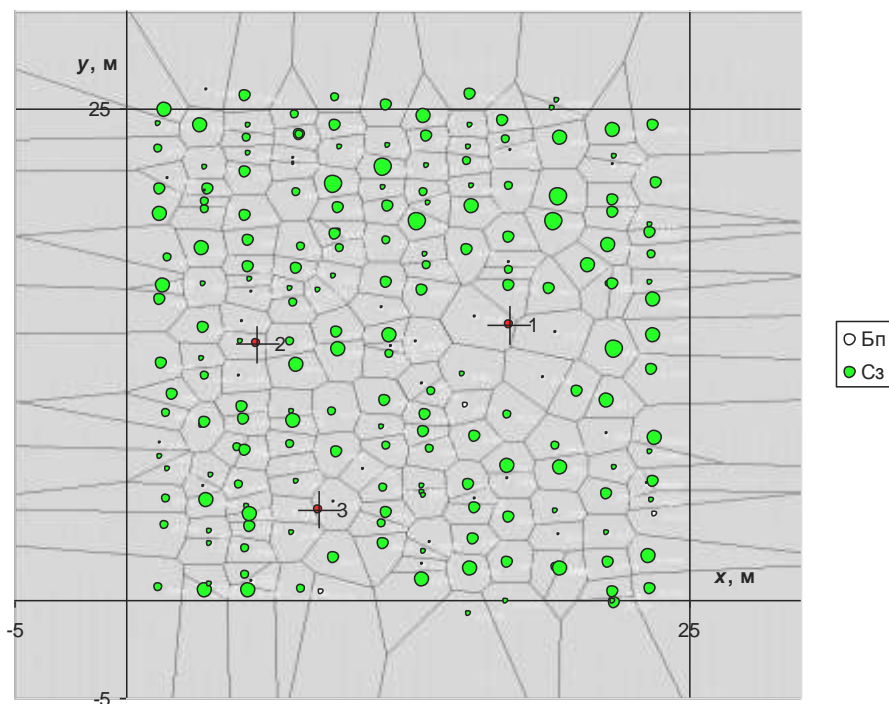


Рис. В.14. Схема пробної площі 14 з діаграмами Вороного

Додаток Д

Дослідження поведінки комплексного показника пожежної небезпеки

Величина

$$\Gamma_i = t \cdot \left(t + T_0 - \frac{1}{\frac{1}{t + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right)} \right), \quad (\text{Д.1})$$

де t – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$, $T_0=273,15^{\circ}\text{C}$, $l_v=2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг – тепло-та випаровування, $R=461,49$ Дж/(кг·К) – газова стала для водяної пари, φ – відносна вологість повітря, %, характеризує добовий приріст комплексного показника за відсутності опадів, є функцією двох змінних t та φ . Дослідимо поведінку цієї функції в області G , яка задається нерівностями $0^{\circ}\text{C} < t < 50^{\circ}\text{C}$ і $0 \% < \varphi < 99 \%$. Її часткові похідні

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial t} = \left(t + T_0 - \frac{1}{\frac{1}{t + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right)} \right) + t \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{t + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right) \right)^2} \cdot \left(\frac{1}{t + T_0} \right)^2 \right),$$

$$\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \varphi} = \frac{-1}{\left(\frac{1}{t + T_0} - \frac{R}{l_v} \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right) \right)^2} \cdot \frac{R}{l_v} \cdot \frac{1}{\varphi} \quad (\text{Д.2})$$

відмінні від нуля в області G . Часткова похідна $\frac{\partial \Gamma_i}{\partial t}$ набуває в G додатних значень, а $\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \varphi}$ – від'ємних. Тому при фіксованих значеннях відносної вологості функція Γ_i зростає із збільшенням t , а при фіксованій температурі – спадає зі збільшенням φ .

Графік функції $\Gamma_i = \Gamma_i(t, \varphi)$ зображений на рис. Д.1. Модуль градієнта функції Γ_i також є функцією аргументів t та φ в області G і обчислюється за формулою

$$|\text{grad } \Gamma_i| = \sqrt{\left(\frac{\partial \Gamma_i}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \varphi} \right)^2}. \quad (\text{Д.3})$$

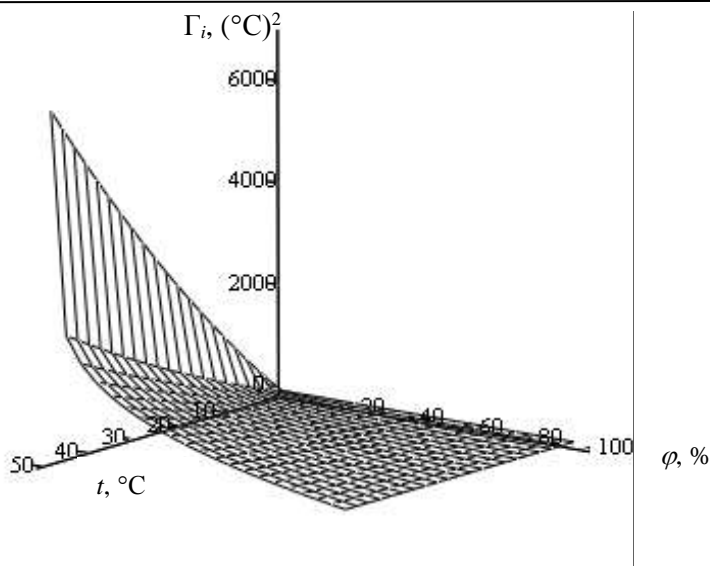


Рис. Д.1. Графік функції $\Gamma_i = \Gamma_i(t, \varphi)$

Він, як і функція Γ_i також зростає із збільшенням t та зменшенням φ (рис. Д.2).

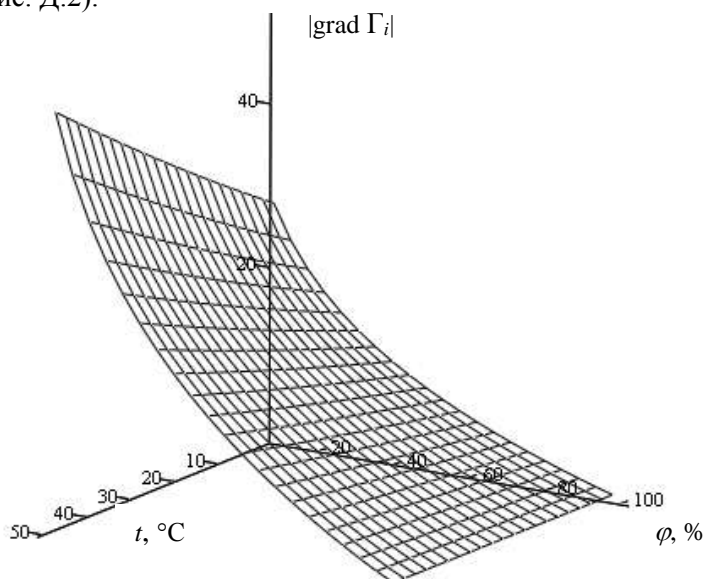


Рис. Д.2. Графік функції $|\text{grad } \Gamma_i|$

Напрямок градієнта функції Γ_i задається за допомогою кута α між проекцією градієнта у кожній точці області G та віссю температур. Цей кут у радіанах визначається за формулою

$$\alpha = \arctg \left(\frac{\frac{\partial \Gamma_i}{\partial \varphi}}{\frac{\partial \Gamma_i}{\partial t}} \right). \quad (\text{Д.4})$$

Він описується функцією аргументів t та φ , яка набуває від'ємних значень в області G (рис. Д.3).

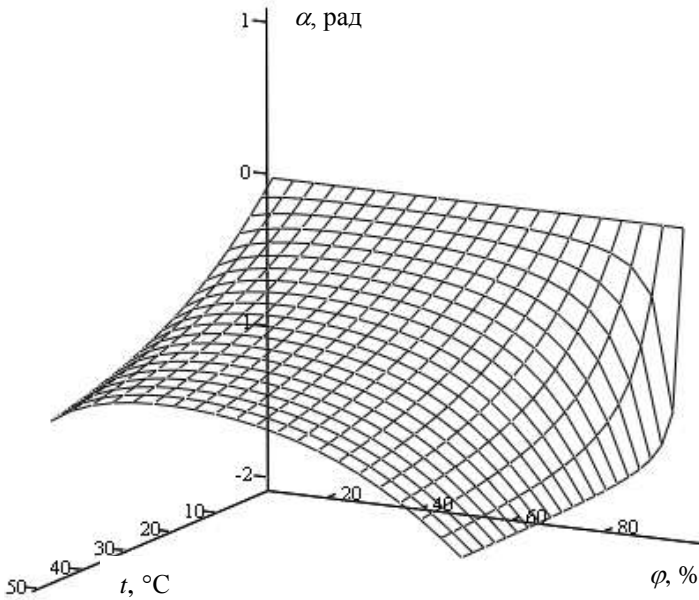


Рис. Д.3. Графік функції $\alpha = \alpha(t, \varphi)$

Кут α за модулем буде мінімальним і близьким до $t = 0$ у всьому діапазоні відносної вологості (рис. Д.4), а також при фіксованій відносній вологості $\varphi \approx 36\%$ у всьому діапазоні розглянутих температур (рис. Д.5).

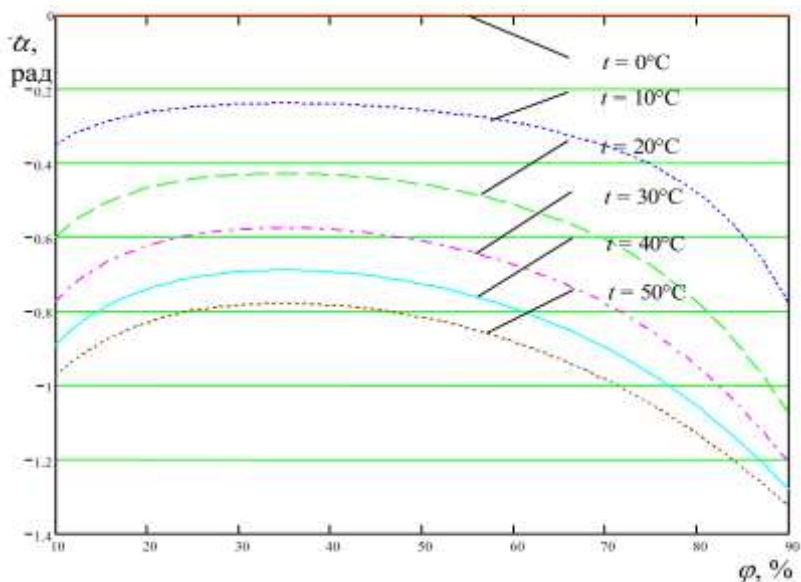


Рис. Д.4. Залежність α від φ для різних значень t , °C

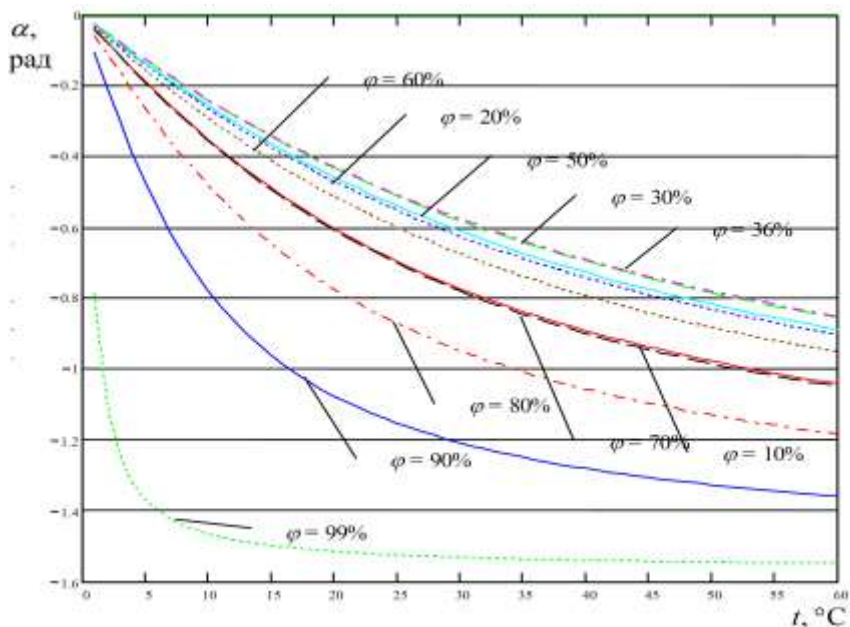


Рис. Д.5. Залежність α від t для різних значень φ , %

Внаслідок аналізу щоденного приросту комплексного показника пожежної небезпеки Γ_i виявлено, що він зростає із зростанням температури та спаданням відносної вологості.

Отже, модуль градієнта Γ_i поводить себе так само, як і Γ_i , а напрямок градієнта є найближчим до напрямку зростання температури як за її нульового значення, так і за відносної вологості повітря близько 36 %.

Додаток Е

Висушування фрагментів рослин

Рослини зважували один раз на добу о 21.00. Маса рослин наведені у табл. Е.1-Е.5. Вологості свіжозірваних фрагментів надземних частин рослин та їх рівноважні вологості наведені в табл. Е.6. Результати математичного моделювання висушування фрагментів наведені на рис. Е.1-Е.18.

Таблиця Е.1

Маса фрагментів рослин під час висушування та в абсолютно сухому стані

№	Назва рослини	№ взірця	Маса, г					
			Дата / тривалість висушування, доби					
			<u>22.04</u> 0	<u>23.04</u> 1	<u>24.04</u> 2	<u>25.04</u> 3	<u>26.04</u> 4	<u>27.04</u> 5
1	Малина звичайна <i>Rubus idaeus L.</i>	1	2,50	1,45	1,22	1,12	1,07	1,04
		2	1,82	0,87	0,76	0,73	0,70	0,70
		3	2,08	1,09	0,97	0,83	0,81	0,79
		4	3,66	1,76	1,50	1,37	1,33	1,28
		5	3,04	1,68	1,35	1,27	1,20	1,17
		Середнє	2,620	1,370	1,160	1,064	1,022	0,996
2	Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris L.</i>	1	4,41	3,87	3,53	3,19	3,00	2,79
		2	4,16	3,72	3,46	3,20	2,99	2,68
		3	4,90	4,33	4,07	3,73	3,51	3,27
		4	3,62	3,24	3,08	2,84	2,67	2,46
		5	8,93	8,16	7,70	7,18	6,81	6,35
		Середнє	5,204	4,664	4,368	4,028	3,796	3,510
3	Ожина сиза <i>Rubus caesius L.</i>	1	4,41	2,43	2,27	2,26	2,17	2,16
		2	3,95	2,33	1,97	1,88	1,80	1,79
		3	2,48	1,45	1,25	1,20	1,16	1,14
		4	2,20	1,26	1,09	1,07	1,06	1,04
		5	5,62	3,41	3,01	2,94	2,87	2,84
		Середнє	3,732	2,176	1,918	1,870	1,812	1,794
4	Крушина ламка <i>Frangula alnus Mill.</i>	1	3,13	1,91	1,47	1,22	1,13	1,10
		2	2,65	1,73	1,34	1,09	1,01	0,96
		3	3,83	2,55	1,90	1,58	1,53	1,44
		4	3,90	2,46	2,02	1,77	1,71	1,61
		5	2,51	1,41	1,11	0,94	0,90	0,86
		Середнє	3,204	2,012	1,568	1,320	1,256	1,194
5	Анемона дібровна <i>Anemone nemorosa L.</i>	1	0,79	0,26	0,14	0,14	0,13	0,14
		2	0,74	0,37	0,22	0,16	0,16	0,16
		3	1,19	0,46	0,26	0,23	0,21	0,21
		4	0,78	0,28	0,14	0,15	0,14	0,14
		5	0,64	0,24	0,12	0,12	0,12	0,12
		Середнє	0,828	0,322	0,176	0,160	0,152	0,154

№	№ взірця	Маса, г										Абсолютно сухий стан
		Дата / тривалість висушування, доби										
		<u>28.04</u> 6	<u>1.05</u> 9	<u>3.05</u> 11	<u>4.05</u> 12	<u>5.05</u> 13	<u>6.05</u> 14	<u>10.05</u> 18	<u>12.05</u> 20	<u>13.05</u> 21		
1	1	1,03	0,98	1,01	1,01	1,02	1,03	1,03	1,02	1,02	0,87	
	2	0,70	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,70	0,71	0,71	0,60	
	3	0,79	0,75	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,79	0,81	0,67	
	4	1,29	1,25	1,26	1,28	1,30	1,28	1,28	1,29	1,29	1,10	
	5	1,18	1,15	1,16	1,16	1,17	1,16	1,16	1,18	1,16	0,95	
	Середнє	0,998	0,962	0,980	0,986	0,994	0,994	0,992	0,998	0,998	0,838	
2	1	2,60	2,16	2,08	2,08	2,08	2,06	2,09	2,08	2,07	1,80	
	2	2,63	2,20	2,08	2,03	2,01	1,99	2,00	1,97	1,95	1,69	
	3	3,05	2,43	2,36	2,34	2,34	2,33	2,36	2,34	2,34	2,04	
	4	2,35	1,93	1,79	1,74	1,73	1,70	1,70	1,68	1,67	1,42	
	5	5,97	4,92	4,57	4,44	4,39	4,33	4,30	4,25	4,24	3,66	
	Середнє	3,320	2,728	2,576	2,526	2,510	2,482	2,490	2,464	2,454	2,122	
3	1	2,16	2,11	2,13	2,15	2,18	2,16	2,17	2,17	2,19	1,92	
	2	1,80	1,76	1,77	1,80	1,81	1,79	1,81	1,80	1,82	1,54	
	3	1,13	1,11	1,12	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,15	0,95	
	4	1,05	1,01	1,02	1,03	1,04	1,02	1,04	1,04	1,04	0,87	
	5	2,85	2,78	2,80	2,81	2,83	2,80	2,84	2,82	2,85	2,39	
	Середнє	1,798	1,754	1,768	1,786	1,800	1,780	1,798	1,792	1,810	1,534	
4	1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	0,93	
	2	0,95	0,93	0,94	0,94	0,94	0,92	0,94	0,94	0,94	0,83	
	3	1,40	1,37	1,32	1,37	1,38	1,38	1,39	1,39	1,39	1,24	
	4	1,57	1,51	1,52	1,51	1,53	1,53	1,54	1,54	1,54	1,38	
	5	0,82	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,74	
	Середнє	1,164	1,132	1,128	1,136	1,142	1,138	1,150	1,150	1,150	1,024	
5	1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	
	2	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	
	3	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,18	
	4	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	
	5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,09	
	Середнє	0,154	0,156	0,154	0,156	0,156	0,158	0,156	0,156	0,152	0,126	

**Маса фрагментів рослин під час висушування та
в абсолютно сухому стані**

№	Назва рослини	№ взірця	Маса, г					
			Дата / тривалість висушування, доби					
			<u>4.07</u> <u>0</u>	<u>5.07</u> <u>1</u>	<u>6.07</u> <u>2</u>	<u>7.07</u> <u>3</u>	<u>8.07</u> <u>4</u>	<u>9.07</u> <u>5</u>
1	Куничник очеретяний <i>Calamagrostis arundinacea</i> Roth.	1	1,83	1,06	0,99	0,98	0,97	0,98
		2	1,92	1,09	1,04	1,02	1,02	1,04
		3	1,22	0,63	0,60	0,60	0,59	0,60
		4	1,72	0,92	0,86	0,85	0,85	0,83
		5	1,78	0,96	0,91	0,90	0,90	0,89
		Середнє	1,694	0,932	0,880	0,870	0,866	0,868
2	Осока лісова <i>Carex sylvatica</i> Huds.	1	0,80	0,45	0,43	0,42	0,43	0,41
		2	1,26	0,59	0,58	0,58	0,58	0,56
		3	1,12	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49
		4	1,03	0,49	0,47	0,46	0,46	0,44
		5	1,09	0,52	0,50	0,52	0,51	0,49
		Середнє	1,060	0,514	0,500	0,496	0,496	0,478
3	Щитник чоловічий <i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott	1	3,32	1,21	1,18	1,17	1,18	1,18
		2	5,91	1,94	1,88	1,88	1,88	1,88
		3	5,35	2,22	2,13	2,12	2,11	2,09
		4	2,49	0,86	0,83	0,84	0,84	0,82
		5	9,49	3,86	3,58	3,53	3,53	3,50
		Середнє	5,312	2,018	1,920	1,908	1,908	1,894
4	Підмаренник м'який <i>Galium Mollugo</i> L.	1	1,15	0,33	0,31	0,32	0,31	0,31
		2	0,19	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08
		3	0,34	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12
		4	0,56	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13
		5	0,35	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11
		Середнє	0,518	0,172	0,160	0,154	0,154	0,150
5	Деревій тисячолістий <i>Achillea millefolium</i> L.	1	0,17	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		2	0,16	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
		3	0,19	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04
		4	0,18	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
		5	0,16	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		Середнє	0,172	0,050	0,046	0,046	0,048	0,042

№	№ взрiця	Маса, г										
		Дата / тривалiсть висушування, доби										
		10.07 6	11.07 7	12.07 8	13.07 9	14.07 10	15.07 11	16.07 12	17.07 13	18.07 14	19.07 15	20.07 16
1	1	0,98	0,97	0,98	0,96	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98
	2	1,04	1,03	1,04	1,02	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03
	3	0,61	0,60	0,61	0,59	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60
	4	0,86	0,86	0,87	0,85	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	5	0,91	0,91	0,91	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
	Середнє	0,880	0,874	0,882	0,862	0,878	0,878	0,876	0,876	0,874	0,872	0,874
2	1	0,42	0,42	0,43	0,42	0,43	0,43	0,42	0,43	0,42	0,42	0,42
	2	0,59	0,56	0,58	0,56	0,57	0,57	0,56	0,52	0,57	0,57	0,57
	3	0,50	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	4	0,45	0,45	0,46	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	5	0,52	0,50	0,51	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51
	Середнє	0,496	0,484	0,494	0,486	0,492	0,494	0,488	0,482	0,488	0,490	0,490
3	1	1,17	1,16	1,19	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
	2	1,88	1,88	1,89	1,87	1,87	1,89	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
	3	2,09	2,07	2,08	2,06	2,06	2,08	2,07	2,07	2,06	2,06	2,05
	4	0,83	0,82	0,83	0,83	0,82	0,83	0,91	0,83	0,83	0,83	0,83
	5	3,50	3,50	3,56	3,46	3,48	3,49	2,48	2,49	3,46	3,46	3,46
	Середнє	1,894	1,886	1,910	1,876	1,880	1,894	1,704	1,690	1,882	1,882	1,880
4	1	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31
	2	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	3	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	5	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	Середнє	0,156	0,158	0,156	0,154	0,158	0,156	0,156	0,154	0,154	0,154	0,154
5	1	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
	2	0,05	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
	3	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05
	4	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06
	5	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Середнє	0,048	0,040	0,050	0,052	0,046	0,050	0,050	0,050	0,046	0,052	0,046

№	№ взірця	Маса, г						Абсолютно сухий стан
		Дата / тривалість висушування, доби						
		<u>21.07</u> 17	<u>22.07</u> 18	<u>23.07</u> 19	<u>24.07</u> 20	<u>25.07</u> 21	<u>26.07</u> 22	
1	1	0,99	1,00	0,98	0,97	0,99	0,99	0,91
	2	1,04	1,05	1,03	1,03	1,04	1,04	0,95
	3	0,61	0,62	0,60	0,60	0,60	0,60	0,56
	4	0,87	0,88	0,86	0,85	0,88	0,87	0,79
	5	0,92	0,92	0,90	0,89	0,90	0,90	0,83
	Середнє	0,886	0,894	0,874	0,868	0,882	0,880	0,808
2	1	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,42	0,39
	2	0,57	0,58	0,56	0,57	0,57	0,57	0,52
	3	0,50	0,51	0,49	0,50	0,50	0,50	0,45
	4	0,45	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,41
	5	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,48
	Середнє	0,494	0,500	0,488	0,490	0,490	0,490	0,450
3	1	1,20	1,22	1,18	1,17	1,18	1,18	0,95
	2	1,92	1,95	1,88	1,88	1,88	1,90	1,59
	3	2,10	2,12	2,07	2,04	2,06	2,08	1,79
	4	0,81	0,87	0,85	0,83	0,84	0,84	0,75
	5	3,53	3,60	3,47	3,46	3,46	3,49	3,04
	Середнє	1,912	1,952	1,890	1,876	1,884	1,898	1,624
4	1	0,32	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28
	2	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06
	3	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11
	4	0,14	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16	0,14
	5	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,10
	Середнє	0,152	0,164	0,160	0,154	0,156	0,158	0,138
5	1	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03
	2	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
	3	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04
	4	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
	5	0,04	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03
	Середнє	0,052	0,052	0,054	0,050	0,050	0,044	0,036

Маса фрагментів рослин під час висушування та в абсолютно сухому стані

№	Назва рослини	№ взрізня	Маса, г					
			Дата / тривалість висушування, доби					
			<u>9.07</u> 0	<u>10.07</u> 1	<u>11.07</u> 2	<u>12.07</u> 3	<u>13.07</u> 4	<u>14.07</u> 5
1	Кмин <i>Carum carvi L.</i>	1	5,47	2,46	1,80	1,63	1,47	1,40
		2	5,31	1,93	1,45	1,37	1,29	1,27
		3	2,50	0,64	0,51	0,51	0,50	0,50
		4	4,58	1,59	1,21	1,20	1,16	1,15
		5	2,99	1,25	0,90	0,79	0,70	0,68
		Середнє	4,170	1,574	1,174	1,100	1,024	1,000
2	Пирій повзучий <i>Agropyrum repens P.B.</i>	1	1,06	0,55	0,50	0,49	0,49	0,49
		2	1,05	0,58	0,54	0,46	0,46	0,45
		3	1,14	0,60	0,53	0,50	0,49	0,48
		4	1,21	0,71	0,66	0,62	0,62	0,62
		5	0,77	0,41	0,36	0,32	0,33	0,33
		Середнє	1,046	0,570	0,518	0,478	0,478	0,474
3	Звіробій звичайний <i>Hypericum perforatum L.</i>	1	1,66	0,71	0,65	0,62	0,62	0,61
		2	3,65	1,64	1,45	1,38	1,34	1,31
		3	3,64	1,63	1,50	1,47	1,42	1,41
		4	3,54	1,45	1,29	1,26	1,20	1,19
		5	4,01	1,73	1,59	1,54	1,48	1,47
		Середнє	3,300	1,432	1,296	1,254	1,212	1,198
4	Тисячолістник хрящуватий <i>Achillea ptarmica L.</i>	1	3,46	1,20	1,06	1,06	1,02	1,04
		2	2,86	1,60	1,56	1,57	1,54	1,56
		3	1,65	0,65	0,62	0,62	0,60	0,59
		4	1,49	0,81	0,79	0,79	0,78	0,79
		5	2,03	1,09	1,08	1,06	1,05	1,06
		Середнє	2,298	1,070	1,022	1,020	0,998	1,008
5	Щучник дернистий <i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P.B.	1	0,76	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45
		2	0,39	0,26	0,26	0,26	0,26	0,24
		3	0,93	0,57	0,54	0,53	0,52	0,52
		4	0,55	0,37	0,36	0,36	0,35	0,36
		5	0,44	0,29	0,27	0,28	0,28	0,28
		Середнє	0,614	0,392	0,378	0,376	0,372	0,370

Продовження табл. Е.3

№	№ взр'язя	Маса, г									
		Дата / тривалість висушування, доби									
		15.07 6	16.07 7	17.07 8	18.07 9	19.07 10	20.07 11	21.07 12	22.07 13	23.07 14	24.07 15
1	1	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,39	1,43	1,45	1,40	1,40
	2	1,29	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28	1,32	1,34	1,28	1,28
	3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52	0,53	0,49	0,50
	4	1,16	1,16	1,15	1,16	1,16	1,15	1,09	1,21	1,15	1,16
	5	0,68	0,68	0,68	0,67	0,68	0,68	0,70	0,71	0,69	0,68
	Середнє	1,006	1,006	1,000	1,000	1,002	1,000	1,012	1,048	1,002	1,004
2	1	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,48	0,48	0,47	0,46
	2	0,45	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,45	0,44
	3	0,47	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,48	0,48	0,47	0,48
	4	0,62	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,63	0,64	0,62	0,61
	5	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,33	0,32
	Середнє	0,470	0,468	0,468	0,466	0,463	0,464	0,474	0,480	0,468	0,462
3	1	0,61	0,61	0,60	0,60	0,60	0,60	0,62	0,62	0,62	0,61
	2	1,31	1,31	1,31	1,30	1,30	1,29	1,31	1,33	1,29	1,28
	3	1,41	1,41	1,41	1,39	1,39	1,39	1,42	1,42	1,39	1,39
	4	1,18	1,18	1,18	1,17	1,18	1,17	1,19	1,20	1,17	1,17
	5	1,45	1,45	1,44	1,44	1,43	1,42	1,45	1,45	1,41	1,41
	Середнє	1,192	1,192	1,188	1,180	1,180	1,174	1,198	1,204	1,176	1,172
4	1	1,03	1,03	1,03	1,01	1,03	1,03	1,05	1,06	1,01	1,02
	2	1,53	1,53	1,53	1,63	1,53	1,52	1,54	1,56	1,51	1,51
	3	0,59	0,59	0,59	0,60	0,59	0,58	0,60	0,61	0,59	0,59
	4	0,79	0,79	0,79	0,78	0,79	0,78	0,80	0,81	0,77	0,77
	5	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,06	1,08	1,03	1,03
	Середнє	0,998	0,998	0,996	1,012	0,994	0,988	1,010	1,024	0,982	0,984
5	1	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45	0,44	0,46	0,45	0,44	0,44
	2	0,25	0,25	0,25	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25
	3	0,52	0,53	0,52	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,52	0,52
	4	0,36	0,35	0,34	0,33	0,35	0,35	0,39	0,35	0,34	0,35
	5	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27
	Середнє	0,372	0,372	0,364	0,356	0,366	0,370	0,382	0,376	0,364	0,366

№	№ зрізця	Маса, г		
		Дата / тривалість висушування, доби		Абсолютно сухий стан
		<u>25.07</u> 17	<u>26.07</u> 18	
1	1	1,39	1,42	1,23
	2	1,29	1,29	1,10
	3	0,50	0,51	0,43
	4	1,16	1,18	1,01
	5	0,69	0,70	0,58
	Середнє	1,006	1,020	0,870
2	1	0,47	0,48	0,40
	2	0,45	0,44	0,39
	3	0,48	0,48	0,42
	4	0,62	0,62	0,53
	5	0,35	0,33	0,29
	Середнє	0,474	0,470	0,406
3	1	0,60	0,61	0,53
	2	1,28	1,30	1,13
	3	1,40	1,40	1,22
	4	1,17	1,19	1,04
	5	1,42	1,44	1,25
	Середнє	1,174	1,188	1,034
4	1	1,03	1,03	0,85
	2	1,51	1,52	1,34
	3	0,59	0,59	0,52
	4	0,78	0,79	0,69
	5	1,03	1,04	0,87
	Середнє	0,988	0,994	0,854
5	1	0,43	0,44	0,39
	2	0,25	0,25	0,22
	3	0,52	0,52	0,45
	4	0,34	0,34	0,30
	5	0,27	0,26	0,23
	Середнє	0,362	0,362	0,318

Таблиця Е.4

**Маса фрагментів рослин під час висушування
та в абсолютно сухому стані**

№	Назва рослини	№ взірця	Маса, г					
			Дата / тривалість висушування, доби					
			<u>10.07</u> 0	<u>11.07</u> 1	<u>12.07</u> 2	<u>13.07</u> 3	<u>14.07</u> 4	<u>15.07</u> 5
1	Розрив-трава дрібноквіткова <i>Impatiens parviflora DC</i>	1	2,02	0,58	0,40	0,37	0,36	0,36
		2	8,89	5,50	4,20	3,12	2,51	2,15
		3	2,53	0,81	0,64	0,54	0,52	0,51
		4	6,56	3,08	1,85	1,44	1,36	1,34
		5	5,79	2,50	1,58	1,25	1,16	1,14
		Середнє	5,158	2,494	1,734	1,344	1,182	1,100

Продовження табл. Е.4

№	№ взірця	Маса, г								
		Дата / тривалість висушування, доби								
		<u>16.07</u> 6	<u>17.07</u> 7	<u>18.07</u> 8	<u>19.07</u> 9	<u>20.07</u> 10	<u>21.07</u> 11	<u>22.07</u> 12	<u>23.07</u> 13	<u>24.07</u> 14
1	1	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36	0,38	0,38	0,36	0,36
	2	1,93	1,72	1,58	1,46	1,35	1,31	1,30	1,21	1,21
	3	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,52	0,52
	4	1,35	1,33	1,34	1,33	1,33	1,38	1,38	1,33	1,33
	5	1,14	1,13	1,13	1,13	1,12	1,17	1,17	1,13	1,12
	Середнє	1,058	1,010	0,986	0,962	0,936	0,954	0,952	0,910	0,908

Продовження табл. Е.4

№	№ взірця	Маса, г		
		Дата / тривалість висушування, доби		Абсолютно сухий стан
		<u>25.07</u> 15	<u>26.07</u> 16	
1	1	0,36	0,37	0,33
	2	1,21	1,23	1,10
	3	0,51	0,52	0,47
	4	1,34	1,36	1,21
	5	1,12	1,15	1,01
	Середнє	0,908	0,926	0,824

**Маса фрагментів рослин під час висушування та
в абсолютно сухому стані**

№	Назва рослини	№ взірця	Маса, г					
			Дата / тривалість висушування, доби					
			<u>11.07</u> 0	<u>12.07</u> 1	<u>13.07</u> 2	<u>14.07</u> 3	<u>15.07</u> 4	<u>16.07</u> 5
1	Плаун річний <i>Lycopodium annotinum L.</i>	1	0,40	0,22	0,16	0,16	0,16	0,16
		2	0,53	0,36	0,24	0,23	0,22	0,22
		3	0,45	0,32	0,21	0,20	0,20	0,20
		4	0,33	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
		5	0,38	0,19	0,15	0,15	0,14	0,14
		Середнє	0,418	0,252	0,180	0,176	0,172	0,172
2	Чорниця <i>Vaccinium myrtillus L.</i>	1	3,70	2,24	1,94	1,83	1,78	1,76
		2	2,94	1,77	1,48	1,39	1,36	1,34
		3	3,97	2,60	2,15	2,02	1,98	1,97
		4	4,47	2,83	2,46	2,32	2,27	2,25
		5	1,78	1,16	1,00	0,91	0,88	0,86
		Середнє	3,372	2,120	1,806	1,694	1,654	1,636

Продовження табл. Е.5

№	№ взірця	Маса, г									
		Дата / тривалість висушування, доби									
		<u>17.07</u> 6	<u>18.07</u> 7	<u>19.07</u> 8	<u>20.07</u> 9	<u>21.07</u> 10	<u>22.07</u> 11	<u>23.07</u> 12	<u>24.07</u> 13	<u>25.07</u> 14	<u>26.07</u> 15
1	1	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16
	2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22
	3	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,18	0,19	0,18	0,19
	4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	5	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13
	Середнє	0,172	0,168	0,170	0,168	0,168	0,176	0,168	0,170	0,168	0,170
2	1	1,74	1,73	1,73	1,72	1,75	1,77	1,73	1,71	1,72	1,72
	2	1,32	1,31	1,30	1,31	1,33	1,34	1,31	1,31	1,31	1,32
	3	1,95	1,94	1,94	1,92	1,95	1,96	1,93	1,93	1,92	1,94
	4	2,22	2,20	2,20	2,20	2,23	2,24	2,21	2,20	2,19	2,22
	5	0,85	0,85	0,84	0,84	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,85
	Середнє	1,616	1,606	1,602	1,598	1,622	1,632	1,604	1,598	1,596	1,610

Продовження табл. Е.5

№	№ зрізця	Маса, г
		Абсолютно сухий стан
1	1	0,14
	2	0,19
	3	0,17
	4	0,13
	5	0,12
	Середнє	0,150
2	1	1,53
	2	1,17
	3	1,70
	4	1,98
	5	0,76
	Середнє	1,428

Таблиця Е.6

**Вологість свіжозірваних фрагментів рослин та
рівноважна вологість**

Назва рослини	Вологість, %	Середньо-квадратичне відхилення, %	Коефіцієнт варіації, %	Рівноважна вологість, %	Середньо-квадратичне відхилення, %	Коефіцієнт варіації, %
1	2	3	4	5	6	7
Малина звичайна <i>Rubus idaeus L.</i>	210,77±12,47	17,11	8,12	19,17±1,86	2,21	11,55
Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris L.</i>	146,05±3,59	5,44	3,73	15,71±0,81	1,14	7,28
Ожина сиза <i>Rubus caesius L.</i>	147,05±11,71	13,81	9,39	18,42±1,84	2,64	14,34
Крушина ламка <i>Frangula alnus Mill.</i>	217,30±17,25	23,07	10,62	12,35±1,02	1,27	10,30
Анемона дібровна <i>Anemone nemorosa L.</i>	561,93±42,18	59,83	10,65	21,59±5,30	7,07	32,78
Куничник очеретяний <i>Calamagrostis arundinacea Roth.</i>	110,65±7,24	8,38	7,57	7,40±0,49	0,68	9,14

1	2	3	4	5	6	7
Осока лісова <i>Carex sylvatica Huds.</i>	134,93±15,06	19,13	14,18	8,88±1,53	1,91	21,51
Щитник чоловічий <i>Dryopteris filix mas (L.) Schott</i>	232,85±22,19	29,02	12,46	15,97±3,78	4,84	30,29
Підмаренник м'який <i>Galium Mollugo L.</i>	257,29±38,45	46,65	18,13	14,24±9,94	12,88	90,44
Деревій тисячолістий <i>Achillea millefolium L.</i>	385,00±52,00	66,25	17,21	21,67±8,67	12,64	58,33
Кмин <i>Carum carvi L.</i>	395,56±42,31	55,43	14,01	15,71±1,10	1,36	8,66
Пирій повзучий <i>Agropyrum repens P.B.</i>	159,90±12,64	17,86	11,17	13,51±1,54	1,99	14,72
Звіробій звичайний <i>Hypericum perforatum L.</i>	219,15±10,69	15,30	6,98	13,52±0,80	1,03	7,64
Тисячолістник хрящуватий <i>Achillea ptarmica L.</i>	177,41±67,81	83,99	47,34	15,23±3,18	3,73	24,48
Щучник дернистий <i>Deschampsia caespitosa (L.) P.Beauv.</i>	90,69±8,31	11,26	12,42	15,21±1,59	1,95	12,81
Розрив-трава дрібноквіткова <i>Impatiens parviflora DC</i>	514,80±77,35	112,09	21,77	10,11±0,53	0,70	6,96
Плаун річний <i>Lycopodium annotinum L.</i>	179,98±16,97	23,96	13,31	12,17±4,53	5,21	42,78
Чорниця <i>Vaccinium myrtillus L.</i>	137,32±7,39	9,66	7,03	11,69±0,90	1,08	9,27

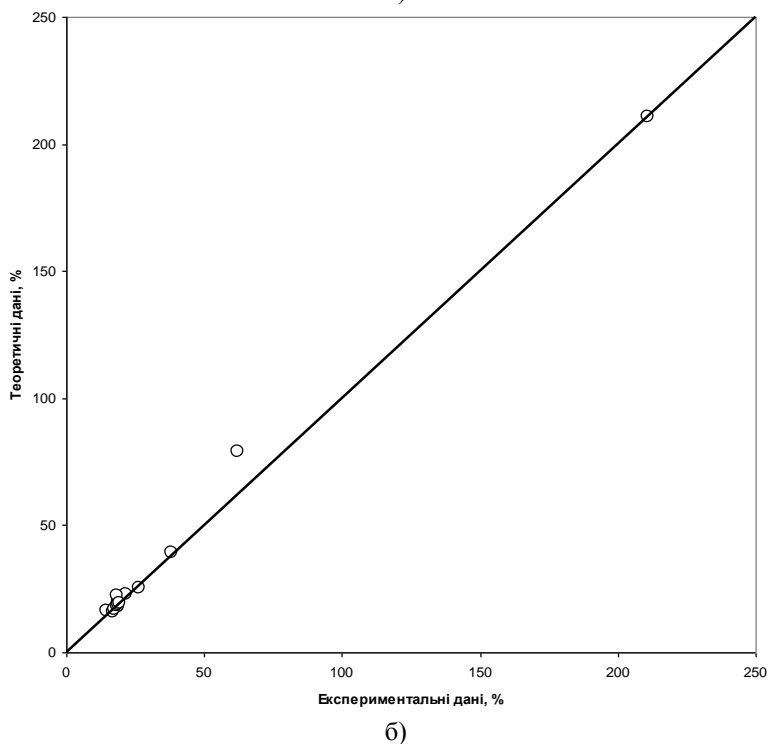
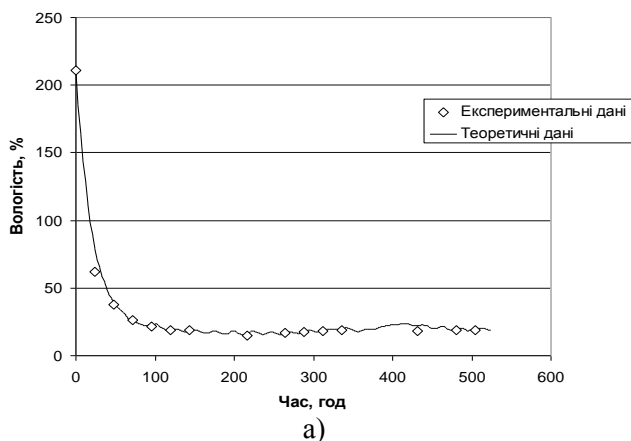


Рис. Е.1. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів малини звичайної: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

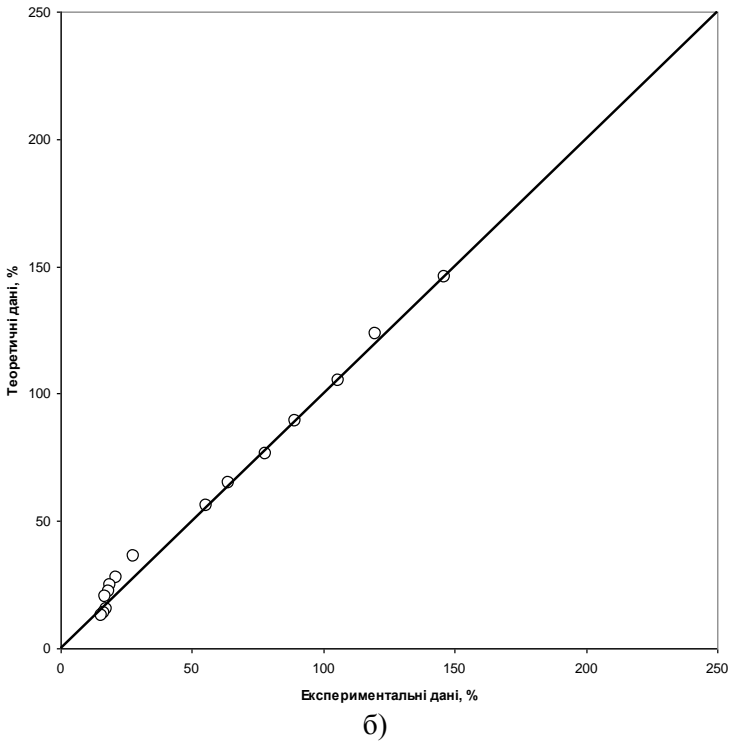
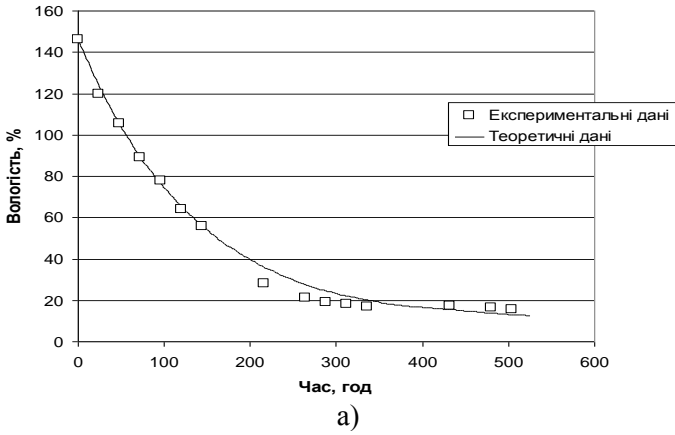
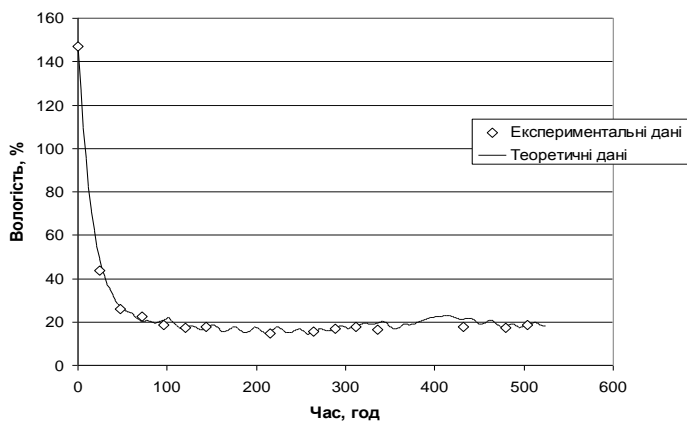
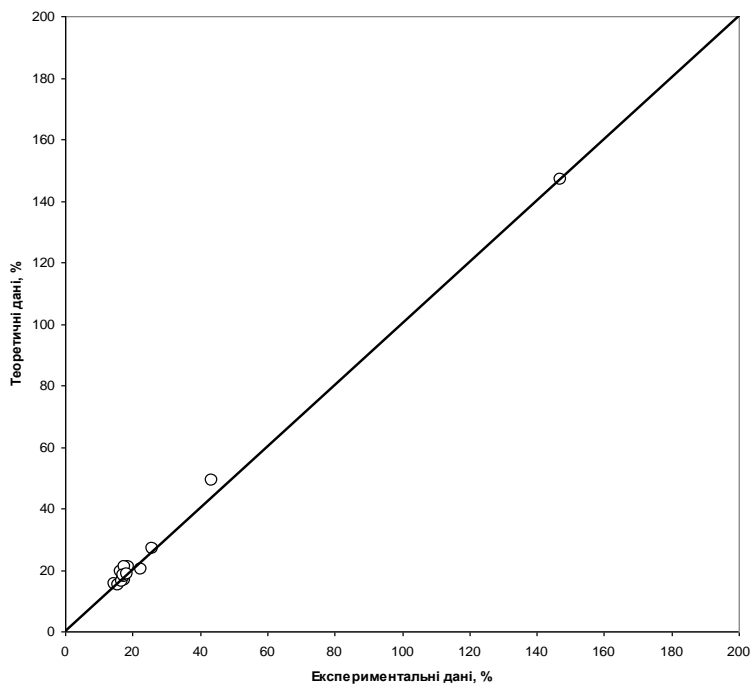


Рис. Е.2. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів сосни звичайної:
 а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних



а)



б)

Рис. Е.3. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів ожини сизої: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

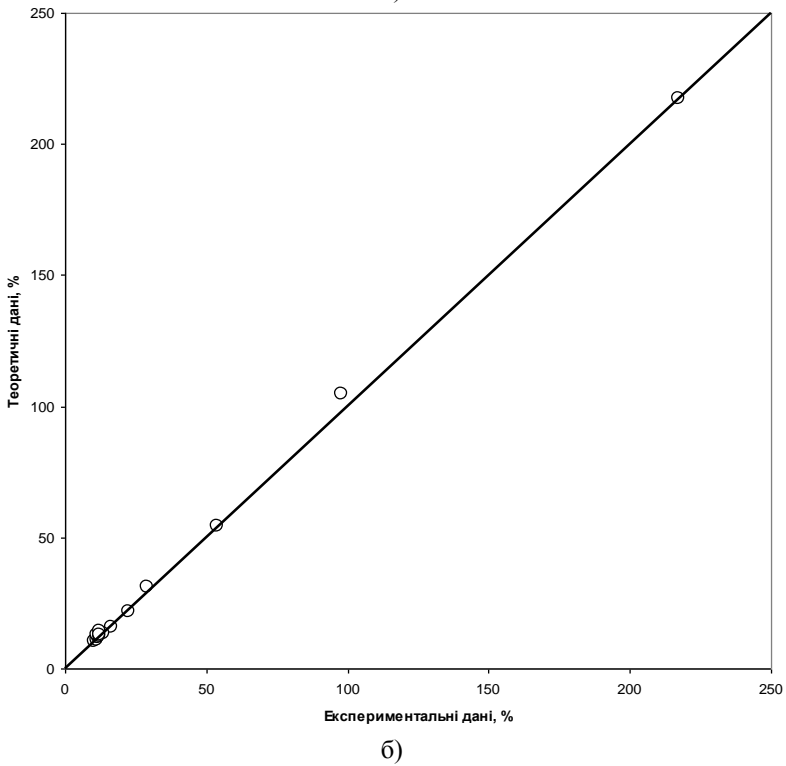
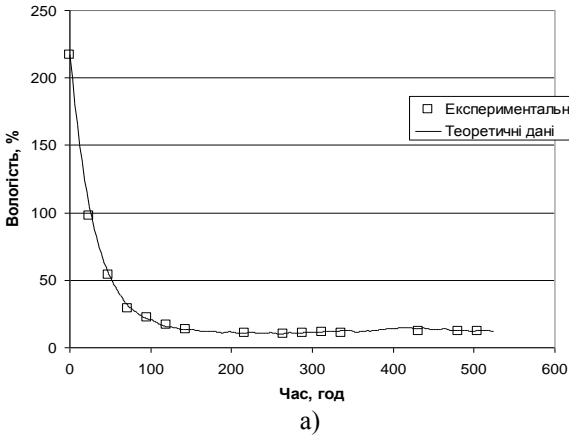


Рис. Е.4. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів крушини ламкої:
 а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

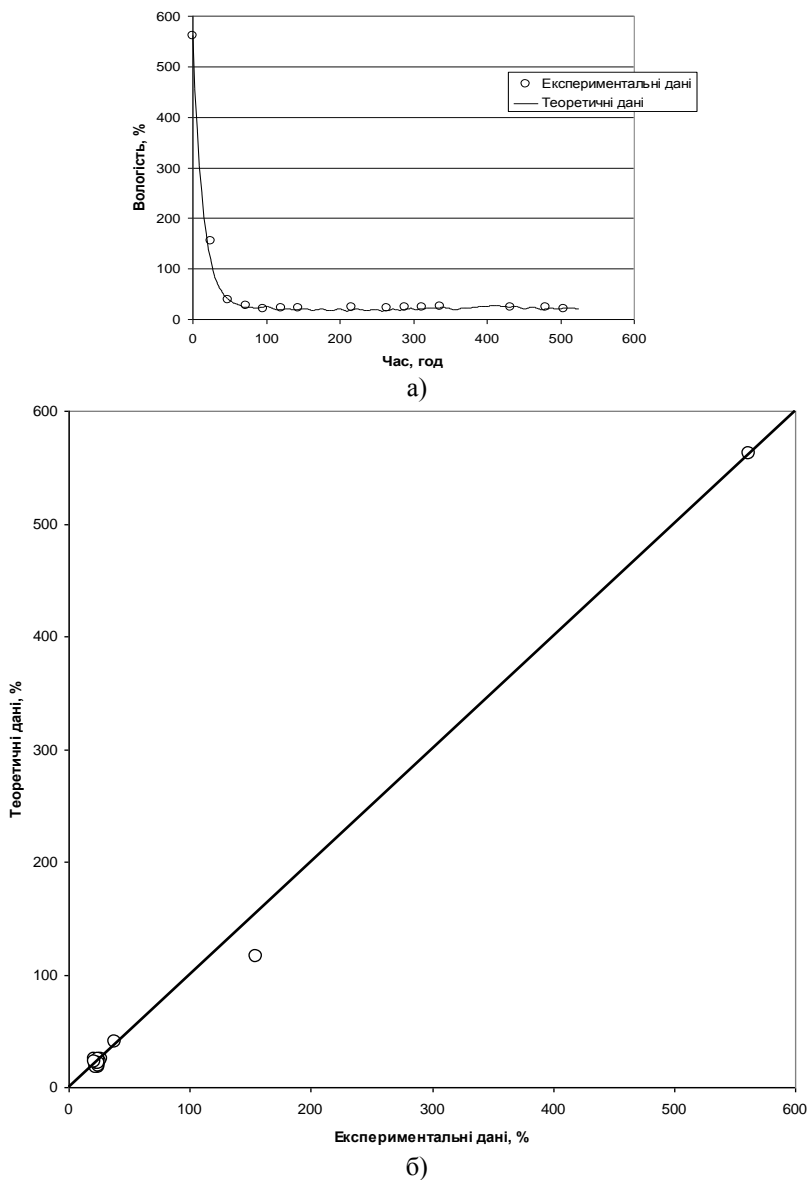


Рис. Е.5. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів анемони дібрової: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

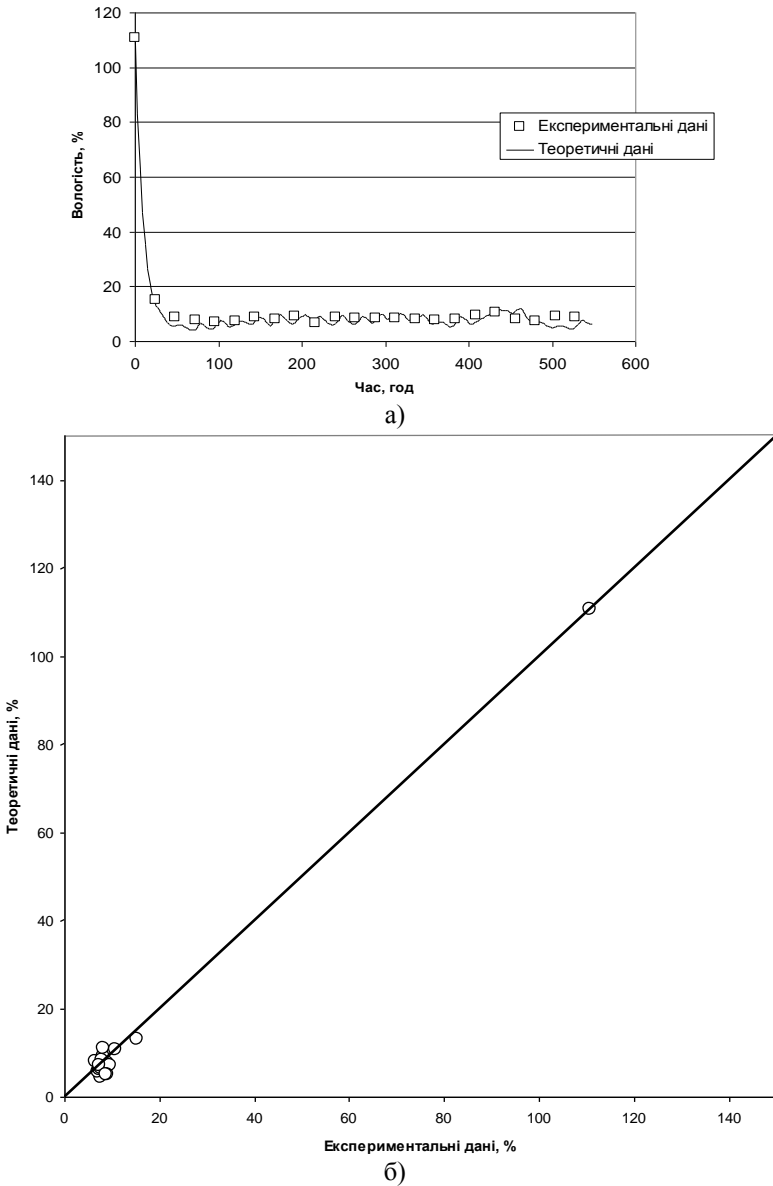


Рис. Е.6. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів куничника очеретяного: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

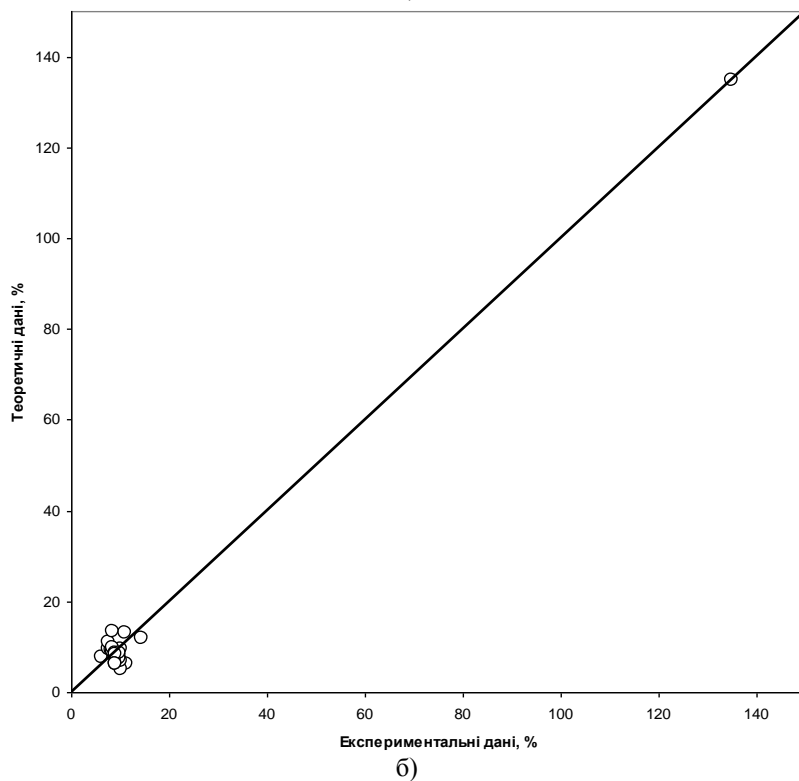
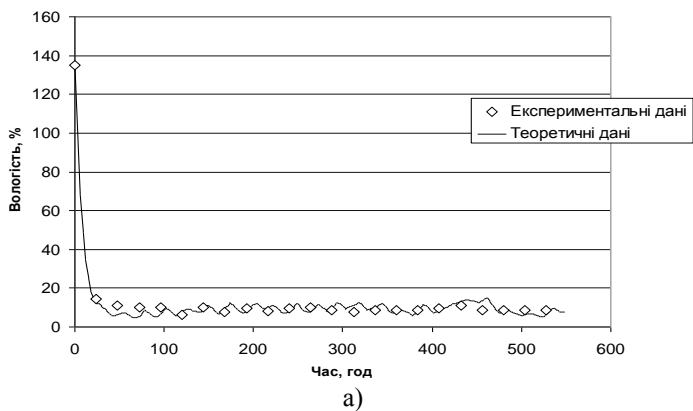
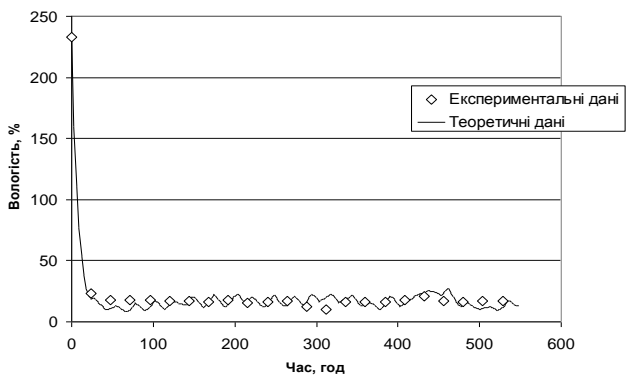
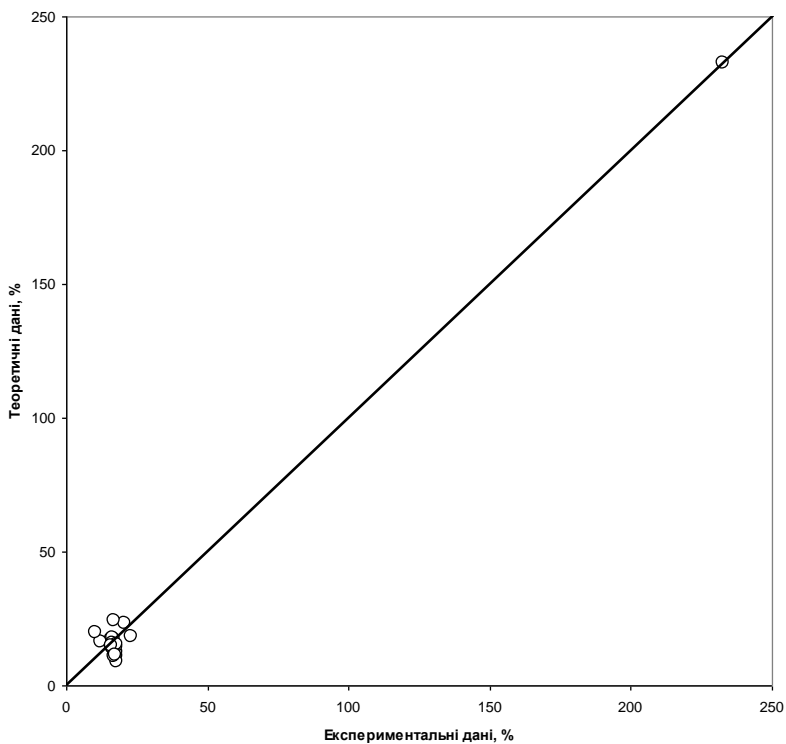


Рис. Е.7. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів осики лісової:
а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних



а)



б)

Рис. Е.8. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів щитника чоловічого: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

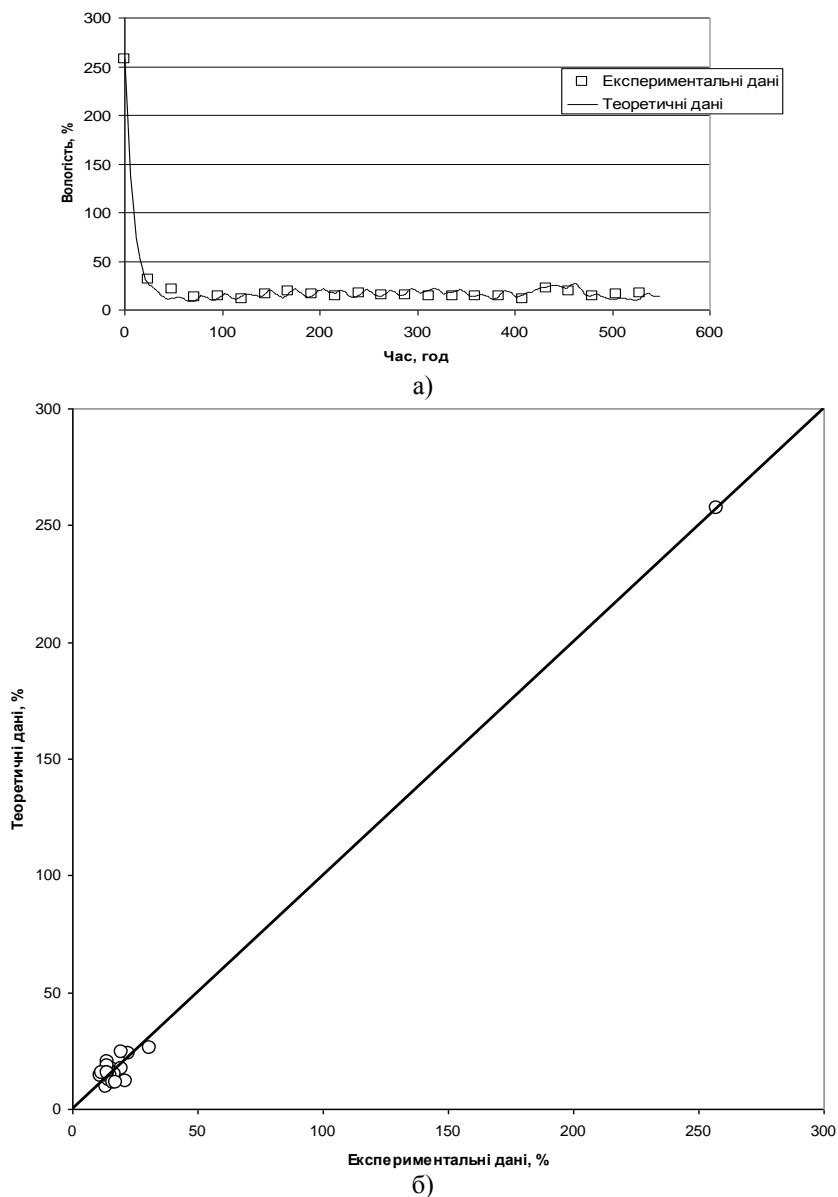


Рис. Е.9. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів підмаренника м'якого:
а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

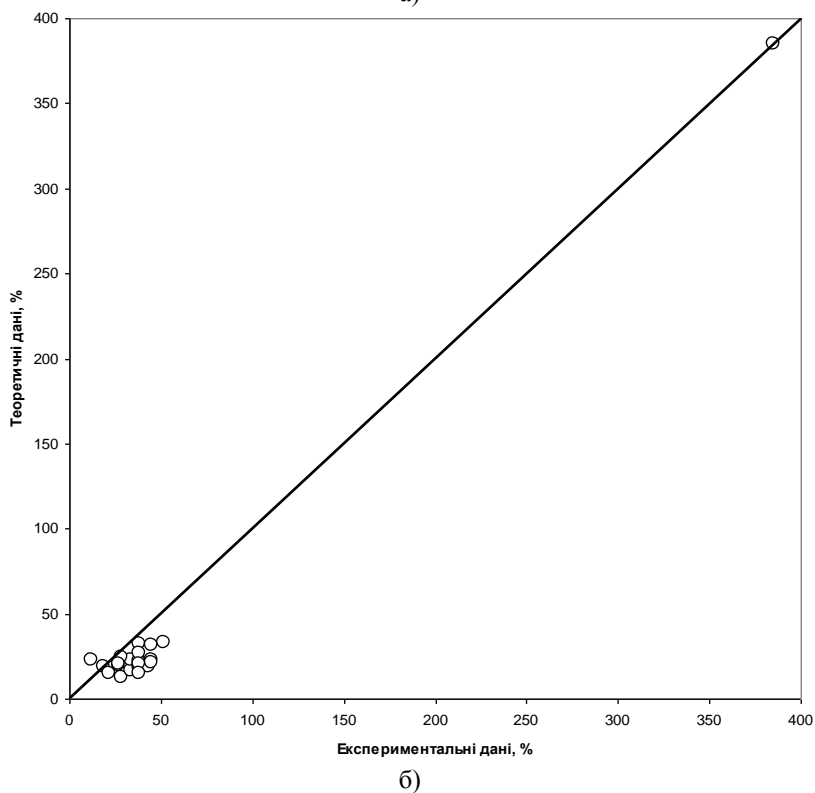
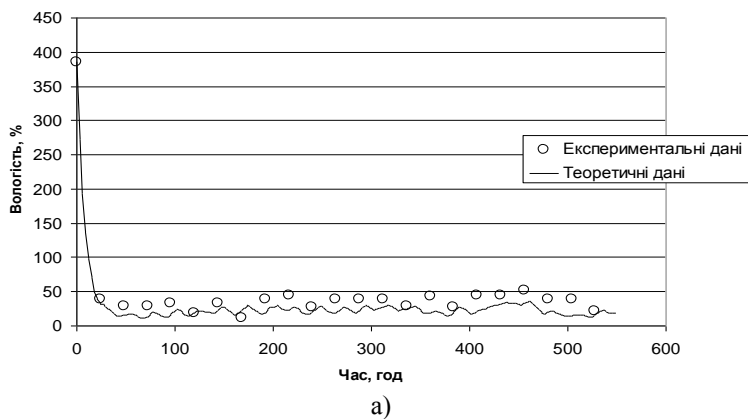
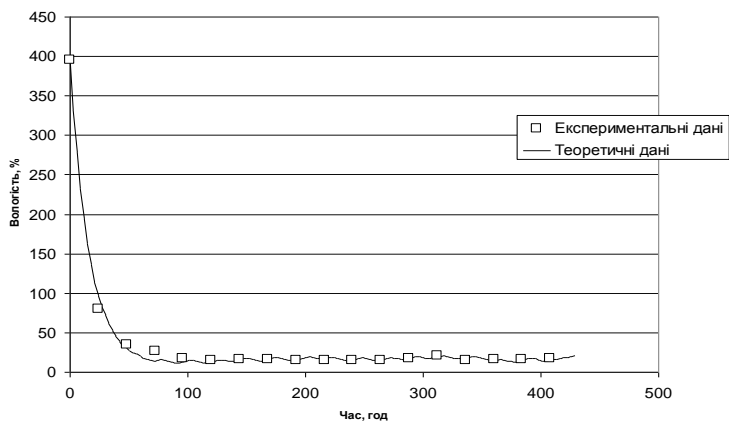
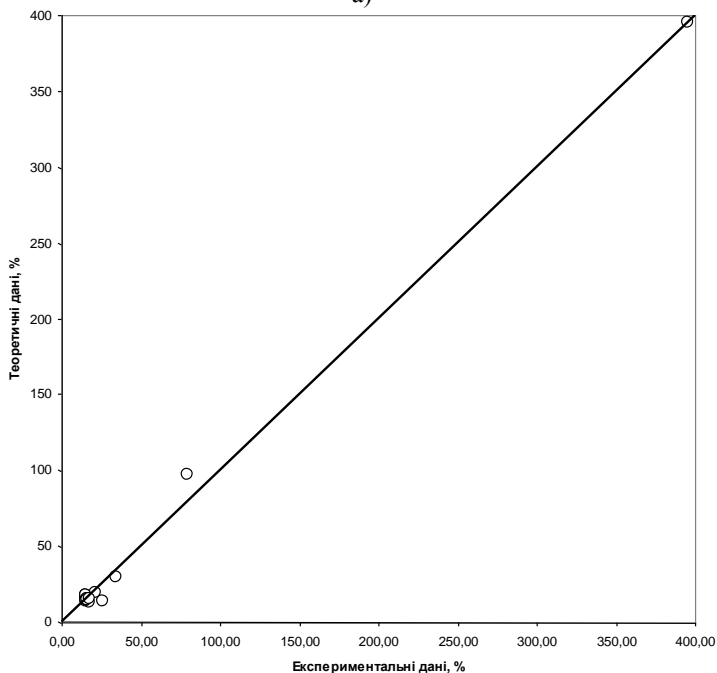


Рис. Е.10. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів деревію тисячолістого: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

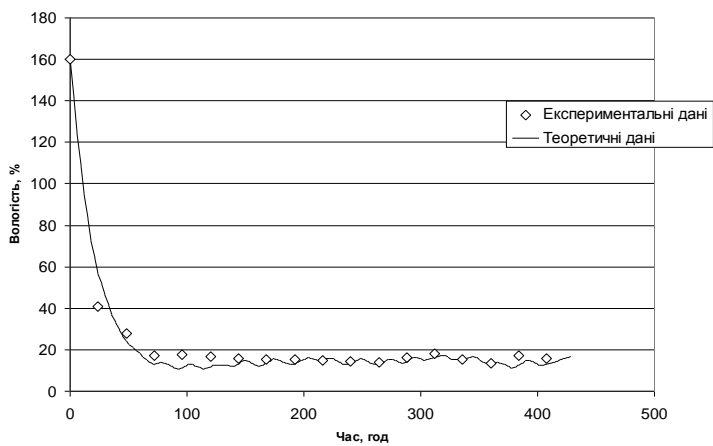


а)

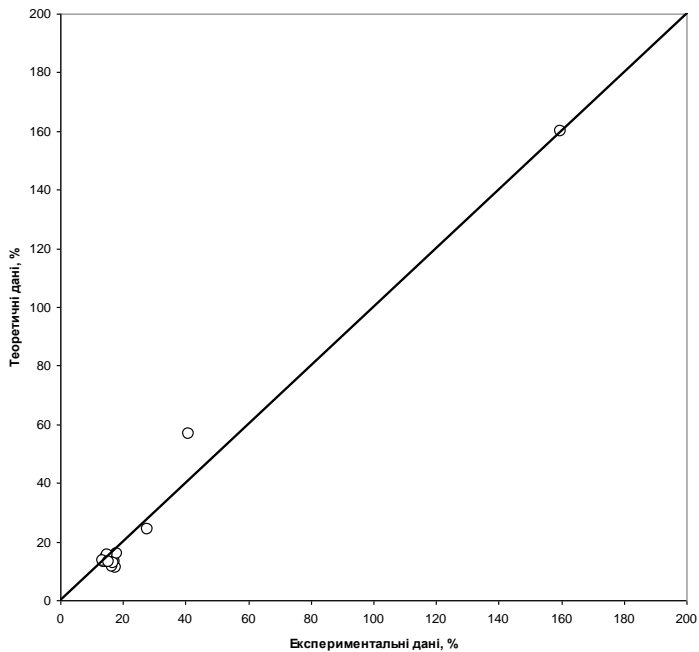


б)

Рис. Е.11. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів кмину: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних



а)



б)

Рис. Е.12. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів пирію повзучого:
 а – залежність вологості від часу;
 б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

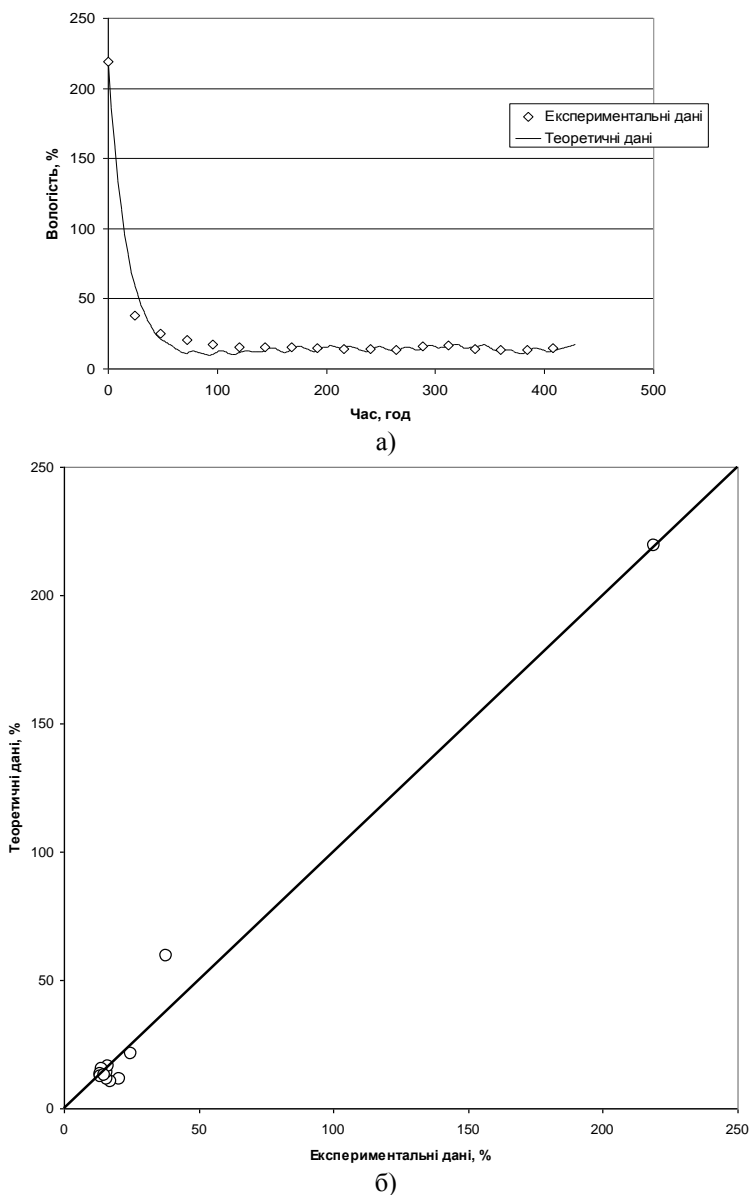
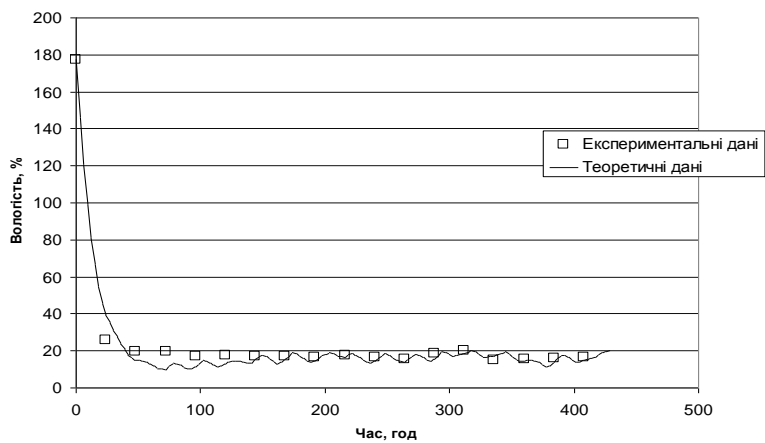
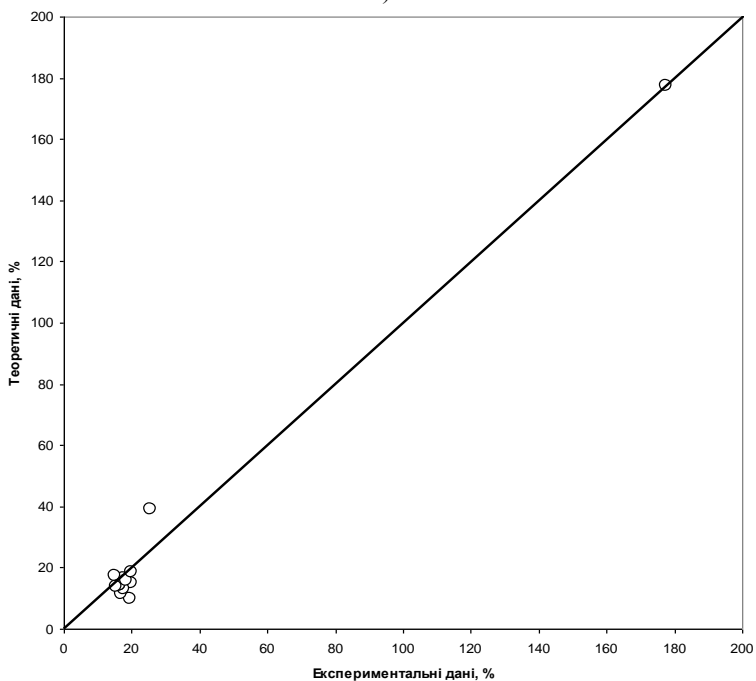


Рис. Е.13. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів з виробу звичайного:
 а – залежність вологості від часу;
 б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

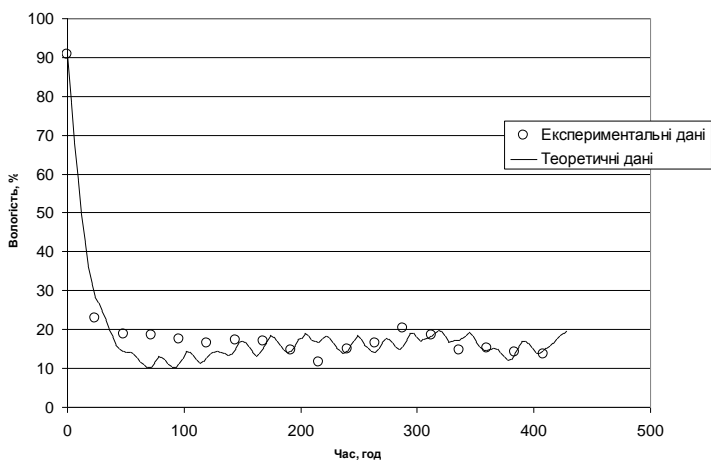


а)

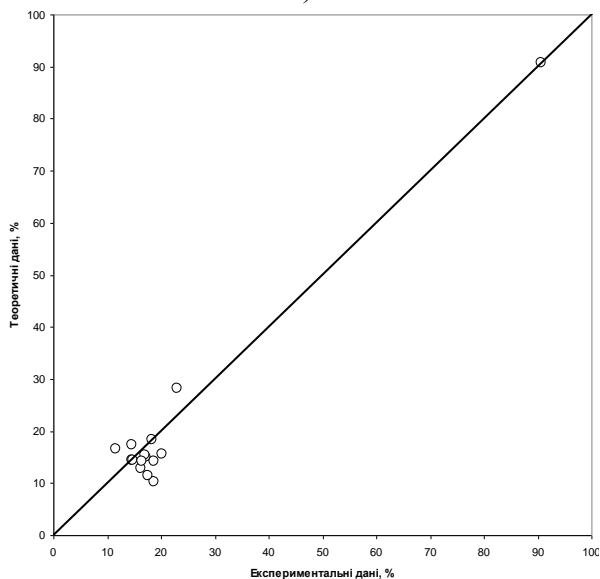


б)

Рис. Е.14. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів тисячолістника звичайного:
 а – залежність вологості від часу;
 б – відхилення теоретичних даних від експериментальних



а)



б)

Рис. Е.15. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів щучника дернистого:
а – залежність вологості від часу;
б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

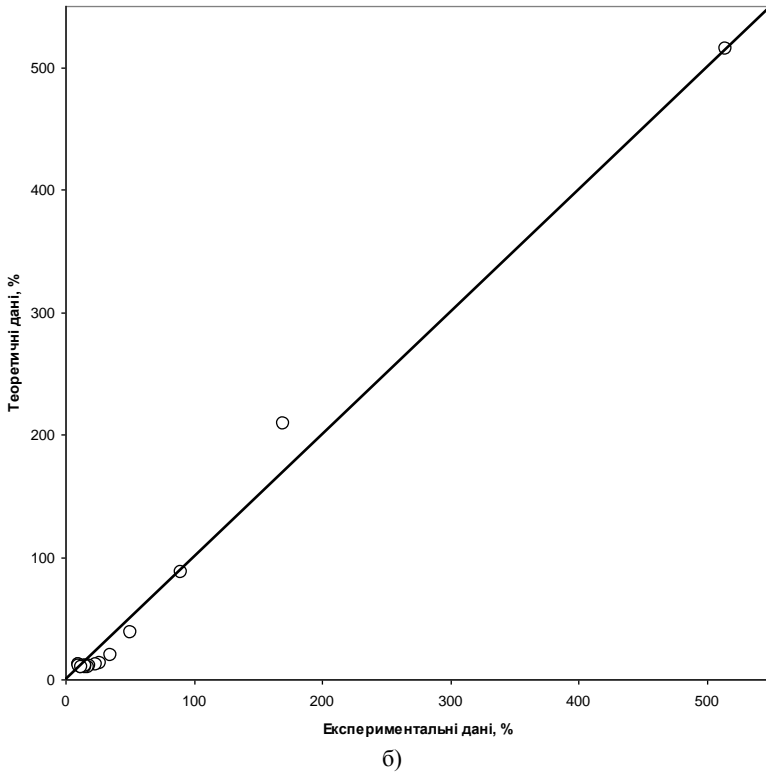
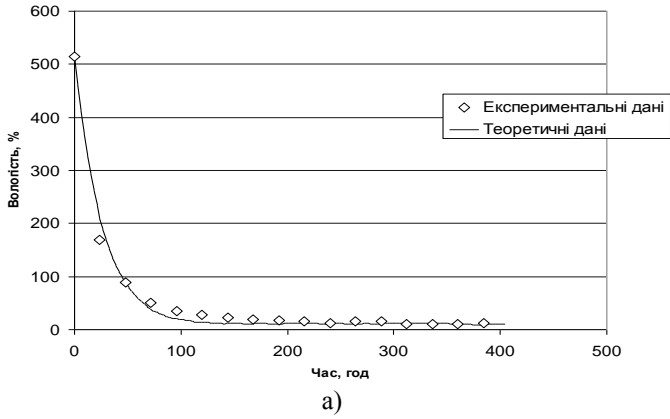
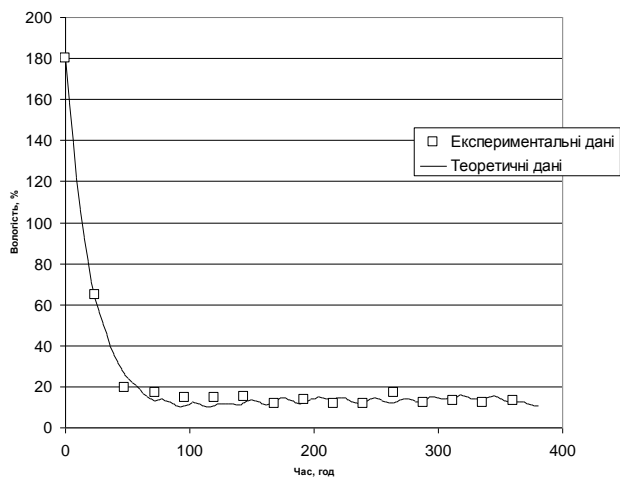
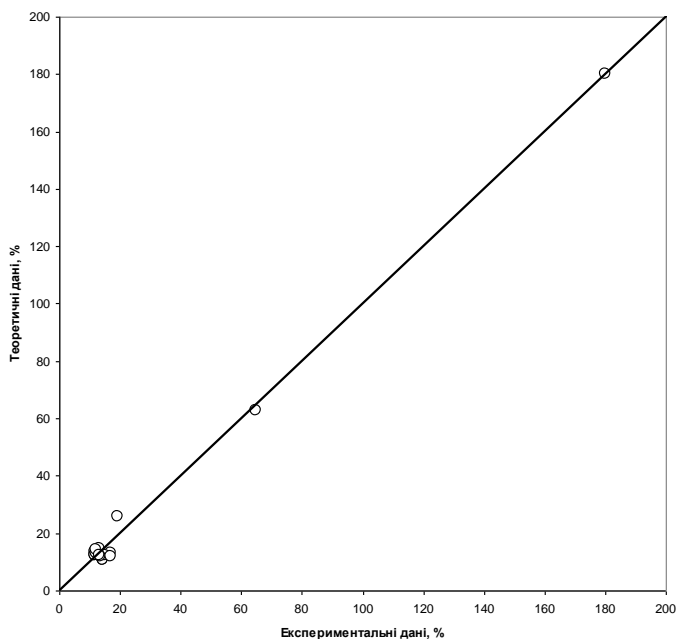


Рис. Е.16. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів розрив-трави дрібноквіткової: а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних



а)



б)

Рис. Е.17. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів плауна річного:
а – залежність вологості від часу; б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

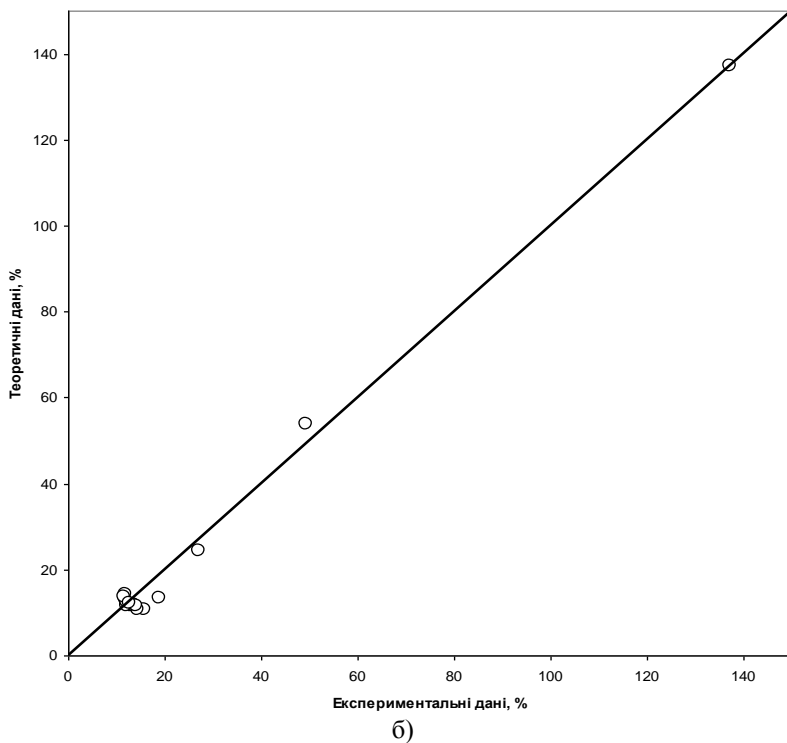
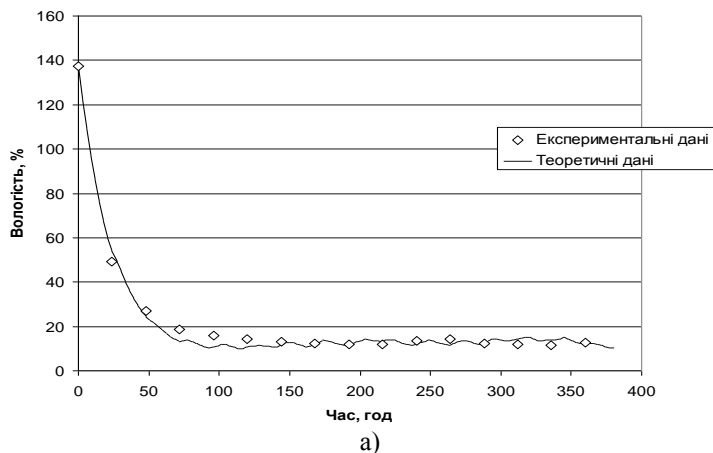


Рис. Е.18. Математичне моделювання процесу висушування фрагментів чорниці:
 а – залежність вологості від часу;
 б – відхилення теоретичних даних від експериментальних

Додаток Ж

Теоретичний метод визначення коефіцієнта висушування з урахуванням впливу середовища лісу

Моделювання вологісного стану лісового горючого матеріалу потребує коефіцієнта висушування K , який входить у рівняння висушування. Його зазвичай визначають експериментально. Проте цей показник залежить не лише від виду матеріалу, але і від зовнішніх умов, які впливають на процес висушування. Тому для використання цього коефіцієнта при моделюванні процесів висушування актуальним завданням є його аналітичний опис в залежності від властивостей матеріалу та умов зовнішнього середовища.

Коефіцієнт висушування відповідно до [247] записуємо у вигляді

$$K = \gamma N, \quad (\text{Ж.1})$$

де N – швидкість висушування, %/с, γ – відносний коефіцієнт висушування, 1/%, який визначається за емпіричною формулою $\gamma = \frac{1,8}{w_0}$, w_0 –

початкова вологість, %. Швидкість висушування залежить від періоду висушування. Перший період характеризується сталою швидкістю висушування та температурою. Під час другого періоду висушування відбувається зменшення швидкості втрати вологості матеріалу та зростання температури. Оскільки лісова підстилка складається з опалого матеріалу, який частково розкладений та може неодноразово зволожуватися внаслідок опадів, то будемо вважати, що висушування відбувається протягом першого періоду. У цьому випадку швидкість висушування можна знайти з формули [247]

$$q = r \frac{N}{100} R_v \rho_0, \quad (\text{Ж.2})$$

де q – тепловий потік, Вт/м², r – питома теплота випаровування, Дж/кг, R_v – характерний розмір (відношення об'єму до площі поверхні, для шару горючого матеріалу – товщина), м, ρ_0 – густина матеріалу, кг/м³. Звідси швидкість висушування залежить від теплового потоку, характерного розміру та густини і буде становити

$$N = \frac{100q}{rR_v\rho_0}. \quad (\text{Ж.3})$$

Тепловий потік q , який діє на лісову підстилку, має дві основні складові – радіаційну q_r , яка є наслідком сонячного випромінювання, і конвективну q_c , яка характеризує перенесення тепла внаслідок переміщення повітряних мас. Радіаційний тепловий потік на горизонтальну по-

верхню відкритого простору також можна подати у вигляді двох окремих складових – прямого $q_{пр}$ і розсіяного потоку $q_{розс}$ сонячних променів.

Прямий потік сонячної радіації на горизонтальну поверхню обчислюється за формулою [145]

$$q_{пр} = q_{c0} P^m \sin h, \quad (\text{Ж.4})$$

де q_{c0} – сонячна стала ($q_{c0} = 1353 \text{ Вт/м}^2$), P – коефіцієнт ослаблення променів атмосферою, m – відношення мас повітря і h – кут підйому Сонця над горизонтом, рад. Значення P в залежності від стану неба та від висоти над рівнем моря може змінюватися від 0,4 до 0,8 та вибирається 0,8 [505] або 0,6 [475]. Відношення мас повітря m – це відношення шляху, який проходять в атмосфері сонячні промені до такого ж шляху, якщо Сонце перебувало б у зеніті, та обчислюється за формулою

$$m = \frac{1}{\sin z}, \quad (\text{Ж.5})$$

де z – зенітний кут, рад., $z = \frac{\pi}{2} - h$.

Величина кута підйому Сонця визначається за формулою

$$h = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(15^\circ \cdot (t - 12))), \quad (\text{Ж.6})$$

де φ – географічна широта місцевості, δ – схилення Сонця, t – час доби у годинах. Схилення Сонця має річний період та досягає максимуму в день літнього сонцестояння ($\delta = 23,45^\circ$), мінімальним є у день зимового сонцестояння ($\delta = -23,45^\circ$), а нульовим – у дні весняного та осіннього рівнодення. Тому його можна описати формулою

$$\delta = \delta(d) = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}(d - 80)\right), \quad (\text{Ж.7})$$

де d – день від початку року, $T=365$ днів – період.

Прямий радіаційний тепловий потік залежить від стану неба та закриття Сонця хмарами. Таке ослаблення описується коефіцієнтом хмарності $k_{хм}$, який характеризує стан неба у кожен момент часу для кожної точки простору.

Розсіяний тепловий потік сонячної радіації, який потрапляє на горизонтальну поверхню, можна вважати ізотропним та визначати за формулою [504, 505]

$$q_{розс} = q_{c0} (0,271 - 0,294 P^m). \quad (\text{Ж.8})$$

Оскільки розглядається випромінювання на горизонтальну поверхню, то тепловим потоком, відбитим від неї, можна знехтувати.

Під наметом деревостану радіаційний тепловий потік складається [433] з прямого потоку, який проходить через прогалини у наметі та кронах і розсіяного, до складу якого входять зовнішній розсіяний потік, який потрапляє через прогалини, та відфільтровані листям (хвою) прямий та розсіяний потоки. При цьому можна знехтувати багаторазовим відбиттям та заломленням променів. Прямий потік під наметом зумовлений проекцією на нього відкритих ділянок намету та описується доповненням площі поверхні під наметом до її затінених частин. Окрім того, внаслідок коливань листя окремі промені проходять на поверхню через крони в певні моменти часу, внаслідок чого на ній спостерігаються окремі відблиски. Наявність або відсутність прямого потоку під наметом можна описати за допомогою функції $k_T(x, y, \tau)$, яка на основі геометричного розрахунку затінення визначає для кожної точки (x, y) у момент часу τ її освітлення прямим потоком ($k_T = 1$) або затінення ($k_T = 0$). Оскільки розсіяний потік під наметом потрапляє на горизонтальну поверхню не з усієї небесної півсфери, а проходить через прогалини, його потрібно розглядати з урахуванням коефіцієнта пропускання, який є функцією коефіцієнта зімкнутості, $k_{\text{проп}} = k_{\text{проп}}(k_3)$, де k_3 – зімкнутість крон, тобто величини, яка характеризує відношення площі горизонтальної проекції крон до загальної площі ділянки лісу. Залежність між зімкнутістю крон та коефіцієнтом пропускання інтегральної сонячної радіації A_i , %, визначається з емпіричної формули

$$\lg A_i = x \lg a + b_1, \quad (\text{Ж.9})$$

у якій x – сумарна площа прогалин у наметі, %, а коефіцієнти $\lg a$ та b_1 становлять: для хвойних деревостанів 0,015 та $-0,090$, для листяних 0,102 та 0,398 [433]. Прогалини у наметі доповнюються прогалинами у кронах, які залежать від ажурності крон. Враховуючи коефіцієнт ажурності крон $k_{\text{аж}}$, який залежить від породи та зімкнутості деревостану, маємо

$$x = (1 - k_3 + k_{\text{аж}} k_3) \cdot 100. \quad (\text{Ж.10})$$

З урахуванням (Ж.9)-(Ж.10) коефіцієнт пропускання у частках одиниці обчислюється за формулою

$$k_{\text{проп}} = \frac{10^{100(1-k_3+k_{\text{аж}}k_3)\lg a+b_1}}{100} = 10^{100(1-k_3+k_{\text{аж}}k_3)\lg a+b_1-2}. \quad (\text{Ж.11})$$

Формула (Ж.11) дає змогу визначити коефіцієнт пропускання при розташуванні Сонця під кутом 45° до горизонту. При інших значеннях h вводять коефіцієнт поправки, який описується величиною $\frac{\sin h}{\sin \frac{\pi}{4}}$. У випадку закритого хмарами неба поправки не вводимо. Для

$$\frac{\sin h}{\sin \frac{\pi}{4}}$$

ділянки лісу з нерівномірним розташуванням дерев зімкнутість крон можна визначати і локально. У цьому випадку в (Ж.11) підставляємо значення локальної зімкнутості.

Сонячна радіація під наметом на узліссі буде відрізнятися від місця всередині лісу, оскільки прямі та розсіяні промені надходять не лише через прогалини у наметі, а і зі сторони відкритого простору. Особливо відчутною така різниця є на несправжніх узліссях вздовж доріг, поруч зі зрубамі, на галявинах, які пропускають промені до поверхні ґрунту, особливо у випадку розташування з південного боку. Оскільки площа просвітів для потрапляння сонячної радіації зростає, то для таких ділянок її слід враховувати у коефіцієнті зімкнутості, який повинен становити не більше, ніж 50 % для межі узлісся. Якщо узлісся заросло деревами нижніх ярусів та кущами, їх крони створюють тінь та ослаблюють проникнення променів. Це ослаблення також можна врахувати у коефіцієнті зімкнутості. У загальному випадку при визначенні $k_{\text{проп}}$ у кожній точці лісу замість $1-k_z$ слід брати відношення суми тілесних кутів, крізь які у ній видно прогалини, до тілесного кута півсфери. Коефіцієнт пропускання листяних деревостанів зазнає значних сезонних змін, пов'язаних з ходом вегетаційного періоду. Для сонових лісів такий вплив менш помітний. У листяних лісах у літні місяці спостерігається істотне ослаблення радіації під наметом. Його можна описати за допомогою коефіцієнта сезонності $k_{\text{сез}}$, значення якого залежить від клімату, місяця та породи дерева. Опадання листя можливе також внаслідок посухи, пошкодження пожежами та хвороб дерев. В останніх двох випадках може опадати і хвоя.

Радіаційний тепловий потік під наметом не лише поглинається поверхнею підстилки, а і відбивається від неї. Тому для прямого та розсіяного потоків потрібно використовувати коефіцієнт $(1-A)$, де A – альbedo поверхні, яке залежить від складу матеріалу поверхні та його властивостей.

Конвективний тепловий потік описується формулою

$$q_c = \alpha(T - T_{n0}), \quad (\text{Ж.12})$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К), T – температура повітря, К, T_{n0} – температура поверхні підстилки, К. Коефіцієнт тепловіддачі на межі середовищ тверде тіло-повітря залежить від швидкості повітряних мас біля поверхні та описується формулою [230]

$$\alpha = 5,6 + 4v_v, \quad (\text{Ж.13})$$

де v_v – швидкість вітру, м/с.

Таким чином, з урахуванням (Ж.1)-(Ж.13) коефіцієнт висушування набуде вигляду

$$K = K(\tau) = \gamma \frac{100((1-A)(k_{\tau} k_{\text{хм}} q_{\text{пр}} + k_{\text{проп}} k_{\text{сез}} (k_{\text{хм}} q_{\text{пр}} + q_{\text{розс}})) + \alpha(T - T_{n0}))}{R_v \rho_0} \quad (\text{Ж.14})$$

та може застосовуватися у рівнянні висушування або його інтегралах з метою моделювання процесів висушування лісового горючого матеріалу. Цей коефіцієнт повинен бути додатнім. У випадку від'ємних значень вважаємо, що $K(\tau) = 0$.

Додаток 3

Основні мікрокліматичні, лісівничі та пожежонебезпечні параметри пробних ділянок під час комплексних досліджень пожежної безпеки

Основні мікрокліматичні, лісівничі та пожежонебезпечні параметри пробних ділянок на пробних площах (див. табл. А.2 додатку А) під час комплексних досліджень пожежної безпеки наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні мікрокліматичні, лісівничі та пожежонебезпечні параметри пробних ділянок під час комплексних досліджень пожежної безпеки

№ ділянки і ТЛРУ	Освітленість під наметом, лк (h=0,2)	Освітленість під наметом, лк (h=1)	Освітленість під наметом, лк (h=1,5)	Частка освітленості під наметом (h=0,2) у порівнянні з відкритим простором	Частка освітленості під наметом (h=1) у порівнянні з відкритим простором	Частка освітленості під наметом (h=1,5) у порівнянні з відкритим простором	Температура повітря під наметом, °С (h=0,2)	Температура повітря під наметом, °С (h=1)	Температура повітря під наметом, °С (h=1,5)	Різниця температур повітря під наметом та на відкритому просторі, °С (h=0,2)	Різниця температур повітря під наметом та на відкритому просторі, °С (h=1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-С ₃	681	675	716	0.008	0.008	0.008	28.0	28.5	28.3	-2.0	-1.5
2-С ₃	1003	991	872	0.012	0.012	0.010	28.2	28.6	28.6	-1.8	-1.4
3-С ₃	646	426	469	0.008	0.005	0.005	28.4	28.2	28.2	-1.6	-1.8
4-С ₄	837	881	1132	0.020	0.021	0.028	28.1	28.5	28.0	-0.7	-0.3
5-С ₄	1453	1671	1819	0.035	0.041	0.044	27.4	27.1	27.7	-1.4	-1.7
6-С ₄	348	497	573	0.008	0.012	0.014	27.0	27.1	27.1	-1.8	-1.7
7-В ₅	39500	21900	19700	0.455	0.252	0.227	29.1	27.5	29.1	2.5	0.9
8-В ₅	14360	12700	41900	0.165	0.146	0.482	27.7	27.2	27.3	1.1	0.6
9-В ₅	5730	5830	13440	0.066	0.067	0.155	27.6	27.9	28.2	1.0	1.3
10-В ₃	292	939	1098	0.004	0.011	0.013	23.5	24.7	23.6	-4.2	-3.0
11-В ₃	791	848	1028	0.010	0.010	0.013	25.1	25.2	25.5	-2.6	-2.5
12-В ₃	1421	2670	3040	0.017	0.033	0.037	24.9	24.6	25.1	-2.8	-3.1
13-Д ₂	342	399	420	0.013	0.015	0.016	18.8	16.8	16.6	0.7	-1.3
14-Д ₂	259	313	347	0.010	0.012	0.013	16.1	15.7	15.7	-2.0	-2.4

Продовження табл. 3.1

Недільники ТЛРУ	Різниця температур повітря під наметом т а на відкритому просторі, °С (h=1,5)	Частка температури повітря під наметом (h=0,2) у порівнянні з відкритим простором	Частка температури повітря під наметом (h=1) у порівнянні з відкритим простором	Частка температури повітря під наметом (h=1,5) у порівнянні з відкритим простором	Точка роси під наметом td, °С (h=0,2)	Точка роси під наметом td, °С (h=1)	Точка роси під наметом td, °С (h=1,5)	$t(t-t_d), (°C)^2$ (h=0,2)	$t(t-t_d), (°C)^2$ (h=1)	$t(t-t_d), (°C)^2$ (h=1,5)
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1-C ₃	-1.7	0.93	0.95	0.94	16.1	16.1	15.9	333.2	353.4	350.9
2-C ₃	-1.4	0.94	0.95	0.95	16.2	15.4	14.8	338.4	377.5	394.7
3-C ₃	-1.8	0.95	0.94	0.94	16.1	14.2	14.4	349.3	394.8	389.2
4-C ₄	-0.8	0.98	0.99	0.97	21.0	20.1	16.1	199.5	239.4	333.2
5-C ₄	-1.1	0.95	0.94	0.96	20.1	18.0	19.2	200.0	246.6	235.5
6-C ₄	-1.7	0.94	0.94	0.94	20.1	18.9	18.4	186.3	222.2	235.8
7-B ₅	2.5	1.09	1.03	1.09	19.2	18.9	18.5	288.1	236.5	308.5
8-B ₅	0.7	1.04	1.02	1.03	18.6	18.1	18.6	252.1	247.5	237.5
9-B ₅	1.6	1.04	1.05	1.06	18.1	18.1	17.2	262.2	273.4	310.2
10-B ₃	-4.1	0.85	0.89	0.85	18.7	16.8	17.2	112.8	195.1	151.0
11-B ₃	-2.2	0.91	0.91	0.92	19.7	18.9	19.1	135.5	158.8	163.2
12-B ₃	-2.6	0.90	0.89	0.91	21.0	19.4	20.2	97.1	127.9	123.0
13-D ₂	-1.5	1.04	0.93	0.92	15.1	15.0	14.5	69.6	30.2	34.9
14-D ₂	-2.4	0.89	0.87	0.87	15.0	15.2	14.8	17.7	7.9	14.1

№ ділянки і ТЛРУ	Відносна вологість повітря під наметом, % (h=0,2)			Відносна вологість повітря під наметом, % (h=1)			Відносна вологість повітря під наметом, % (h=1,5)			Різниця відносних вологостей повітря під наметом та на відкритому просторі, % (h=0,2)			Різниця відносних вологостей повітря під наметом та на відкритому просторі, % (h=1)			Різниця відносних вологостей повітря під наметом та на відкритому просторі, % (h=1,5)			Атмосферний тиск під наметом, гПа (h=0,2)			Атмосферний тиск під наметом, гПа (h=1)			Атмосферний тиск під наметом, гПа (h=1,5)			Проективне покриття наземного ярусу (ств'яні посліпни і невеликі чагарники), %			Проективне покриття мохів, %			Локальна густина деревостану (загальна), од./га			Локальна густина 1 ярусу деревостану (загальна), од./га		
1	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55						
1-С ₃	47.8	47.8	46.7	5.5	5.5	4.4	986.9	986.7	986.7	51	0	1182	1038																										
2-С ₃	47.9	44.7	43.2	5.6	2.4	0.9	986	985.9	985.7	48	0	490	490																										
3-С ₃	47.1	42.1	42.9	4.8	-0.2	0.6	986.1	986.2	986.1	49	0	505	505																										
4-С ₄	63.4	56.8	47.8	19.0	12.4	3.4	986.6	986	986	90	0	425	425																										
5-С ₄	65.2	57.1	60.7	20.8	12.7	16.3	986.2	985.9	985.8	95	0	242	235																										
6-С ₄	65.7	60.8	58.6	21.3	16.4	14.2	986.1	986.2	986	75	0	470	470																										
7-В ₅	56.7	58.2	52.8	-3.0	-1.5	-6.9	989.3	989.1	989	75	0	472	472																										
8-В ₅	57.7	57.5	60.1	-2.0	-2.2	0.4	988.3	988	987.9	80	0	690	690																										
9-В ₅	57.0	54.8	51.8	-2.7	-4.9	-7.9	987.7	987.5	987.4	73	0	613	613																										
10-В ₃	72.5	65.5	66.0	18.0	11.0	11.5	985	984.8	984.8	72	0	1078	633																										
11-В ₃	71.5	67.9	67.3	17.0	13.4	12.8	984.4	984.3	984.3	44	0	2165	192																										
12-В ₃	79.1	72.2	74.1	24.6	17.7	19.6	983.7	983.5	983.5	90	0	621	621																										
13-Д ₂	72.4	86.6	88.4	-11.3	2.9	4.7	974.4	974.2	974.3	24	0	845	845																										
14-Д ₂	92.0	95.4	94.8	8.3	11.7	11.1	974.2	974	974	31	0	1233	1233																										

Продовження табл. 3.1

№ ділянки і ТЛРУ	Локальна густина 2 ярусу деревостану, од./га	Локальна загальна абсолютна повнота деревостану, м ² /га	Локальна абсолютна повнота 1 ярусу деревостану (загальна), м ² /га	Локальна абсолютна повнота 2 ярусу деревостану, м ² /га	Вік основної породи, роки	Абсолютна повнота деревостану, м ² /га	Відносна повнота деревостану	Локальна відносна повнота деревостану (загальна)	Локальна відносна повнота 1 ярусу деревостану	Діаметр прогоряння підстилки, см	Вологість верхнього шару підстилки, %
1	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1-С ₃	0	118.32	103.94	0.00	100	40.8	0.87	2.53	2.23	8.5	3.2
2-С ₃	0	40.69	40.65	0.00	100	40.8	0.87	0.87	0.87	9.0	3.1
3-С ₃	0	30.44	30.44	0.00	100	40.8	0.87	0.65	0.65	5.5	3.9
4-С ₄	0	29.27	29.27	0.00	85	30.4	0.75	0.72	0.72	3.0	4.2
5-С ₄	0	33.01	32.16	0.00	85	30.4	0.75	0.82	0.79	3.5	3.0
6-С ₄	0	33.87	33.87	0.00	85	30.4	0.75	0.84	0.84	3.5	2.7
7-В ₅	0	31.20	31.20	0.00	90	33.8	0.73	0.68	0.68	9.5	4.2
8-В ₅	0	50.72	50.72	0.00	90	33.8	0.73	1.10	1.10	10.5	2.8
9-В ₅	0	76.23	76.23	0.00	90	33.8	0.73	1.66	1.66	10.0	3.1
10-В ₃	189	5.15	41.26	0.90	70	47.5	0.95	0.10	0.83	3.5	6.3
11-В ₃	2165	5.33	21.85	5.33	71	47.5	0.95	0.11	0.44	2.8	6.2
12-В ₃	0	32.96	32.96	0.00	72	47.5	0.95	0.66	0.66	2.5	5.7
13-Д ₂	0	51.68	51.68	0.00	70	40.2	0.92	1.19	1.19	2.5	6.7
14-Д ₂	0	20.64	20.64	0.00	71	40.2	0.92	0.47	0.47	3.0	6.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15-D ₂	280	285	272	0.011	0.011	0.010	15.7	16.0	15.1	-2.4	-2.1
16-B ₂	245	371	407	0.008	0.011	0.012	19.7	18.6	19.5	-1.0	-2.1
17-B ₂	329	342	409	0.010	0.010	0.013	19.0	19.5	19.2	-1.7	-1.2
18-B ₂	763	830	1083	0.023	0.025	0.033	20.1	20.4	20.6	-0.6	-0.3
19-B ₃	303	413	663	0.004	0.005	0.008	23.9	22.6	21.8	0.2	-1.1
20-B ₃	586	591	645	0.007	0.007	0.008	23.1	23.2	22.5	-0.6	-0.5
21-B ₃	238	248	251	0.003	0.003	0.003	22.8	21.8	22.1	-0.9	-1.9
22-C ₂	484	575	574	0.008	0.010	0.010	22.5	22.6	22.7	-0.1	0.0
23-C ₂	222	302	375	0.004	0.005	0.006	24.4	23.3	22.9	1.8	0.7
24-C ₂	843	1495	1599	0.015	0.026	0.028	22.8	22.4	22.2	0.2	-0.2
25-B ₄	5440	6010	7590	0.103	0.114	0.144	19.6	19.3	19.7	0.4	0.1
26-B ₄	13540	16900	34800	0.257	0.321	0.660	18.4	18.2	18.2	-0.8	-1.0
27-B ₄	4180	3910	4830	0.079	0.074	0.092	18.9	17.9	18.2	-0.3	-1.3
28-D ₄	272	292	412	0.047	0.050	0.071	18.8	19.4	18.8	-1.0	-0.4
29-D ₄	313	325	333	0.054	0.056	0.057	19.2	19.1	19.2	-0.6	-0.7
30-D ₄	190	202	232	0.033	0.035	0.040	20.1	20.2	20.1	0.3	0.4
31-D ₃	319	331	372	0.012	0.013	0.014	21.0	20.3	20.2	-3.7	-4.4
32-D ₃	319	289	332	0.012	0.011	0.013	21.2	21.2	21.1	-3.5	-3.5
33-D ₃	664	728	737	0.026	0.028	0.028	22.0	21.8	21.4	-2.7	-2.9
34-A ₂	26000	14200	12500	0.355	0.194	0.171	24.1	24.0	23.8	-1.7	-1.8
35-A ₂	28100	15900	18500	0.383	0.217	0.252	27.1	26.6	26.1	1.3	0.8
36-A ₂	7850	7980	8130	0.107	0.109	0.111	28.0	27.4	27.3	2.2	1.6
37-A ₃	3720	4260	4520	0.044	0.050	0.053	31.8	32.9	29.7	0.8	1.9
38-A ₃	12800	12100	7300	0.151	0.143	0.086	30.5	30.2	29.3	-0.5	-0.8
39-A ₃	5400	4780	5140	0.064	0.057	0.061	39.4	35.1	34.6	8.4	4.1
40-A ₄	593	767	895	0.012	0.016	0.019	28.7	28.1	27.9	-1.2	-1.8
41-A ₄	701	821	874	0.015	0.017	0.018	27.6	27.1	27.4	-2.3	-2.8
42-A ₄	591	655	693	0.012	0.014	0.014	27.3	26.8	26.6	-2.6	-3.1

Продовження табл. 3.1

1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
15-D ₂	-3.0	0.87	0.88	0.83	15.0	14.9	14.3	11.0	17.6	12.1
16-B ₂	-1.2	0.95	0.90	0.94	16.9	16.6	17.6	55.2	37.2	37.1
17-B ₂	-1.5	0.92	0.94	0.93	17.7	17.1	16.4	24.7	46.8	53.8
18-B ₂	-0.1	0.97	0.99	1.00	17.8	17.1	16.7	46.2	67.3	80.3
19-B ₃	-1.9	1.01	0.95	0.92	17.4	16.3	16.8	155.4	142.4	109.0
20-B ₃	-1.2	0.97	0.98	0.95	17.0	16.0	14.7	140.9	167.0	175.5
21-B ₃	-1.6	0.96	0.92	0.93	18.2	16.4	16.7	104.9	117.7	119.3
22-C ₂	0.1	1.00	1.00	1.00	18.9	18.1	18.0	81.0	101.7	106.7
23-C ₂	0.3	1.08	1.03	1.01	20.1	18.0	17.9	104.9	123.5	114.5
24-C ₂	-0.4	1.01	0.99	0.98	18.4	17.7	17.9	100.3	105.3	95.5
25-B ₄	0.5	1.02	1.01	1.03	12.7	11.4	11.4	135.2	152.5	163.5
26-B ₄	-1.0	0.96	0.95	0.95	12.3	10.6	11.4	112.2	138.3	123.8
27-B ₄	-1.0	0.98	0.93	0.95	12.2	12.2	12.2	126.6	102.0	109.2
28-D ₄	-1.0	0.95	0.98	0.95	11.2	10.8	10.3	142.9	166.8	159.8
29-D ₄	-0.6	0.97	0.96	0.97	12.0	10.2	11.1	138.2	170.0	155.5
30-D ₄	0.3	1.02	1.02	1.02	11.6	11.0	12.0	170.9	185.8	162.8
31-D ₃	-4.5	0.85	0.82	0.82	14.6	12.8	12.8	134.4	152.3	149.5
32-D ₃	-3.6	0.86	0.86	0.85	13.3	12.6	12.5	167.5	182.3	181.5
33-D ₃	-3.3	0.89	0.88	0.87	13.9	12.2	11.7	178.2	209.3	207.6
34-A ₂	-2.0	0.93	0.93	0.92	16.0	15.2	15.3	195.2	211.2	202.3
35-A ₂	0.3	1.05	1.03	1.01	17.1	16.0	15.4	271.0	282.0	279.3
36-A ₂	1.5	1.09	1.06	1.06	18.7	16.9	16.6	260.4	287.7	292.1
37-A ₃	-1.3	1.03	1.06	0.96	17.7	17.3	14.7	448.4	513.2	445.5
38-A ₃	-1.7	0.98	0.97	0.95	18.1	16.6	15.9	378.2	410.7	392.6
39-A ₃	3.6	1.27	1.13	1.12	21.6	14.6	15.5	701.3	719.6	660.9
40-A ₄	-2.0	0.96	0.94	0.93	17.3	16.3	16.9	327.2	331.6	306.9
41-A ₄	-2.5	0.92	0.91	0.92	18.1	17.0	17.6	262.2	273.7	268.5
42-A ₄	-3.3	0.91	0.90	0.89	19.2	16.6	16.8	221.1	273.4	260.7

1	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
15-D ₂	95.2	93.6	95.7	11.5	9.9	12.0	974.2	974	973.9	23	0	1043	1043
16-B ₂	85.2	87.9	88.4	6.5	9.2	9.7	979.1	979.1	979	24	0	1565	1095
17-B ₂	93.1	86.5	85.0	14.4	7.8	6.3	979.1	979	978.9	26	0	995	983
18-B ₂	86.7	81.2	77.7	8.0	2.5	-1.0	979.4	979.2	979.2	60	0	1247	1247
19-B ₃	67.5	67.5	73.4	5.9	5.9	11.8	984.5	984.2	984.3	47	0	571	167
20-B ₃	68.7	64.0	60.7	7.1	2.4	-0.9	984.2	984.2	984.2	13	0	315	141
21-B ₃	76.6	71.3	71.6	15.0	9.7	10.0	984.7	984.2	984.5	11	0	845	195
22-C ₂	80.0	76.0	74.8	8.2	4.2	3.0	983.7	983.7	983.7	27	0	557	180
23-C ₂	77.4	72.1	72.4	5.6	0.3	0.6	983.6	983.4	983.4	9	0	467	220
24-C ₂	76.9	76.4	76.9	5.1	4.6	5.1	983.6	983.5	983.3	80	0	394	327
25-B ₄	63.9	60.2	58.8	8.7	5.0	3.6	990.8	990.7	990.6	24	85	1852	943
26-B ₄	67.9	61.0	64.6	12.7	5.8	9.4	990.7	990.5	990.6	23	60	1179	1176
27-B ₄	66.0	69.0	67.8	10.8	13.8	12.6	990.7	990.7	990.7	39	26	1866	1859
28-D ₄	61.9	58.4	59.2	1.3	-2.2	-1.4	991.5	991.2	991.2	72	72	952	952
29-D ₄	63.4	55.9	58.9	2.8	-4.7	-1.7	991.4	991.2	991.3	52	52	2770	2770
30-D ₄	57.4	56.1	59.5	-3.2	-4.5	-1.1	991.3	991	991.1	66	66	1453	1453
31-D ₃	66.6	62.4	62.0	19.2	15.0	14.6	988.7	988.6	988.6	41	0	1175	494
32-D ₃	66.0	58.7	58.3	18.6	11.3	10.9	988.9	988.7	988.6	52	0	1105	782
33-D ₃	60.1	54.5	53.9	12.7	7.1	6.5	989.2	989.1	988.9	87	0	1692	835
34-A ₂	58.9	58.0	58.4	9.4	8.5	8.9	995	994.9	994.8	88	70	1046	1046
35-A ₂	53.6	52.3	52.1	4.1	2.8	2.6	994.7	994.5	994.5	90	70	1212	1212
36-A ₂	56.6	53.3	51.9	7.1	3.8	2.4	994.5	994.2	994.2	82	90	1009	1009
37-A ₃	43.7	39.7	38.9	-0.7	-4.7	-5.5	993.1	992.9	992.3	83	90	528	444
38-A ₃	47.9	44.8	44.2	3.5	0.4	-0.2	992.6	992.8	992.5	93	93	407	407
39-A ₃	35.8	31.6	33.4	-8.6	-12.8	-11.0	992.2	992.5	992.3	87	87	344	344
40-A ₄	50.4	50.1	51.7	3.6	3.3	4.9	992	991.7	991.8	73	53	1326	1326
41-A ₄	57.1	54.0	54.8	10.3	7.2	8.0	992.2	992.1	992.1	65	37	3663	3663
42-A ₄	59.3	54.4	55.3	12.5	7.6	8.5	992.2	992	991.9	62	29	2278	2278

Продовження табл. 3.1

1	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
15-D ₂	0	75.69	75.69	0.00	72	40.2	0.92	1.74	1.74	2.8	5.1
16-B ₂	0	27.65	19.36	0.00	50	48.4	1.19	0.68	0.48	3.5	9.1
17-B ₂	245	61.27	60.55	1.92	51	48.4	1.19	1.51	1.49	3.8	7.6
18-B ₂	0	39.96	39.96	0.00	52	48.4	1.19	0.98	0.98	3.5	10.2
19-B ₃	487	25.62	31.35	21.86	81	51.2	1.00	0.50	0.61	3.2	7.5
20-B ₃	0	18.18	31.33	0.00	81	51.2	1.00	0.35	0.61	4.0	4.6
21-B ₃	607	8.77	38.36	35.00	81	51.2	1.00	0.17	0.75	3.0	7.1
22-C ₂	589	137.78	44.48	6.78	110	43.5	0.92	2.91	0.94	4.5	8.3
23-C ₂	464	15.72	45.50	15.62	110	43.5	0.92	0.33	0.96	4.0	13.1
24-C ₂	242	66.99	55.53	3.07	110	43.5	0.92	1.41	1.17	5.0	7.5
25-B ₄	0	87.30	44.48	0.00	45	32.3	0.87	2.34	1.19	12.0	3.3
26-B ₄	0	40.84	40.75	0.00	45	32.3	0.87	1.10	1.09	11.0	3.5
27-B ₄	0	85.81	85.49	0.00	45	32.3	0.87	2.30	2.29	7.0	3.4
28-D ₄	0	13.43	13.43	0.00	75	43.8	1.01	0.31	0.31	4.0	6.9
29-D ₄	0	56.39	56.39	0.00	76	43.8	1.01	1.30	1.30	3.4	6.5
30-D ₄	0	2.97	2.97	0.00	77	43.8	1.01	0.07	0.07	6.0	4.6
31-D ₃	678	70.81	29.76	22.82	35	20.9	0.63	2.15	0.90	9.0	3.2
32-D ₃	1105	10.77	39.03	10.77	36	20.9	0.63	0.33	1.18	7.5	4.6
33-D ₃	1631	10.53	48.15	10.15	37	20.9	0.63	0.32	1.46	6.5	3.1
34-A ₂	0	35.20	35.20	0.00	60	20.4	0.43	0.73	0.73	3.0	3.7
35-A ₂	0	22.29	22.29	0.00	61	20.4	0.43	0.47	0.47	16.0	2.6
36-A ₂	0	42.66	42.66	0.00	62	20.4	0.43	0.89	0.89	4.8	6.1
37-A ₃	0	38.05	31.99	0.00	80	33.9	0.76	0.85	0.71	13.5	3.7
38-A ₃	0	45.88	45.88	0.00	80	33.9	0.76	1.02	1.02	17.0	5.4
39-A ₃	0	30.17	30.17	0.00	80	33.9	0.76	0.67	0.67	21.0	3.7
40-A ₄	0	1.75	1.75	0.00	45	42.8	1.42	0.06	0.06	6.3	5.0
41-A ₄	0	24.35	24.35	0.00	45	42.8	1.42	0.81	0.81	24.0	3.6
42-A ₄	0	5.22	5.22	0.00	45	42.8	1.42	0.17	0.17	16.0	3.4

Додаток И

Вертикальна структура асоціацій на пробних площах

Вертикальні структури асоціацій на пробних площах ПП 1 – ПП 16 (див. табл. А.1 додатку А) зображені на рис. И.1 – И.16.

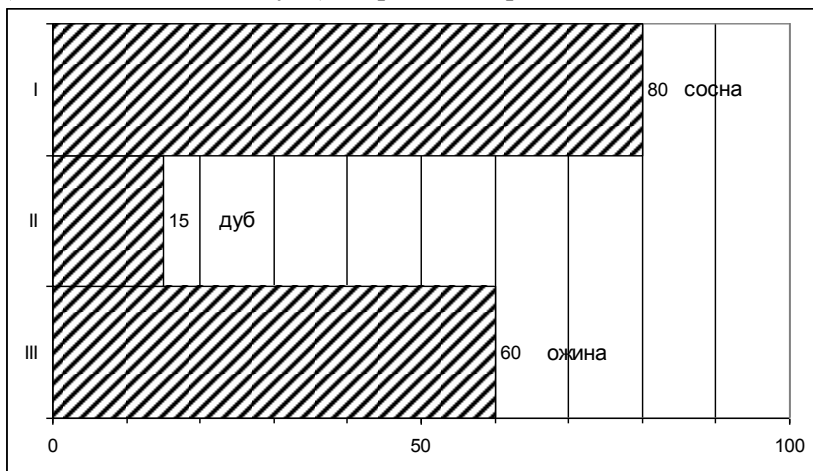


Рис. И.1. Вертикальна структура асоціацій на ПП 1

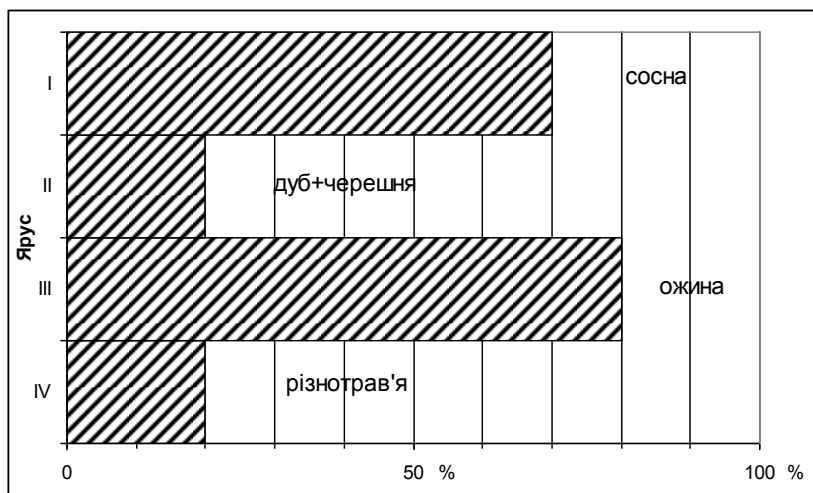


Рис. И.2. Вертикальна структура асоціацій на ПП 2

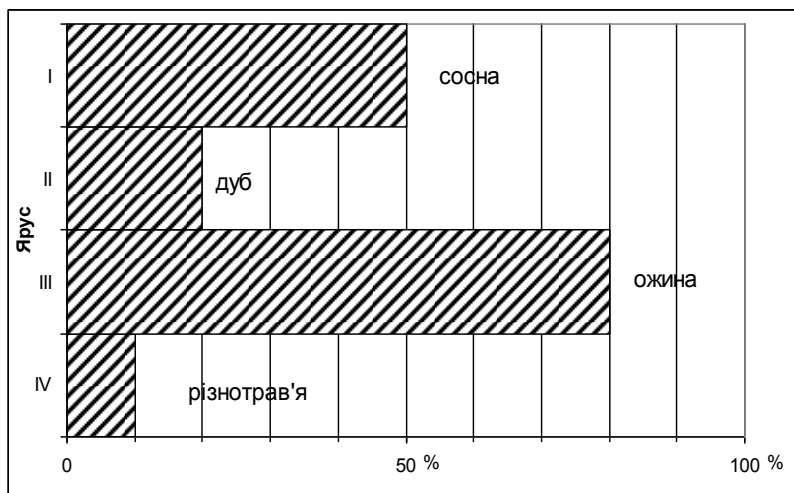


Рис. И.3. Вертикальна структура асоціацій на ПП 3

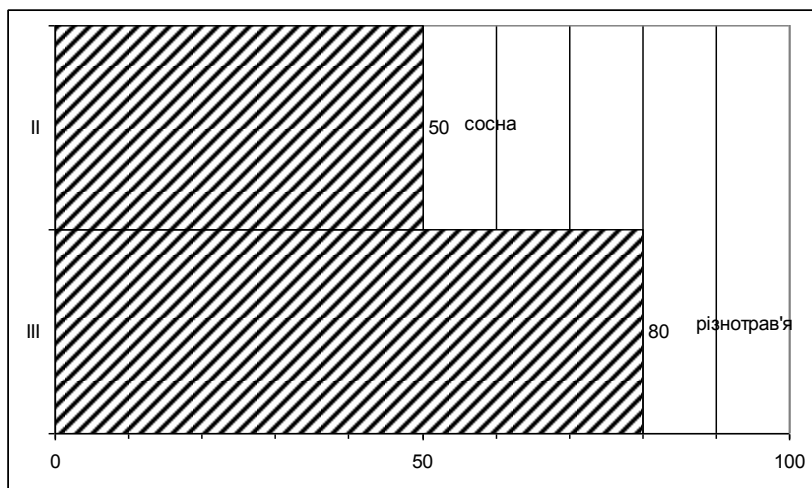


Рис. И.4. Вертикальна структура асоціацій на ПП 4

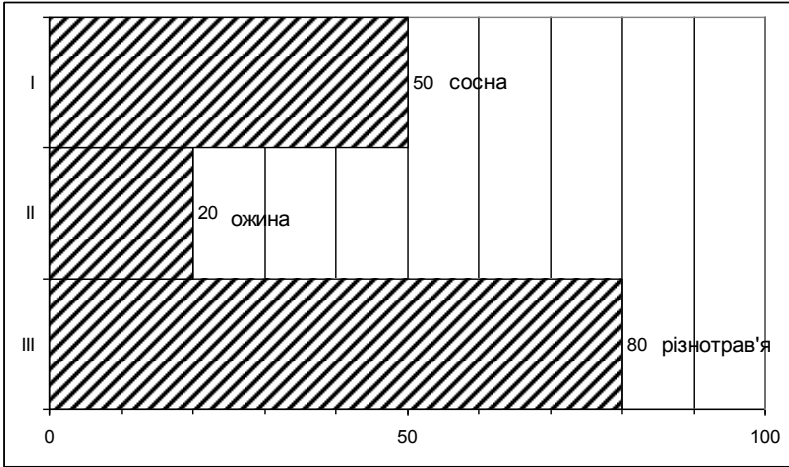


Рис. II.5. Вертикальна структура асоціацій на ПП 5

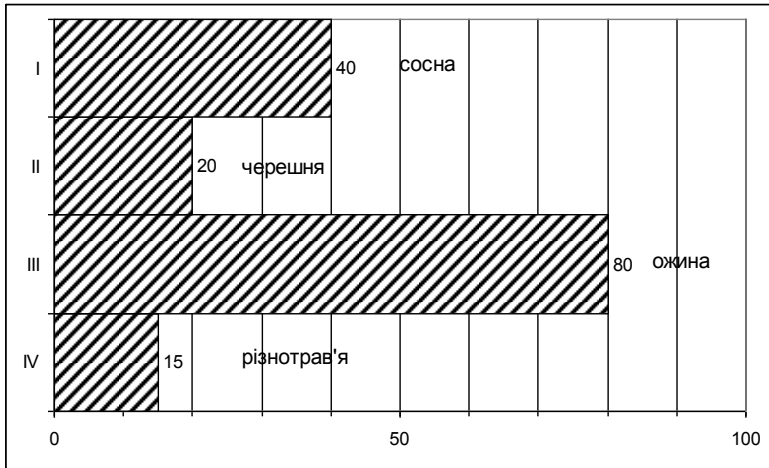


Рис. II.6. Вертикальна структура асоціацій на ПП 6

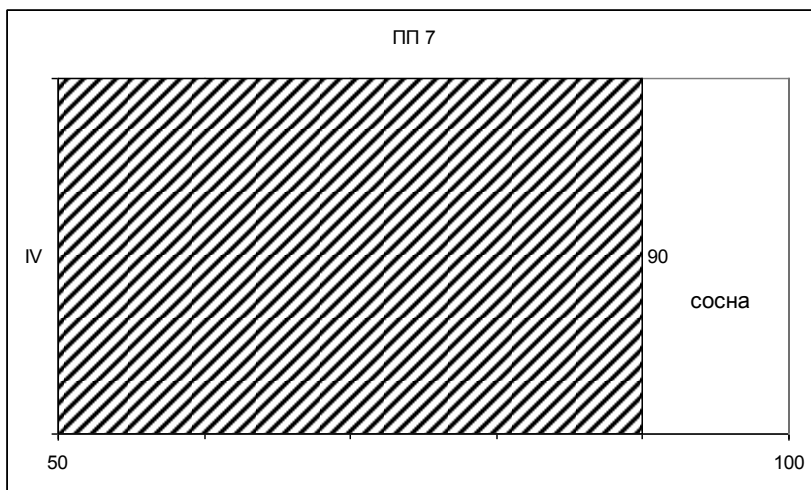


Рис. И.7. Вертикальна структура асоціацій на ПП 7

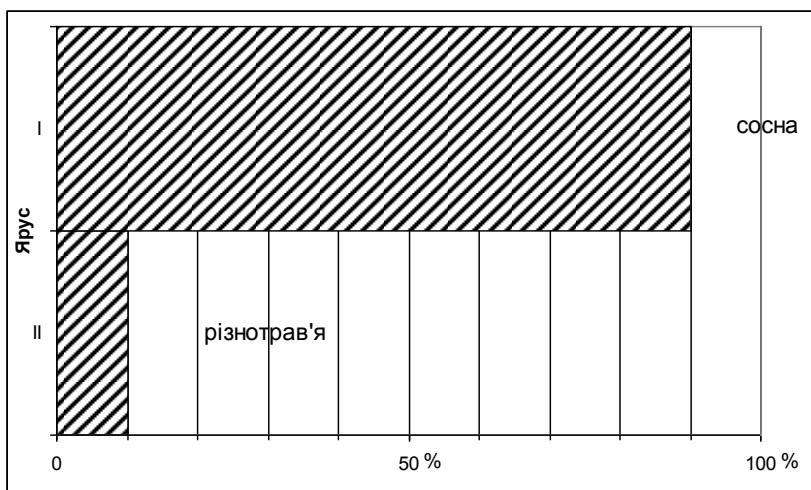


Рис. И.8. Вертикальна структура асоціацій на ПП 8

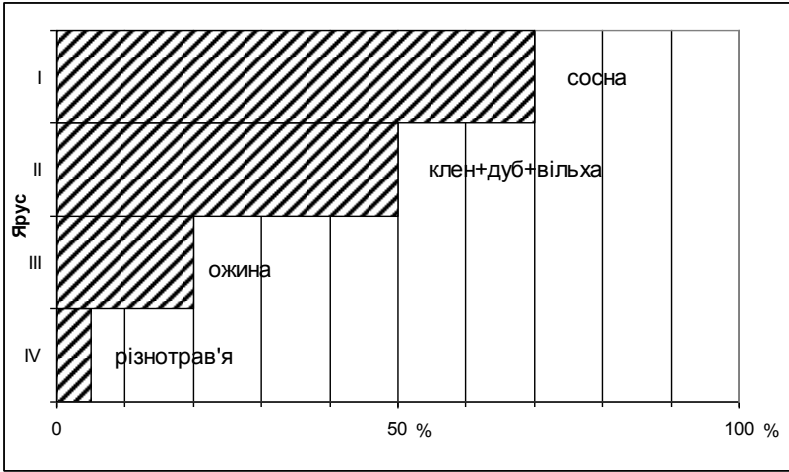


Рис. И.9. Вертикальна структура асоціацій на ПП 9

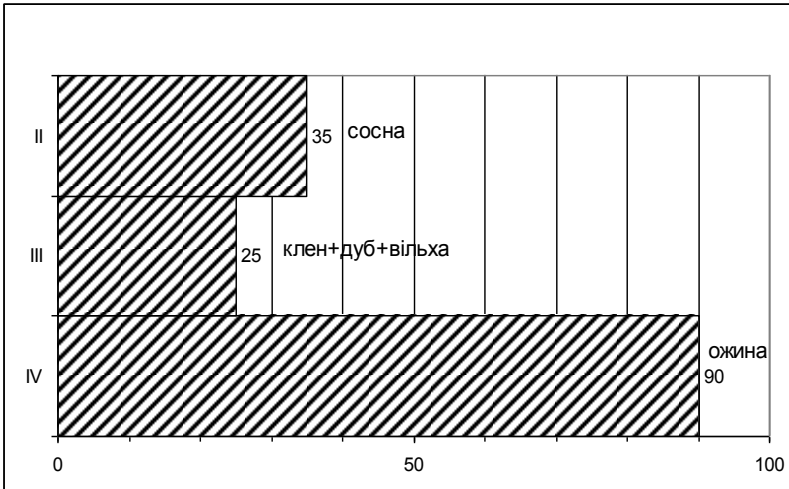


Рис. И.10. Вертикальна структура асоціацій на ПП 10

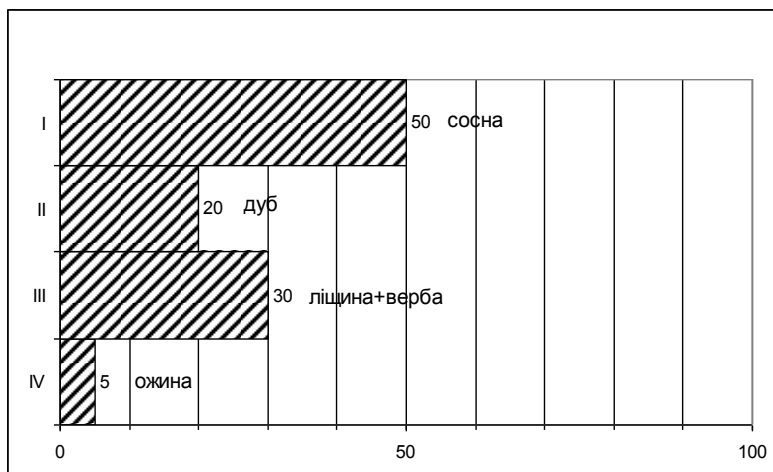


Рис. И.11. Вертикальна структура асоціацій на ПП 11

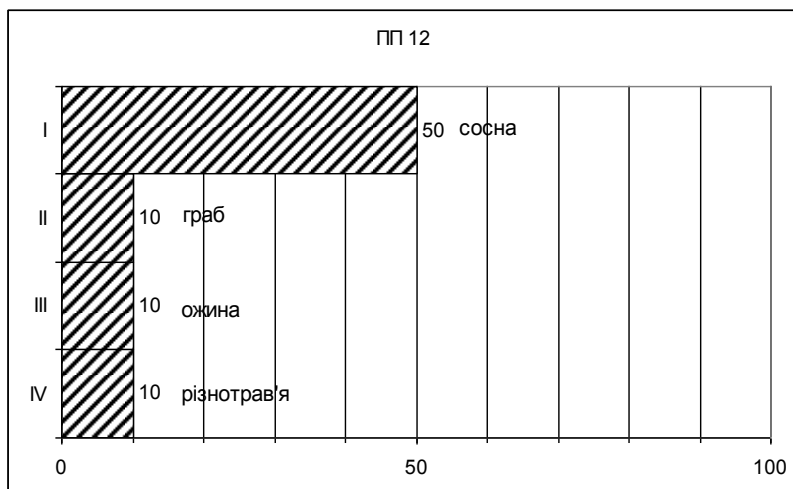


Рис. И.12. Вертикальна структура асоціацій на ПП 12

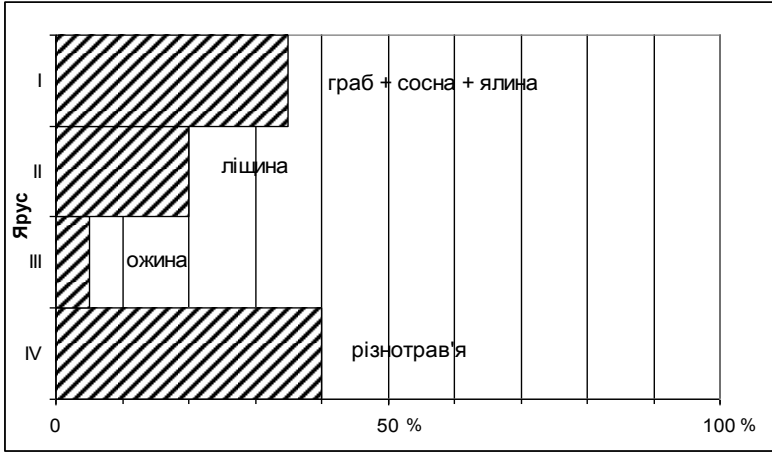


Рис. И.13. Вертикальна структура асоціацій на ПП 13

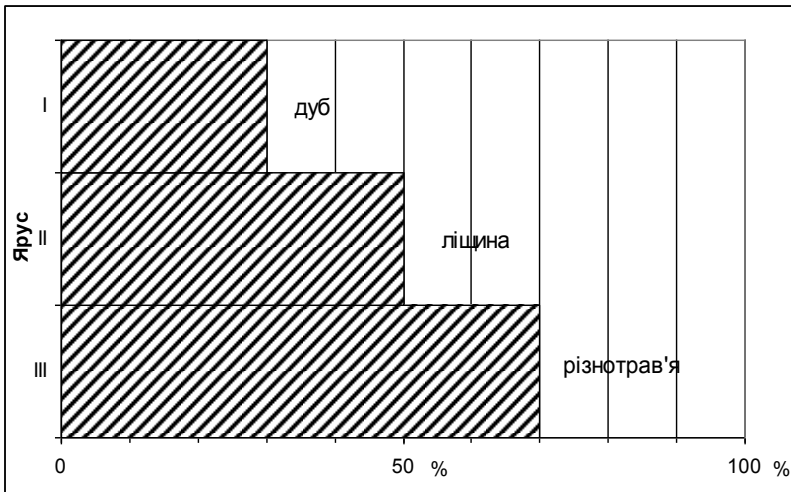


Рис. И.14. Вертикальна структура асоціацій на ПП 14

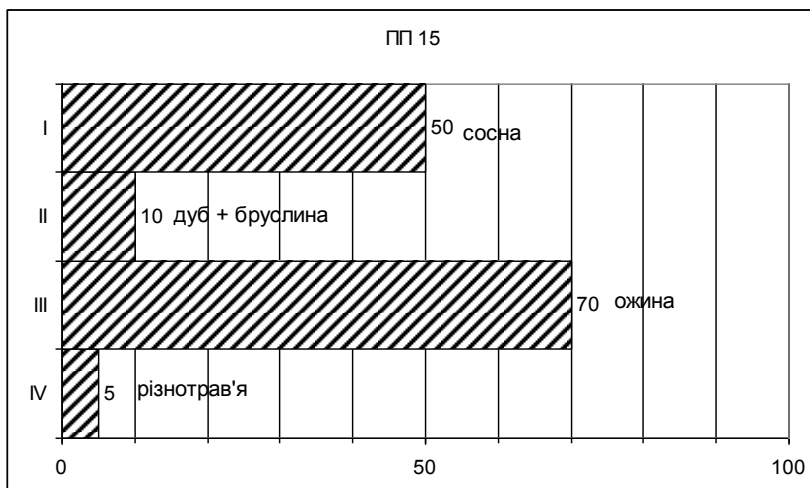


Рис. II.15. Вертикальна структура асоціацій на ПП 15

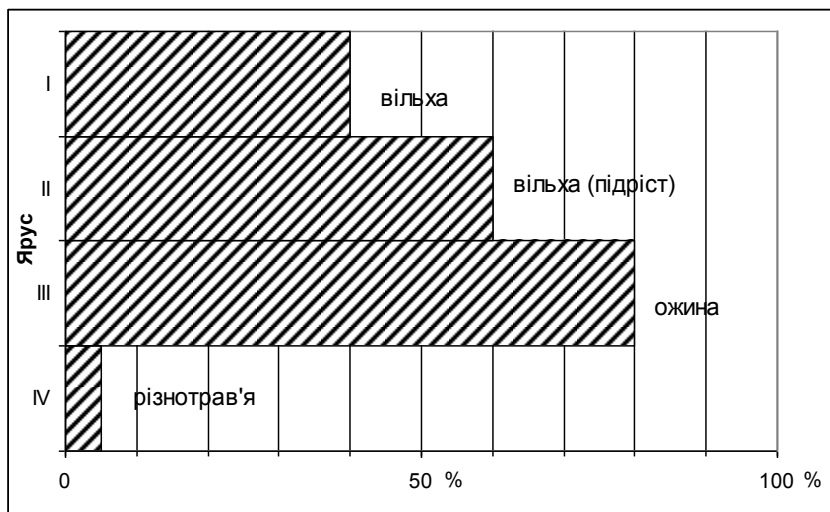


Рис. II.16. Вертикальна структура асоціацій на ПП 16

Додаток К

Мікрокліматичні та пожежонебезпечні показники на узліссях різних типів

Залежності мікрокліматичних параметрів при переході зі сторони відкритого простору через узлісся різних типів наведені на рис. К.1.

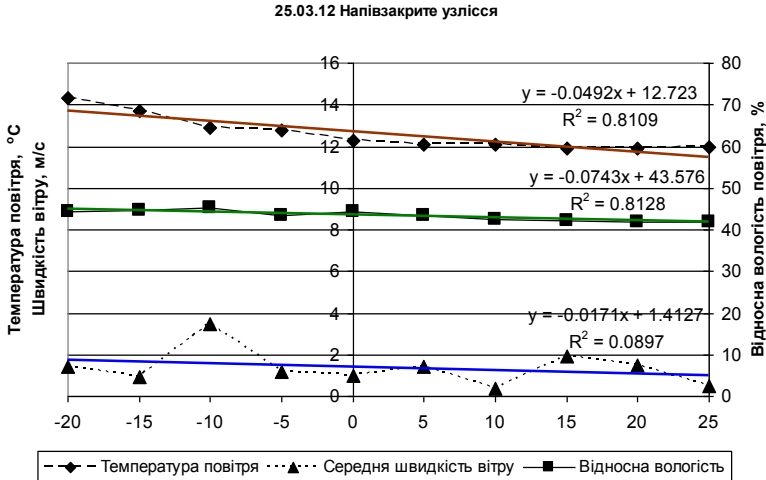
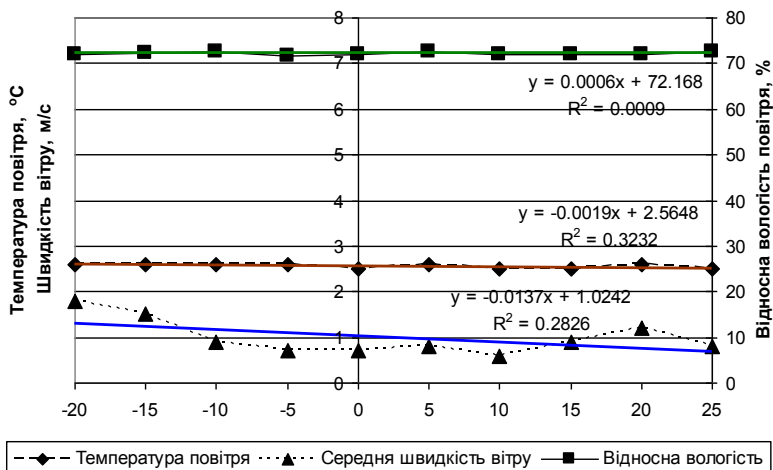


Рис. К.1. Мікрокліматичні показники,
визначені у 74 кварталі Боянецького лісництва

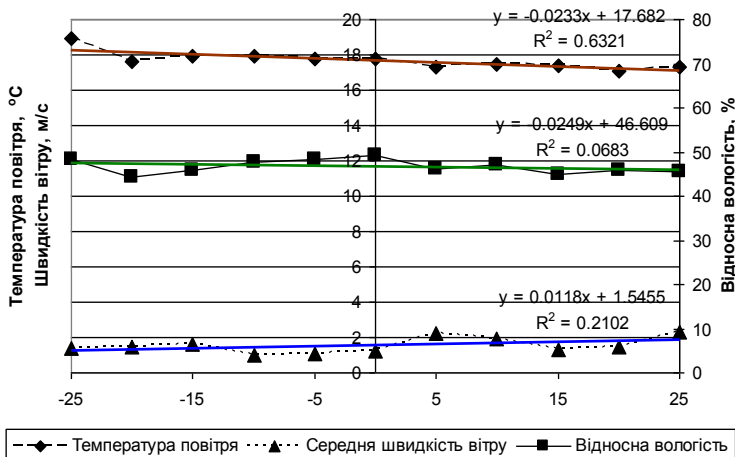
ДП Жовківський лісгосп при переході через узлісся різних типів:
 а – напівзакрите узлісся 25.03.12; б – напівзакрите узлісся 08.04.12; в – несправжнє узлісся 22.04.12; г – напівзакрите узлісся 22.04.12; д – закрите узлісся 22.04.12; е – несправжнє узлісся 29.04.12; є – напівзакрите узлісся 29.04.12; ж – закрите узлісся 29.04.12; з – несправжнє узлісся 25.08.12; и – напівзакрите узлісся 25.08.12; і – закрите узлісся 25.08.12; ї – несправжнє узлісся 29.09.12; й – напівзакрите узлісся 29.09.12; к – закрите узлісся 29.09.12

08.04.12 Напівзакрите узлісся



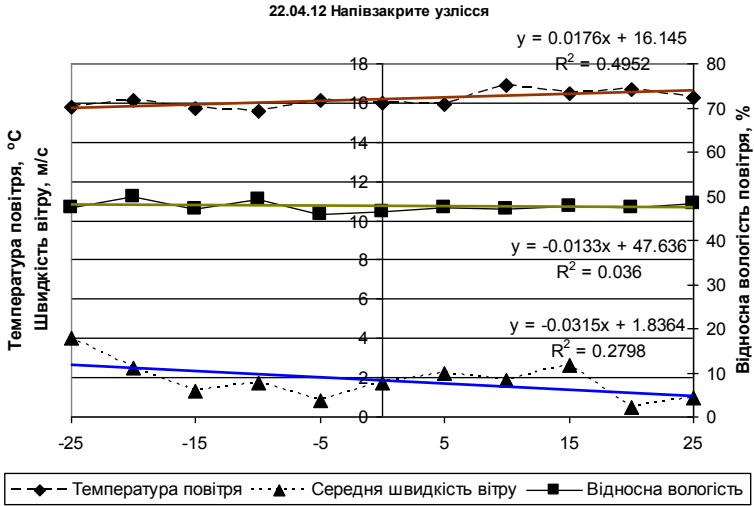
б)

22.04.12 Несправжнє узлісся

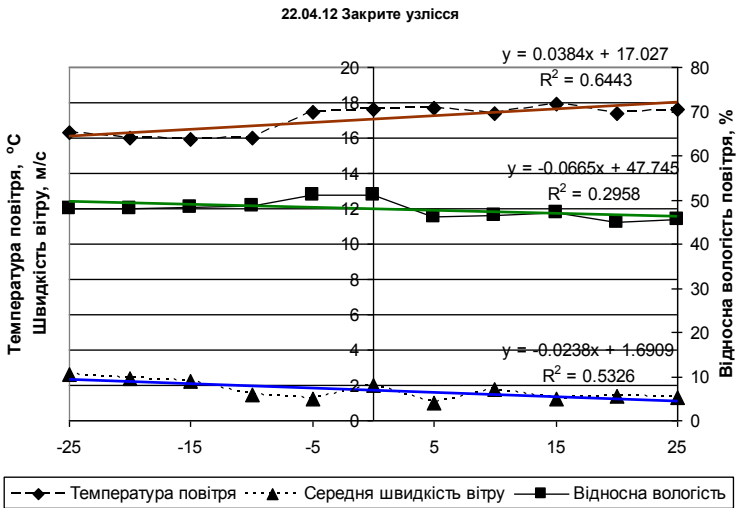


в)

Рис. К.1. (продовження)



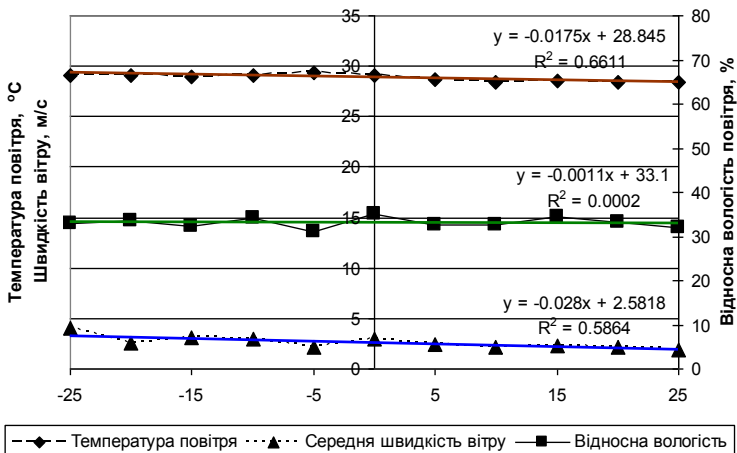
Г)



Д)

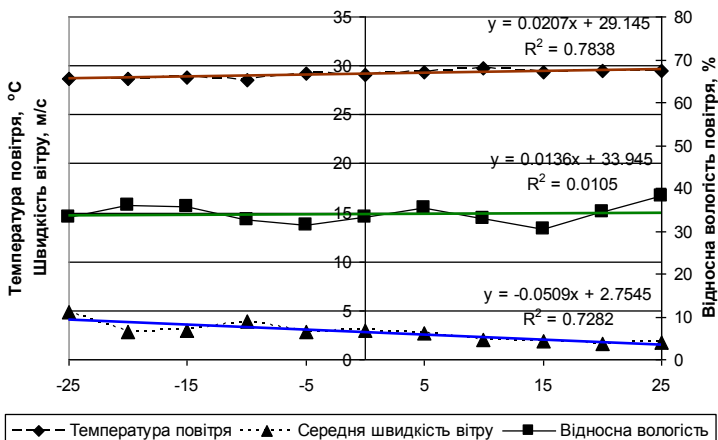
Рис. К.1. (продовження)

29.04.12 Несправжнє узлісся



е)

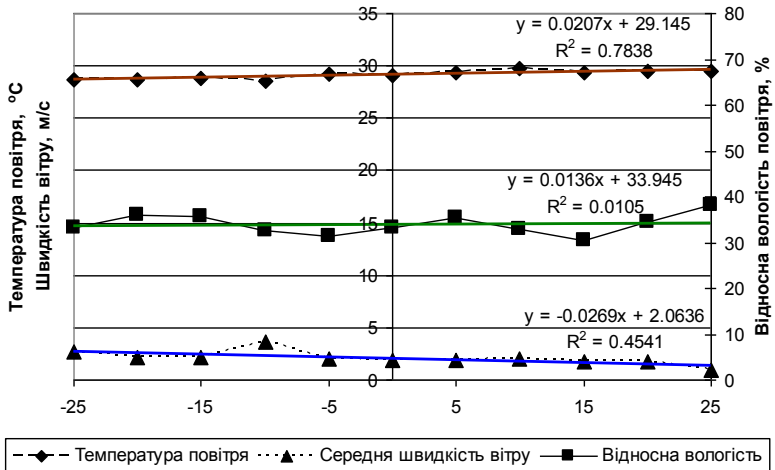
29.04.12 Напівзакрите узлісся



е)

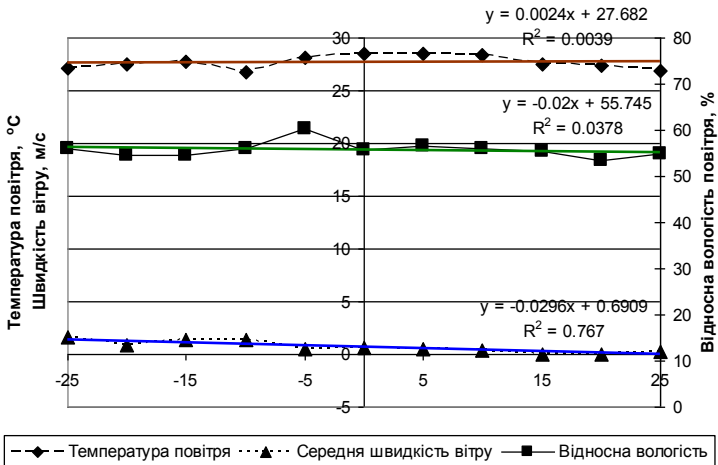
Рис. К.1. (продовження)

29.04.12 Закрите узлісся



ж)

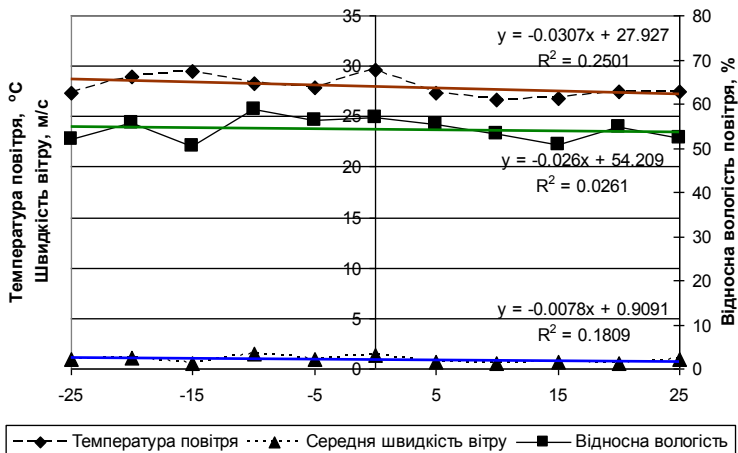
25.08.12 Несправжнє узлісся



з)

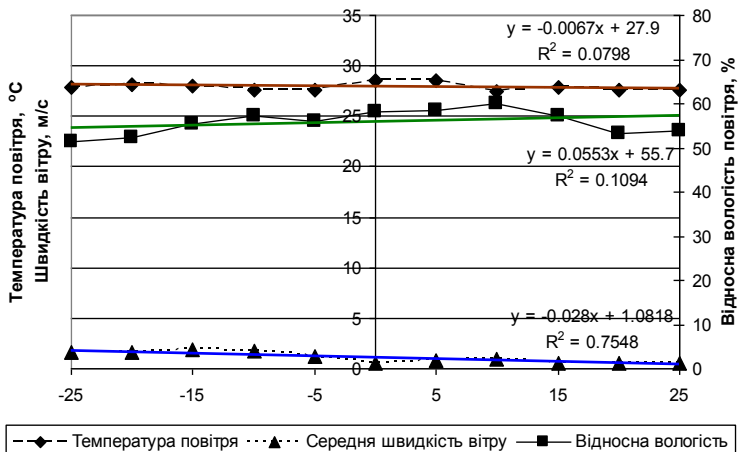
Рис. К.1. (продовження)

25.08.12 Напівзакрите узлісся



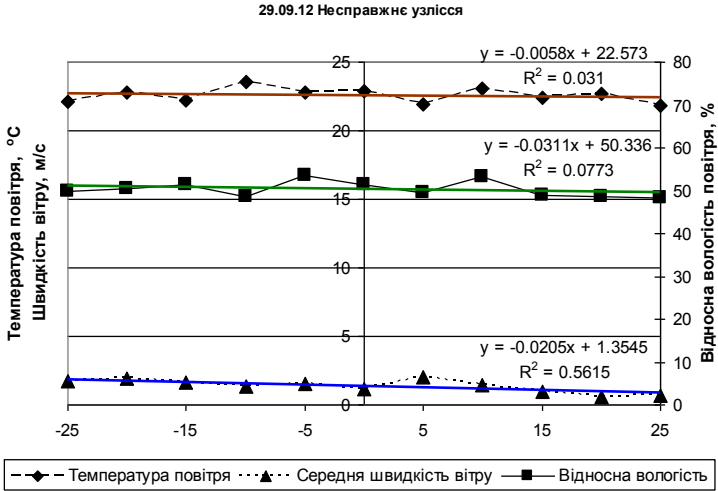
и)

25.08.12 Закрите узлісся

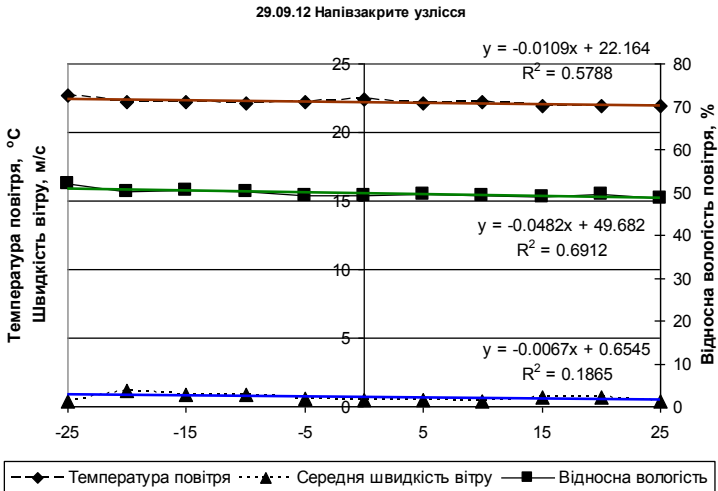


i)

Рис. К.1. (продовження)



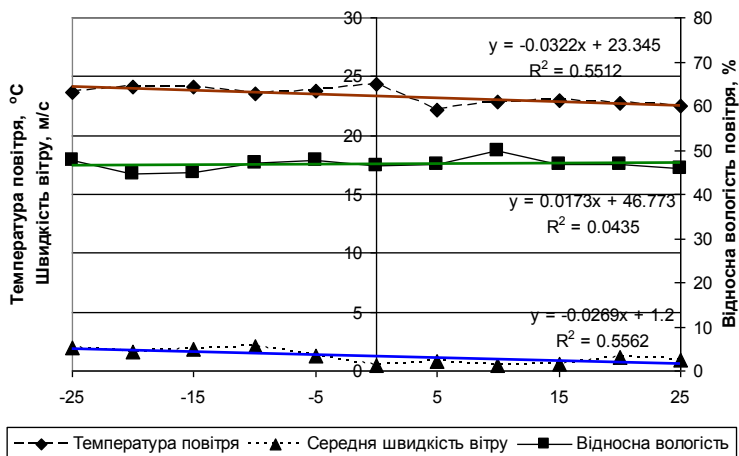
ї)



й)

Рис. К.1. (продовження)

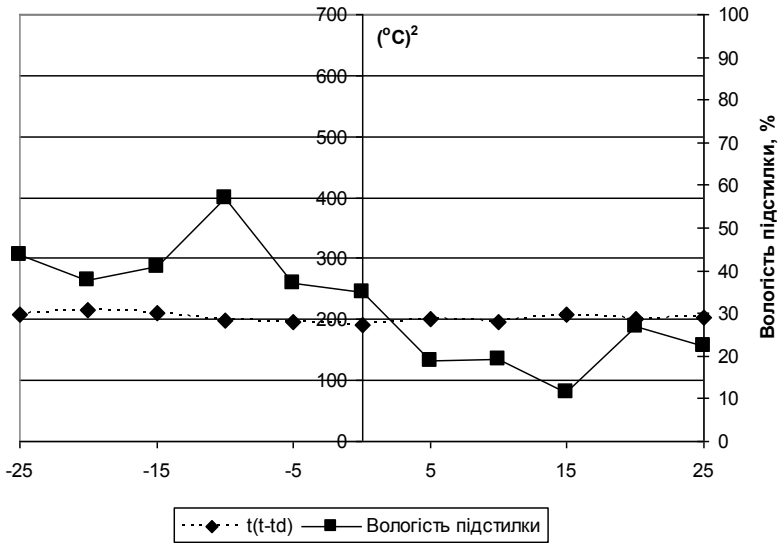
29.09.12 Закрите узлісся



к)

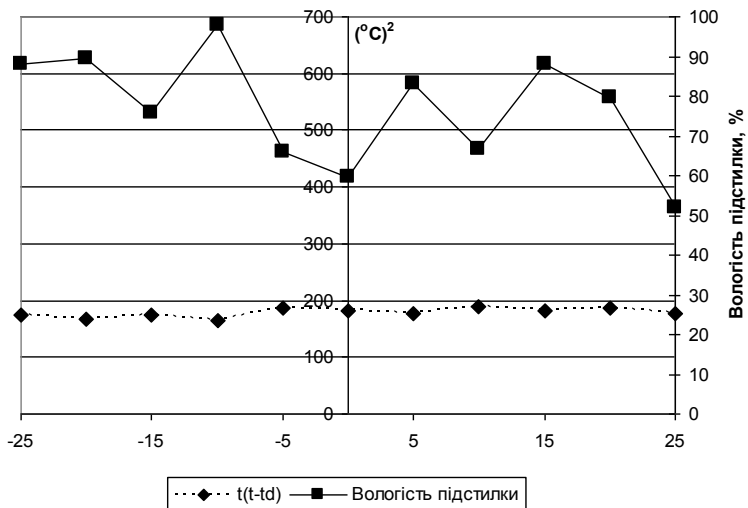
Рис. К.1. (продовження)

Значення $t(t-t_d)$ та вологості підстилки при переході зі сторони відкритого простору через узлісся різних типів наведені на рис. К.2.

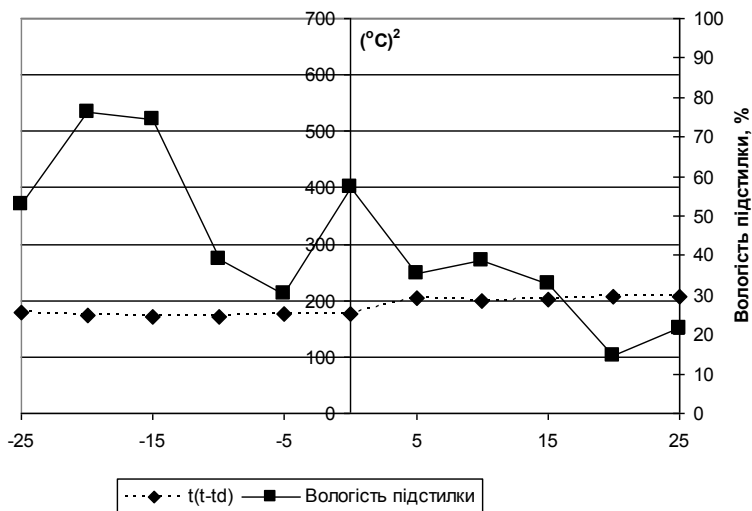


а)

Рис. К.2. Значення $t(t-t_d)$ та вологості підстилки, визначені у 74 кварталі Боянецького лісництва ДП Жовківський лісгосп при переході через узлісся різних типів: а – несправжнє узлісся 22.04.12; б – напівзакрите узлісся 22.04.12; в – закриті узлісся 22.04.12; г – несправжнє узлісся 29.04.12; д – напівзакрите узлісся 29.04.12; е – закриті узлісся 29.04.12; є – несправжнє узлісся 25.08.12; ж – напівзакрите узлісся 25.08.12; з – закриті узлісся 25.08.12; и – несправжнє узлісся 29.09.12; і – напівзакрите узлісся 29.09.12; ї – закриті узлісся 29.09.12

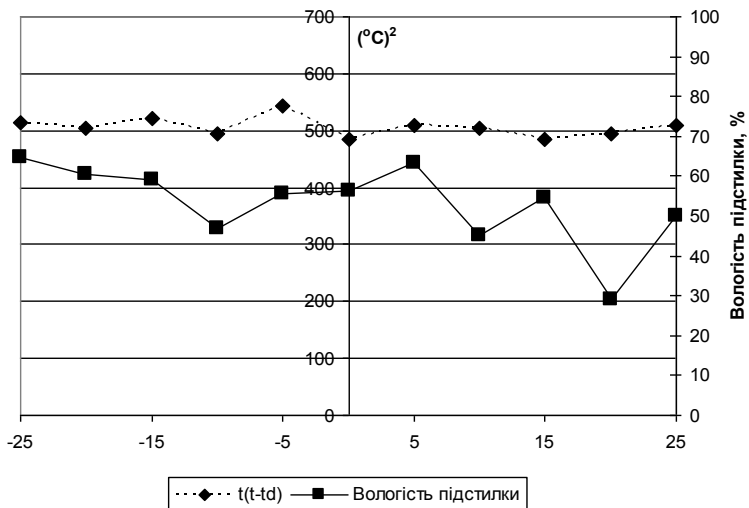


б)

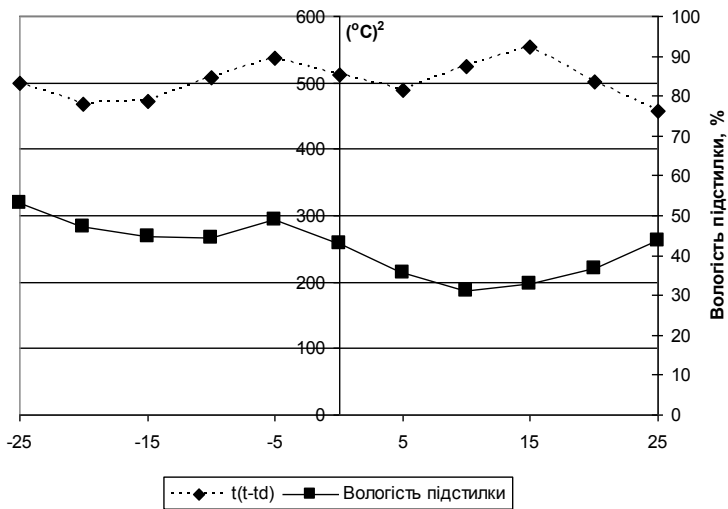


в)

Рис. К.2. (продовження)

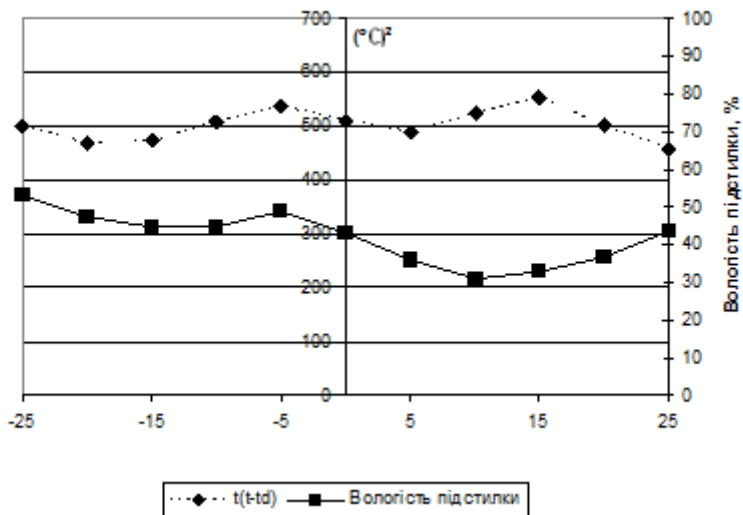


Г)

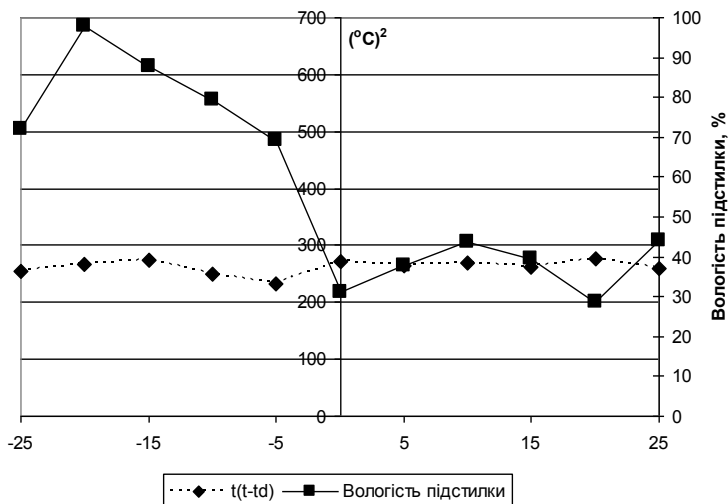


Д)

Рис. К.2. (продовження)

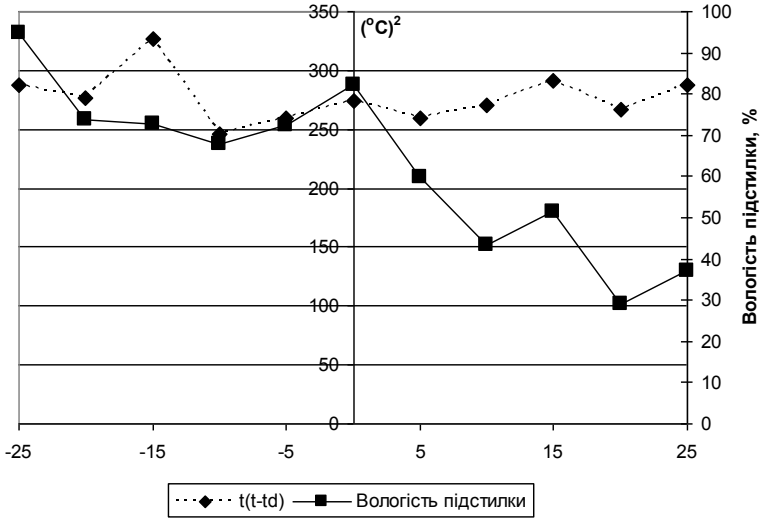


e)

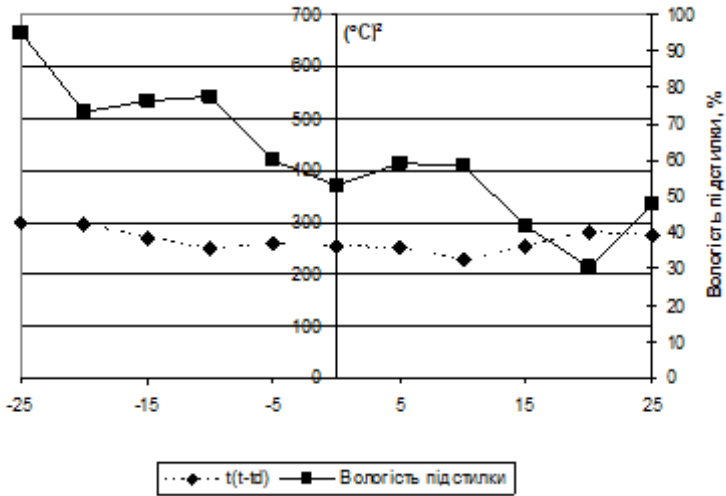


e)

Рис. К.2. (продовження)

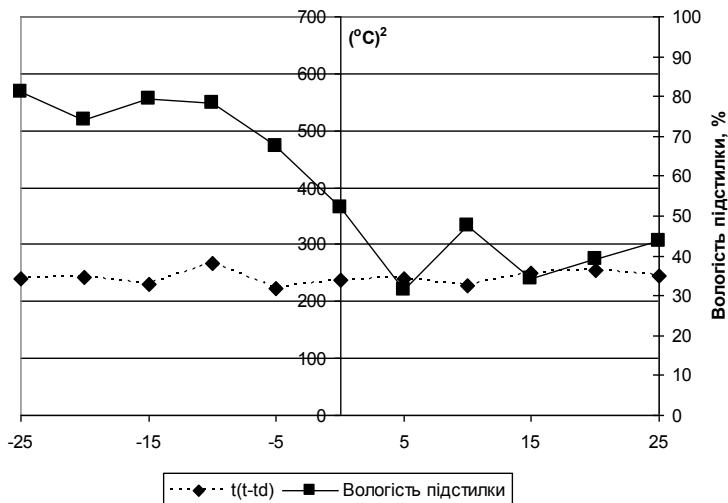


ж)

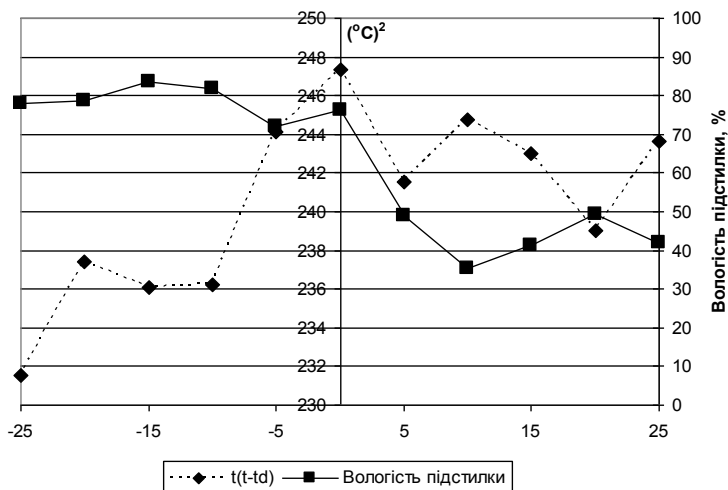


з)

Рис. К.2. (продовження)

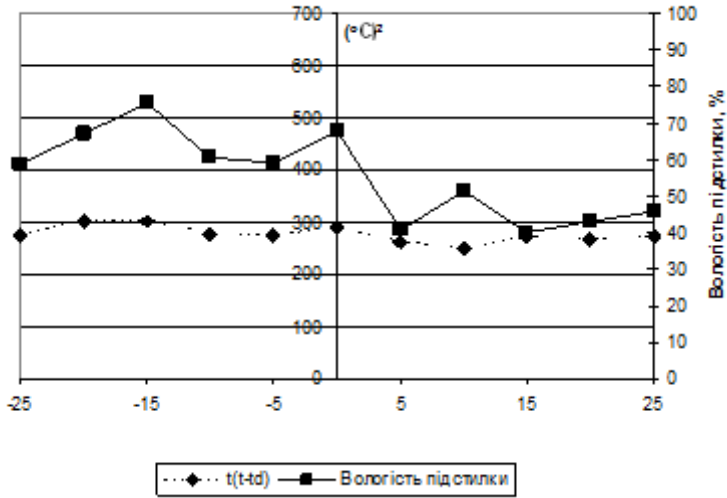


и)



і)

Рис. К.2. (продовження)



і)
Рис. К.2. (продовження)

Додаток Л

Математична модель, яка описує випромінювання з поверхні полум'я на горизонтальну та вертикальну поверхні

Математична модель інтенсивності теплового потоку з поверхні S довільної форми на горизонтальну поверхню dS_2 .

Розглядаємо задачу випромінювання з поверхні S на елементарну ділянку горизонтальної поверхні dS_2 (рис. Л.1).

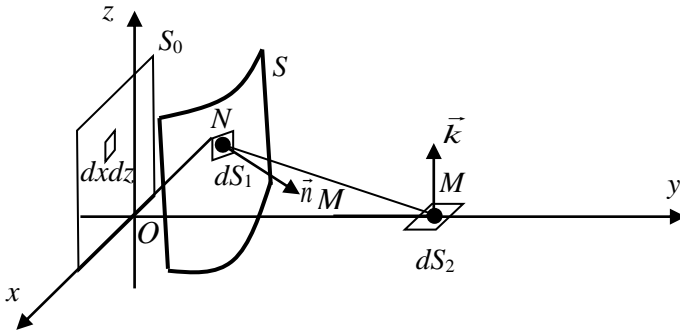


Рис. Л.1. Випромінювання поверхнею S на горизонтальну ділянку dS_2

Нехай поверхня S задана неперервною функцією $y=f(x,z)$, яка визначена в області S_0 , розташованій на площині Oxz ($z \geq 0$) та має неперервні часткові похідні. Тоді елементарна поверхня dS_1 , розташована на висоті z від горизонтальної поверхні, випромінює на елементарну поверхню dS_2 тепловий потік $d\Phi$, який обчислюється за формулою [94]

$$d\Phi = I_n \cos \theta \cos \beta dS_2 d\omega, \quad (\text{Л.1})$$

де I_n – інтенсивність випромінювання у напрямку нормалі до поверхні з поверхні одиничної площі, θ – кут між нормаллю \vec{n} до поверхні dS_1 , проведеною у точці N , та напрямком випромінювання (відрізок NM), β – кут між цим відрізком та нормаллю \vec{k} до поверхні dS_2 , а $d\omega$ – елементарний тілесний кут, під яким видно поверхню dS_1 з поверхні dS_2 та який обчислюється за формулою

$$d\omega = \frac{dS_1}{R^2}, \quad (\text{Л.2})$$

Нехай точка N має координати (x, y, z) , а точка M , відповідно, (x_0, y_0, z_0) . Оскільки точка M розміщена на площині Oxy , то $z_0=0$.

Для визначення кута θ використаємо формулу скалярного добутку між векторами $\vec{n} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, -1, \frac{\partial f}{\partial z} \right)$ та $\vec{NM} = (x_0 - x, y_0 - y, z_0 - z)$.

Отримуємо таку формулу

$$\cos \theta = \frac{(x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + 1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2} \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2}}. \quad (\text{Л.3})$$

Кут β визначаємо як кут між векторами $\vec{MN} = (x - x_0, y - y_0, z - z_0)$ та $\vec{k} = (0, 0, 1)$:

$$\cos \beta = \frac{(z - z_0)}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}. \quad (\text{Л.4})$$

Використовуючи формулу довжини відрізка

$$MN = R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}, \quad (\text{Л.5})$$

формулу (Л.1) з урахуванням (Л.2)-(Л.5) можна записати у вигляді

$$d\Phi = I_n \frac{\left((x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z} \right) (z - z_0)}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + 1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2} \left((x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dS_1 dS_2. \quad (\text{Л.6})$$

Проекцією поверхні S на площину Oxz є множина S_0 . Тоді елементарну поверхню $dS_1 \subset S$ будемо вважати такою, що її проекцією на площину Oxz буде прямокутник $dxdz \subset S_0$. Тоді площа елементарної поверхні dS_1 запишеться у вигляді

$$dS_1 = \frac{dxdz}{\cos \varphi}, \quad (\text{Л.7})$$

де φ – кут між нормаллю до поверхні dS_1 та нормаллю до площини Oxz . Кут φ визначається як кут між векторами $\vec{n} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, -1, \frac{\partial f}{\partial z} \right)$ та

$\vec{j} = (0, 1, 0)$ і дорівнює

$$\cos \varphi = \frac{0 \cdot \frac{\partial f}{\partial x} - 1 \cdot 1 + 0 \cdot \frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + 1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2}} = \frac{-1}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + 1 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \right)^2}}. \quad (\text{Л.8})$$

З урахуванням (Л.7) та (Л.8) формула (Л.6) набуде вигляду

$$d\Phi = I_n \frac{\left((x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - f(x, z))^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx dz dS_2. \quad (\text{Л.9})$$

Для визначення теплового потоку, який потрапляє на ділянку горизонтальної поверхні dS_2 , проінтегруємо вираз

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = I_n \frac{\left((x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - f(x, z))^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx dz \quad (\text{Л.10})$$

по множині S_0 . Тоді сумарний тепловий потік з поверхні S на ділянку dS_2 обчислюється за формулою

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \iint_{S_0} I_n \frac{\left((x_0 - x) \frac{\partial f}{\partial x} - (y_0 - f(x, z)) + (z_0 - z) \frac{\partial f}{\partial z} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + (y_0 - f(x, z))^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx dz. \quad (\text{Л.11})$$

Формула (Л.11) може застосовуватися у тому випадку, якщо усі точки поверхні S видимі з точки M . Якщо множина σ – проекція видимих з M частин поверхні S на площину Oxz не співпадає з S_0 , тоді у (Л.11) інтегрування здійснюється по σ .

Часткові випадки математичної моделі інтенсивності теплового потоку з поверхонь конуса, прямокутника та циліндра на горизонтальну поверхню

Полум'я від малопотужного джерела запалювання (наприклад, сірника) найчастіше має форму, близьку до конічної. Тому спочатку розглянуто випромінювання від поверхні конуса. Не зменшуючи загальності можна вважати, що конус розташований таким чином, що його основа розміщена на площині Oxy та має радіус r , а висота H лежить на осі Oz . Точку M розташуємо на осі Oy на відстані y_0 від початку координат у додатньому напрямку цієї осі (рис. Л.2). У цьому випадку бічна поверхня конуса є частиною конічної поверхні, яка описується рівнянням

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} - \frac{(z - H)^2}{H^2} = 0. \quad (\text{Л.12})$$

Тоді видима з точки M частина конуса описується рівнянням

$$y = r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}. \quad (\text{Л.13})$$

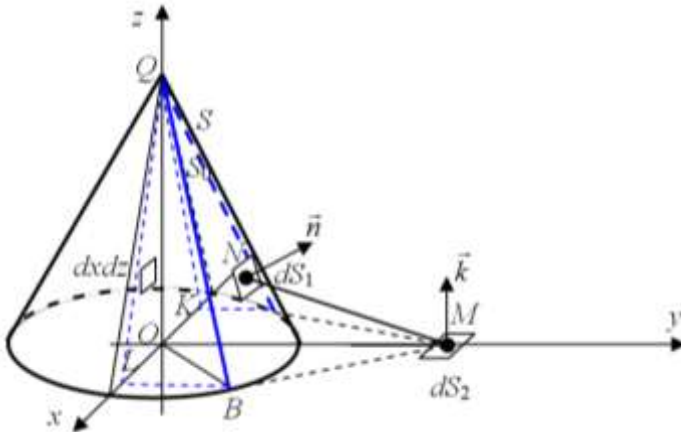


Рис. Л.2. Випромінювання поверхню конуса на горизонтальну ділянку dS_2

Знайдені часткові похідні функції (Л.13)

$$\frac{\partial y}{\partial x} = r \frac{1}{2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \left(-\frac{2x}{r^2}\right) = -\frac{x}{r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}, \quad (\text{Л.14})$$

$$\frac{\partial y}{\partial z} = r \frac{1}{2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \left(\frac{2(z-H)}{H^2}\right) = \frac{(z-H)r}{H^2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \quad (\text{Л.15})$$

підставлено в інтеграл (Л.11), областю інтегрування якого буде трикутник QLK , який є проекцією видимої з точки M частини конуса на площину Oxz . Для визначення меж інтегрування опишемо цей трикутник нерівностями. Розглядаючи подібні прямокутні трикутники MBO і OLB , одержуємо співвідношення

$$\frac{MO}{MB} = \frac{OB}{OL},$$

яке з урахуванням теореми Піфагора записується у такому вигляді

$$\frac{y_0}{\sqrt{y_0^2 - r^2}} = \frac{r}{x_0},$$

де $x_0=OL$. Тоді

$$x_0 = r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0}$$

Тоді рівняння сторін QL і QK описуватимуться формулами

$$x = r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right)$$

та

$$x = -r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right).$$

Межі трикутника QLK описуються нерівностями $0 \leq z \leq H$ та

$$-r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \leq x \leq r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right).$$

Таким чином, тепловий потік, який потрапляє з поверхні конуса на горизонтальну ділянку dS_2 , визначається за формулою

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \iint_{\Delta LQK} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0 - x)}{r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right) + \frac{(z_0 - z)(z-H)r}{H^2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx dz =$$

$$= \int_0^H dz \int_{-\frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right)}^{\frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right)} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0 - x)}{r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right) + \frac{(z_0 - z)(z-H)r}{H^2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \right) (z_0 - z)}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - r \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} dx.$$

(Л.16)

Для обчислення (Л.16) застосовано чисельне інтегрування, вибравши в ролі джерела випромінювання конус, який має форму полум'я свічки [509]. Геометричні розміри конуса: висота $H=0,042$ м, радіус $r=0,004$ м. Величину I_n вважалося сталою. Графіки залежностей теплового потоку від відстані y_0 до початку координат точки $M(0, y_0, 0)$ для

деяких значень H зображені на рис. Л.3, на якому на осі Oy відкладено значення теплового потоку при $I_n = 1$ кВт/м².

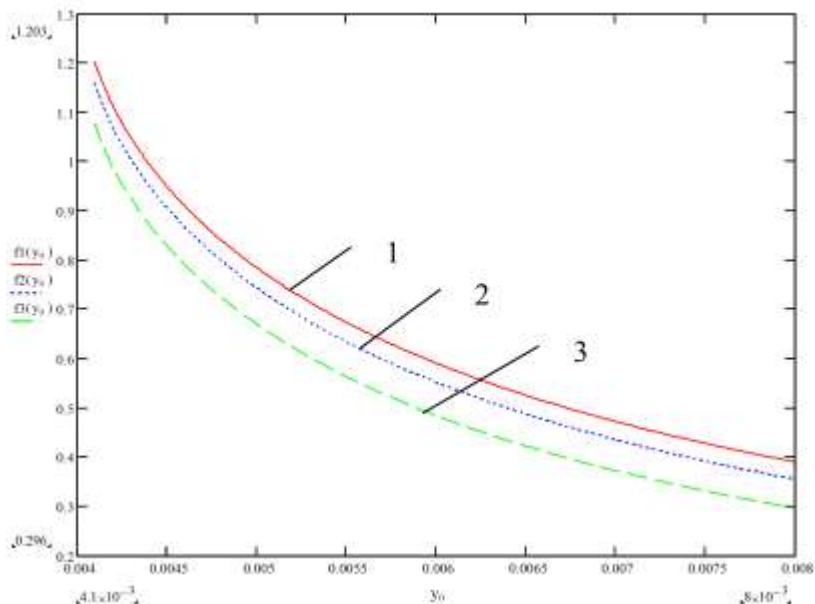


Рис. Л.3. Залежність теплового потоку з поверхні конуса від y_0 ($f_1(y_0)$ при $H=0,042$ м, $f_2(y_0)$ при $H=0,032$ м, $f_3(y_0)$ при $H=0,022$ м)

При деяких сталих значеннях величини y_0 залежності теплового потоку від висоти конуса у діапазоні від 0 до H зображені на рис. Л.4 (при $I_n = 1$ кВт/м²).

Залежність теплового потоку від двох параметрів – висоти H і відстані y_0 зображена на рис. Л.5 ($I_n = 1$ кВт/м²).

Із збільшенням висоти полум'я конічної форми з сталим радіусом основи інтенсивність теплового потоку зростає, одночасно зменшуючись з відстанню від полум'я. Різке зростання інтенсивності відбувається з наближенням до основи конуса, яка на відстані 1 мм перевищує в 1,2 рази інтенсивність теплового потоку з поверхні одиничної площі що створює сприятливі умови для поширення пожежі.

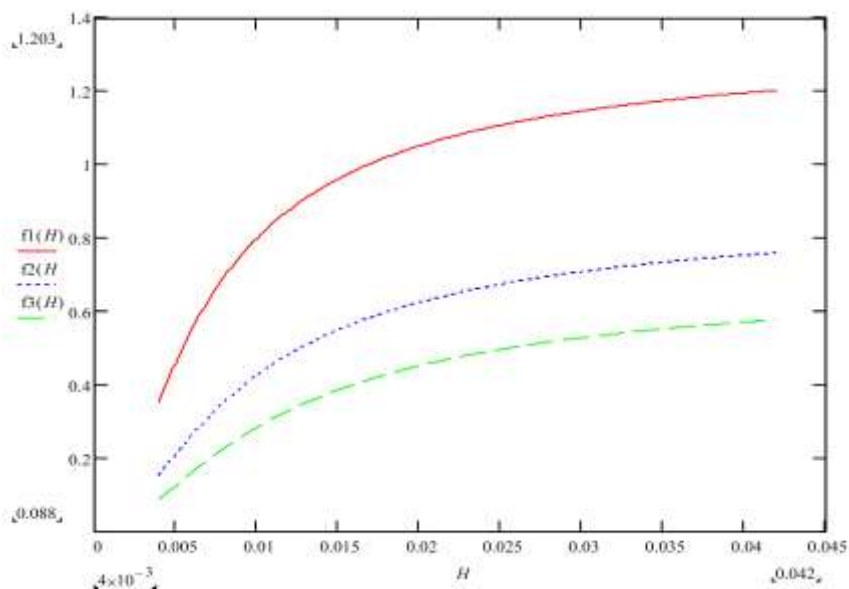


Рис. Л.4. Залежність теплового потоку з поверхні конуса від висоти H ($f_1(H)$ при $y_0=0,0041$ м, $f_2(H)$ при $y_0=0,0051$ м, $f_3(H)$ при $y_0=0,0061$ м)

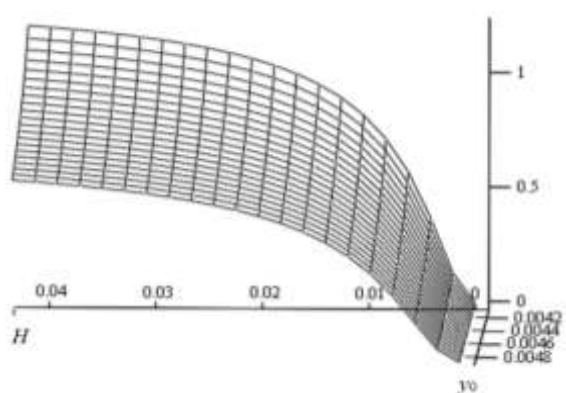


Рис. Л.5. Залежність теплового потоку з поверхні конуса від H та y_0

Провівши аналогічні перетворення, отримано формули для обчислення теплового потоку від циліндра висотою H і основою радіуса r , яка співпадає з основою розглянутого конуса

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-r\sqrt{y_0^2-r^2}}^{r\sqrt{y_0^2-r^2}} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0-x)}{\sqrt{r^2-x^2}} - (y_0-r\sqrt{r^2-x^2}) \right) (z_0-z)}{\left((x_0-x)^2 + (y_0-\sqrt{r^2-x^2})^2 + (z_0-z)^2 \right)^2} dx. \quad (\text{Л.17})$$

Для випадку циліндра у [188] виведено та проінтегровано аналогічну до (Л.17) формулу в циліндричній системі координат.

У випадку, коли поверхнею випромінювання є прямокутник висотою H та шириною $2r$, розміщений над площиною Oxy перпендикулярно до осі Oy та симетричний відносно площини Oyz , тепловий потік визначається за формулою

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \int_0^H dz \int_{-r}^r I_n \frac{-(y_0-r)(z_0-z)}{\left((x_0-x)^2 + (y_0-r)^2 + (z_0-z)^2 \right)^2} dx. \quad (\text{Л.18})$$

На рис. Л.6-Л.7 зображено графіки залежностей теплового потоку від конуса, циліндра та прямокутника ($I_n=1$ кВт/м²).

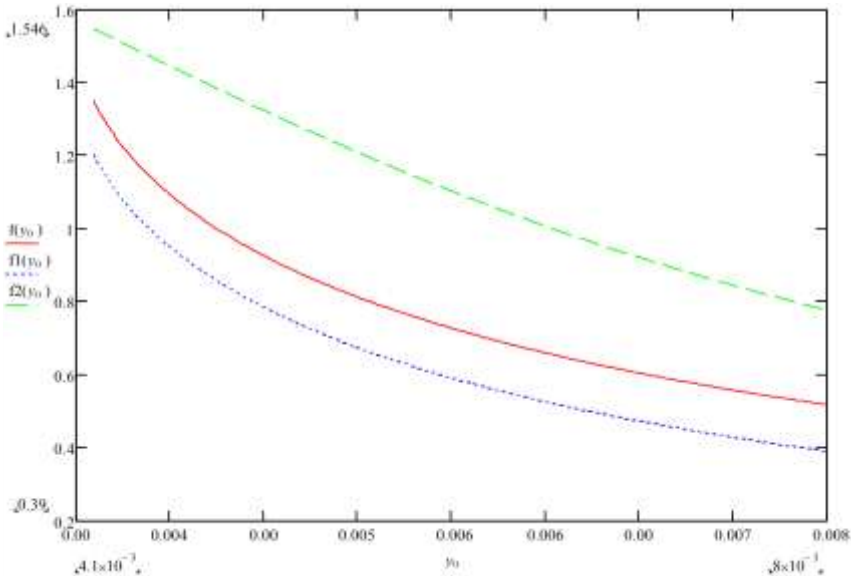


Рис. Л.6. Залежність теплового потоку з поверхонь конуса ($f_1(y_0)$), циліндра ($f_2(y_0)$) та прямокутника ($f_3(y_0)$) від відстані y_0 при $H=0,042$ м ($I_n=1$ кВт/м²)

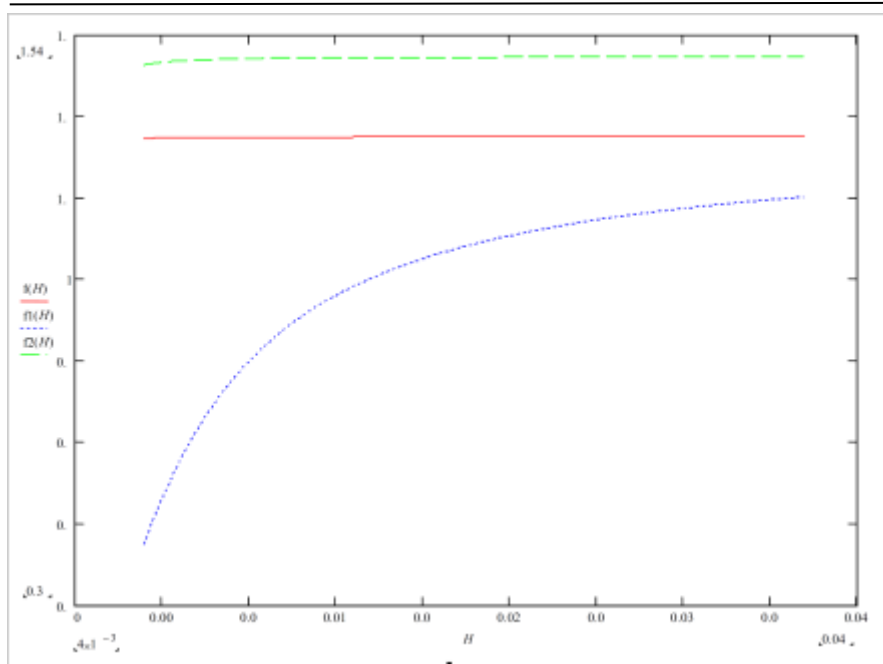


Рис. Л.7. Залежність теплового потоку з поверхонь конуса ($f_1(H)$), циліндра ($f(H)$) та прямокутника ($f_2(H)$) від висоти H при $y_0=0,0041$ м ($I_n=1$ кВт/м²)

При фіксованій висоті залежності для конуса та циліндра поводять себе практично однаково, зберігаючи майже незмінну різницю величин теплового потоку, яка не перевищує $0,12I_n$. Це дає можливість використати при оцінюванні випромінювання від конуса залежність для циліндра, що є актуальним за умов вітру. Для прямокутника у розглянутому діапазоні така залежність є майже лінійною і тому менш придатною для оцінювання випромінювання від полум'я циліндричної чи конічної форм. Залежність теплового потоку від висоти джерела випромінювання є практично сталою у розглянутому діапазоні для джерел випромінювання, які мають форму прямокутника або циліндра. У випадку конуса маємо чітко виражене зростання теплового потоку із збільшенням висоти. Тому для оцінювання залежності теплового потоку від висоти при незначних відстанях від основи джерела випромінювання використання аналогічних залежностей від циліндра та прямокутника є недоцільним. На більших відстанях від основи джерела випромінювання така різниця є менш вираженою (див. рис. Л.7).

Зауважимо, що формули (Л.16)-(Л.18) містять величину інтенсивності випромінювання у напрямку нормалі з поверхні одиничної площі I_n . За даними [509] на відстані $y_0=0,011$ м тепловий потік від полум'я свічки, яке має форму конуса дорівнює 2 кВт/м². Для полум'я свічки висотою $H=0,042$ м та радіусом основи $r=0,004$ м за формулою (Л.16), у якій $y_0=0,011$ м, отримано

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = 0,246 I_n \cdot$$

Тоді значення інтенсивності випромінювання у напрямку нормалі з поверхні одиничної площі буде становити

$$I_n = \frac{2}{0,246} = 8,136 \text{ кВт/м}^2.$$

Отримане число можна застосовувати у формулі (Л.16) при обчисленнях теплового потоку від полум'я свічки. Для інших джерел випромінювання конічної форми значення I_n обчислюють аналогічно.

Таким чином, інтенсивність теплового потоку, який потрапляє на горизонтальну ділянку dS_2 з горючим матеріалом, залежить від інтенсивності теплового потоку з поверхні полум'я, висоти полум'я та відстані від нього горизонтальної ділянки dS_2 . Запропонований метод моделювання теплового випромінювання може застосовуватися при дослідженні випромінювання від джерел запалювання довільної форми.

Математична модель інтенсивності теплового потоку з поверхні конуса S на вертикальну поверхню dS_2

Математичне моделювання інтенсивності теплового випромінювання U цьому випадку застосовано іншу математичну модель, яка описує випадок, при якому елементарна поверхня dS_2 розташована на висоті z_0 над площиною Oxy і є перпендикулярною до осі Oy (рис. Л.8). Враховуючи це, отримуємо

$$\frac{d\Phi}{dS_2} = \iint_{\Delta LQK} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0 - x)}{r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right) + \frac{(z_0 - z)(z-H)r}{H^2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \right)}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} \right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^{3/2}} \times$$

$$\times \left(r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} - y_0 \right) dx dz =$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^H dz \int_{-\frac{\sqrt{y_0^2-r^2}\left(1-\frac{z}{H}\right)}{y_0}}^{\frac{\sqrt{y_0^2-r^2}\left(1-\frac{z}{H}\right)}{y_0}} I_n \frac{\left(-\frac{x(x_0-x)}{r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2}-\frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2}-\frac{x^2}{r^2}} \right) + \frac{(z_0-z)(z-H)r}{H^2\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2}-\frac{x^2}{r^2}}} \right)}{\left((x_0-x)^2 + \left(y_0 - r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2}-\frac{x^2}{r^2}} \right)^2 + (z_0-z)^2 \right)^2} \\
 &\quad \times \left(r\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2}-\frac{x^2}{r^2}} - y_0 \right) dx.
 \end{aligned}
 \tag{Л.19}$$

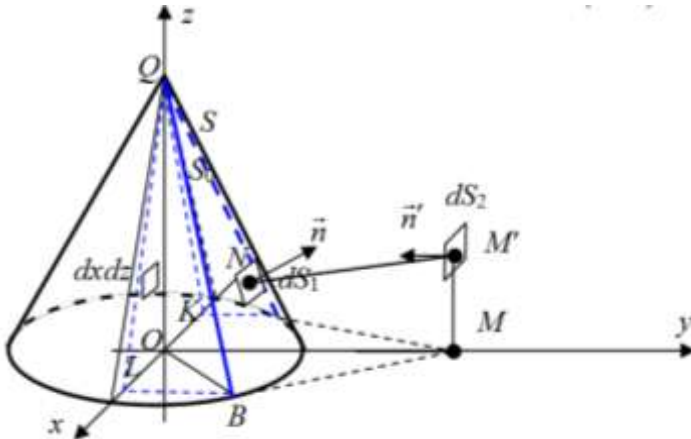


Рис. Л.8. Випромінювання поверхнею конуса на вертикальну ділянку dS_2 , розташовану на відстані y_0 від осі Oz та на висоті z_0 від площини Oxy

За формулою (Л.19) здійснивши чисельне інтегрування одержано залежності теплового потоку на вертикальну поверхню від відстані до неї від початку координат y_0 для різних висот z_0 (рис. Л.9).

Як видно з рис. Л.9, тепловий потік з віддаленням від джерела випромінювання ділянки dS_2 на відстань декількох міліметрів від основи конуса до цієї ділянки досягає максимуму, а потім спадає, окрім випадку розташування ділянки dS_2 на площині основи Oxy . Відстань, на якій досягається екстремум, зростає із зростанням висоти ділянки над площиною основи конуса. На висоті, близькій до $H/4$, тепловий потік досягає більшої величини, ніж на інших розглянутих висотах.

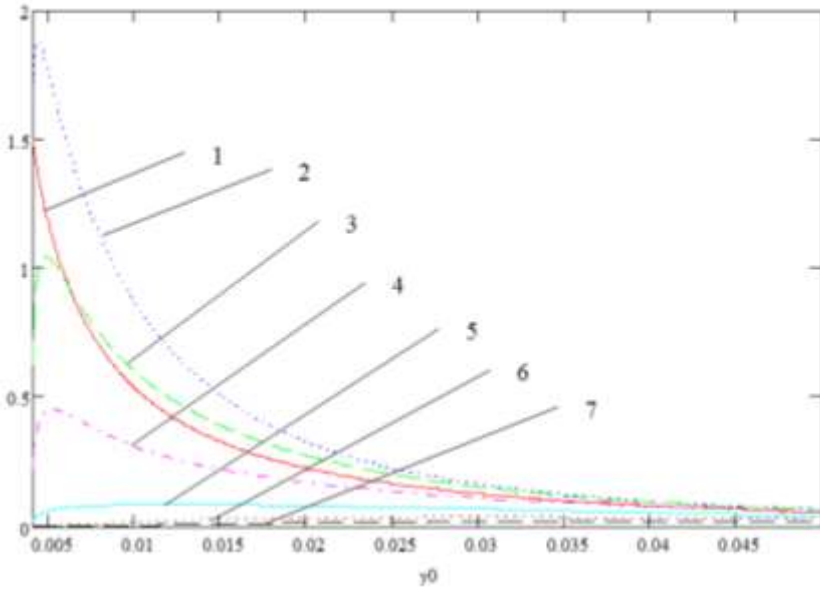


Рис. Л.9. Залежність теплового потоку з поверхні конуса на вертикальну ділянку від відстані y_0 ($I_n = 1 \text{ кВт/м}^2$):

1 – на висоті $z_0=0$; 2 – на висоті $z_0=H/4$; 3 – на висоті $z_0=H/2$; 4 – на висоті $z_0=3H/4$; 5 – на висоті $z_0=H$; 6 – на висоті $z_0=5H/4$; 7 – на висоті $z_0=3H/2$

Тепловий потік, який діє на вертикальну поверхню від джерела конічної форми, залежить не лише від відстані до осі конуса, але і від висоти над поверхнею z_0 . Це істотно впливає на нагрівання фрагментів рослин, розташованих на різних висотах над поверхнею. З огляду на пожежну небезпеку, найбільший інтерес становлять максимальні значення теплового потоку, які нагрівають відповідний фрагмент до пожежонебезпечної температури (температури займання або самозаймання). Для встановлення висоти, на якій тепловий потік досягає максимальних значень, використано (Л.19). Застосувавши чисельне інтегрування, отримано залежності теплового потоку від висоти для різних відстаней від осі конуса (рис. Л.10).

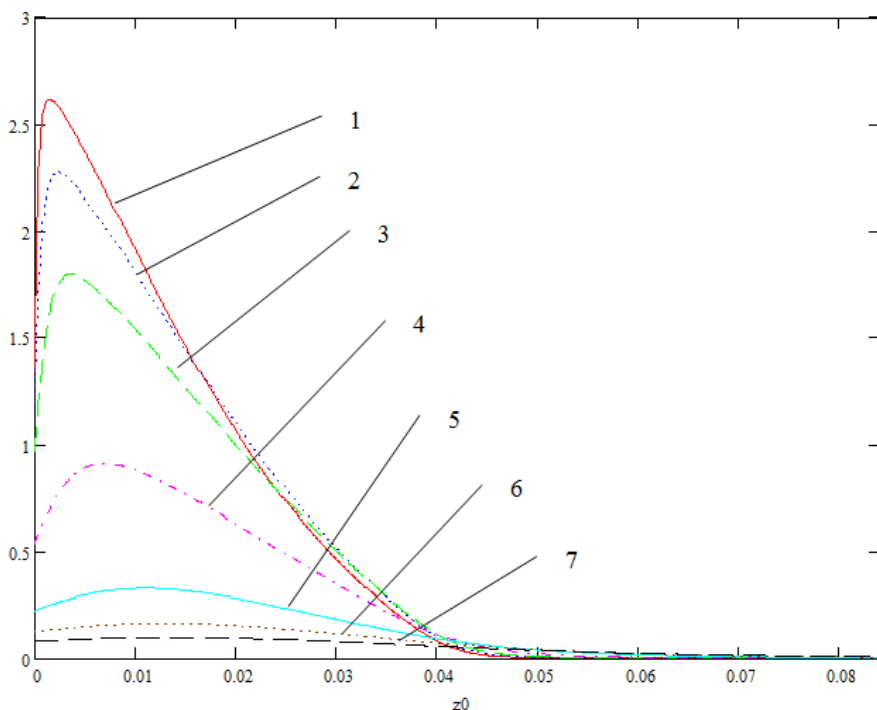


Рис. Л.10. Залежність теплового потоку з поверхні конуса на вертикальну ділянку від висоти z_0 для різних відстаней від осі конуса y_0

(див. рис. Л.8) ($I_n = 1 \text{ кВт/м}^2$):

- 1 – $y_0 = 0,0045 \text{ м}$; 2 – $y_0 = 0,005 \text{ м}$; 3 – $y_0 = 0,006 \text{ м}$; 4 – $y_0 = 0,01 \text{ м}$;
 5 – $y_0 = 0,02 \text{ м}$; 6 – $y_0 = 0,03 \text{ м}$; 7 – $y_0 = 0,04 \text{ м}$)

З рис. Л.10 видно, що тепловий потік на кожній з відстаней має відповідний екстремум, який із збільшенням відстані від поверхні конуса досягається на більшій висоті.

Додаток М

Пожежна небезпека рослин наземного яруса

Рослини наземного яруса, які зустрічаються у помірних широтах та на території Малеого Полісся у відповідних лісорослинних умовах [54, 68, 159], розподілено за пожежною небезпекою на 3 класи (табл. М.1). Розподіл включає класифікацію, запропоновану Мелеховим [259].

Таблиця М.1

Розподіл основних трав'яних рослин, мохів та лишайників Малеого Полісся за типами лісорослинних умов та пожежною небезпекою

Типи лісорослинних умов	Пожежна небезпека		
	Пожежонебезпечні	Слабко-займисті	Вогнестійкі
1	2	3	4
A ₁	Тимофіївка степова (<i>Phleum phleoides</i> Sm.) Кипець сизий (тонконіг сизий) (<i>Koeleria glauca</i> (Spreng.) DC.) Ковила периста (<i>Stipa Johannis</i> Cel.) Гвоздика піскова (<i>Dianthus arenarius</i> L.) Дикран хвилястий (<i>Dicranum undulatum</i> Ehrh.) Плеврозій Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. Ex Brid.) Mitt.) Кладонія оленяча (<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Nyl.) Цетрарія ісландська (<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.)	Цмин пісковий (Безсмертник) (<i>Helichrysum renarium</i> D.C.)	Мучниця звичайна (толокнянка, ведмеже вушко) (<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng.) Зозулин льон волоконосий (<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.)
A ₂	Верес звичайний (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull) Брусниця (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.) Дикран хвилястий Кладонія оленяча Цетрарія ісландська	Золотушник звичайний (золотарник) (<i>Solidago virgaurea</i> L.)	Мучниця звичайна (толокнянка, ведмеже вушко) Чебрець звичайний (тим'ян) (<i>Thymus serpyllum</i> L.) Зозулин льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)

1	2	3	4
A ₃	Чорниця (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.) Плевроцій Шребера		Зозулин льон звичайний
A ₄	Пухівка піхвова (<i>Eriophorum vaginatum</i> L.) Буяхи (голубіка) <i>Vaccinium uliginosum</i> L.) Чорниця Брусниця Плевроцій Шребера Дикран хвилястий		Андромеда багатоліста (<i>Andromeda polifolia</i> L.) Багно болотне (<i>Ledum palustre</i> L.) Сфагнум заострений (<i>Sphagnum acutifolium</i> Ehrh.)
A ₅	Пухівка піхвова Буяхи (голубіка) Журавлина болотна (<i>Oxycoccus palustris</i> Pers.)		Багно болотне Андромеда багатоліста
B ₁	Костриця овеча (вівсяниця, типчак) (<i>Festuca ovina</i> L.) Ковила периста Кипець сизий (тонконіг сизий) Тимофіївка степова Куничник наземний (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.)	Котячі лапки дводомні (<i>Antennaria dioica</i> (L.) P.Gaertn.) Нечуйвітер волохатий (ястребинка) (<i>Hieracium pilosella</i> L.) Герань криваво-червона (<i>Geranium sanguineum</i> L.) Цмин пісковий (Безсмертник) Звіробій звичайний (<i>Hypericum perforatum</i> L.)	Буквиця лікарська (<i>Betonica officinalis</i> L.) Смілка поникла (<i>Silene nutans</i> L.) Купина лікарська (<i>Polygonatum officinale</i> All.) Вероніка колосиста (<i>Veronica spicata</i> L.) Сон-трава (сон розкритий) (<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.) Зозулин льон звичайний
B ₂	Куничник наземний Брусниця	Суниця лісова (<i>Fragaria vesca</i> L.) Костяниця (<i>Rubus saxatilis</i> L.) Герань кров'яно-червона Перстач білий (Ляпчатка біла) (<i>Potentilla alba</i> L.) Підмаренник північний (<i>Galium boreale</i> L.) Золотушник звичайний (золотарник)	Конюшина альпійська (<i>Trifolium alpestre</i> L.) В'язіль різнобарвний (<i>Coronilla varia</i> L.) Орляк звичайний (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn) Буквиця лікарська Купина лікарська Грушанка круглолиста (<i>Pyrola rotundifolia</i>)

1	2	3	4
В ₃	Молінія голуба (<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench) Чорниця Брусниця Верес Птилій пірчатий (<i>Ptilium crista-casterensis</i> (Hedw.) De Not) Гілокомій блискучий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.) Дикран хвилястий		Вероніка колосиста Перестріч лучний (Мар'яник луговий) (<i>Melampyrum pratense</i> L.) Орляк звичайний Грушанка круглолиста
В ₄	Молінія голуба Тонконіг гайовий (тонконіг дібровний) (<i>Poa nemoralis</i> L.) Чорниця Брусниця Буяхи (голубіка) Птилій пірчатий Плевроцій Шребера Гілокомій блискучий Дикран хвилястий		Орляк звичайний Хвощ лісовий (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.) Зозулин льон звичайний Сфагнум загострений
В ₅	Осока багнова (<i>Carex limosa</i> L.) Осока здута (<i>Carex inflata</i> Huds) Осока пухнатофлора (<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.) Буяхи (голубіка) Журавлина болотна	Бобівник трилистий (<i>Menyanthes trifoliata</i> L.) Вовче тіло болотне (сабельник) (<i>Cotnamum palustre</i> L.) Підмаренник болотний (<i>Galium palustre</i> L.)	Андромеда багатоліста Багно болотне Росянка круглолиста (<i>Drosera rotundifolia</i> L.) Смодвь болотна (<i>Peucedanum palustre</i> (L.) Moench) Хвощ лісовий Сфагнум загострений
С ₁	Грястиця збірна (<i>Dactylis glomerata</i> L.) Тонконіг гайовий	Горобейник пурпурово-голубий (<i>Lithospermum purpureo coeruleum</i> L.) Ломиніс прямий (<i>Clematis recta</i> L.) Герань кров'яно-червона Нечуйвітер волохатий (ястребинка)	Купина лікарська Буквиця лікарська Гравілат міський (<i>Geum urbanum</i> L.) Конюшина альпійська Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.) Яглиця звичайна (сньть) (<i>Aegopodium podagraria</i> L.) Материнка звичайна (<i>Origanum vulgare</i> L.) Фіалка волосиста (фіалка опушенна) (<i>Viola hirta</i> L.)

1	2	3	4
С ₂	<p>Куничник наземний Перлівка поникла (Перловник поникший) (Melica nutans L.) Куцоніжка периста (Brachypodium pinnatum P.B.) Тонконіг гайовий</p>	<p>Деревій тисячолістий (Achillea millefolium L.) Герань лісова (Geranium silvaticum L.) Золотушник звичайний (золотарник) Ведмеже вушко (толокнянка) (Arctostaphylos uva ursi Spr.) Суниця лісова</p>	<p>Яглиця звичайна (снить) Чина весняна (Lathyrus vernus (L.) Bernh.) Грушанка круглолиста Орляк звичайний Зірочник лісовий (Stellaria holostea L.) Купина лікарська Буквиця лікарська Фіалка собача (Viola canina L.) Фіалка запашна (Viola odorata L.)</p>
С ₃	<p>Тонконіг гайовий Куничник очеретяний (Куничник лісовий) (Calamagrostis arundinacea Roth.) Просянка розлога (Бір розвісистий) (Miliun effusum L.) Перлівка поникла (Перловник поникший)</p>	<p>Квасениця звичайна (кислиця) (Oxalis acetosella L.) Герань лісова Золотушник звичайний (золотарник)</p>	<p>Яглиця звичайна (снить) Щитник голчастий (Dryopteris spinuosa O.Kuntze) Хвощ лісовий Зірочник лісовий Грушанка круглолиста Костяниця (Rubus saxatilis L.) Копитняк європейський (Asarum europaeum L.) Ожика волосиста (Luzula pilosa (L.) Willd.) Орляк звичайний Безщитник жіночий (Кочедижник жіночий) (Athyrium filix femina Roth.)</p>

1	2	3	4
C ₄	Щучник дернистий (щучка дерниста) (Deschampsia caespitosa (L.) P. Beauv.) Чорниця Брусниця Плевроцій Шребера Гілокомій блискучий	Квасениця звичайна (кислиця) Золотушник звичайний (золотарник) Герань лісова Борець високий (Aconitum exelsum Rchb.) Жовтець повзучий (Ranunculus repens L.)	Ожика волосиста Конвалія травнева (Convallaria majalis L.) Плаун річний (Lycopodium annotinum L.) Грушанка круглолиста Костяниця Безщитник жіночий (Кочедижник жіночий) Хвоць лісовий Вербозілля (Вербейник) (Lysimachia vulgaris L.) Дудник лісовий (Angelica sylvestris L.) Гравілат річковий (Geum rivale L.) Лабазник в'язолистий (Таволга в'язолиста) (Filipendula ulmaria Maxim.)
C ₅	Куничник наземний Тростина звичайна (Phragmites australis)	Вовче тіло болотне (сабельник)	Хвоць лісовий Вербозілля (Вербейник)
D ₁	Осока короткошиякова (Carex brevicollis D.C.) Осока чорноколоса (Carex melanostachya M.B.) Тонконіг дібровний Грястиця збірна Перлівка поникла (Перловник поникший)	Деревій тисячолістий	Копитняк європейський Маренка запашна (ясмінник духмяний) (Asperula odorata L.) Горлянка повзуча (живуча повзуча) (Ajuga reptans L.) Фіалка волосиста (фіалка опушеная)

1	2	3	4
D ₂	<p>Осока волосиста (<i>Carex pilosa</i> Scop.)</p>		<p>Яглиця звичайна (снить)</p> <p>Маренка запашна (ясмінник духмяний)</p> <p>Копитняк європейський</p> <p>Медунка лікарська (<i>Pulmonaria officinalis</i> L.)</p> <p>Чина весняна</p> <p>Купина багатоквіткова (<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.)</p> <p>Фіалка запашна</p>
D ₃	<p>Осока вздута (<i>Carex inflata</i> Huds.)</p> <p>Осока лісова (<i>Carex sylvastica</i> Huds.)</p> <p>Перлівка поникла (Перловник поникший)</p> <p>Просянка розлога (Бір розвісистий)</p>	<p>Квасениця звичайна (кислиця)</p>	<p>Яглиця звичайна (снить)</p> <p>Копитняк європейський</p> <p>Горлянка повзуча (живуча повзуча)</p> <p>Маренка запашна (ясмінник духмяний)</p> <p>Безщитник жіночий (Кочедижник жіночий)</p> <p>Зеленчук жовтий (ясотка жовта) (<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.)</p> <p>Розхідник звичайний (бурда плющевидна) (<i>Glechóma hederácea</i> L.)</p> <p>Щитник чоловічий (<i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott)</p> <p>Щитник голчастий</p> <p>Гравілат міський</p> <p>Купина багатоквіткова</p> <p>Медунка лікарська</p> <p>Чина весняна</p> <p>Зірочник лісовий</p> <p>Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)</p> <p>Страусове перо (страусник) <i>Struthiopteris filicastrum</i> All.)</p> <p>Фіалка лісова</p>

1	2	3	4
D ₄		Жовтець повзучий Гірчак перцевий (Persicaria hydropiper (L.) Delarbre) Цирцея звичайна (колдунова трава) (Circea luteniana L.) Жеруха гірка (Cardamine amara L.)	Жовтяниця черголиста (селезіночник) (Chrysosplenium alternifolium L.) Безщитник жіночий (Кочедижник жіночий) Розрив-трава звичайна (недорога) (Impatiens noli-tangere L.) Щитник голчастий Хвощ лісовий Гравілат річковий Лабазник в'язолистий (Таволга в'язолиста) Зірочник лісовий Страусове перо (страусник) Кропива дводомна Шоломниця ковпаконосна (Scutellaria galericulata L.)
D ₅	Осока несправж- ньосмикавцева (осока ложносьте- видная) (Carex pseudocyperus L.) Осока пухирчата (Carex vesicaria) Осока загострена (Carex acutiformis)	Бобівник трилистий Жовтець повзучий	Образки болотні (білокрильник) (Calla palustris L.) Частуха подорожникова (Alisma plantago L.) Щитник болотяний (Dryopteris thelypteris A. Gr.) М'ята водяна (Mentha aqualica L.) Шоломниця ковпаконосна Живокіст лікарський (Symphytum officinale L.) Хміль (Humulus lupulus L.) Паслін солодко-гіркий (Solanum dulcamara L.)

Додаток Н

Рослини наземного ярусу, виявлені під час комплексних досліджень пожежної небезпеки

Під час комплексних досліджень пожежної небезпеки пробних ділянок на пробних площах (див. табл. А.2 додатку А) виявлені рослини наземного ярусу та їх екологічні і пожежонебезпечні властивості наведені в табл. Н.1. Кількість особин на 1 м² наведено в табл. Н.2.

Таблиця Н.1

Перелік рослин наземного ярусу, виявлених на пробних ділянках під час комплексних досліджень пожежної небезпеки, їх екологічні та пожежонебезпечні властивості

Назва рослини	Відношення до родючості [509, 518]	Відношення до вологи [509, 518]	Пожежна небезпека
1	2	3	4
Ожина сиза (<i>Rubus caesius</i> L.)	Мегатроф	Мезогігрофіт	Вогнестійка
Щитник чоловічий (<i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	Мегатроф	Гігрофіт	Вогнестійка
Зірочник середній (<i>Stellaria media</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Анемона дібровна (<i>Anemone nemorosa</i> L.)	Мегаемезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.)	Мегатроф	Мезогігрофіт	Слабкозаймиста
Осока лісова (<i>Carex sylvatica</i> Huds.)	Мегатроф	Гігромезофіт	Пожежо-небезпечна
Малина звичайна (<i>Rubus idaeus</i> L.)	Мегатроф	Мезогігрофіт	Вогнестійка
Зеленчук жовтий (<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Безщитник жіночий (<i>Athorium filix-femina</i> (L.) Roth.)	Мегатроф	Мезогігрофіт	Вогнестійка
Зірочник лісовий (<i>Stellaria holostea</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка

1	2	3	4
Яглиця звичайна (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Пухівка вузьколиста (<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.)	Олігомезотроф	Гігрофіт	Пожежо-небезпечна
Плакун верболистий (<i>Lythrum salicaria</i> L. (фіолетові))	Мезотроф	Гігрофіт	Вогнестійка
Ожика волосиста (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	Мезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Мати-мачуха звичайна (<i>Tussilago farfara</i> L.)	Олігомезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Зозулин льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	Оліготроф	Мезогігрофіт	Вогнестійка
Осока багнова (<i>Carex limosa</i> L.)	Оліготроф	Гігрофіт	Пожежо-небезпечна
Бобівник трилистий (<i>Menyanthes trifoliata</i> L.)	Мезотроф	Гігрофіт	Слабкозаймиста
Польовиця біла (<i>Agrostis alba</i> L.)	Мезотроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Чорниця (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	Оліготроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Орляк звичайний (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)	Мезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Щитник голчастий (<i>Dryopteris spinulosa</i> O.Kuntze)	Мегатроф	Мезогігрофіт	Вогнестійка
Плевроцій Шребера (<i>Pleurozium Schreberi</i> Mitt.)	Оліготроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Одинарник європейський (<i>Trientalis europaea</i> L.)	Мезотроф	Гігромезофіт	Вогнестійка
Веснівка дволиста (<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)	Мегаемезотроф	Мезофіт	Слабкозаймиста
Плющ (<i>Hedrea helix</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Печіночниця звичайна (<i>Hepatica nobilis</i> (Gars.) Schreb.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Підмаренник запашний (<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop. (<i>Asperula odorata</i> L.))	Мегатроф	Мезофіт	Слабкозаймиста
Пшінка весняна (<i>Ficaria verna</i> Huds. aggr.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка

Продовження табл. Н.1

1	2	3	4
Осока вереснякова (<i>Carex ericetorum</i> Pollich)	Олігомезотроф	Ксеромезофіт	Пожежо-небезпечна
Фіалка Рейхенбаха (<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau)	Мезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Перстач білий (<i>Potentilla alba</i> L.)	Мезотроф	Мезофіт	Слабкозаймиста
Льонок дроколистий (<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.)	Оліготроф	Ксерофіт	Вогнестійка
Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Пухівка піхвова (<i>Eriophorum vaginatum</i> L.)	Оліготроф	Гігрофіт	Пожежо-небезпечна
Осока жовта (<i>Carex flava</i> L.)	Мегамезотроф	Гігрофіт	Пожежо-небезпечна
Розхідник звичайний (<i>Glechoma hederacea</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Копитняк європейський (<i>Asarum europaeum</i> L.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Бруслина бородавчата (<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.)	Мегатроф	Мезофіт	Вогнестійка
Верес (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Salisb.)	Оліготроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Дикран багатоніжковий (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	Оліготроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Брусниці (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	Оліготроф	Мезофіт	Пожежо-небезпечна
Перестріч лучний (<i>Melampyrum pratense</i> L.)	Олігомезотроф	Мезофіт	Вогнестійка
Осока пухнатоплода (<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.)	Мезотроф	Гігрофіт	Пожежо-небезпечна

Кількість особин рослин на 1 м², виявлених на пробних ділянках під час комплексних досліджень пожежної небезпеки

Назва рослини	Номер ділянки та тип лісорослинних умов															
	1-С ₃	2-С ₃	3-С ₃	4-С ₄	5-С ₄	6-С ₄	7-В ₅	8-В ₅	9-В ₅	10-В ₃	11-В ₃	12-В ₃	13-В ₃	14-В ₃	15-В ₃	16-В ₃
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Ожина сиза (<i>Rubus caesius</i> L.)	2	13		1	18	2		16	7	11	16	6				
Щитник чоловічий (<i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott)	8	3														
Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)	48	36	11													
Зірочник середній (<i>Stellaria media</i> L.)	18	1														
Анемона дібровна (<i>Anemone nemorosa</i> L.)	2	2														
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)		2														
Квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.)			191							2						
Осока лісова (<i>Carex sylvatica</i> Huds.)				411	369	43				3						
Малина звичайна (<i>Rubus idaeus</i> L.)						4										
Зеленчук жовтий (<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.)				18	34	87									8	
Безщитник жіночий (<i>Athurium filix-femina</i> (L.) Roth.)						3									8	
Зірочник лісовий (<i>Stellaria holostea</i> L.)						5									5	
Яглиця звичайна (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)				4										7	7	1
Пухівка вузьколиста (<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.)							87									
Плакун верболистий (<i>Lythrum salicaria</i> L. (фіолетові))							37	5	31							
Ожина волосиста (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)							51	8	154							
Маги-мачуха звичайна (<i>Tussilago farfara</i> L.)							11	9								
Зозулін льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)							5	6								

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Осока багнова (<i>Carex limosa</i> L.)							2								
Бобівник трилистий (<i>Menyanthes trifoliata</i> L.)								1	3						
Польовиця біла (<i>Agrostis alba</i> L.)									22						
Чорниця (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)										47	48	97			
Орляк звичайний (<i>Peridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)												1			
Щитник голчастий (<i>Dryopteris spinulosa</i> O.Kuntze)											1				
Плевроцій Шребера (<i>Pleurozium Schreberi</i> Mitt.)										19		7			
Одиарник європейський (<i>Trientalis europaea</i> L.)										18		4			
Веснівка дволіста (<i>Majanthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)										24	1		2	5	7
Плющ (<i>Hedrea helix</i> L.)													5	2	2
Печіночниця звичайна (<i>Hepatica nobilis</i> (Gars.) Schreb.)													16	11	7
Підмаренник запашний (<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop. (<i>Asperula odorata</i> L.))													5	5	
Пшінка весняна (<i>Ficaria verna</i> Huds. aggr.)															8
Осока вереснякова (<i>Carex ericetorum</i> Pollich)															
Фіалка Рейхенбаха (<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau)															
Перстач білий (<i>Potentilla alba</i> L.)															
Льонок дроколистий (<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.)															
Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.)															
Пухівка піхвова (<i>Eriophorum vaginatum</i> L.)															
Осока жовта (<i>Carex flava</i> L.)															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Розхідник звичайний (<i>Glechoma hederacea</i> L.)															
Копитняк європейський (<i>Asarum europaeum</i> L.)															
Бруслина бородавчата (<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.)															
Верес (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Salisb.)															
Дикран багатоніжковий (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)															
Брусниця (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)															
Перестріч лучний (<i>Melampyrum pratense</i> L.)															
Осока пухнатофлора (<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.)															

Назва рослини	Номер ділянки та тип лісорослинних умов														
	16-B ₂	17-B ₂	18-B ₂	19-B ₃	20-B ₃	21-B ₃	22-C ₂	23-C ₂	24-C ₂	25-B ₄	26-B ₄	27-B ₄	28-D ₄	29-D ₄	30-D ₄
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Ожина сиза (<i>Rubus caesius</i> L.)				3	7	12	6	8	18						
Щитник чоловічий (<i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott)					4										
Розрив-трава дрібноквіткова (<i>Impatiens parviflora</i> DC)															
Зірочник середній (<i>Stellaria media</i> L.)															
Анемона дібровна (<i>Anemone nemorosa</i> L.)															
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)															
Квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.)				137	28										
Осока лісова (<i>Carex sylvatica</i> Huds.)															
Малина звичайна (<i>Rubus idaeus</i> L.)															
Зеленчук жовтий (<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.)													17	65	9
Безщитник жіночий (<i>Athurium filix-femina</i> (L.) Roth.)															
Зірочник лісовий (<i>Stellaria holostea</i> L.)															
Яглиця звичайна (<i>Aegorodidium podagraria</i> L.)							1								
Пухівка вузьколиста (<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.)															
Плакун верболистий (<i>Lythrum salicaria</i> L. (фіолетові))															
Ожина волосиста (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)															
Маги-мачуха звичайна (<i>Tussilago farfara</i> L.)															
Зозулин льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)										85	6	26			

1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Осока багнова (<i>Carex limosa</i> L.)															
Бобівник трилистий (<i>Menyanthes trifoliata</i> L.)															
Польовиця біла (<i>Agrostis alba</i> L.)															
Чорниця (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)										7	3	8			
Орляк звичайний (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)										2					
Щитник голчастий (<i>Dryopteris spinulosa</i> O.Kuntze)								1					1		
Плевроцій Шребера (<i>Pleurozium Schreberi</i> Mitt.)															
Одиарник європейський (<i>Trientalis europaea</i> L.)															
Веснівка дволиста (<i>Majanthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)	2	19		13		1	69								
Плющ (<i>Hedrea helix</i> L.)															
Печіночниця звичайна (<i>Hepatica nobilis</i> (Gars.) Schreb.)	19	24	86												
Підмаренник запашний (<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop. (<i>Asperula odorata</i> L.))															
Пшінка весняна (<i>Ficaria verna</i> Huds. aggr.)															
Осока вереснякова (<i>Carex ericetorum</i> Pollich)	2		31												
Фіалка Рейхенбаха (<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau)	6		8												
Перстач білий (<i>Potentilla alba</i> L.)								1							
Льоннок дроколистий (<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.)										21	1	5			
Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.)											7	43			
Пухівка піхвова (<i>Eriophorum vaginatum</i> L.)											15				
Осока жовта (<i>Carex flava</i> L.)											5				6

Продовження табл. Н.2

1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Розхідник звичайний (<i>Glechoma hederacea</i> L.)															2
Копитняк європейський (<i>Asarum europaeum</i> L.)														8	7
Бруслина бородавчата (<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.)		2	3											3	
Верес (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Salisb.)															
Дикран багатоніжковий (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)															
Брусниці (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)															
Перестріч лучний (<i>Melampyrum pratense</i> L.)															
Осока пухнатопада (<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.)															

Назва рослини	Номер ділянки та тип лісорослинних умов											
	31-D ₃	32-D ₃	33-D ₃	34-A ₂	35-A ₂	36-A ₂	37-A ₃	38-A ₃	39-A ₃	40-A ₄	41-A ₄	42-A ₄
1	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Ожина сиза (<i>Rubus caesius</i> L.)		2										
Щитник чоловічий (<i>Dryopteris filix mas</i> (L.) Schott)												
Розрив-трава дрібноквітка (<i>Impatiens parviflora</i> DC)												
Зірочник середній (<i>Stellaria media</i> L.)												
Анемона дібровна (<i>Anemone nemorosa</i> L.)												
Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)												
Квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.)		21	118									
Осока лісова (<i>Carex sylvatica</i> Huds.)												
Малина звичайна (<i>Rubus idaeus</i> L.)												
Зеленчук жовтий (<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.)	2	2	93									
Безщитник жіночий (<i>Athorium filix-femina</i> (L.) Roth.)												
Зірочник лісовий (<i>Stellaria holostea</i> L.)		13	8									
Яглиця звичайна (<i>Aegopodium podagraria</i> L.)												
Пухівка вузьколиста (<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.)												
Плакун верболистий (<i>Lythrum salicaria</i> L. (фіолетові))												
Ожина волосиста (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)								2				
Маги-мачуха звичайна (<i>Tussilago farfara</i> L.)												
Зозулин льон звичайний (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)											37	29

1	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Осока багнова (<i>Carex limosa</i> L.)												
Бобівник трилистий (<i>Menyanthes trifoliata</i> L.)	5	3					6					
Польовиця біла (<i>Agrostis alba</i> L.)										53	36	48
Чорниця (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)												
Орляк звичайний (<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.)	54	34	12				4					
Щитник голчастий (<i>Dryopteris spinulosa</i> O.Kuntze)												
Плевроцій Шребера (<i>Pleurozium Schreberi</i> Mitt.)												
Одиарник європейський (<i>Trientalis europaea</i> L.)												
Веснівка дволиста (<i>Majanthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt)												
Плющ (<i>Hedrea helix</i> L.)												
Печіночниця звичайна (<i>Hepatica nobilis</i> (Gars.) Schreb.)												
Підмаренник запашний (<i>Galium odoratum</i> (L.) Scop. (<i>Asperula odorata</i> L.))												
Пшінка весняна (<i>Ficaria verna</i> Huds. aggr.)												
Осока вереснякова (<i>Carex ericetorum</i> Pollich)	1	8	56									
Фіалка Рейхенбаха (<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau)												
Перстач білий (<i>Potentilla alba</i> L.)	6											
Льонок дроколистий (<i>Linaria genistifolia</i> (L.) Mill.)												
Конвалія звичайна (<i>Convallaria majalis</i> L.)	5	3					6					
Пухівка піхвова (<i>Eriophorum vaginatum</i> L.)										53	36	48
Осока жовта (<i>Carex flava</i> L.)												

1	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Розхідник звичайний (<i>Glechoma hederacea</i> L.)												
Копитняк європейський (<i>Asarum europaeum</i> L.)												
Бруслина бородавчата (<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.)												
Верес (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Salisb.)				1			2	3				
Дикран багатоніжковий (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)				7	7		9					
Брусниці (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)							28	3	6			
Перестріч лучний (<i>Melampyrum pratense</i> L.)						1		1				
Осока пухнатоїплода (<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.)										167	6	85

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдурагимов И. М. О несостоятельности концепции "ядерной ночи и "ядерной зимы" вследствие пожаров после ядерного поражения [Электронный ресурс] / И. М. Абдурагимов // Пожарное дело : Интернет-журнал. – 2007. – Режим доступа : http://www.pojar01.ru/11/PROCESS_GOR/ST/ST_ABDURAG_YADERN/text2.html
2. Абдурагимов И. М. Проблема тушения крупных лесных пожаров и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях / И. М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2012. – Т. 21, № 2. – С. 69–74.
3. Абрамов Ю. О. Моделі динаміки контуру ландшафтної пожежі з урахуванням топографічних даних / Ю. О. Абрамов, О. А. Тарасенко // Пожежна безпека : теорія і практика. – 2008. – № 2. – С. 5–6.
4. Аналіз надзвичайних ситуацій в Україні [Електронний ресурс] / МНС України. Офіційний сайт. – Режим доступу : www.mns.gov.ua.
5. Андреева В. В. Лісівничо-селекційна оцінка півсібсових і сібсових потомств сосни звичайної в умовах Західного Полісся : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 06.03.01 / Андреева Валентина Вікторівна; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2010. – 20 с.
6. Андрущенко Г. О. Ґрунти західних областей УРСР / Г. О. Андрущенко. – Львів; Дубляни : Вільна Україна, 1970. – Ч. 1. – 184 с.
7. Андрущенко Г. О. Ґрунти західних областей УРСР / Г. О. Андрущенко. – Львів; Дубляни : Вільна Україна, 1970. – Ч. 2. – 114 с.
8. Анучин Н. П. Лесная таксация / Н. П. Анучин. – М. : Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
9. Артюшенко А. Т. Растительность Лесостепи и Степи Украины в четвертичном периоде (по данным спорово-пыльцевого анализа) / А. Т. Артюшенко. – К. : Наукова думка, 1970. – 176 с.
10. Артюшенко О. Т. Історія лісів України у четвертинному періоді / О. Т. Артюшенко // Лісові ресурси України, їх охорона і використання. – Х. : Держсільгосп в-во УРСР, 1970. – С. 10–14.
11. Архив погоды [Электронный ресурс] Гисметео : Прогноз погоды. – Режим доступа : <http://www.gismeteo.ru/weather/synarc.htm?33393>.
12. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними / Е. С. Арцыбашев. – М. : Лесная промышленность, 1974. – 150 с.

13. Асеева Р. М. Горение и пожарная опасность древесины / Р. М. Асеева, Б. Б. Серков, А. Б. Сивенков // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2012. – Т. 21, № 1. – С. 19–32.
14. Астафьева Н. М. Возможные причины горячего российского лета 2010 / Н. М. Астафьева // Современные проблемы дистанционно зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 3. – С. 223–243.
15. Аткин А. С. Запасы напочвенных горючих материалов в сосняках / А. С. Аткин, Л. И. Аткина // Лесные пожары и их последствия. – Красноярск : ИлиД, 1985. – С. 92–101.
16. Атлас почв Украинской ССР / под ред. Н. К. Крупкого и Н. И. Полупана. – К. : Урожай, 1979. – 160 с.
17. Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения / Н. В. Барановский // Пожаровзрывобезопасность. – М. : Пожнаука, 2011. – № 8. – С. 34–37.
18. Барановский Н. В. Прогноз лесной пожарной опасности на базе модельной концепции: математические основы и принципы параллельной реализации / Н. В. Барановский // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2009) : Труды международной научной конференции, Нижний Новгород, 30 марта–3 апреля 2009 г. – Челябинск : Изд. ЮУрГУ, 2009. – С. 370–381.
19. Барановский Н. В. Экспериментальные исследования зажигания слоя лесных горючих материалов сфокусированным солнечным излучением / Н. В. Барановский // Пожаровзрывобезопасность. – М. : 2012. – № 9. – С. 23–27.
20. Басманов А. Е. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара / А. Е. Басманов, А. П. Созник, А. А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности : сб. научн. тр. – 2002. – Вып. 11. – С. 17–25.
21. Башуцька У. Б. Антропогенно-природні сукцесії рослинності девастрованих ландшафтів Червоноградського гірничопромислового району : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Башуцька Уляна Богданівна; Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Львів, 2004. – 17 с.
22. Безусько Л. Г. Палеологічна вивченість відкладів пізньольодовиків'я та голоцену Волинського Полісся / Безусько Л. Г., Безусько А. Г., Гетьманенко А. С. // Магістеріум. Природничі науки. – 2004. – Вип. 16. – С. 21–24.

23. Безусько Л. Г. История растительности Малоого Полесья в четвертичное время по данным спорово-пыльцевых исследований : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 / Безусько Людмила Герасимовна; Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного АН УССР. – К., 1981. – 22 с.
24. Беккер А. М. Системы вентиляции / А. М. Беккер. – М.: Техносфера, Евроклимат, 2005. – 232 с.
25. Берлинер М. А. Измерения влажности: Изд. 2-е, перераб. и доп. / М. А. Берлинер. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.
26. Блищик І. В. Продуктивність та надземна фітомаса вільхи клейкої у деревостанах Західного Полісся України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Блищик Іван Володимирович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2008. – 20 с.
27. Богородская А. В. Экологическое состояние микробоценозов почв сосняков средней тайги Средней Сибири после контролируемых выжиганий / А. В. Богородская, Н. Д. Сорокин // Вестник КрасГУ. – 2005. – № 5. – С. 187–194.
28. Бондар А. О. Вологість хвої, листя та заболонної деревини культур сосни звичайної та дуба звичайного, створених у свіжих дібровах / А. О. Бондар, В. В. Попельнюк // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2006. – Вип. 30. – С. 143–148.
29. Бондар І. П. Біотичний кругообіг мінеральних елементів та шляхи його регулювання в соснових деревостанах Центрального Полісся України : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 06.03.03 / Бондар Ігор Петрович; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2007. – 21 с.
30. Бондаренко В. Д. Узлісся: Екологія, функції та формування / В. Д. Бондаренко, О. І. Фурдичко. – Львів : Астериск, 1993. – 64 с.
31. Борисова И. В. Сезонная динамика растительного сообщества / И. В. Борисова // Полевая геоботаника. – Л. : Наука, 1972. – Т. 4. – С. 5–94.
32. Борсук О. А. Природна пожежна небезпека соснових лісів зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення ЧАЕС / О. А. Борсук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Лісівництво та декоративне садівництво". – К. : Вид-во НУБІП України. – 2011. – Вип. 64, Ч. 1. – С. 105–111.
33. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

34. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы : учебник / Н. Н. Брушлинский. – М. : МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
35. Брюханов А. В. Исследование дымообразующей способности основных древесных пород Сибири / А. В. Брюханов, П. А. Осавелюк, Е. В. Гуляева // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2011. – № 1. – С. 25–31.
36. Бурасов Д. М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров и их экологических последствий : автореф. дис. ... канд. ф.-м. наук : 03.00.16 / Дмитрий Михайлович Бурасов; Томский гос. ун-т. – Томск, 2006. – 17 с.
37. Бусыгин Г. В. Диагностика жизнеспособности деревьев по температурным параметрам [Электронный ресурс] / Г. В. Бусыгин, В. Н. Карасев, М. А. Карасева // Лесной комплекс : состояние и перспективы развития : материалы V Международной научно-технической конференции, Брянск, 1 - 30 ноября 2005 г. – 2005. – Режим доступа : http://science-bsea.narod.ru/2005/leskomp_2005/busygin.htm.
38. Быков В. М. Влияние травяного покрова на природную пожарную опасности в лесу / В. М. Быков, В. А. Комяк, А. Г. Коссе // Проблемы пожарной безопасности. – Х., 2010. – Вып. 27. – С. 39–43.
39. Бяллович Ю. П. Биоэкологические основы теории систем лесов / Ю. П. Бяллович // Проблемы биогеоэкологии. – М., 1973. – С. 47–57.
40. Вакуров А. Д. Лесные пожары на севере / А. Д. Вакуров. – М. : Наука, 1975. – 100 с.
41. Валедник Э. Н. Шкалы пожарной опасности для лесов Красноярского края и Тувинской АССР / Э. Н. Валедник // Лесные пожары и борьба с ними. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 31–57.
42. Василишин Р. Д. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування / Р. Д. Василишин, Г. С. Домашовець // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.3. – С. 50–58.
43. Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) : Пер. с англ. / Д. Фенгел, Г. Вегенер ; под ред. д-ра техн. наук проф. А. А. Леоновича — М. : Лесная промышленность, 1988. — 512 с.
44. Вишенська І. Г. Методичні аспекти визначення енергетичного запасу лісової підстилки / І. Г. Вишенська, А. А. Жовтенко, Я. П. Дідух // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2010. – Т. 106. – С. 40–45.

45. Влагомер МГ-44 : Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Х. : Весоизмеритель, 2009. – 9 с.
46. Влажный воздух : справочное пособие. – М. : АВОК, 2004. – 42 с.
47. Влияние контролируемого выжигания шелкопрядаков на свойства дерново-подзолистых почв в Нижнем Приангарье / Ю. Н. Краснощеков, Э. Н. Валедник, И. Н. Бескоровайная [и др.] // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 16–24.
48. Влияние пирогенного фактора на искусственные сосновые насаждения Симферопольского района / В. Г. Кобечинская, И. П. Отурина, В. Л. Апостолов [и др.] // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2009. – Вып. 20. – С. 146–153.
49. Водні ресурси [Електронний ресурс] / Львівське обласне виробниче управління водного господарства. – Режим доступу : <http://oblwodgosp.lviv.ua/vodnires.htm>.
50. Волокитина А. В. Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами (Практические рекомендации) / А. В. Волокитина. – Красноярск, 2002. – 63 с.
51. Волокитина А. В. Прогнозирование поведения и последствий низовых пожаров с использованием крупномасштабных карт растительных горючих материалов / А. В. Волокитина, М. А. Софронов, Е. А. Карнаухова // Лесное хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 41–43.
52. Волошинова Н. О. Ріст і продуктивність дуба звичайного, скельного та їх гібридів у плюсовому насадженні у Малому Поліссі / Н. О. Волошинова // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2010. – Вип. 117. – С. 225–230.
53. Воробьев Д. В. Лесная типология и ее применение. Лекция 1 / Д. В. Воробьев, Б. Ф. Остапенко. – Х. : Изд-во Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева, 1977. – 53 с.
54. Воробьев Д. В. Типы лесов европейской части СССР / Д. В. Воробьев. – К. : Изд-во АН УССР, 1963. – 452 с.
55. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов ; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
56. Ворон В. П. Тенденції виникнення пожеж у лісах зеленої зони м. Харкова / В. П. Ворон, Є. Є. Мельник // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2009. – Вип. 115. – С. 207–214.

57. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: В 2 кн. / Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов. Кн. 1 / Отв. ред. О. В. Смирнова. – М. : Наука, 2004. – 479 с.

58. Гаврилюк С. А. Дешифрування зображень лісових ділянок за матеріалами сканер них космічних зйомок (на прикладі Західного Лісостепу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Гаврилюк Сергій Анатолійович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2008. – 19 с.

59. Галушка В. П. Біологічна стійкість, насінноеншення і ріст потомства сосни звичайної в умовах Малого Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Галушка Василь Павлович; Укр. держ. лісо-техн. ун-т. – Львів, 2000. – 19 с.

60. Гаськевич В. Історичні аспекти дослідження ґрунтів Малого Полісся // Історія української географії : Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2000. – Вип. 1 (13). – С. 82–88.

61. Гаськевич В. Пірогенна деградація ґрунтів Малого Полісся: ґрунтово-екологічні та соціально-економічні аспекти / В. Гаськевич, М. Нецик // Вісник Львів. ун-ту Серія геогр. – 2008. – Вип. 35. – С. 49–57.

62. Гаськевич В. Трансформація гранулометричного складу ґрунтів Малого Полісся в разі осушення і розвиток деградаційних процесів / В. Гаськевич / Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 30. – С. 50–57.

63. Герасименко Н. П. Розвиток зональних ландшафтів четвертинного періоду на території України : автореф. дис. ... д-ра. географ. наук : 11.00.04 / Герасименко Наталія Петрівна; Ін-тут географії НАН України. – К., 2004. – 38 с.

64. Головне управління МНС України у Львівській області [Електронний ресурс] / Офіційний сайт. – Режим доступу : www.01.lviv.ua.

65. Головне управління статистики у Львівській обл. [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу : <http://www.lv.ukrstat.gov.ua>.

66. Гончар М. Т. Лесные фитоценозы : повышение продуктивности и охрана / М. Т. Гончар. – Львів : Вища школа, 1983. – 168 с.

67. Горелов О. М. Особливості режимів освітлення, температури та вологості у кронному та підкронному просторі деревних рослин / О. М. Горелов, О. О. Горелов // Інтродукція рослин. – 2009. – №1. – С. 34–37.

68. Горшенин Н. М. Определение типов условий местопроизрастания / Н. М. Горшенин, А. И. Бутейко. – Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1962. – 232 с.

69. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск : Изд-во ТГУ, 1981. – 277 с.

70. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А. М. Гришин. – Новосибирск : Наука, 1992. – 407 с.

71. Гришин А. М. Математическое моделирование сушки слоя лесных горючих материалов / А. М. Гришин, Л. Ю. Катаева, Е. Л. Лобода // Труды Междунар. конференции RDAMM–2001. – 2001. – Т. 6, Ч. 2, Спец. вып. – С. 140–144.

72. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф / А. М. Гришин // Вестник Томского государственного университета, Серия : Математика и механика. – 2008. – № 2 (3). – С. 105–114.

73. Гришин А. М. Общая физико-математическая модель зажигания и горения древесины / А. М. Гришин // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 2 (10). – С. 60–70.

74. Гришин А. М. Общие математические модели природных пожаров / А. М. Гришин // XII Симпозиум по горению и взрыву, Черногловка, 7-11 февраля 2005 г. – Черногловка, 2005. – С. 1-25.

75. Гришин А. М. Постановка и решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов / А. М. Гришин, А. М. Голованов, Л. Ю. Катаева, Е. Л. Лобода // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т.37, №1. – С.65–76.

76. Гродзинська О. Вернакулярні ландшафтні регіони України / О. Гродзинська // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 31. – С. 89–95.

77. Гроздова Н. Б. Деревья, кустарники и лианы: Справочное пособие / Н. Б. Гроздова, В. И. Некрасов, Д. А. Глоба-Михайленко. – М. : Лесная промышленность, 1986. – 349 с.

78. Гузь М. М. Природне поновлення сосни Банкса у лісових насадженнях Західного та Малого Полісся України / М. М. Гузь, С. В. Жмурко, І. В. Жмурко // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – 2003. – Вип. 13.3. – С. 176–180.

79. Гуліда Е. М. Математична модель поширення лісових пожеж / Е. М. Гуліда, О. О. Карабин, О. О. Смотр // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2005. – № 6. – С. 7–12.

80. Данилова И. В. Методика составления карт лесных территорий на основе данных космической съемки (на примере Красноярского края) / И. В. Данилова // География и природные ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 140–146.

81. Данилов-Данильян В. И. Лето 2010 года: погодная аномалия + непредусмотрительность = катастрофа [Электронный ресурс] / В. И. Данилов-Данильян // Вестник ОНЗ РАН. – 2010. – Т. 2, NZ10001, doi:10.2205/2010NZ000060. Режим доступа : <http://onznnews.wdcb.ru/publications/v02/2010NZ000060.pdf>.

82. Дебринюк Ю. М. Ялина європейська (смерека) як високопродуктивна порода Малеого Полісся / Ю. М. Дебринюк // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – 2003. – Вип. 13.3. – С. 221–228.

83. Демаков Ю. П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, поврежденных пожарами : учебное пособие / Ю. П. Демаков, К. К. Калинин. – Йошкар-Ола : МарГТУ, 2003. – 136 с.

84. Дигало О. М. Ідентифікація моделей швидкості розповсюдження фронту лісової пожежі та їх практичні застосування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 / Олександр Миколайович Дигало; Акад. пожеж. безпеки України. – Х., 2003. – 22 с.

85. Дидур О. А. Экологические особенности взаимодействия листового опада и почв ольховых биогеоценозов в эксперименте / О. А. Дидур // Екологія та ноосферологія. – 2003. – Т. 14, № 3.4. – С. 98–103.

86. Дідух Я. П. Динаміка запасу та енергетичного потенціалу підстилки лісових екосистем за період вегетації 2007 р. (на прикладі модельних ділянок заказника «Лісники», м. Київ) / Я. П. Дідух, С. О. Гаврилов // Український фітоценологічний збірник. — К., 2007. — Сер. С, вип. 25. — С. 19–26.

87. Довкілля Львівщини – 2005 / Статистичний збірник. – Львів : Головне управління статистики у Львівській області, 2006. – 105 с.

88. Довкілля Львівщини: Статистичний збірник. – Львів : Головне управління статистики у Львівській області, 2009. – 100 с.

89. Довкілля України – 2005 / Статистичний збірник за ред. Ю.М.Остапчука. – К. : Державний комітет статистики України, 2006. – 257 с.

90. Домашовець Г. С. Фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів Львівщини / Г. С. Домашовець, А. М. Білоус // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – 2010. – Вип. 147. – С. 215–222.

91. Доррер Г. А. Компьютерные обучающие средства для подготовки специалистов по охране леса / Г. А. Доррер, Т. Н. Иванилова // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV, № 1-2. – С. 128–134.
92. Доррер Г. А. Математические модели динамики лесных пожаров / Г. А. Доррер. – М. : Лесная промышленность, 1979. – 160 с.
93. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
94. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М. : Стройиздат, 1990. – 424 с.
95. Дубровский И. М. Справочник по физике / И. М. Дубровский, Б. В. Егоров, К. П. Рябошапка. – К. : Наукова думка, 1986. – 557 с.
96. Дудин Р. Б. Снігонагромадження в зоні екотону паркових узлів / Р. Б. Дудин, М. М. Фітак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 98–101.
97. Дудник О. М. Отримання деревного вугілля з відходів свіжозрізаної берези / О. М. Дудник, А. І. Трипольський, Є. Ю. Калішин // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 3. – С. 60–68.
98. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
99. Егармин П. А. Методика детальной оценки текущей пожарной опасности лесной территории / П. А. Егармин // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 2 (28) – С. 94–99.
100. Егармин П. А. Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Павел Анатольевич Егармин; СибГТУ. – Красноярск, 2005. – 21 с.
101. Екологічний атлас Львівщини / [За ред. Б. М. Матолича]. – Львів, 2007. – 68 с.
102. Елагин И. Н. Атлас-определитель фенологических фаз растений / И. Н. Елагин, А. И. Лобанов. – М. : Наука, 1979. – 95 с.
103. Електронні карти [Електронний ресурс] / Національний атлас України. – Режим доступу : http://atlas.igu.org.ua/maps_elektron.html.
104. Ершов Д. В. ГИС-технология оценки пирогенных эмиссий углерода по данным Terra-Modis и государственного учета лесов / Д. В. Ершов, К. А. Ковганко, Е. Н. Соколова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6, № 2. – С. 365–372.
105. Ефименко В. М. Лесная пироэкология : практическое пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / В. М. Ефименко. – Гомель : ГГУ им. Ф.Скорины, 2009. – 90 с.

106. Жарикова М. В. Оценка пожарной опасности леса / М. В. Жарикова // Вестник ХНТУ. – 2010. – № 2 (38). – С. 207–211.
107. Жежкун І. М. Природно-зональні аспекти відновлення лісів в Україні / І. М. Жежкун // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К. : Вид-во НУБП України. – 2010. — Вип. 152, ч. 2. – С. 24–31.
108. Жицька Н. В. Вплив морфологічних особливостей та фракційного складу підстилок на ґрунтоутворення в листяних насадженнях / Н. В. Жицька // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя : ЗНУ, 2010. – Вип. 15, № 2. – С. 50–58.
109. Жмурко С. В. Сосна Банкаса (*Pinus Banksiana* Lamb.) в лісових культурах Західного і Малого Полісся України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Жмурко Сергій Васильович; Укр. держ. лісотехн. ун-т. — Львів, 2003. – 20 с.
110. Загальна характеристика лісів України [Електронний ресурс] // Державне агентство лісових ресурсів України : Офіційний вебсайт. – Режим доступу : http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867.
111. Загульська О. Ландшафтно-дистанційні дослідження: переваги, здобутки, перспективи / О. Загульська // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 31. – С. 277–284.
112. Заїка В. К. Діелектричні показники сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях / В. К. Заїка // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.1. – С. 12–15.
113. Зандерманн В. Природные смолы, скипидары, таловое масло (химия и технология / В. Зандерманн. – М. : Лесная промышленность, 1964. – 576 с.
114. Заставний Ф. Д. Географія України : у 2-х кн. / Ф. Д. Заставний. – Львів : Світ, 1994. – 472 с.
115. Захаревич А. В. Зажигание лесных горючих материалов одиночными, нагретыми до высоких температур частицами / А. В. Захаревич, Н. В. Барановський, В. И. Максимов // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2012. – Т. 21, № 4. – С. 13–16.
116. Захаревич А. В. Зажигание типичных лесных горючих материалов опада листовых пород локальным источником энергии / А. В. Захаревич, Н. В. Барановський, В. И. Максимов // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2012. – Т. 21, № 6. – С. 23–28.

117. Зеленський К. Математичне моделювання низинних лісових пожеж / К. Зеленський, В. Ліщина, Є. Ваврук // Вісник НУ "Львівська політехніка" : Серія "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – Львів, 2009. – № 638. – С. 95–98.

118. Зельдович Я. Б. Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблат, В. Б. Либровч, Г. М. Махвиладзе. — М. : Наука, 1980. – 478 с.

119. Зеров Д. К. Нарис розвитку рослинності на території Української РСР у четвертинному періоді на основі палеоботанічних досліджень / Д. К. Зеров // Ботан. журн. АН УРСР. – 1952. – Т. 9, № 4. – С. 5–19.

120. Зефиоров С. Н. О некоторых проблемах эффективности бюджетных расходов, выделенных на борьбу с лесными пожарами / С. Н. Зефиоров // Общество: политика, экономика, право. – 2011. – № 2. – С. 60–63.

121. Зібцев С. В. Аналіз особливостей лісопожежної обстановки та стану протипожежної охорони лісу в зонах радіаційного забруднення [Електронний ресурс] / С. В. Зібцев // Наукові доповіді НАУ. – 2006. – Вип. 4 (5). – Режим доступу : <http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/nd/2006-4/06zsvcb.pdf>.

122. Зібцев С. В. Проблема радіаційних лісових пожеж на землях, забруднених внаслідок аварії на ЧАЕС / С. В. Зібцев // Науковий вісник НАУ. – 2007. – Вип. 104. – С. 88–93.

123. Золотухина Л. П. Система оценки и снижения природной пожарной опасности южно-таежных лесов Восточной Сибири : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.13.01 / Золотухина Любовь Прокопьевна; СибГТУ. – Красноярск, 2007. – 22 с.

124. Иванников В. П. Справочник руководителя тушения пожара / В. П. Иванников, П. П. Ключ. – М. : Стройиздат, 1987. – 288 с.

125. Иванов В. К. Радиолокационное зондирование лесов много-частотными РБО / В. К. Иванов, С. Е. Яцевич // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов : Сб. научн. статей. – М. : ООО «Азбука-2000», 2007. – Вых. 4, Т. II. – С. 226–235.

126. Индивидуально-ориентированное моделирование продуктивности и циклов элементов в лесных экосистемах, объединяющее популяционный и балансовый подходы / Комаров А. С., Чертов О. Г., Михайлов А. В. [и др.] // МКО-10. – 2002. – С. 95–111.

127. Іваницький С. М. Особливості ведення лісового господарства у західних районах Полісся і Лісостепу : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Іваницький Степан Миколайович; Укр. держ. лісо-техн. ун-т. – Львів, 2004. – 19 с.

128. Кабачинська С. Немає диму без вогню [Про пожежу в сховищі боєприпасів поблизу с. Цвітоха Славут. р-ну] [Електронний ресурс] / Світлана Кабачинська // Дзеркало тижня, 14 травня. – 2005. – № 18. – Режим доступу : <http://dt.ua/articles/43376>.

129. Калиновський А. Я. Моделювання поширення ландшафтної пожежі з урахуванням флуктуацій вітру і вологості пального матеріалу / А. Я. Калиновський, О. П. Сознік // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2005. – № 6. – С. 25–29.

130. Карпачевский Л. О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л. О. Карпачевский. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.

131. Карписонова Р. А. Травянистые растения широколиственных лесов СССР : Эколого-флористическая и интродукционная характеристика / Р. А. Карписонова. – М. : Наука, 1985. – 205 с.

132. Карсаева М. А. Физиологическая оценка устойчивости лиственницы сибирской в Среднем Поволжье / М. А. Карсаева, В. Н. Карасев, А. А. Маторкин // Хвойные бореальной зоны. – 2003. – Вып.1. – С. 27–35.

133. Карти Google [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://maps.google.com.ua>.

134. Касперов Г. И. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений / Г. И. Касперов, П. Н. Гоман // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 337–340.

135. Катаева Л. Ю. Влияние параметров слоя на распространение лесного пожара с учетом излучения от факела пламени [Електронний ресурс] / Л. Ю. Катаева, А. А. Крутов // Международный Форум «Информационные технологии в управлении», 23-25 апреля 2008. – Режим доступу:

http://www.government-nnov.ru/ data/objects/29534/kataeva_krutov.doc.

136. Кирильчук А. А. Дерново-карбонатні ґрунти (рендзини) Мало́го Полісся : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 11.00.05 / Кирильчук Андрій Андрійович; Львівський нац. ун-т ім. І. Франка. – Львів, 2001. – 15 с.

137. Кирильчук А. Трансформаційні процеси мінеральної частини рендзинів Малоого Полісся / А. Кирильчук // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 30. – С. 131–134.

138. Кичиліюк О. В. Лісівничі особливості вирощування культур сосни звичайної в умовах Волинського Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Кичиліюк Олександр Володимирович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2007. – 19 с.

139. Клименко В. Г. Гідрологія України : навч. посібник для студентів-географів / В. Г. Клименко. – Х. : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 124 с.

140. Клименко М. О. Екологічний стан басейну ріки Західний Буг / М. О. Клименко, Н. М. Вознюк // Вісник КНУ ім. М. Остроградського. – 2011. – Вип. 1 (66), Ч. 1. – С. 127–129.

141. Кобец Е. В. Рекомендации по защите хвойных пород от корневой губки в лесах европейской части России / Е. В. Кобец. – Пушкино : ВНИИЛМ 2001. – 12 с.

142. Кожевников А. В. Весна и осень в жизни растений / А. В. Кожевников. – М. : Изд-во МОИП, 1950. – 238 с.

143. Козак І. І. Екологічна лісова комп'ютерна модель FORKOME / І. І. Козак, В. І. Парпан. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ, 2006. – 207 с.

144. Козак І. Проблеми і перспективи імітаційного моделювання в екології / І. Козак // Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. – 2004. – Вип. 31. – С. 132–138.

145. Кондратьев К. Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К. Я. Кондратьев, З. И. Пивоварова, М. П. Федорова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1978. – 170 с.

146. Конев Э. В. О физических основах контроля пожарной опасности в лесу по условиям увлажнения / Э. В. Конев // Лесной журнал. – Архангельск, 1989. – № 5. – С. 17–23.

147. Конев Э. В. Физические основы горения лесных горючих материалов / Э. В. Конев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 239 с.

148. Константинов А. В. Пожароустойчивость сосняков Низменного Заволжья / А. В. Константинов, В. В. Фуряев // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 29–31.

149. Копій Л. І. Вікова структура лісів та перспективи її регулювання в межах західного регіону України / Л. І. Копій // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць.. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 14.6. – С. 7–15.

150. Копій Л. І. Оптимізація лісистості західного регіону України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.03 / Копій Леонід Іванович; Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Львів, 2003. – 32 с.

151. Копій Л. І. Основні причини зменшення лісистості ландшафтів Львівщини / Л. І. Копій // Лісівнича академія наук України : наукові праці. – 2002. – Вип. 1. – С. 51–54.

152. Копій С. Л. Особливості природного відтворення корінних деревостанів у грабових дібровах західного регіону України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Копій Сергій Леонідович; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2010. – 20 с.

153. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Асс. "Пожнаука", 2004. – Ч. 1. – 713 с.

154. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Асс. "Пожнаука", 2004. – Ч. 2. – 774 с.

155. Костиця М. Дослідник Волині і Галичини Готфрид Оссовський / Микола Костиця // Історія української географії : Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2005. – Вип. 1 (11). – С. 27–30.

156. Кравчук Р. М. Морфометричні параметри крон чорновільхових деревостанів на Малому Поліссі / Р. М. Кравчук, В. В. Лавний // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.5. – С. 18–26.

157. Кравчук Р. М. Особливості формування чорновільхових лісостанів в умовах Малого Полісся України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Кравчук Ростислав Миколайович; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2010. – 20 с.

158. Кравчук Р. М. Поширення, ріст та продуктивність чорновільхових деревостанів на Малому Поліссі України / Р. М. Кравчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2009. – Вип. 19.8. – С. 56–62.

159. Краснов В. П. Атлас рослин-індикаторів і типів лісорослинних умов Українського Полісся / В. П. Краснов, О. О. Орлов, М. М. Ведмідь. – Новоград-Волинський : НОВОград, 2009. – 488 с.

160. Краткое техническое руководство по созданию лесных культур на концентрированных вырубках / [И. С. Мелехов, С. Н. Ануриев, А. В. Патранин и др.]. – М.-Л. : Гослесбумиздат, 1961. – 35 с.

161. Кречетов И. В. Сушка древесины / И. В. Кречетов. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 432 с.

162. Криницький Г. Т. Відтворення корінних деревостанів у грабово - соснових судібровах природним шляхом / Г. Т. Криницький, О. Г. Криницька, В. Г. Мазепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К. : Вид-во НУБІП України. – 2010. – Вип. 152, Ч. 2. – С. 139–146.

163. Криницький Г. Т. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці / Г. Т. Криницький, В. П. Галушка // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2005. – Вип. 15.2. – С. 8–13.

164. Криницький Г. Т. Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин / Г. Т. Криницький // Лісове госп-во, лісова, паперова і д/о пром-сть. – Львів : Світ. – 1992. – Вип. 23. – С. 3–10.

165. Кузик А. Д. Аналіз зон обслуговування пожежно-рятувальних частин за діаграмами Вороного / А. Д. Кузик, О. О. Карабін, О. М. Трусевич // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2008. – № 13. – С. 73–78.

166. Кузик А. Д. Вплив метеорологічних чинників на ксерофілізацію лісового середовища та виникнення пожеж / А. Д. Кузик, В. П. Кучерявий // Лісівництво і агролісомеліорація : зб. наук. праць УкрНДЛГА. – Х. : УкрНДЛГА. – 2009. – Вип. 116. – С. 238–244.

167. Кузик А. Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.7. – С. 19–26.

168. Кузик А. Д. Вплив низової пожежі на сосну звичайну / А. Д. Кузик // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, Львів, 29 – 30 листопада 2012 р. – Львів : ЛДУ БЖД, 2012. – С. 36–39.

169. Кузик А. Д. Вплив радіальних і латеральних потоків на пожежонебезпечні властивості лісового середовища / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.16. – С. 116–124.

170. Кузик А. Д. Деякі питання випробування на займистість лісової підстилки та опадів / А. Д. Кузик // Техногенна безпека : теорія, практика, інновації : зб. тез міжнародної науково-практичної конференції. – Львів : ЛДУ БЖД, 2008. – С. 88–91.

171. Кузик А. Д. Динамічна модель пожежонебезпечного стану лісу на рівнині / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2011. – № 18. – С. 92–100.

172. Кузик А. Д. Діяльність державних і міжнародних організацій у сфері захисту лісів, ландшафтного біорізноманіття та довкілля / А. Д. Кузик, В. В. Попович // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2009. – № 14. – С. 91–97.

173. Кузик А. Д. Екологічні аспекти лісових пожеж / А. Д. Кузик // Проблеми екологічної безпеки та якості середовища : зб. тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, Львів, 17–18 грудня 2010 р. – Львів : ЛДУ БЖД, 2010. – С. 7–9.

174. Кузик А. Д. Еколого-лісівничі причини та наслідки пожежі в лісових масивах Херсонщини 2007 року / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.12. – С. 85–90.

175. Кузик А. Д. Еколого-просторові особливості середовища та їх вплив на пожежну безпеку лісів / А. Д. Кузик // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 3 (25). – 10 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_3/11kad.pdf.

176. Кузик А. Д. Експериментальні дослідження процесів висушування лісового горючого матеріалу / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 31–36.

177. Кузик А. Д. Залежність пожежної небезпеки лісових насаджень від локальних лісівничих показників / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.6. – С. 59–63.

178. Кузик А. Д. Значення кліматопів у пожежній безпеці лісів / А. Д. Кузик, В. П. Кучерявий // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.9. – С. 65–71.

179. Кузик А. Д. Значення узлісся у пожежній безпеці лісів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.7. – С. 67–74.

180. Кузик А. Д. Лісові пожежі та їх екологічні аспекти / А. Д. Кузик // Вісник ЛДУ БЖД : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – № 4, Ч. 1. – С. 124–128.

181. Кузик А. Д. Лісотипологічні засади пожежної безпеки лісів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.14. – С. 210–214.

182. Кузик А. Д. Математичне моделювання вологісного стану лісового горючого матеріалу для визначення пожежної небезпеки / А. Д. Кузик // Техногенна безпека : теорія, практика, інновації : зб. тез міжнародної науково-практичної конференції, Львів, 12–13 травня 2011 р. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – С. 106–108.

183. Кузик А. Д. Математичне моделювання інтенсивності теплового потоку від полум'я у формі похилого конуса / А. Д. Кузик, О. М. Трусевич // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2016. – № 28. – С. 73-80.

184. Кузик А. Д. Математичне моделювання процесів кондуктивного і радіаційного теплообміну під час пожежі в соснових лісах / А. Д. Кузик, В. І. Товарянський // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів: Вид-во ЛДУ БЖД.–№ 30. – С. 105-113.

185. Кузик А. Д. Методи знаходження оптимального місця розташування пожежних підрозділів / А. Д. Кузик, О. М. Трусевич, Т. Є. Рак // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів, 2006. – № 8. – С. 86–90.

186. Кузик А. Д. Мікрокліматичні параметри повітря поблизу вогню та їх вплив на висушування лісових горючих матеріалів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.15. – С.310–317.

187. Кузик А. Д. Моделювання пожежної небезпеки лісів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.16. – С. 104–112.

188. Кузик А. Д. Моделювання процесів займання лісової підстилки / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2007. – № 10. – С. 170-174.

189. Кузик А. Д. Моделювання процесу поширення лісової пожежі в умовах гірської місцевості / А. Д. Кузик, О. О. Карабин // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2005. – № 6. – С. 49–53.

190. Кузик А. Д. Моделювання теплового випромінювання від деяких малопотужних джерел / А. Д. Кузик // Науковий вісник УкрНДПБ : зб. наук. праць. – К. : УкрНДПБ. – 2008. - № 1(17). – С. 91–100.

191. Кузик А. Д. Особливості виникнення та поширення лісової пожежі / А. Д. Кузик, О. О. Карабин // Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині : наук. вісник. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 438–442.

192. Кузик А. Д. Оцінювання інтенсивності теплового потоку від поверхні полум'я / А. Д. Кузик, О. М. Трусевич, Т. М. Сало // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2015. – № 26. – С. 103-109.

193. Кузик А. Д. Оцінювання пожежної небезпеки лісів за умовами погоди / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.1. – С. 74-81.

194. Кузик А. Д. Підвищення точності визначення відносної вологості повітря психрометричним методом / А. Д. Кузик, В. О. Балицька, Л. І. Ярицька // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.11. – С. 126-129.

195. Кузик А. Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.4. – С. 214-218.

196. Кузик А. Д. Про взаємний вплив лісових пожеж та ґрунтів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.4. – С. 106-110.

197. Кузик А. Д. Про вибір місця розташування лісової пожежної станції / А. Д. Кузик, О. М. Трусевич, Т. Є. Рак // Природничі науки і їх застосування в службах цивільного захисту : матеріали міжнародної конференції. – Черкаси, 2006. – С. 34-35.

198. Кузик А. Д. Про дослідження територій Голопристанського району Херсонської області, постраждалих від лісових пожеж влітку 2007 року / А. Д. Кузик // Пожежна безпека – 2009 : зб. тез доповідей ІХ міжнародної науково-практичної конференції. – Львів : ЛДУ БЖД, 2009. – С. 266-267.

199. Кузик А. Д. Про залежність пожежної безпеки лісів України від типів лісових насаджень / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2006. – № 9. – С. 34-37.

200. Кузик А. Д. Про індекс пожежної небезпеки лісів / А. Д. Кузик // Проблеми прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій природного, природно-техногенного та техногенного походження : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, АР Крим, м. Ялта, 5-9 жовтня 2009 р. – К. : НПЦ "Екологія, наука, техніка", 2009. – С. 73-74.

201. Кузик А. Д. Про класи пожежної небезпеки лісів західної частини Малоого Полісся за умовами погоди / А. Д. Кузик // Пожежна безпека та аварійно-рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи (Пожежна безпека – 2005) : матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників. – К. : УкрНДПБ МНС України, 2005. – С. 106–109.

202. Кузик А. Д. Про лісовий горючий матеріал та вплив на його властивості радіальних та латеральних потоків / А. Д. Кузик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К. : Вид-во НУБП України. – 2009. – Вип. 135. – С. 117–122.

203. Кузик А. Д. Про методи гасіння лісових пожеж / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2003. – № 3. – С. 118–120.

204. Кузик А. Д. Про наслідки пожежі лісів Херсонщини та їх вплив на довкілля / А. Д. Кузик // Моніторинг навколишнього природного середовища : науково-методичне, нормативне, технічне, програмне забезпечення : матеріали 3-ї науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2008 р., АР Крим, м. Коктебель. – К. : НПЦ "Екологія наука техніка", 2008. – С. 66–67.

205. Кузик А. Д. Про організацію протипожежної охорони лісів як складової частини системи охорони довкілля в умовах Українських Карпат / А. Д. Кузик // Науковий потенціал світу '2004 : матеріали першої науково-практичної конференції. – Т. 6. Екологія. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 46–47.

206. Кузик А. Д. Про підвищення рівня пожежної безпеки лісових насаджень / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.6. — С. 38–42.

207. Кузик А. Д. Про повноту й густоту деревостану та уточнені методи їх визначення / А. Д. Кузик // Збірник наукових праць УкрНДЛГА: Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. УкрНДЛГА, 2010. – Вип. 117. – С. 187–191.

208. Кузик А. Д. Про пожежну безпеку лісів на територіях заповідників Українських Карпат / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2006. – № 8. – С. 81–86.

209. Кузик А. Д. Про пожежну небезпеку лісів Малоого Полісся / А. Д. Кузик // Символ дерева у світовій культурі та художній творчості : науковий вісник. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2006. – Вип. 16.4. – С. 234–238.

210. Кузик А. Д. Про пожежну небезпеку мішаних лісів Малого Полісся / А. Д. Кузик // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2006. – Вип. 32. – С. 105–109.

211. Кузик А. Д. Про причини та наслідки пожежі в лісових масивах Херсонщини / А. Д. Кузик, В. П. Кучерявий, В. В. Попович // Організація управління в надзвичайних ситуаціях : матеріали 10-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції, 1–2 жовтня 2008 р. – К. : ІДУЦЗ УЦЗУ, 2008. – С. 218–225.

212. Кузик А. Д. Про уточнену методіку оцінювання природної пожежної небезпеки лісів / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.12. – С. 69–73.

213. Кузик А. Д. Проблеми займання лісової підстилки та його моделювання / А. Д. Кузик, В. П. Кучерявий // Ресурси природних вод Карпатського регіону : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів : ЦНТІ, 2007. – С. 226–230.

214. Кузик А. Д. Рослини наземного яруса як фактор пожежної небезпеки лісових насаджень різних типів лісорослинних умов / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.7. – С. 109–115.

215. Кузик А. Д. Сучасні методи виявлення лісових пожеж / А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2004. – № 4. – С. 108–111.

216. Кузик А. Д. Теоретичні методи визначення точки роси та пожежної небезпеки лісів за умовами погоди / А. Д. Кузик // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К. : Вид-во НУБІП України. – 2010. – Вип. 147. – С. 129–137.

217. Кузик А. Д. Типи лісу та їх пожежна небезпека / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.8. – С. 78–86.

218. Кузик А. Д. Умови та способи переходу низової пожежі у верхову / А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.13. – С. 103–108.

219. Кузнецов Г. В. Оценка условий загорания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения [Електронний ресурс] / Г. В. Кузнецов, Н. В. Барановский // Технологии техносферной безопасности : Интернет-журнал. – 2011. – Вып. 4 (38) – С. 1–9. – Режим доступа : <http://ipb.mos.ru/tfb>.

220. Кузык А. Д. Математическое моделирование распространения лесного пожара с учетом ветра и рельефа / А. Д. Кузык, О. А. Карабын // *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza : Kwartalnik CNBOP-PIB. – Józefów : Wydawnictwo CNBOP-PIB. – 2013. – Vol. 31, Iss. 4. – S. 107-113.*

221. Кузык А. Д. Моделирование процессов теплового излучения с поверхности пламени конической формы на горизонтально расположенную поверхность / А. Д. Кузык // *Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций : тезисы докладов Международной научно-практической конференции, г. Минск, 2–3 октября 2008 г. – Минск : КИИ МЧС Республики Беларусь, 2008. – С. 402–404.*

222. Кузык А. Д. Распространение лесного пожара по наклонной плоскости / А. Д. Кузык, Е. М. Гулида, О. О. Карабын, О. О. Смотров // *Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : материалы XIX научно-практической конференции. – М. : ВНИИПО, 2005. – С. 90–92.*

223. Кузык А. Д. Факторы совершенствования противопожарной защиты лесов / А. Д. Кузык // *Чрезвычайные ситуации : теория, практика, инновации : материалы докладов международной научно-практической конференции. – Гомель, 2006. – С. 200–202.*

224. Кулешов А. А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии / А. А. Кулешов // *Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003. – № 4. – С. 56–70.*

225. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов / Н. П. Курбатский // *Вопросы лесной пирологии : сб. ст. – Красноярск : Институт леса и древесины СОАН СССР, 1970. – С. 5–58.*

226. Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам / Н. П. Курбатский // *Лесные пожары и борьба с ними. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 5–30.*

227. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров / Н. П. Курбатский. – М. : Гослесбумиздат, 1962. – 154 с.

228. Курбатский Н. П. Шкалы пожарной опасности для лесов Средней Сибири и Забайкалья / Н. П. Курбатский // *Лесные пожары и борьба с ними. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 108–113.*

229. Курдюкова О. М. Формування бур'янистого покриву згарищ полежахисних лісонасаджень Донбасу / О. М. Курдюкова, М. А. Сич // *Вісник ЛНУ імені Тараса Шевченка. – 2010. – № 15 (202), том 2, – С. 73–76.*

230. Кухлинг Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг. – М. : Мир, 1980. – 520 с.
231. Кучерявий В. П. Загальна екологія : навч. посібник / В. П. Кучерявий – Львів : Світ, 2010. – 520 с.
232. Кучерявий В. П. Фітомеліорація / В. П. Кучерявий. – Львів : Світ, 2003. – 540 с.
233. Лавний В. В. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід / В. В. Лавний, Г. Т. Криницький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.17. – С. 86–90.
234. Лавний В. В. Історія лісівничих досліджень у Малому Поліссі / В. В. Лавний, Р. М. Кравчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2008. – Вип. 18.3. – С. 58–62.
235. Лакида П. І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України / П. І. Лакида // Науковий вісник УкрДЛТУ України : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.5. – С. 140–143.
236. Лакида П. І. Еколого-енергетичний потенціал м'якодервинних листяних лісів Українського Полісся / П. І. Лакида, Л. М. Матушевич, Р. Д. Василишин // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 7. – С. 77–80.
237. Лакида П. І. Оцінювання якісних параметрів компонентів фітомаси журавлини на території Черемського природного заповідника / П. І. Лакида, Л. Ф. Назарук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 80–85.
238. Лакида П. І. Оцінювання якісних параметрів компонентів фітомаси журавлини на території Черемського природного заповідника / П. І. Лакида, Л. Ф. Назарук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 80–85.
239. Лакида П. І. Фітомаса березових лісостанів Українського Полісся : монографія / П. І. Лакида, Л. М. Матушевич. – К. : ННЦ ІАЕ, 2006. – 228 с.
240. Лакида П. І. Фітомаса лісів України : монографія / П. І. Лакида. – Тернопіль : Збруч, 2002. – 256 с.
241. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высшая школа, 1990. – 352 с.
242. Лашенко А. Г. Продуктивність, фітомаса та депонований вуглець штучних дубових деревостанів Поділля : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Лашенко Андрій Григорович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2004. – 19 с.

243. Ліси Львівщини [Електронний ресурс] / Львівське обласне управління лісового та мисливського господарства. – Режим доступу : http://www.lvivlis.gov.ua/uk/Lviv_forests/.

244. Лісові пожежі у 2005 році [Електронний ресурс] : експрес-доповідь. – 2005. – № 357. – Режим доступу : <http://ukrstat.kmu.gov.ua/statistics/wsite/niistat/express/expr2005/1205/357.doc>.

245. Ліщина В. О. Математичне моделювання верхових лісових пожеж / В.О.Ліщина // Комп'ютерно-інтегровані технології : освіта, наука, виробництво : міжвузівський збірник. – Луцьк, 2011. – Вип. 4. – С. 59–65.

246. Лук'янчук Н. Г. Піднаметове трав'яне вкриття культур фітоценозів заходу України та підвищення його декоративності : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Лук'янчук Неля Георгіївна; Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Львів, 2003. – 18 с.

247. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.

248. Ляшенко Е. Н. Анализ пожарной опасности сосновых насаждений в зоне Нижнеднепровских песков – самой большой пустыни в Европе / Е. Н. Ляшенко // ААЕКС. – 2009. – № 2. – С. 94–98.

249. Мажула О. С. Особливості формування смоляних каналів у видів роду *pinus* / О. С. Мажула // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2006. – Вип. 30. – С. 97–104.

250. Мазепа В. Г. Лісотипологічна оцінка клімату рівнинної частини Заходу України / В. Г. Мазепа, І. П. Тереля // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2006. – Вип. 30. – С. 104–107.

251. Мазепа В. Г. Репродуктивні особливості соснових насаджень Малоого Полісся в умовах хронічного забруднення атмосфери / В. Г. Мазепа, Ю. С. Веремчук // Наукові праці Лісівничої академії наук України. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 6. – С. 82–84.

252. Мазепа В. Г. Стан соснових насаджень Малоого Полісся в зоні впливу Добротвірської ТЕС / В. Г. Мазепа // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2008. – Вип. 112. – С. 225–231.

253. Мазуркин П. М. Распределение фитомассы травы и деревьев в лесном фитоценозе / П. М. Мазуркин, С. И. Михайлова // Современные проблемы науки и образования : Научн. журнал. – 2009. – № 4. – С. 26–37.

254. Мале Полісся – проєктований національний природний парк України (Хмельницька область) / [Під. ред. д.б.н., проф. Т. Л. Андрієнко]. — Кам'янець-Подільський : ПП Мошинський, 2007. — 40 с.
255. Маринич А. М. Геоморфологія Южного Полісся / А. М. Маринич. — К. : Изд-во Київського ун-та, 1963. — 252 с.
256. Маринич А. М. Природа Української ССР. Ландшафти і фізико-географічне районування / А. М. Маринич, В. М. Пашенко, П. Г. Шищенко. — К. : Наукова думка, 1985. — 224 с.
257. Маринич О. М. Українське Полісся / О. М. Маринич. — К. : Радянська школа, 1962. — 163 с.
258. Масягіна О. В. Влияние пожаров на интенсивность дыхания ствола сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) / О. В. Масягіна, С. Г. Прокушкин, Г. А. Иванова // Хвойные бореальной зоны. — 2007. — Т. XXIV, № 1. — С. 82–91.
259. Матвеев А. М. Исследование связи влажности лесной подстилки с полнотой её выгорания в лиственничниках мерзлотной зоны / А. М. Матвеев, Т. А. Матвеева // Хвойные бореальной зоны. — 2007. — Т. XXIV, № 4-5. — С. 378–381.
260. Математическая модель для выбора вариантов решений по расстановке пожарных подразделений при ликвидации лесных пожаров [Електронний ресурс] / А. О. Семенов, В. А. Смирнов, Д. В. Тараканов [и др.] // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2011. — Вып. 3 (37). — С. 1–6. — Режим доступа : <http://ipb.mos.ru/ttb>.
261. Математична модель поширення лісової пожежі з урахуванням конвективного теплообміну / Гуліда Е. М., Карабин О. О., Смирн О. О. [та ін.] // Пожежна безпека : зб. наук. праць. — 2005. — № 7. — С. 48–53.
262. Матеріали будівельні. Метод випробувань на займистість : ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96). — К. : Держбуд України, 1997. — 22 с. — (Національний стандарт України).
263. Матеріали будівельні. Метод випробувань на поширення полум'я : ДСТУ Б В.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97). — К. : Держбуд України, 1998. — 11 с. — (Національний стандарт України).
264. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість : ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94). — К. : Держбуд України, 1996. — 33 с. — (Національний стандарт України).
265. Маторкин А. А. Комплексная экспресс – диагностика физиологического состояния *pinus silvestris* L. при формировании семенных участков и плантаций / А. А. Маторкин, В. Н. Карасев, М. А. Карасева // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — Т. XXVIII, № 1-2. — С. 78–82.

266. Маторкин А. А. Совершенствование методов отбора деревьев хвойных пород при формировании насаждений : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Маторкин Алексей Алексеевич; Марийский гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2009. – 22 с.

267. Международный семинар проекта "ТехИнЛес", г. Боярка, 4-5 ноября 2010 г. [Электронный ресурс] / ВО "Укрдержліспроект". – Режим доступу :

<http://www.lisproekt.gov.ua/modules.php?name=News&file=article&sid=66>.

268. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес / И. С. Мелехов. – М.-Л. : Государственное лесотехническое издательство, 1948. – 126 с.

269. Мелехов И. С. Лесная пирология : учебное пособие / И. С. Мелехов, С. И. Душа-Гудым, Е. П. Сергеева. – М. : Изд-во Московского лесотехнического института, 1982. – Вып. 4. – 67 с.

270. Мелехов И. С. Лесная пирология : учебное пособие / И. С. Мелехов. – Вып. 5. – М. : Изд-во Московского лесотехнического института, 1983. – 59 с.

271. Мелехов И. С. Лесные пожары и борьба с ними / И. С. Мелехов. – Архангельськ : Северное краевое изд-во, 1935. – 80 с.

272. Мелехов И. С. О теоретических основах лесной пирологии / И. С. Мелехов. – Архангельськ : Изд-во Архангельского лесотехнического института, 1944. – 19 с.

273. Мелехов И. С. Очерк развития науки о лесе в России / И. С. Мелехов. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 207 с.

274. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары / И. С. Мелехов. – Архангельськ : ОГИЗ, 1947. – 58 с.

275. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды [Электронный ресурс]. – Хабаровск, 1998. – Режим доступу : <http://method.hydromet.ru>.

276. Методики описания лесных территорий в целях обеспечения эффективного дешифрирования спутниковой информации РСА / [Л. М. Атрошенко, В. Н. Горобец, Н. Н. Горобец и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5, № 2. – С. 257–264.

277. Мешкова В. Л. Вплив лісогосподарської діяльності на поширення осередків стовбурових шкідників / В. Л. Мешкова // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий наук-техн. зб. – Львів : НЛТУ України. – 2006. – Вип. 31. – С. 228–238.

278. Мешкова В. Л. Соснові лубоїди як індикатори наслідків лісових пожеж у соснових насадженнях Херсонської області / В. Л. Мешкова, С. В. Назаренко // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2009. – Вип. 116. – С. 36–44.

279. Мигунова Е. С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение) / Е. С. Мигунова. – Х. : Изд-во "Майдан", 2001. – 612 с.

280. Миклуш С. І. Загальна фітомаса рівнинних букових насаджень України / С. І. Миклуш, Ю. С. Миклуш // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.4. – С. 16–21.

281. Миклуш С. І. Продуктивність рівнинних букових лісів та особливості організації сталого господарства в них : автореф. дис. ... д-ра. с.-г. наук : 06.03.02 / Миклуш Степан Іванович; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К., 2009. – 37 с.

282. Миронов В. А. Основы построения интеллектуальных информационных систем для прогнозирования, предупреждения и ликвидации торфяных пожаров : монография / В. А. Миронов, Б. В. Палюх, А. Н. Ветров. – Тверь : ТГТУ, 2004. – 104 с.

283. Михайлюк В. М. Лісівничі особливості насаджень за участю хвойних інтродуцентів Західного Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Михайлик Василь Михайлович; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2009. – 20 с.

284. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських населених пунктів: ДБН 360-92 : № 44, 17.04.1992. – К., Держкоммістобудування України, 1992. – 142 с. – (Нормативний документ Держкоммістобудування України. Наказ).

285. Мовчан М. М. Сучасні методи відновлення рослинного світу. Аналітичний огляд / М. М. Мовчан // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету : наук.-теорет. зб. – 2010. – №1 (26). – С. 196–204.

286. Мокрий В. І. Інформаційні технології моніторингу екосистем Шацького національного природного парку / В. І. Мокрий, В. П. Кучерявий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2006. – № 5. – С. 136–139.

287. Морозов Г. Ф. Учение о лесе / Г. Ф. Морозов. – М.-Л. : Государственное издательство, 1933. – 440 с.

288. Мотошков О. В. Розподіл підросту сосни на стихійних зга-рищах за віком і станом / О. В. Мотошков // Лісівництво і агролісоме-ліорація. – Х. : УкрНДІЛГА, 2008. – Вип. 114. – С. 97–105.

289. Мякохліб Р. С. Розрахунок тепловологістного стану дере-вини в процесі сушіння на стадії прогрівання / Р. С. Мякохліб // Ком-мунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. – 2008. – № 84. – С. 88–102.

290. Мякушко В. К. Сосновые леса равнинной части УССР / В. К. Мякушко. – К. : Наукова думка, 1978. – 256 с.

291. На Львівщині пожежа знищила 6 гектарів хвойного лісу [Електронний ресурс] // Форпост : незалежне Інтернет-видання, 31.03.2008. – 2008. – Режим доступу : <http://4post.com.ua/criminal/85881.html>.

292. Наукові аспекти створення радіометру для вимірювання по-тужних опроміненостей / Вас. В. Ковалишин, С. П. Фуртак, А. С. Лин [та ін.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2007. – № 1 (15). – С. 91–97.

293. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2007 р. [Електронний ресурс] / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. – 2007. – 301 с. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua>.

294. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році [Електронний ресурс] / МНС України. Офіційний сайт. – Режим доступу : http://mns.gov.ua/annual_report/2008/content_1.ua.php?m=B5&PHPSESSID=d36e4f4b402f4c38f84f780a63ff82a1.

295. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] // МНС України. Офіційний сайт. — Режим доступу : http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.

296. Нейштадт М. И. Растительность и ареалы раннеолитиче-ских культур на территории Европейской части СССР в климатиче-ском оптимуме голоцена / Ми. И. Нейштадт, Н. А. Хотинский, Д. А. Крайнов // Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. Ат-лас-монография. – М. : Наука, 1982. – С. 121–123.

297. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения / В. Г. Нестеров. – М. : Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.

298. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Ни-китин, А. В. Оболенская, В. П. Щеголев. – М. : Лесная промышлен-ность, 1978. – 368 с.

299. Нордстрем Б. Лесные пожары / Б. Нордстрем. – М. : Сельколхозгиз, 1931. – 96 с.
300. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. – К. : Урожай, 1987. – 559 с.
301. О влиянии ветра и крутизны склона на распространение кромки лесного пожара / Э. В. Конев, А. В. Василенко, В. И. Ковалев [и др.] // Лесной журнал. – Архангельск, 1989. – № 1. – С. 24–27.
302. Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах по условиям погоды : № 287, 5.07.2011 / Федеральное агентство лесного хозяйства. – М., 2011. – 5 с. (Нормативный документ Рослесхоза. Приказ).
303. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения / [Ю. А. Абрамов, В. А. Комяк, В. М. Комяк та ін.]. – Х. : АГЗ України, 2004. – 145 с.
304. Овчинников Ф. М. Лесопожарная статистика и методы ее анализа / Ф. М. Овчинников, Л. А. Липина, А. П. Латынцев // Охрана лесов от пожаров, лесовосстановление и лесопользование: сб. ст. – Красноярск, 2006. – С. 129–145.
305. Озарків І. М. Метод розрахунку тривалості низькотемпературного процесу сушіння деревини / І. М. Озарків // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2006. – Вип. 16.1. – С. 181–184.
306. Оленчук Я. С. Грунти Львівської області / Я. С. Оленчук, А. Г. Николин. – Львів: Каменяр, 1969. – 84 с.
307. Ониськів М. І. Піднаметові культури як фітомеліорація і реконструкція малоцінних лісових насаджень / М. І. Ониськів, М. В. Сбитна // Лісівнича академія наук України : наукові праці. – 2004. – Вип. 3. – С. 66–69.
308. Онищенко В. М. Стан та продуктивність штучних насаджень сосни звичайної, створених на староорних землях Центрального Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Онищенко Володимир Михайлович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2004. – 20 с.
309. Особенности радиолокационных контрастов лесонасаждений / [Л. М. Атрошенко, К. П. Гайкович, Н. Н. Горобец и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5, № 2. – С. 251–256.
310. Остапенко Б. В. Методический и практический уровень лесоводственной типологии. Лекция 3 / Б. Ф. Остапенко. – Х. : Изд-во Харьковского сельскохозяйственного ин-та им. В. В. Докучаева, 1978. – 67 с.

311. Остапенко Б. Ф. Типи лісу рівнинної території України / Б. Ф. Остапенко // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.3. – С. 27–42.

312. Остапенко Б. Ф. Лісова типологія : навч. посібник / Б. Ф. Остапенко, В. П. Ткач. – Х. : Вид-во ХДАУ, 2002. – 204 с.

313. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. ГОСТ 17.6.1.01–83. – М. : Госстандарт СССР, 1983. – 6 с. – (Національний стандарт України).

314. Панчишин А. О. Порівняльний аналіз методів визначення кількості пожежно-рятувальних частин / А. О. Панчишин, І. М. Дідух // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2008. – № 12. – С. 51–55.

315. Парпан В. И. Опад, лесная подстилка и биокруговорот химических элементов в культурных лесных биогеоценозах Малого Полесья УССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Парпан Василий Иванович; Днепропетровский гос. ун-т. – Днепропетровск, 1977. – 21 с.

316. Пастернак В. П. Біопродуктивність лісів північного сходу України в контексті змін клімату : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.03 / Пастернак Володимир Петрович; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К., 2011. – 41 с.

317. Перельгин Л. М. Древесиноведение / Л. М. Перельгин. – М.-Л. : Гослесбумиздат, 1949. – 375 с.

318. Перминов В. А. Численное решение задачи о возникновении верхового лесного пожара в трехмерной постановке / В. А. Перминов // Вестник Томского государственного университета. Серия Математика и механика. – 2009. – № 1 (6). – С. 41–48.

319. Петрова Л. М. Біорізноманіття лісів Малого Полісся: фрагментація / Л. М. Петрова, С. В. Петров // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2008. – Вип. 18.7. – С. 97–104.

320. Петрова Л. М. Ліси високої природоохоронної цінності Малого Полісся: старовікові насадження / Л. М. Петрова, С. В. Петров // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2009. – Вип. 19.10. – С. 70–77.

321. Петрова Л. М. Ліси високої природоохоронної цінності Малого Полісся: рідкісні екосистеми / Л. М. Петрова, С. В. Петров // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.9. – С. 49–58.

322. Петрова Л. М. Лісові об'єкти природно-заповідного фонду Малого Полісся: структура та репрезентативність / Л. М. Петрова, С. В. Петров // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2010. – Вип. 20.12 – С. 18–26.

323. Петрова Л. М. Природнича репрезентативність об'єктів природно-заповідного фонду Жовківського держлісгоспу / Л. М. Петрова // Науковий вісник УкрДЛТУ : Дослідження, охорона та збагачення біорізноманіття : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 1999. – Вип. 9.9. – С. 184–193.

324. Петрова Л. М. Стан та оптимізація мережі лісових заповідних об'єктів Заходу України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.03 / Петрова Лілія Михайлівна; Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Львів, 2003. – 20 с.

325. Петрова Л. М. Структурне різноманіття лісів Малого Полісся / Петрова Л. М., Петров С. В., Пацура І. М. // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.8. – С. 80–87.

326. Пиджаков А. Ю. Применение авиации МЧС России при тушении лесных пожаров / А. Ю. Пиджаков, Ф. Н. Решецкий, О. В. Гаврилова // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2011. – №1. – С. 68–71.

327. Плугатар Ю. В. Лісові пожежі та лісгосподарські заходи з відновлення лісових формацій у гірському Криму / Ю. В. Плугатар, В. В. Папельбу // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. пр. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.12. – С. 28–34.

328. Погода в Украине в 29912 населённых пунктах [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rp5.ua>.

329. Погода в Україні й світі [Електронний ресурс] : Прогноз погоди від Meteorog.UA. – Режим доступу : <http://www.meteorog.ua>.

330. Погода и климат [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://pogoda.ru.net>.

331. Погребняк П. С. Основы лесной типологии / П. С. Погребняк. – К. : Изд-во АН УССР, 1959. – 455 с.

332. Подорожний С. М. Пірогенні сукцесії кримськососнових лісів південного макросхилу Головного пасма Кримських гір : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05 / Подорожний Сергій Миколайович; УААН. Держ. Никіт. ботан. сад. – Ялта, 1999. – 18 с.

333. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд. : в 2 книгах / [А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др.] – М., Химия, 1990. – кн. 1. – 496 с.

334. Пожары и их последствия в ленточных борах юга Сибири / Л. В. Буряк, О. П. Каленская, Е. И. Пономарев [и др.] // Хвойные боральной зоны. – 2007. – Т. XXIV, № 4-5. – С. 398–404.

335. Пожежонебезпека [Електронний ресурс] / Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля. – Режим доступу :

http://dzz.gov.ua/CPOSI/style/page_2/templer_page2_ua.php?id=4&table=ext_monitoring&tabl=archive_pozharoop&papka=pozharoop.

336. Поздняков И. Огонь подошел на 4 км к Нововоронежской АЭС, от жары отключился энергоблок [Електронний ресурс] / Иван Поздняков // Новые новости Infox.ru. – 4 августа 2010 г.. – Режим доступу:

http://www.infox.ru/accident/incident/2010/08/04/ZHara_privyela_k_otk.p.html.

337. Полевая геоботаника. Заложение экологических профилей и пробных площадей / Под ред. Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина. – Л. : Наука, 1964. – Т. 3. – 530 с.

338. Поляков Н. Е. Сравнительная оценка горимости лесов по различным вербально-числовым шкалам [Електронний ресурс] / Н. Е. Поляков, Д. И. Нартов, В. Н. Поляков // Сборник тезисов VII Международной научно-технической конференции "Лес-2006", Брянск, 1 мая - 1 июня 2006 г. – Режим доступу : <http://science-bsea.narod.ru/>.

339. Пономарев Е. И. Оценка рисков возникновения лесных пожаров в результате гроз на основе ГИС-ориентированной технологии / Е. И. Пономарёв // География и природные ресурсы : научный журнал. – 2011. – № 1. – С. 150–154.

340. Попов М. Сосняки на песчаных аренах Нижнеднепровья: история, проблемы, перспективы [Електронний ресурс] / М. Попов, Л. Полякова – 1997. – 25 с. – Режим доступу : <http://www.fmssc.com.ua>.

341. Порівняльна оцінка енергетичного запасу лісової підстилки хвойних та листяних типів фітоценозів / І. Г. Вишенська, Я. П. Дідух, А. А. Скіданова [та ін.] // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2009. – Т. 93. – С. 40–44.

342. Порохняч І. В. Пошкодження крон сосни лубоїдами у стінах лісу, що межують зі зрубом великого згарища / І. В. Порохняч // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2009. – Вип. 116. – С. 45–48.

343. Послепожарные изменения почв и особенности флоры гарей равнинных сосновых лесов Алтайского края / С. В. Макарычев, А. А. Малиновских, А. Г. Болотов [и др.] // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4-2. – С.107–110.

344. Природа Львівської області / За ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 1972. – 151 с.
345. Природа Рівненської області / За ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища школа, 1976. – 156 с.
346. Природа Тернопільської області / За ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вища школа, 1979. – 167 с.
347. Природа Хмельницької області / Под ред. К. И. Геренчука. – Львов : Вища школа, 1980. – 152 с.
348. Природні ресурси Львівщини / [Матолич Б. М., Ковальчук І. П., Іванов Є. А. [та ін.]]. – Львів : ПП Лукашук В. С., 2009. – 120 с.
349. Про затвердження Положення про лісові пожежні станції : 28.12.2005, № 526 / Державний комітет лісового господарства України. – К. : Офіційний вісник України, 2006. – № 4. – С. 82. – (Нормативний документ Державного комітету лісового господарства України. Наказ).
350. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : 24.03.2004, № 368 // Урядовий кур'єр. – К., 2004. – № 66. – (Нормативний документ КМ України. Постанова).
351. Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України / Державний комітет лісового господарства України : 27.12.2004, № 278 // Офіційний вісник України. – К., 2005. – № 13. – С. 321. – (Нормативний документ Державного комітету лісового господарства України. Наказ).
352. Про організацію ліквідації наслідків лісових пожеж в Херсонській області : № 580, 27.09.2007. – К. : Денржкомлісгосп України, 2007. – (Нормативний документ Держкомлісгоспу України. Наказ).
353. Прогноз пожежної небезпеки в лісах України [Електронний ресурс] / Державне агентство лісових ресурсів України : офіційний веб-сайт. – Режим доступу : http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=59944&cat_id=32888.
354. Прокофьев П. С. Пожарная безопасность на предприятиях лесозаготовительной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленности / П. С. Прокофьев. – М. : Лесная промышленность, 1969. – 392 с.
355. Прокушкин А.С. Влияние нагревания не органическое вещество лесных подстилок и почв в условиях эксперимента / А. С. Прокушкин, И. В. Токарева // Почвоведение. – 2007. – № 6. – С. 698–706.

356. Радченко С. И. Температурные градиенты среды и растения / С. И. Радченко. – М.- Л.: Наука, 1966. – 390 с.

357. Распознавание формаций лесной растительности с близкими спектрально-яркостными характеристиками по данным съемки со спутника LANDSAT 7 ETM+ / [Н. В. Гопп, Е. А. Куликова, И. А. Пестунов и др.] // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12, Спец. вып. 2. – С. 194–201.

358. Растения и животные: Руководство для натуралиста / К. Нидон, И. Петерман, П. Шеффель, Б. Шайба. – М. : Мир, 1991. – 263 с.

359. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров : 17.12.1997. – М. : Рослесхоз, 1997. – 64 с. – (Нормативный документ Рослесхоза. Рекомендации).

360. Рекомендації щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах [Електронний ресурс]. – К. : УкрНДІПБ, 2011. – 62 с. – Режим доступу : www.mns.gov.ua/files/2011/8/26/890.pdf.

361. Рибак В. О. Біоекологічні та лісівничі основи управління продукційним процесом в соснових ценозах Українського Полісся : автореф. дис. д-ра с.-г. наук : 06.03.03 / Рибак Василь Оксентійович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2004. – 34 с.

362. Рихтер И. Э. Лесная пирология с основами радиоэкологии : учебн. пособие / И. Э. Рихтер. – Минск : БГТУ, 1996. – 290 с.

363. Родин Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л. : Наука, 1967. – 143 с.

364. Руда О. М. Зміни температури повітря у місті Львові наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття / О. М. Руда // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.15. – С. 157–161.

365. Рутковский И. В. Электрофизиологический метод определения состояния древесных растений / И. В. Рутковский // Весник сель.-хоз. наук. – 1965. – № 4. – С. 35–38.

366. Рысин Л. П. Современные проблемы лесной типологии / Л. П. Рысин // Современные проблемы лесной типологии : Всесоюзная конференция : Тезисы докладов : Львов, 10-15 октября 1983 г. – Львов : Львовский лесотехнический институт, 1983. – С. 3-4.

367. Рябуха Е. В. Накопление лесной подстилки в насаждениях Украинского Полесья / Е. В. Рябуха // Лесоведение. – 1972. – № 1. – С. 26–30.

368. Рябчук В. П. До історії деревинознавчих досліджень в Україні / В. П. Рябчук, І. С. Вінтонів, І. П. Тереля // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.4. – С. 9–13.

369. Рязанова Т. В. Продукты переработки терпеноидов живицы / Т. В. Рязанова, Г. В. Тихомирова, И. С. Почекутов // Рос. хим журнал. – Т. XLVIII, № 3. – С. 95–107.

370. Савчук Т. В. Глобальне потепління та його можливий вплив на природно-ресурсний потенціал західного регіону України / Т. В. Савчук, А. М. Рокочинський, В. А. Волощук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.15. – С. 161–171.

371. Салтыков А. Н. Авторегуляция пространственно-возрастной структуры волны возобновления на горельниках / А. Н. Салтыков // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛПГА, 2008. – Вип. 114. – С. 90–96.

372. Салюк М. Валовий хімічний склад ґрунтів Малого Полісся / М. Салюк // Вісник Львів. ун-ту. Серія геогр. – 2008. – Вип. 35. – С. 306–317.

373. Самсоненко С. Д. Эколого-лесоводственные факторы пожароустойчивости лесных экосистем Верхне-Обского массива : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 03.00.16 / Сергей Дмитриевич Самсоненко; Ин-т леса им В. Н. Сукачева СО РАН. – Барнаул, 2009. – 25 с.

374. Сахарук Г. С. Моделювання показників компонентів фітомаси деревостанів Шацького НПП / Г. С. Сахарук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К. : Вид-во НУБП. – 2010. – № 147. – С. 258–266.

375. Сверлова Л. И. Усовершенствованный метод оценки состояния пожарной опасности в лесах по условиям погоды / Л. И. Сверлова. – Хабаровск, 1998. – 31 с.

376. Свинчук В. А. Особливості таксаційної будови, сортиментна і товарна структура штучних соснових лісостанів Західного та Центрального Полісся України : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Свинчук Віктор Адамович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2006. – 21 с.

377. Свириденко В. Є. Лісова пірологія : підручник / За ред. В. Є. Свириденка / В. Є. Свириденко, О. Г. Бабіч, А. Й. Швиденко. – К. : Агрпромвидав України, 1999. – 172 с.

378. Семиошина А. А. Межгодовые изменения климатических характеристик в лесном массиве (модельные оценки) / А. А. Семиошина, Е. Д. Надёжина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – Санкт-Петербург, 2008. – Вып. 558. – С. 85–101.

379. Сендзюк Р. В. Динаміка фітомаси та вуглецю в лісових насадженнях Полтавської області / Р. В. Сендзюк, П. І. Лакида // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.11. – С. 39–45.

380. Серебренников П. П. Лесные пожары и борьба с ними / П. П. Серебренников, В. В. Матренинский. – Л. : Гослестехиздат, 1937. – 184 с.

381. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 2002. – 128 с.

382. Скрильник Ю. Є. Вусач *Monochamus Galloprovincialis* (Olivier, 1795) у Харківській області / Ю. Є. Скрильник // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДІЛГА, 2008. – Вип. 114. – С. 177–181.

383. Смирнов В. В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР / В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1971. – 361 с.

384. Сныткин Г. В. Шкалы пожарной опасности для лесов Иркутской области / Г. В. Сныткин // Лесные пожары и борьба с ними. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 58–75.

385. Софронов М. А. Огонь в лесу / М. А. Софронов, А. Д. Вакуров. – Новосибирск : Наука, 1981. – 124 с.

386. Софронов М. А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов / М. А. Софронов, Т. М. Софронова, А. В. Волокитина // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 31–32.

387. Сочилова Е. Н. Методы создания карт запасов лесных горючих материалов низкого пространственного разрешения / Е. Н. Сочилова, Д. В. Ершов, Г. Н. Коровин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6, № 2. – С. 441–449.

388. Справочное пособие по пожарной тактике : учебное пособие / [П. Г. Демидов, Н. М. Евтюшкин, В. Д. Дедовских и др.]. – М.: Ред.-изд. отдел ВИПТШ МВД СССР, 1975. – 177 с.

389. Стан розробки елементів географічної інформаційної системи Шацького національного природного парку / В. В. Кошовий, Л. І. Муравський, О. Т. Олійник [та ін.] // Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки. Розділ II. Екологія. – 2009. – № 1. – С. 129–135.

390. Стародубцева Н. И. Мощность лесной подстилки в сосняках Джабык-Карагайского бора [Электронный ресурс] / Н. И. Стародубцева, Е. А. Жучков, А. С. Степанов // Материалы IV международной научной конференции Лес-2003. – Брянск, 2003. – Режим доступа : http://science-bsea.narod.ru/2003/les_2003/juhkov.htm.

391. Стасевич Л. Хвороби та комахи-фітофаги сосни звичайної у Західному регіоні України / Л. Стасевич, Я. Харамбура // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2003. – Вип. 33. – С. 42–46.

392. Статистичний щорічник Львівської області за 2008 рік. – Львів : Головне управління статистики у Львівській області, 2009. – Ч. 1. – 358 с.

393. Статистичний щорічник України за 2007 рік. – К. : Державний комітет статистики України, 2007. – 572 с.

394. Статистичний щорічник України за 2008 рік. – К. : Державний комітет статистики України, 2008. – 567 с.

395. Статистичний щорічник України за 2009 рік. – К. : Державний комітет статистики України, 2009. – 567 с.

396. Стельмахова Т. Ф. Створення стійких зелених насаджень в умовах атмосферного забруднення й високого рекреаційного навантаження / Т. Ф. Стельмахова // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2008. – Вип. 112. – С. 232–237.

397. Степень распространения горения по кровлям. Метод определения. – Стандарт СЭВ 5967-87. Утвержден Постоянной Комиссией по сортрудничеству в области стандартизации, Магдебург, июль 1987 г. – 7 с.

398. Сторожук В. Ф. Методичні вказівки до проведення польових робіт з інвентаризації лісів Поліського регіону України / В. Ф. Сторожук. – Ірпінь : Укрдержлісопроект, 2006. – 74 с.

399. Структура та технологія побудови географічної інформаційної системи для екологічного моніторингу / Л. Муравський, В. Кошовий, Л. Мельничок [та ін.] // Теоретична електротехніка. – 2010. – Вип. 61. – С. 99–108.

400. Субботин А. Н. Математическая модель распространения низового лесного пожара по подстилке или слою опада хвои / А. Н. Субботин // Пожарная безопасность. – 2008. – № 1. – С. 109–116.
401. Субботин А. Н. Математическое моделирование распространения низового лесного пожара по опадку хвои с противопожарными разрывами / А. Н. Субботин // Пожаровзрывобезопасность. – М., 2012. – Т. 21, № 8. – С. 20–25.
402. Сукачев В. Н. Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии / В. Н. Сукачев. – Л. : Наука, 1972. – 418 с.
403. Сукачев В. Н. Избранные труды. Т. 3. Проблемы фитоценологии / В. Н. Сукачев. – Л. : Наука, 1975. – 543 с.
404. Сукачев В. Растительные сообщества / В. Сукачев. – Л.-М. : Книга, 1928. – 232 с.
405. Тарасенко А. А. Модель динамики контура природного пожара под действием совместного влияния ландшафтно-метеорологических факторов / А. А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. – 2008. – Вып. 24. – С. 194–200.
406. Телицын Г. П. Последствия задымленности атмосферы крупными и массовыми лесными пожарами / Г. П. Телицын // Лесной журнал. – Архангельск, 1989. – № 6. – С. 37–41.
407. Тербнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности подразделений. – М. : Пожкнига, 2004. – 248 с.
408. Терлич В. Г. Аналіз кліматичних умов при лісовідновленні на згарищах у зоні Нижньодніпровських пісків / В. Г. Терлич, В. В. Шевчук // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДІЛГА, 2008. – Вип. 113. – С. 191–193.
409. Технология оценки компонентов углеродного баланса лесов Украины с использованием данных зондирования земли из космоса / [Л. М. Атрошенко, В. В. Богомолов, И. Ф. Букша и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009. – Т. 6, № 2. – С. 497–505.
410. Ткач В. П. Наукові аспекти вирішення проблеми відтворення лісів і сталого ведення лісового господарства / В. П. Ткач // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДІЛГА, 2010. – Вип. 117. – С. 16–20.
411. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство / М. Е. Ткаченко. – М.-Л. : Гослесбуиздат, 1955. – 599 с.

412. Ткачук В. І. Наукові основи підвищення продуктивності та стійкості соснових насаджень у Правобережному Поліссі України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.03 / Ткачук Володимир Ілліч; Укр. держ. лісотехн. ун-т. – Львів, 2005. – 37 с.

413. Товарянський В. І. Дослідження пожежі молодих соснових насаджень / В. І. Товарянський, А. Д. Кузик // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД. – 2016. – № 28. – С. 113-120.

414. Товарянський В. І. Оцінювання залежності пожежної небезпеки соснових молодників від віку / В. І. Товарянський, А. Д. Кузик // Науковий вісник НЛТУ України : зб. науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.5. – С. 220-227.

415. Топольский Н. Г. Противопожарная защита лесов России [Электронный ресурс] / Н. Г. Топольский, В. В. Белозеров, Н. С. Афанасьев // Технологии техносферной безопасности : Интернет-журнал. – 2010. – № 4. – С. 1–6. – Режим доступа : <http://ipb.mos.ru/ttb>.

416. Турубанова С. А. Экологический сценарий истории формирования живого покрова Европейской России и сопредельных территорий на основе реконструкции ареалов ключевых видов животных и растений : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Турубанова Светлана Афанасьевна; Пущинский гос. ун-т. – М., 2002. – 23 с.

417. У Волинській області сталася масштабна лісова пожежа [Електронний ресурс] / Офіційний сайт МНС України. – Режим доступу : www.mns.gov.ua/news/1163.html.

418. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б. Н. Уголев. – М. : Академия, 2006. – 272 с.

419. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс] / МНС України. – Режим доступу : <http://meteo.com.ua>.

420. Управління водними і земельними ресурсами на базі ІС-технологій : навч. посібник / В. В. Морозов, П. П. Надточій, Т. М. Мислива [та ін.]. – Херсон : Вид-во ХДУ, 2007. – 288 с.

421. Усцький І. М. Вплив пожеж на ліси та післяпожежний розвиток лісових формацій / І. М. Усцький, Ю. В. Плугатар, В. В. Папельбу // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЦЛГА, 2008. – Вип. 112. – С. 182–187.

422. Учора «надзвичайники» гасили лісові пожежі у п'яти районах Львівщини [Електронний ресурс] // Західна інформаційна корпорація. – Режим доступу : <http://zik.ua/ua/news/2009/04/28/178836>.

423. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / [Дж.-О.Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др.] – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

424. Федоров Н. И. Корневые гнили хвойных пород / Н. И. Федоров. – М. : Лесная промышленность, 1984. – 160 с.

425. Фильков А. И. Детерминировано-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности : автореф. дис. ... канд. ф.-м. наук : 03.00.16 / Александр Иванович Фильков; Томский гос. ун-т. – Томск, 2005. – 24 с.

426. Фіторізноманіття Українського Полісся та його охорона / Під заг. ред. Т. Л. Андрієнко. – К. : Фітосоціоцентр, 2006. – 316 с.

427. Фуряев В. В. Пирозкологические свойства сосны обыкновенной в Средней Сибири / В. В. Фуряев, Е. А. Фуряев // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – Т. XXV, № 1-2. – С.103–108.

428. Фуряев В. В. Шкалы пожарной опасности для лесов Забайкалья / В. В. Фуряев // Лесные пожары и борьба с ними. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 76–107.

429. Харачко Т. І. Ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karst.) у лісових насадженнях Малого Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01 / Харпачко Тарас Іванович; Нац. лісотехн. ун-т України. – Львів, 2010. – 20 с.

430. Ходаков В. Е. Применение когнитивного подхода для решения задачи поддержки принятия управленческих решений при ликвидации лесных пожаров / В. Е. Ходаков, М. В. Жарикова, Е. Н. Ляшенко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 1. – С. 131–137.

431. Цветков П. А. Влияние рекреации на природную пожарную опасность сосновых лесов заповедника "Столбы" / П. А. Цветков, А. С. Горбунов // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV, № 1. – С. 7–79.

432. Цветков П. А. Исследование природы пожаров в северной тайге Средней Сибири / П. А. Цветков // Хвойные бореальной зоны. – 2006. – Т. XXIII, № 2. – С. 186–195.

433. Цельникер Ю. Л. Радиационный режим под пологом леса / Ю. Л. Цельникер. – М. : Наука, 1969. – 100 с.

434. Цибарт А. С. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) / А. С. Цибарт, А. Н. Геннадиев // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 783–792.

435. Черных В. А. Оценка насаждений юго-западной части ленточных боров Алтая по степени пожароустойчивости / В. А. Черных, В. В. Фуряев, Л. П. Злобина // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 26–27.

436. Чернявський М. В. Функціональне зонування регіонального ландшафтного парку "Равське Розточчя" / М. В. Чернявський, Г. С. Савка // Заповідна справа і охорона природи : Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 241–252.

437. Швиденко А. З. Агрегированные модели фитомассы насаждений основных лесообразующих пород России // А. З. Швиденко, С. Нильссон, Д. Г. Щепашенко // Лесная таксация и лесоустройство. – 2001. – Вып. 1 (30). – С. 50–57.

438. Швиденко А. Й. Географія типів лісу України / А. Й. Швиденко, О. М. Данілова, І. Д. Бойко // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.3. – С. 159–164.

439. Швиденко А. Й. Лісівництво : Підручник / А. Й. Швиденко. – Чернівці : Рута, 2004. – 304 с.

440. Шевченко С. В. Грибные эпифитотии в хвойных лесах Запада Украинской ССР : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.11 / Шевченко Сергей Васильевич; Укр. сельхоз. академия. – К., 1974. – 37 с.

441. Шевчук В. В. Деякі аспекти вирощування сіянців сосни із закритою кореневою системою на Нижньодніпров'ї / В. В. Шевчук, В. Г. Терлич, В. В. Борисова // Лісівництво і агролісомеліорація. – Х. : УкрНДЛГА, 2008. – Вип. 114. – С. 295–297.

442. Шиханова Т. А. Роль различных компонентов в формировании лесной подстилки лиственно-хвойных насаждений [Електронний ресурс] / Т. А. Шиханова // 4-я Пущинская конференция молодых ученых. – Пущино, 2003. – Режим доступа : <http://www.bioscience.ru/Conference/Ys99/Tesis/Ecolog/Stend/Shihanova.html>.

443. Шукель І. В. Негативні екологічні ефекти рекреаційного освоєння прибережної смуги заповідного озера Біле / І. В. Шукель // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 179–188.

444. Шульц Г. Э. Общая фенология / Г. Э. Шульц. – Л. : Наука, 1981. – 188 с.

445. Щорічні національні доповіді про стан навколишнього природного середовища / Міністерство екології та природних ресурсів України. – Офіційний веб-сайт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/content/article/6004>.

446. Экспериментальное и теоретическое исследование сушки слоя лесных горючих материалов / А. М. Гришин, А. Н. Голованов, А. А. Долгов [и др.] // Известия Томского политехн. ун-та. – 2002. – Т. 305, Вып. 2. – С. 31–43.

447. Юглічек Л. С. Екологічна мережа Малоого Полісся / Л. С. Юглічек // Науковий вісник : Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині. – Львів : УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 14.8. – С. 96–100.

448. Юглічек Л. С. Історія ботанічних досліджень у східній частині Малоого Полісся / Л. С. Юглічек // Науковий вісник : Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 62–68.

449. Юглічек Л. С. Рослинність східної частини Малоого Полісся : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05 / Юглічек Лілія Степанівна; Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України. — К., 2003. — 19 с.

450. Юськевич Т. В. Характеристика каніфолі із живиці окремих інтродукованих видів хвойних / Т. В. Юськевич // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : Міжвідомчий наук.-техн. зб. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 29. – С. 65–69.

451. Юськевич Т. В. Характеристика скипидару із живиці деяких хвойних інтродуцентів / Т. В. Юськевич // Науковий вісник УкрДЛТУ. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.2. – С. 94–97.

452. Юхновський В. Ю. Наукові основи оптимізації лісоаграрних ландшафтів рівнинної частини України : автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.03.01; 06.03.02 / Юхновський Василь Юрійович; Нац. аграр. ун-т. – К., 2003. – 36 с.

453. Яворский Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М. : Наука, 1968. – 939 с.

454. Яницкий О. Н. Пожары 2010 г. в России : экосоциологический анализ / Яницкий О. Н. // Социологические исследования. – 2011. – № 3. – С. 4–12.

455. 2007 Greek forest fires [Електронний ресурс] / Wikipedia — Режим доступу : – http://en.wikipedia.org/wiki/2007_Greek_forest_fires.

456. A new approach to modeling tree rainfall interception / Q. Xiao, E. G. McPherson, S. L. Ustin [et al.] // Journal of geophysical research. – 2000. – Vol. 105, No. D23. – P. 29,173–29,188.

457. A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine / A. J. Rutter, K. A. Kershaw, P. C. Robbins [et al.] // Agricultural Meteorology. – 1971. – Vol. 9. – P. 367–384.

458. Albini F. A. A Phenomenological model for wind speed and shear stress profiles in vegetation cover layers / F. A. Albini // *Journal of applied meteorology*. – 1998. – Vol. 20. – P. 1325-1335.

459. Albini F. A. Spot fire distance from burning trees – a predictive model / F. A. Albini // *USDA Forest Service Technical report INT-56*. – Ogden, Utah : Intermountain forest and range experiment station, 1979. – 73 p.

460. Alexander M. E. Forest behaviour as a factor in forest and rural fire suuression. *Forest research*. / M. E. Alexander. – Rotorua, 2000. – Bul. No. 197, Rep. No. 5. – 28 p.

461. Algorithms used by electronic logbooks for the computation of dew point temperature [Електронний ресурс] // *World Metheorological Organization*. – Режим доступу :

<http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/JCOMM/OPA/SOT/documents/Dew-point-algorithm-OBSJMA.pdf>.

462. An investigation of crown fuel bulk density effects on the dynamics of crown fire initiation in Shrublands / Watcharapong Tachajapong, Jesse Lozano, Shankar Mahalingam [et al.] // *Combust. Sci. and Tech.* – 2008. – Vol. 180. – P. 593–615.

463. Andrews P. L. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future / P. L. Andrews // *Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorological Society*, 2007 October 23-25. – Bar Harbor ME, 2007. – J 21. – 13 p.

464. Automatic Forest-Fire Measuring Using Ground Stations and Unmanned Aerial Systems / J. R. Martinez-de Dios, L. Merino, F. Caballe-ro [et al.] // *Sensors*. – 2011. – Vol. 11. – P. 6328–6353.

465. Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis / A. Granier, T. Anfodillo, M. Sabatti, [et al.] // *Tree Physiology*. – 1994. – Vol. 14. – P. 1383–1396.

466. Barden L. S. Effects of Fire on Pine and Pine. Hardwood Forests in the Southern Appalachians / L. S. Barden, F. W. Woods // *Forest Science*. – 1976. – Vol. 22, No 4. – P. 399–403.

467. Bastias M. V. Evaluation of wood sorption models for high temperatures / Varcia Vidal Bastias, Alain Cloutier // *Maderas. Ciencia y Tecnologia. Universidad del Bio-Bio Concepcion. Chile*. – 2005. – Vol. 7, Num. 003. – P. 145–158.

468. Boboulos M. Wind and slope effects on ROS during the fire propagation in East-Mediterranean pine forest litter / M. Boboulos, M. R. I. Purvis // *Fire Safety J*. – 2009. – Vol. 44, No. 5. – P. 764–769.

469. Bosen J. F. An approximation formula to compute relative humidity from dry bulb and dew point temperatures / J. F. Bosen // *Monthly weather review*. – 1958. – December – P. 486.

470. Botkin D. B. Some ecological consequences of a computer model of forest growth / D. B. Botkin, J. F. Janak, J. R. Wallis // *Journal of Ecology*. – 1972. – Vol. 60. – P. 849–872.

471. Calculating relative humidity [Електронний ресурс] — Режим доступу : – <http://www.theweatherprediction.com/habyhints/186>.

472. Callaham Z. Needle Oils of Three Pine Species and Species Hybrids / Z. Callaham // *Forest Science*. – 1956. – Vol. 2, No 2. – P. 101–105.

473. Carpet & Rugs Flammability Tests [Електронний ресурс] : CRI Technical Bulletin. – 1999. — Режим доступу : http://www.textileinstruments.net/okit88/UploadFiles/Carpet%20Rugs_Flammability_Tests.pdf.

474. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review / G. Certini // *Oecologia*. – 2005. – Vol. 143. – P. 1–10.

475. Chung U. Solar irradiance-corrected spatial interpolation of hourly temperature in complex terrain / U. Chung, J. I. Yun // *Agriculture and forest meteorology*. – 2004. – Vol. 126. – P. 129–139.

476. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns / M. B. Eisen, P. T. Spellman, P. O. Brown [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – December 1998. – Vol. 95. – P. 14863–14868.

477. Cruz M. G. Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part II: model evaluation / M. G. Cruz, B. W. Butler, M. E. Alexander // *International Journal of Wildland Fire*. – 2006. – No 15. – P. 61–72.

478. Davies-Colley R. J. Microclimate gradients across a forest edge / R. J. Davies-Colley, G. W. Payne, M. van Elswijk // *New Zealand Journal of Ecology*. – 2000. – Vol. 24, No 2. – P. 111–121.

479. Detweiler A. J. Fire-resistant plants for home landscapes [Електронний ресурс] / A. J. Detweiler, S. Fitzgerald. – PNW, 2006. – 590. – 42 p. – Режим доступу : http://www.firefree.org/images/uploads/FIR_FireResPlants_07.pdf.

480. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada Fire Danger Group. – Ottawa, 1992. – 63 p.

481. Dodge M. Forest Fuel Accumulation – A Growing Problem / M. Dodge // *Science, New Series.* – 1972. – Vol. 177, No 4044. – P. 139–142.
482. Dupuy J. L. Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion dynamics and flame properties / J. L. Dupuy, J. Marechal, D. Morvan // *Combustion and Flame.* – 2003. – Vol. 135. – P. 65–76.
483. Energy, water and carbon exchange in a boreal forest landscape . NOPEX experiences / S. Halldin, S-E. Gryning, L. Gottschalk [et al.] // *Agricultural and Forest Meteorology.* – 1999. – Vol. 98–99. – P. 5–29.
484. Euro weather [Електронний ресурс] — Режим доступу : – <http://www.eurometeo.com>.
485. Evaluating progress toward closed forest models based on fluxes of carbon, water and nutrients / J. J. Landsberg, M. R. Kaufmann, D. Binkley [et al.] // *Tree Physiology.* – Heron Publishing-Victoria, Canada, 1991. – № 9. – P. 1–15.
486. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers / A. Guevara-Escobar, E. Gonzalez-Sosa, M. Ramos-Salinas [et al.] // *Hydrology and Earth System Sciences.* – 2007. – Vol. 11. – P. 1703–1716.
487. Finney M. A. An overview of FlamMap fire modeling capabilities / M. A. Finney // *Fuels management – how to measure success: conference proceedings.* 2006 March 28-30. Portland, Oregon. Proceedings RMRS-P-41. – Fort Collins CO : USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. – P. 213–220.
488. Finney M. A. FARSITE : Fire Area Simulator – model development and evaluation : Research Paper RMRS-RP-4 Revised / Finney M. A. – Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2004. – 47 p.
489. Finney M. A. Mechanistic modeling of landscape fire patterns / M. A. Finney // *Spatial Modeling of Forest Landscapes : Approaches and Applications.* – Cambridge: Cambridge University Press. – 1999. – P. 186–209.
490. Fire – Wildland / Urban Interface [Електронний ресурс] / University of California Cooperative Extension of the Central Sierra. – Режим доступу : [http://cecentralsierra.ucanr.org/Resources_Publications/Publications/Fire - Wildland Urban Interface/](http://cecentralsierra.ucanr.org/Resources_Publications/Publications/Fire_-_Wildland_Urban_Interface/).
491. Fire Danger and Fire Behavior Modeling Systems in Australia, Europe, and North America / F. M. Fujioka, A. M. Gill, D. X. Viegas [et al.] // *Developments in Environmental Science.* – Elsevier, 2009. – Vol. 8, Ch. 21. – P. 471–497.

492. Fire Dynamics Simulator (FDS) and Smokeview (SMV) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>.

493. Fire impact on several chemical and physicochemical parameters in a forest soil / A. Rubenacker, P. Campitelli, M. Velasco [et al.] // Soil health and land use management / Ed.by M. C. Hernandez-Soriano. – Rijeka, Croatia: InTech, 2011. – Ch. 5. – P. 67–86.

494. Fire management – global assessment 2006 / FAO Forestry paper 151. – Rome : Food and agriculture organization of the United Nations, 2006. – 121 p.

495. Fire resistance of European pines / P. M. Fernandes, J. A. Vega, E. Jimenez [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2008. – Vol. 256. – P. 246–255.

496. Fire retardant plants [Електронний ресурс] / Community fire safe : Wildfire fact sheet. – 2000. – No 16. – 2 p. – Режим доступу : www.cfs.sa.gov.au/public/download.jsp?id=1949.

497. Floristic changes induced by fire on Pinus sylvestris plantations in northwest of Spain / M. R. Nunez, L. Calvo, V. Pando [et al.] // Investigacion Agraria : Sistemas y Recursos Forestales. – 2008. – Vol. 17 (2). – P. 168–177.

498. Forest Fire Spread and Suppression in DEVS / L. Ntaimo, B. Khargharia, B. R. Zeigler [et al.] // Simulation. – 2004. – Vol. 80, Iss. 10. – P. 479–500.

499. Forest fires in Europe 2008 / JRC Scientific and technical report. – Report No 9. - EUR 23971 EN – 2009. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2009. – 83 p.

500. Forest models [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.forestmodels.com>.

501. Fosberg M. A. Moisture content calculations for 1000-hour timelag fuels / M. A. Fosberg, R. C. Rothermel, P. L. Andrews // Forest science. – 1981. – Vol. 27. – P. 19–26.

502. FWI Calculator [Електронний ресурс] / Arthur's Pass Mountaineering, New Zealand. – Режим доступу: www.softrock.co.nz.

503. Gash J. H. C. An analytical model of rainfall interception by forests / J. H. C. Gash // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 1979. – Vol. 105. – P. 43–55.

504. Gates D. M. Biophysical ecology / D. M. Gates. – New York: Springer-Verlag, 1980. – 629 p.

505. GIS-based solar radiation flux model / W. A. Hetrick, Paul M. Rich, Fairley J. Branes [et al.] // American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. – 1993. – Vol. 3. – P. 132–143.
506. Gisborne H. T. Measuring fire weather and forest inflammability / H. T. Gisborne // United States Department of Agriculture Circular. – Washington, 1936. – No. 398. – 59 p.
507. Guide to meteorological instruments and methods of observation. – [7-th edition]. – WMO, 2008. – No 8. – 680 p.
508. Gurovich L. A. Electrophysiology of woody plants / L. A. Gurovich // Electrophysiology – from plants to heart / Ed. by S. Oraili. – Rijeka, Croatia: InTech, 2012. – Ch. 1. – P. 1–24.
509. Hamins A. Characterization of Candle Flames / A. Hamins, M. Bundy // Journal of Fire Protection Engineering. – 2005. – Vol. 15, No. 4. – P. 265–285.
510. He H. S. Forest landscape models : definitions, characterization, and classification / Hong S. He // Forest Ecology and Management. – 2008. – Vol. 254. – P. 484–498.
511. How do I calculate dew point when I know the temperature and the relative humidity? Questions and answers [Електронний ресурс] — Режим доступу :
<http://ingrid.ldeo.columbia.edu/dochelp/QA/Basic/dewpoint.html>.
512. JABOWA III : forest model software [Електронний ресурс]. – <http://www.naturestudy.org/services/jabowa.htm>.
513. Klaassena W. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception / W. Klaassena, F. Bosveldb, E. de Waterc // Journal of Hydrology. – 1998. – Vol. 212–213. – P. 36–50.
514. Lakida P. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European USSR / Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. // WP-95-79. – Laxenburg, IIASA, 1995. – 33 p.
515. Lakida P. Forest Phytomass and Carbon in European Russia / Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A. // WP-96-28. – Laxenburg, IIASA, 1996. – 36 p.
516. Lakida P. Forest Phytomass estimation of Ukraine / P. Lakida // WP-96-96. – Laxenburg, IIASA, 1996. – 75 p.
517. Lombardero M. J. Effects of fire and mechanical wounding on *Pinus resinosa* resin defenses, beetle attacks, and pathogens / M. J. Lombardero, M. P. Ayres, B. D. Ayres // Forest Ecology and Management. – 2006. – Vol. 225. – P. 349–358.

518. Lu D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation / Dengsheng Lu // *International Journal of Remote Sensing*. – 2006. – Vol. 27, No. 7. – P. 1297–1328.

519. Mell W. Computer modelling of wildland-urban interface fires [Електронний ресурс] / W. Mell, D. McNamara, A. Maranghides [et al.] // *Fire & Materials*, San Francisco, CA. – 2011. – 12 p. – Режим доступу : https://www.firescience.gov/projects/07-1-5-08/project/07-1-5-08_Mell_etal_FAM2011.pdf.

520. Mell W. User Guide to WFDS – this is a work in progress [Електронний ресурс] / William (Ruddy) Mell. – April 21, 2010. – 28 Pp. – Режим доступу : http://www.fs.fed.us/pnw/fera/wfds/wfds_user_guide.pdf.

521. Menges E. S. Postfire survival in south Florida slash pine: interacting effects of fire intensity, fire season, vegetation, burn size, and bark beetles / E. S. Menges, M. A. Deyrup // *International Journal of Wildland Fire*. – 2001. – Vol. 10. – P. 53–63.

522. MET4 and MET4A calculation of dew point [Електронний ресурс] — Режим доступу : <http://www.paroscientific.com/dewpoint.htm>.

523. Michaletz S. T. How forest fires kill trees: A review of the fundamental biophysical processes / S. T. Michaletz, E. A. Johnson // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2007. – Vol. 22. – P. 500–515.

524. Mladenoff D. J. LANDIS and forest landscape models / D. J. Mladenoff // *Ecological Modelling*. – 2004. – Vol. 180. – P. 7–19.

525. Modeling temperature gradients across edges over time in a managed landscape / Sari C. Saundersa, Jiquan Chena, Thomas D. Drummerb [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 1999. – Vol.117. – P. 17–31.

526. Models for Growth of Pine Stands in Territories of Northern Eurasia / A. Shvidenko, E. Samarskaia, S. Venevsky [et al.] // WP-96-164. – Laxenburg, IIASA, 1996. – 99 p.

527. Moore-Gough C. Fire-Resistant Plants for Montana Landscapes [Електронний ресурс] / C. Moore-Gough, R. E. Gough, J. Lamb // *Montana State University extension MT200101AG*, Reviewed 5/10. – 2001. – 4 p. – Режим доступу : <http://msuextension.org/publications/YardandGarden/MT200101AG.pdf>.

528. Morvan D. Flame geometry and surface to crown fire transition during the propagation of a line fire through a mediterranean shrub / D. Morvan, V. Tauleigne, J. L. Dupuy // *Forest fire research and wildland fire safety*. – Rotterdam : Millpress, 2002. – 10 p.

529. Morvan D. Modelling of fire spread through a forest fuel bed using a multiphase formulation / D. Morvan, J. L. Dupuy // *Combustion and flame*. – 2001. – Vol. 127. – P. 1981–1994.

530. Mycke-Dominko M. The remote sensing method of forest fire danger rating categorization / Małgorzata Mycke-Dominko // *Miscellanea geographica*. – Warszawa, 2004. – Vol. 11. – P. 359–362.

531. National Fire Danger Rating System [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.wrh.noaa.gov/sew/fire/olm/nfdrs.htm>.

532. National Weather Service Weather Forecast Office. The Weather Calculator [Електронний ресурс] — Режим доступу : – <http://www.srh.noaa.gov/epz/?n=wxcalc>.

533. Ollinger S. V. Estimating regional forest productivity and water yield using an ecosystem model linked to a GIS / S. V. Ollinger, J. D. Aber, C. A. Federer // *Landscape Ecology*. – 1998. – Vol. 13. – p. 323–334.

534. Ollinger S. V. Interactive effects of nitrogen deposition, tropospheric ozone, elevated CO₂ and land use history on the carbon dynamics of northern hardwood forests / S. V. Ollinger, J. D. Aber, P. B. Reich, R. J. Freuder // *Global Change Biology*. – 2002. – Vol. 8, Iss. 6. – P. 545–562.

535. Phanphanich M. Drying characteristics of pine forest residues / M. Phanphanich, S. Mani // *Bioresources*. – 2009. – Vol. 5 (1). – P. 108–121.

536. Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils / S. C. Hart, T. H. DeLuca, G. S. Newman [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2005. – Vol. 220. – P. 166–184.

537. Review of Satellite Remote Sensing Use in Forest Health Studies / J. Wang, T. W. Sammis, V. P. Gutschick [et al.] // *The Open Geography Journal*. – 2010. – Vol. 3. – P. 28–42.

538. Rothermel R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels / R. C. Rothermel. – USDA Forest Service Research Paper. INT-115. – January, 1972. – 40 p.

539. Rothermel R. C. Field procedures for verification and adjustment of fire behavior predictions / R. C. Rothermel, G. C. Rinehard // *General Tech. Rep. INT-142*. – Ogden UT : USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, , 1983. – 25 p.

540. Ryan K. C. Dynamic Interactions between Forest Structure and Fire Behavior in Boreal Ecosystems / Kevin C. Ryan // *Silva Fennica*. – 2002. – No 36 (1). – P. 13–39.

541. Salinero E. C. Wildland fire danger: estimation and mapping : the role of remote sensing data / E. C. Salinero, E. Chuvieco. – World Scientific, 2003 – 264 с.

542. Scott J. H. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model / Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. / J. H. Scott, R. E. Burgan. – Fort Collins CO : USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. – 2005. – 72 p.

543. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes / W. W. Hargrove, R. H. Gardner, M.G. Turner [et al.] // Ecological Modelling. – 2000. – Vol. 135. – P. 243–263.

544. Simulating fire regimes in human-dominated ecosystems: Iberian Peninsula case study / Sergey Venevsky, Kirsten Thonicke, Stephen Sitch [et al.] // Global Change Biology. – 2002. – Vol. 8. – P. 984–998.

545. Stevens W. R. Stickel on the measurement and interpretation of forest-fire weather in the Western Adirondacks / W. R. Stevens // Monthly Weather Review. – 1932. – January. – P. 25.

546. The effect of experimental prescribed fire on the establishment of Scots pine *Pinus sylvestris* seedlings on heather *Calluna vulgaris* moorland / M. Hancock, S. Egan, R. Summers [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2005. – Vol. 212. – P. 199–213.

547. The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model / Kirsten Thonicke, Sergey Venevsky, Stephen Sitch [et al.] // Global Ecology & Biogeography. – 2001. – Vol. 10. – P. 661–677.

548. Tomimatsu H. Edge effects on recruitment of *Trillium camschatcense* in small forest fragments / Hiroshi Tomimatsu, Masashi Ohara // Biological Conservation. – 2004. – Vol. 117. – P. 509–519.

549. Turner G. A. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System / G. A. Turner, B. D. Lawson. – Victoria BC : Canadian Forestry Service. Pacific Forest Research Center, 1978. – 40 p.

550. User Guide to the Canadian Forest Fire Behavior System. Rate of Spread Relationships. Interim Edition [Електронний ресурс] / M. E. Alexander, B. D. Lawson, B. J. Stocks, C. E. Van Wagner. – Environment Canada, Canadian Forestry Service. – 1984. – 83 p. – Режим доступу : – http://cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/26083.pdf.

551. Wagner V. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System / Van Wagner. – Ottawa, 1987. – 37 p.

552. Wagner Van C. E. Condition for the start and spread of crown fire / C. E. Van Wagner // Canadian J. For. Res. – 1977. – Vol. 7. – P. 23–34.

553. Water flux in a hybrid poplar stand / T. M. Hinckley, J. R. Brooks, J. Cermak [et al.] // *Tree Physiology*. – Heron Publishing-Victoria, Canada, 1994. – № 14. – P. 1005–1018.

554. Weber R. O. Modelling fire spread through fuel beds / Weber R. O. // *Prog. Everg. Combust. Sci.* – 1990. – Vol. 17. – P. 65–82.

555. Weise D. R. A comparison of three models of 1-h time lag fuel moisture in Hawaii / D. R. Weise, F. M. Fujioka, R. M. Nelson Jr. // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2005. – Vol. 133. – P. 28–39.

556. Weise D. R. Effects of wind velocity and slope on flame properties / D. R. Weise, G. S. Biging // *Can. J. For. Res.* – 1996. – Vol. 26. – P. 1849–1858.

557. West G. B. A general quantitative theory of forest structure and dynamics / G. B. West, B. J. Enquist, J. H. Brown // *PNAS*. – 2009. – Vol. 106, No. 17. – P. 7040–7045.

558. Whitehead D. Models of water flux through forest stands: critical leaf and stand parameters / D. Whitehead, T. M. Hinckley // *Tree Physiology*. – 1991. – Vol. 9. – P. 35–57.

559. Wildland fires : a historical perspective [Електронний ресурс] / U.S. Fire Administration topical fire research series. – 2000. – Vol. 1, Iss. 3. – Режим доступу : www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v1i3-508.pdf.

560. Yaussy D. A. Comparison of an empirical forest growth and yield simulator and a forest gap simulator using actual 30-year growth from two even-aged forests in Kentucky / D. A. Yaussy // *Forest Ecology and Management*. – 2000. – Vol. 126. – P. 385–398.

561. Zhou X. Modeling of marginal burning state of fire spread in live chaparral shrub fuel bed / Xiangyang Zhou, Shankar Mahalingam, David Weise // *Combustion and Flame*. – 2005. – Vol. 143. – P. 183–198.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІСІВ	6
1.1. Лісові пожежі у світі та Україні	6
1.2. Передумови та причини виникнення лісових пожеж	14
1.3. Класифікація лісових пожеж	29
1.4. Природна пожежна небезпека лісів та методи її оцінювання	31
1.5. Пожежна небезпека лісів за умовами погоди	36
1.6. Зарубіжні системи визначення пожежної небезпеки лісів	40
1.7. Моделювання лісових пожеж та пожежної небезпеки	44
1.8. Вплив пожеж на ліс, довкілля та лісівничу діяльність	53
Розділ 2. ПРИРОДНО-ІСТОРИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ МАЛОГО ПОЛІССЯ ТА ЇХ ПРОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ	59
2.1. Екологічні дослідження на території Малого Полісся	59
2.2. Ландшафтна структура лісів	60
2.3. Ґрунтовий покрив лісів	62
2.4. Погодно-кліматичні умови	64
2.5. Водні ресурси	65
2.6. Історичний розвиток лісів	67
2.7. Головні типи лісорослинних умов, типи лісів західної частини Малого Полісся та особливості їх формування	68
2.8. Породний склад лісів та пожежна небезпека	79
Розділ 3. ПРОГРАМА, ОБ'ЄКТИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	91
Розділ 4. ПРИРОДА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ	102
4.1. Лісовий горючий матеріал та його пожежонебезпечні параметри	102
4.2. Процеси висушування лісового горючого матеріалу	108
4.3. Вплив радіальних та латеральних потоків на пожежонебезпечні властивості лісового середовища	119

4.4. Особливості горизонтальної та вертикальної структури лісових насаджень і її вплив на пожежну небезпеку	134
4.5. Джерела займання і лісова пожежа	166
4.6. Процеси теплопередачі та лісова пожежа.....	173
4.7. Поширення горіння лісовим горючим матеріалом у різних топографічних умовах.....	188
Розділ 5. ВПЛИВ ПОЖЕЖ НА ЛІСОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ	206
5.1. Екологічні аспекти лісових пожеж	206
5.2. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної ...	210
5.3. Вода у деревостані як фактор вогнестійкості	235
5.4. Вогнебезпечні речовини у соснових та мішаних деревостанах і їх вплив на вогнестійкість лісу.....	243
5.5. Пожежна небезпека лісових насаджень в різних едафотобазах	245
5.6. Пожежостійкість рослин наземного ярусу лісів	257
5.7. Кліматопопи та їх зв'язок з пожежною безпекою лісів	272
Розділ 6. ПРОФІЛАКТИКА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ.....	281
6.1. Особливості оцінювання природної пожежної небезпеки мішаних лісів.....	281
6.2. Виявлення та оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди за метеорологічними показниками.....	288
6.3. Комплексне оцінювання пожежної небезпеки лісів з урахуванням природної пожежної небезпеки та пожежної небезпеки за умовами погоди	295
6.4. Удосконалення протипожежного захисту лісів	297
Висновки	314
Додатки	317
Додаток А. Лісівничо-таксаційні показники пробних площ.....	318
Додаток Б. Методи визначення відносної вологості повітря та точки роси.....	321
Додаток В. Схеми пробних площ.....	325
Додаток Д. Дослідження поведінки комплексного показника пожежної небезпеки.....	337
Додаток Е. Висушування фрагментів рослин.....	342

Додаток Ж. Теоретичний метод визначення коефіцієнта висушування з урахуванням впливу середовища ліс.....	372
Додаток З. Основні мікрокліматичні, лісівничі та пожежонебезпечні параметри пробних ділянок під час комплексних досліджень пожежної небезпеки.....	377
Додаток И. Вертикальна структура асоціацій на пробних площах.....	385
Додаток К. Мікрокліматичні та пожежонебезпечні показники на узліссях різних типів.....	393
Додаток Л. Математична модель, яка описує випромінювання з поверхні полум'я на горизонтальну та вертикальну поверхні.....	408
Додаток М. Пожежна небезпека рослин наземного яруса	421
Додаток Н. Рослини наземного яруса, виявлені під час комплексних досліджень пожежної небезпеки.....	428
Список використаних джерел.....	440

Наукове видання

КУЗИК АНДРІЙ ДАНИЛОВИЧ

**ЕКОЛОГО-ЛІСІВНИЧІ ОСНОВИ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЛІСІВ
МАЛОГО ПОЛІССЯ**

Монографія

Відповідальний редактор	Микола Фльорко
Літературний редактор	Галина Падик
Різографічний друк	Оксана Трачук
Технічний редактор, верстка	Олександр Хлевной

Підписано до друку 22.04.2019 р.
Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Папір офсетний. Наклад: 100.
Ум. друк. арк. 31.

Друк ЛДУ БЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
тел./факс: (032) 233-32-40, 233-24-79
ndr@ubgd.i.ua