МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГУРЖІЙ РОМАН ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 630*434: 502/.504: (477.41/.42)

ДИСЕРТАЦІЯ

ГОРИМІСТЬ, ГОРЮЧІ МАТЕРІАЛИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У ЛІСАХ КИЇВСЬКОГО ПОЛІССЯ

205 «Лісове господарство»
20 «Аграрні науки та продовольство»

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело Р. В. Гуржій

Науковий керівник
Яворовський Петро Петрович,
доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Гуржій Р. В. Горимість, горючі матеріали та прогнозування пожежної небезпеки у лісах Київського Полісся. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація присвячена дослідженню лісових пожеж, визначенню запасів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) та прогнозуванню виникнення лісових пожеж в умовах Київського Полісся. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023.

Проаналізовано горимість лісів Київського Полісся, встановлено тенденції виникнення лісових пожеж, визначено їх просторові та часові параметри. За багаторічними даними моніторингу пожеж виявлено роки багаторічних пожежних максимумів та їх періодичність. Таким чином встановлено два пожежних максимуми – весняний (квітень – травень) та літній (серпень) на які припадає, відповідно 49 та 18 % зареєстрованих випадків лісових пожеж. Проаналізовано розподіл кількості випадків пожеж протягом тижня і за годинами доби. Відмічено збереження високого рівня пожежної небезпеки та наявності значної кількості пожеж протягом усього тижня з незначним переважанням у неділю і понеділок. Встановлено, що найбільша кількість пожеж виникала у період з 14 до 16 год. (75 %). Визначено локалізацію основних центрів горимості, які знаходяться в зоні найбільшого антропогенного навантаження та ймовірні причини займань лісових горючих матеріалів. Опрацьовано рекомендації щодо підвищення рівня боротьби з лісовими пожежами.

Виявлено, що збільшення запасів наземних ЛГМ зі зростанням віку деревостану не є рівномірним, особливо в умовах свіжих суборів. Причиною цього є неоднорідність таксаційних показників лісових насаджень. Збільшення запасу ЛГМ із віком відбувається внаслідок росту і розвитку дерев у деревостані, коли збільшується запас хвої в кронах та відбувається сповільнення швидкості розкладання опаду, на що впливає повнота насадження, склад та ін. Фракційний

склад, потужність і запаси ЛГМ залежать від низки чинників, серед яких найбільшу роль відіграють лісівничі та таксаційні характеристики насадження.

Виявлено, що за фракційною структурою у свіжих борах (A_2) основну частку наземних ЛГМ складає підстилка, її участь сягає понад 81 % від загального запасу наземних ЛГМ. Частка ферментативного та гуміфікованого шарів змінюється від 30,4 % (10,1 т·га$^{-1}$) у 60-річному віці насаджень сосни до 46,5 % (14,9 т·га$^{-1}$) в 37-річному, опадового від 23,3 % (7,8 т·га$^{-1}$) у віці сосняків 37 років до 38,8 % (11,52 т·га$^{-1}$) у 59-річному. Частка дрібних гілочок (1-hr) та живого надгрунтового покриву (ЖНП) є незначною, вона рідко сягає до 2,1 % (0,61 т·га$^{-1}$) у 59-річному віці та 1 % (0,29 т·га$^{-1}$) у 37-річному віці від загального обсягу горючих матеріалів. Частка фракцій 10-hr коливається від 4,4 % (1,2 т·га$^{-1}$) у 37-річному віці до 29,4 % (9,8 т·га$^{-1}$) у 60-річному, та зростає з погіршенням санітарного стану насадження (Іс=2,1). Запас крупної деревної ламані 100-hr, практично відсутній у насадженнях III–V класу віку. Суттєве її збільшення у чистих сосняках прослідковується після досягнення віку понад 47 років та збільшенням повноти насасадження, коли частка ламані в загальному обсязі ЛГМ зростає до 3,6 % (1,2 т·га$^{-1}$) у 60-річному віці та 12,9 % (5,42 т·га$^{-1}$) у 42-річному віці. Обсяги сушняку (1000-hr) складають від 9,6 % (2,8 т·га$^{-1}$) у 59-річному віці до 19,6 % (6,3 т·га$^{-1}$) у 37-річному віці від загалної маси наземних ЛГМ.

У лісорослинних умовах свіжих суборів (B_2) у соснових молодняках частка лісової підстилки сягає понад 91 % від маси загального запасу наземних ЛГМ. За таких умов частка ферментативного та гуміфікованого шарів, значно вища, ніж у борах та змінюється у межах 34,1 % (2,9 т·га$^{-1}$) у 15-річному віці та 76,3 % (41,4 т·га$^{-1}$) у 75-річному віці. Отже, простежується чітке збільшення частки гуміфікованого та ферментативних шарів з віком.

Частка опадового шару варіює у значному діапазоні від 8,9 % (4,8 т·га$^{-1}$) у 75-річному віці до 59,1 % (5,1 т·га$^{-1}$) у 15-річному віці, маючи найвищі значення у сосняках II класу віку, та зменшуючись з віком насаджень. Частка дрібних гілочок (1-hr) є незначною, рідко сягаючи 2 % (0,2 т·га$^{-1}$) у 15-річному віці та ЖНП 7 % (0,7 т·га$^{-1}$) того ж віку від загального обсягу горючих матеріалів. Частка деревної

ламані 10-hr також незначна до 4 % (0,7 т·га$^{-1}$) у 50-річному віці (що на 25,4 % менше порівняно з борами). Запас крупної деревної ламані 100-hr, практично відсутній у насадженнях II класу віку, суттєве його збільшення простежується після досягнення сосняками віку понад 20 років, коли його частка в загальному обсязі ЛГМ зростає до 5 % (1,3 т·га$^{-1}$). Сушняк (1000-hr) становить від 2,4 % (1,3 т·га$^{-1}$) до 18 % (3,2 т·га$^{-1}$) від наземних ЛГМ. Не виявлено чіткої залежності зміни маси сушняку зі змінами віку насадження, які більшою мірою залежать від обсягів виконання лісівничих заходів.

В умовах свіжих сугрудів (C_2) маса частки лісової підстилки, порівняно з умовами борів та суборів, є незначною, та змінюється у межах 41–76 % від маси загального запасу наземних ЛГМ. Частка ферментативного та гуміфікованого шарів, змінюється від 29 % (3,1 т·га$^{-1}$) у молодняках 15-річного віку до 76,8 % (33,7 т·га$^{-1}$) у пристигаючих лісових насадженнях 60-річногу віку. Простежується чітке збільшення маси частки гуміфікованого та ферментативного шарів з віком деревостанів. Маса частки опадового шару найбільша у молодняках і становить 59,3 % (6,3 т·га$^{-1}$). Маса частки дрібних гілочок (1-hr) сягає від 0,8 % (0,2 т·га$^{-1}$) у 80-річному віці до 3,6 % (1,3 т·га$^{-1}$) у 45-річному віці. Маса частки деревної ламані 10-hr становить до 10,5 % (3,7 т·га$^{-1}$) у 45-річному віці. Маса запасу крупної деревної ламані 100-hr, практично є незначною у насадженнях до 30-річного віку. Маса частки сушняку (1000-hr) становить до 18,1 % (4,7 т·га$^{-1}$) від маси наземних ЛГМ, що пояснюється вчасним проведенням лісівничих заходів.

Виявлено нерівномірне збільшення з віком насаджень маси запасів лісової підстилки. Так, у насадженнях II класу віку вони становлять 8,4–11,5 т·га$^{-1}$, сягаючи максимуму у насадженнях V–VII класів віку (14,4–41,5 т·га$^{-1}$). Така значна варіація у показниках пояснюється відмінностями у швидкості акумуляції та розкладанні підстилки в умовах різних трофотопів.

В умовах свіжих суборів (B_2) максимум щодо маси запасів підстилки досягається у середньовікових сосняках – 37,5 т·га$^{-1}$, після чого до 71–80 років вона знижується до 16,8 т·га$^{-1}$. У суборах максимум маси запасів лісової підстилки накопичується в насадженнях VII класу віку – 41,5 т·га$^{-1}$. Натомість в умовах

свіжого бору (A_2) запаси підстилки змінюються з віком у незначних межах: 14,8–17,4 т·га$^{-1}$.

У лісорослинних умовах свіжих борів (A_2) у насадженнях V класу віку маса запасу деревної ламані найбільша (13,4 т·га$^{-1}$), з підвищенням класу віку деревостанів вона поступово зменшується. В умовах свіжих суборів (B_2) маса запасу деревної ламані більша у насадженнях VII класу віку – 7,9 т·га$^{-1}$, водночас, в умовах свіжих сугрудів (C_2) більша маса запасу деревної ламані, виявлена в насадженнях IV класу віку – 9,4 т·га$^{-1}$.

Переважаюча маса запасу I групи ЛГМ – найбільш пожежно небезпечної, до якої входить верхній шар (Но′) разом з шаром мохів і лишайників, сухими трав'яними рештками виявлена в умовах свіжих борів в насадженнях V класу віку – 23,7 т·га$^{-1}$, а в умовах свіжих суборів (B_2) в насадженнях VII класу віку вона становить 15,4 т·га$^{-1}$. Водночас, в умовах свіжих сугрудів найбільша маса запасу I групи ЛГМ виявлена в насадженнях III класу віку –14,5 т·га$^{-1}$.

Найбільша маса запасів II групи ЛГМ зафіксована в умовах свіжих суборів (B_2) в насадженнях VII класу віку – 38,1 т·га$^{-1}$. В умовах свіжих сугрудів (C_2) найбільша маса запасу II групи ЛГМ виявлена в насадженнях V класу віку – 33,7 т·га$^{-1}$, водночас, в насадженнях V класу віку в умовах свіжих борів (A_2) спостерігалась найбільша маса запасу II групи ЛГМ, яка становила 14,7 т·га$^{-1}$.

Виявлено, що із збільшенням віку деревостану та рівня трофності ґрунту, змінюється фракційний склад і збільшується запас ЛГМ. Зміна маси запасів лісової підстилки із збільшенням віку насадження відбувається нерівномірно особливо в умовах свіжого субору (B_2), де найбільший запас виявлено у насадженнях 50-річного віку – 39,5 т·га$^{-1}$, а найменшу у 75-річному віці – 8,1 т·га$^{-1}$. У насадженнях, що ростуть у типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2) у 15-річному віці, створених на зрубі та на відкритих галявинах обсяги ЛГМ наземної групи суттєво відрізняються. Так, запас лісової підстилки на зрубі виявився більшим і становив 13,8 т·га$^{-1}$, а на галявині лише 9,4 т·га$^{-1}$.

Запас лісової підстилки сосняків, які ростуть у типі лісорослинних умов свіжих сугрудів (C_2), є найбільшим у деревостанах 80-річного віку (49,83 т·га$^{-1}$), а

найменшою – у насадженнях 60-річного віку (25,4 т·га$^{-1}$) на це впливає низка чинників такі як вік, повнота і тд. Маса запасу лісової підстилки в насадженнях 15-річного віку на зрубі становила 31,3 т·га$^{-1}$, на галявині – 29,7 т·га$^{-1}$, в той же час у соснових насадженнях, що ростуть в типі лісорослинних умов свіжого бору (A_2), найбільша маса запасу лісової підстилки спостерігалась в деревостанах 38-річного віку 34,8 т·га$^{-1}$.

Виявлено, що щільність лісової підстилки коливається в межах від 15,2 до 115 г·дм$^{-3}$ залежно від повноти насаджень. Експериментальним шляхом встановлено для насаджень з повнотою 0,65–1,00 середні показники значення щільності підстилки для різних вікових груп. Виявлена чітка тенденція для типу лісорослинних умов B_2 та A_2 зміни рівня щільності лісової підстилки з віком насаджень, яка більшою мірою залежить від відносної повноти насадження (r=0,5; p=0,05). Для умов свіжого сугруду (C_2) у чистих сосняках спостерігається максимальне збільшення щільності підстилки у середньовікових насадженнях на (68,5 г·дм$^{-3}$) та різкий спад у показниках об'ємної маси підстилки у стиглих насадженнях (до 20,9 г·дм$^{-3}$), що пояснюється швидшим розкладанням лісової підстилки під деревостаном з домішкою листяних деревних видів та зниженням відносної повноти з віком сосняків.

Щільність підстилки в типі лісорослинних умов свіжих сугрудів (C_2) коливалася у межах від 19,4 до 115,2 г·дм$^{-3}$; свіжих суборів (B_2) – від 34,3 до 88,8 г·дм$^{-3}$; A_2 – від 15,2 до 49,8 г·дм$^{-3}$, що вказує на те, що зі збільшенням трофності умов місцезростань зростає рівень щільності шару підстилки. Кореляційний аналіз виявив пряму достовірну залежність збільшення щільності підстилки зі збільшенням відносної повноти соснових насаджень.

Обсяг деревної ламані у чистих сосняках за різними фракціями залежав від загального запасу насадження, і збільшувався зі збільшенням запасу насадження. Найбільш тяжких ЛГМ 100-hr – r= 0,4; p=0,05, середніх ЛГМ 10-hr – r=0,6; p=0,05 та легких ЛГМ 1-hr – r=0,7; p=0,05.

Маса запасу опадового шару (L) знаходиться в оберненій пропорційності від повноти насадження (r=-0,49; p=0,05). Натомість, маса запасів F і H шарів

збільшуються з віком (r=0,55; p=0,05), й прямо пропорційно залежать від середнього діаметра, висоти і запасу насадження (r=0,59; r=0,46 та r=0,42 відповідно), та обернено пропорційно від повноти (r=-0,38; p=0,05).

Встановлена прямо пропорційна залежність запасу наземних ЛГМ від віку, (r=0,69; p=0,05), діаметру (r=0,72; p=0,05), висоти (r=0,7; p=0,05), запасу (r=0,71; p=0,05), та обернена пропорційність від повноти (r=-0,71; p=0,05). Визначено, що зі збільшенням рівня трофності лісорослинних умов, починаючи від умов бору до умов свіжого сугруду зменшується маса обсягів деревної ламані: 100 год. (r=-0,37; p=0,05), 10 год. (r=-0,43; p=0,05).

У результаті проведеного моніторингу стану пожежної небезпеки в лісових масивах Київського Полісся, була зібрана і опрацьована інформація щодо стану пожежної небезпеки в цьому регіоні. Отримані масиви даних було використано для розробки електронного додатку «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі», яка є авторською розробкою та немає аналогів. На програму було отримано авторське свідоцтво, за номером № 95983, групою науковців у складі: П. П. Яворовський, Р. В. Гуржій, В. Б. Левченко, Я. І. Устименко, С. Г. Сидоренко, Н. В. Пузріна, Г. О. Бойко. За умов проведення лісопірологічного прогнозу в режимі on-line, програма автоматично з використаням операційної системи Android розраховує 95 % ризик ймовірності виникнення лісової пожежі, що базується на отриманих з мережі Internet поточних метеорологічних даних (температури повітря, швидкості, напрямку вітру та вологості повітря).

Ключові слова: ліси, сосняки, горимість, пожежний пік, лісові горючі матеріали.

ABSTRACT

Hurzhii R. V. Fire frequency, fuel materials, and forecasting fire danger in the forests of Kyiv Polissya. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for a scientific degree Doctor of Philosophy. Specialty – 205 «Forestry». The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2023.

The dissertation is concerned with researching forest fires, determining the stocks of forest fuel materials (FFM), and forecasting the occurrence of wildfires in Kyiv Polissya.

The current research analyzed fire frequency in Kyiv Polissya, established trends of wildfire occurrence, determined the spatial and temporal parameters of fires. Proceeding from the years-long data of monitoring fires, the years of longstanding fires and their reoccurrence were determined. Thus, two wildfire maximums were established: the spring peak (April – May) and the summer one (August), accounting for 49 and 18 % of registered wildfire cases respectively. The study analyzed the distribution of fires during a week as well as by the hour within a 24-hour period. A persistently high level of fire danger and a considerable number of fires during a whole week with a slight prevalence on Sunday and Monday were registered. It was established that the greatest number of fires occurred from 2:00 to 4:00 PM (75 %). The major centers of fire frequency were pinpointed, these being located in the zones with the greatest anthropogenous load. Possible reasons for the combustion of forest fuel materials (FFM) were revealed. Recommendations were worked out to raise the level of fire-fighting.

It was established that the increase in the stock of surface FFM alongside the aging of forest stand is not uniform, especially on moist, relatively poor transitional soils (B_2). This is accounted for by heterogenic taxation indicators of forest vegetation. The increase in FFM stocks with age takes place due to the growth and development of trees in the pine stand as the store of needles in the crowns increases and the rate of litter decomposition slows down, caused by stand density, its composition, etc. The FFM fractional size distribution, thickness and volume depend on a number of factors, the

greatest role among them being played by the forest and taxation qualities of the plantation.

It was revealed that in the fractional structure of forest growth conditions on moist, extremely poor soils (A_2) the major share of surface FFM is comprised by litter, accounting for over 81 % of the total stock of surface FFM. The share of fermentative and humified layers varies from 30.4 % (10.1 $t \cdot g^{-1}$) in age class VI of pine plantations to 46.5 % (14,9 $t \cdot g^{-1}$) in age class IV, being reduced from 23,3 % (7,8 $t \cdot g^{-1}$) in age class IV to 38,8 % (11,52 $t \cdot g^{-1}$) in age class VI. The share of small twigs (1-hr) and live ground cover (LGC) appears insignificant, rarely reaching 2,1 % (0,61 tons per ha^{-1}) in age class VI and 1 % (0,29 tons per ha^{-1}) in age class IV of the total scope of fuel materials. The share of 10-hr fractions ranges from 4,4 % (1,2 tons per ha^{-1}) in age class IV to 29,4 % (9.8 tons per ha^{-1}) in age class VII, increasing with the deterioration of the sanitary state of the forest stand (Ic=2,1). The stock of large-sized wood scrap 100-hr is practically missing in plantations of age class III-V. Its considerable increase in pure pine forests is traced with reaching age class V and the growth of stand density, its share in the total scope of FFM rising to 3,6 % (1,2 tons per ha^{-1}) in age class VI and 12,9 (5,42 tons per ha^{-1}) in age class IV. The volume of deadwood (1000-hr) regarding the total mass of surface FFM ranges from 9,6 % (2,8 tons per ha^{-1}) in age class VI to 19,6 % (6,3 tons per ha^{-1}) in age class IV.

On moist, relatively poor transitional soils (B_2), the share of forest litter in young pine stands reaches over 91 % of the total mass of the surface FFM. In these conditions, the share of fermentative and humified layers is considerably greater than on moist, relatively fertile soils (A_2), ranging from 34,1 % (2,9 tons per ha^{-1}) in age class II to 76,3 % (41,4 tons per ha^{-1}) in age class VIII. Thus, a distinct increase in the share of humified and fermentative layers is observed with age.

The share of the fallen layer varies within a wide range from 8,9 % (4.8 tons per ha^{-1}) in age class VIII to 59,1 % (5,1 tons per ha^{-1}) in age class II, displaying high rates in pine forests of age class II and decreasing with the age of pine stands. The proportion of twigs (1-hr) is small, rarely reaching 2 % (0,2 tons per ha^{-1}) in age class II and 7 % LGC (0,7 tons per ha^{-1}) of the same age in the overall scope of forest fuels. The share of

wood scrap 10-hr is also insignificant, amounting to 4 % (0,7 tons per ha^{-1}) in age class V (which is 25,4 % lower compared to moist, relatively fertile soils). The stock of large-sized wood scrap 100-hr is practically missing in plantations of age class II; its considerable increase is traced beyond age class II, its proportion in the total scope of FFM increasing to 5 % (1,3 tons per ha^{-1}). Dry branches (1000-hr) comprise from 2,4 % (1,3 tons per ha^{-1}) to 18 % (3,2 tons per ha^{-1}) of surface FFM. No direct correspondence was detected between changes in the mass of fallen deadwood and changes in the age of plantations, which to a greater extent depends on the scope of the conducted forest activities.

On moist, relatively transitional soils (C_2), the particle mass of the forest litter is inconsiderable, compared to moist, extremely poor soils (A_2) and moist, relatively poor transitional soils (B_2), ranging within 41–76 % of the total mass stocks of surface FFM. The share of fermentative and humified layers ranges from 29 % (3,1 tons per ha^{-1}) in young forests of class age II to 76,8 % (33,7 tons per ha^{-1}) in maturing forest stands of age class VI. A clear growth is revealed of the particle mass in fermentative and humified layers together with the age of pine stands. The particle mass of the litter layer is the greatest in young forests, constituting 59,3 % (6,3 tons per ha^{-1}). The particle mass of small twigs (1-hr) comprises from 0,8 % (0,2 tons per ha^{-1}) in age class VIII to 3,6 % (1,3 tons per ha^{-1}) in age class IV. The particle mass of wood scrap 10-hr amounts to 10,5 % (3.7 tons per ha^{-1}) in age class IV. The stock of large-sized wood scrap 100-hr is virtually insignificant in pine stands up to age class III. The particle mass of dead branches (1000-hr) reaches up to 18,1 % (4,7 tons per ha^{-1}) of the mass of surface FFM, which is explained by the timely conducted forestry activities.

A non-uniform growth of forest litter stocks with the age of the forest stands was established. Thus, in forest stands of age class II it comprises 8,4–11,5 tons per ha^{-1}, reaching its maximum in plantations of age class V–VII (14,4–41,5 tons per ha^{-1}). Such a considerable variation in indicators is accounted for by differences in the rate of accumulation and decomposition of forest litter in the conditions of different trophotopes.

On moist, relatively poor transitional soils (B_2), the maximum mass of forest litter stock is reached in middle-aged pine forests – 37,5 tons per ha^{-1}; thereafter, with time, it is reduced to 16,8 tons per ha^{-1} in age classes from VII to VIII. In types of forest growth conditions of moist, relatively poor transitional soils (B_2), the maximum mass of forest litter stock is accumulated in plantations of age class VII – 41,5 tons per ha^{-1}. At the same time, on moist, extremely poor soils (A_2), forest litter stock changes with age within an insignificant range: 14,8–17,4 tons per ha^{-1}.

In types of forest growth conditions of moist, extremely poor soils (A_2), plantations of age class V have the greatest mass of wood scrap stocks (13,4 tons per ha^{-1}), which gradually decreases with the advance of the age class of pine stands. On moist, relatively poor transitional soils (B_2), the mass of wood scrap stock is big in forest stands of age class VII – 7,9 tons per ha^{-1}, while on moist, relatively transitional soils (C_2), the mass of wood scrap stock is bigger as found in plantations of age class IV – 9,4 tons per ha^{-1}.

The greatest stock mass of the 1st FFM group is the most fire-hazardous, composed of litter (Ho') with a layer of moss, lichens, and dry herbal residues, as revealed in types of forest growth conditions of moist, extremely poor soils (A_2) in pine stands of age class V: 23,7 tons per ha^{-1}; on moist, relatively poor transitional soils (B_2), in pine stands of age class VII it comprises 15,4 tons per ha^{-1}, while on moist, relatively transitional soils (C_2), the maximum stock mass of the 1st FFM group is discovered in plantations of age class III – 14,5 tons per ha^{-1}.

The biggest stock mass of the 2nd group of FFM is registered on moist, relatively poor transitional soils (B_2) in pine sites of age class VII – 38.1 tons per ha^{-1}. On moist, relatively transitional soils (C_2), the greatest stock mass of the 2nd FFM group is detected in plantations of age class V – 33,7 tons per ha^{-1}; at the same time, on moist, extremely poor soils (A_2) in pine sites of age class V the greatest stock mass is observed in the 2nd FFM group, comprising 14,7 tons per ha^{-1}.

It is established that the advance of the pine stand age and the level of soil fertility facilitate changes in fraction composition and the growth of FFM stocks. Changes in the stock mass of forest litter with the increasing age of the pine stand occur unevenly, especially on moist, relatively poor transitional soils (B_2), where the greatest fuel stock

is detected in pine stands of age class V – 39,5 tons per ha^{-1} and the smallest in age class VII – 8,1 tons per ha^{-1}. The volumes of the FFM surface group differ considerably in pine stands of age class II on moist, relatively poor transitional soils (B_2), depending on whether they grow in the cutting area or in open meadows. Thus, the stock of surface litter in the cutting area appeared bigger, comprising 13,8 tons per ha^{-1} as against a mere 9,4 tons per ha^{-1} in the meadow.

The stock of forest litter in the pine forests that grow on moist, relatively transitional soils (C_2) is the biggest in pine stands of age class VIII (49,8 tons per ha^{-1}) and the smallest in plantations of age class VI (25,4 tons per ha^{-1}), which is conditioned by a number of factors, such as age, density, etc. The stock mass of forest litter in pine stands of age class II in the cutting area amounts to 31.3 tons per ha^{-1}, in the open meadow – 29,7 tons per ha^{-1}. At the same time, in pine stands growing on moist, extremely poor soils (A_2), the greatest stock mass of forest litter is observed in pine stands of age class III – 34,8 tons per ha^{-1}.

It was revealed that the density of litter ranges from 15,2 to 115 $g \cdot dm^{-3}$, depending on the stands´ density. By means of experiments, average indicators were determined for the value of litter density of different age groups in pine stands with 0,65–1,00 density. A distinct trend was revealed for the type of forest growth conditions B_2 and A_2 regarding changes in the level of litter density alongside the age of plantations, which to a greater extent depends on the relative stand density ($r=0,5$; $p=0,05$). On moist, relatively transitional soils (C_2), pure pine forests display a maximum increase in litter density in middle-aged stands (68,5 $g \cdot dm^{-3}$) and a steep decline in indicators of litter bulk weight in mature stands (to 20,9 $g \cdot dm^{-3}$), which is accounted for by rapid decomposition of ground litter under pine stands admixed with deciduous tree species and the reduction of relative density with the age of pine forests.

Litter density on moist, relatively transitional soils (C_2) varied from 19,4 to 115,2 $g \cdot dm^{-3}$; on moist, relatively poor transitional soils (B_2) – from 34,3 to 88,8 $g \cdot dm^{-3}$; and on moist, extremely poor soils (A_2) – from 15,2 to 49,8 $g \cdot dm^{-3}$, which shows that an increase in the habitats´ soil fertility entails a growth in litter density level as well.

Correlation analysis revealed a direct verifiable relation between an increase in litter density and the growth of pine stands´ relative density.

The volume of wood scrap in pure pine forests regarding different fractions depended on the total stock of the stand, growing with an increase of the latter. Heavy FFM 100-hr – r=0,4; p=0,05; medium FFM 10-hr – r=0,6; p=0,05; light FFM 1-hr – r=0,7; p=0,05.

The stock mass of the fallen layer (L) is in inverse proportion to stand density (r=-0,49; p=0,05). On the other hand, the stock mass of layers F and H increases with age (r=0,55; p=0,05), being in direct proportion to the average diameter, height, and stand volume (r=0,59; r=0,46 and r=0,42, respectively), and in inverse proportion to density (r=-0,38; p=0,05).

As was established, the FFM surface stocks are in direct proportion to age (r=0,69; p=0,05), diameter (r=0,72; p=0,05), height (r=0,7; p=0,05), stock (r=0,71; p=0,05) and in inverse proportion to density (r=-0,71; p =0,05). It was determined that increase of soil fertility level in forest growth condition from A to C_2 entails a reduction of wood scrap bulk: 100-hr. (r=-0.37; p=0,05), 10-hr. (r=-0,43; p=0,05).

As a result of monitoring the state of fire hazard conducted in forest areas of Kyiv Polissya, information was collected and processed concerning fire danger in the region. The obtained data sets were used for designing a software application “Forecasting on a DIGITAL platform the state of fire danger in the forests of Ukraine”, which is the author´s development having no analogues. The program was patented, certificate No. 95983 by a group of scientists consisting of: P. P. Yavorovsky, R. V. Hurzhii, V. B. Levchenko, Ya. I. Ustimenko, S. H. Sidorenko, N. V. Puzrina, H. O. Boyko

In performing forest pyrological forecasting in online mode, this program, relying on the Android operating system, automatically calculates the outbreak of forest fire with a 95 % probability, based on the Internet current meteorological data (atmospheric temperature, wind speed and direction, and air humidity).

Key words: forests, pine stands, fire danger, fire peak, forest fuel materials.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях України, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. **Гуржій Р. В.** Тенденції виникнення лісових пожеж у лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2017. Вип. 266. С. 104–109.

2. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Аналіз горимості лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції за 2004–2016 роки. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 131. С. 158–164. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень за книгами обліку лісових пожеж у Боярській ЛДС та визначено пожежні максимуми і відносну горимість лісів*).

3. **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П. Запаси наземних лісових горючих матеріалів в лісах Київського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 124–130. (*Здобувач заклав пробні площі, провів експериментальні дослідження, зробив аналіз отриманих даних та визначив закономірність накопичення лісових горючих матеріалів за класами віку*).

4. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Особливості формування комплексу наземних лісових горючих матеріалів у соснових лісах Київського Полісся. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2019. Вип. 2. С. 73–81. (*Здобувачем закладено 16 пробних площ, проведено експериментальні дослідження, здійснено кореляційний аналіз дослідних даних та встановлено тісний кореляційний зв'язок між гуміфікованим шаром підстилки та класом віку соснових насаджень)*.

Статті у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу

5. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., Tyshchenko O. M., Tertyshnyi A. P., Yakubenko B. Ye. Trends in forest fuel

accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2021. Vol. 63 (2). Pp. 116–124. (*Здобувачем закладено 32 тимчасові пробні площі в чистих соснових насадженнях різного віку у межах Київського Полісся, досліджено лісові горючі матеріали та встановлено їх варіативність за класами віку*).

6. Sydorenko S., Voron V., Koval I., Sydorenko S., Rumiancev M., **Hurzhii R.** Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Central European Forestry Journal. 2021. Vol. 67 (1). Pp. 21–29. (*Здобувач провів експериментальні дослідження, зробив аналіз отриманих даних та визначив вплив низових лісових пожеж на чисті соснові насадження*).

Тези наукових доповідей

7. **Гуржій Р. В.** Динаміка горимості лісів Київського обласного управління лісового і мисливського господарства (ОУЛМГ). Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства», 6–7 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 66–67.

8. **Гуржій Р. В.,** Малованюк А. В. Просторово-часовий розподіл лісових пожеж в Україні за даними супутникової зйомки. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів». Національний університет біоресурсів і природокористування України, 27 березня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 46–47. (*Здобувачем здійсненно літературний аналіз та перспективність застосування систем дистанційного моніторингу лісових пожеж*).

9. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Малованюк А. В. Горимість лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу», присвяченій 120-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України та кафедри ботаніки ННІ лісового і садово-паркового господарства, 22–25 квітня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 177–178. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень та встановленно піки горимості у межах Боярської ЛДС*).

10. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Моніторинг лісових пожеж в лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 рр. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Колесниковські читання» присвяченої пам'яті професора О. І. Колесникова, 16–17 жовтня 2018 року: тези доповіді. Х., 2018. С. 126–127. (*Здобувачем проведено аналіз горимості за 18-річний період за книгами обліку лісових пожеж по лісогосподарських підприємствах та встановлено піки горимості*).

11. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P. Reserves of terrestrial forest combustible materials in the Kyiv Polissya forest. Proceedings International scientific and practical conference «Addressing Ecological and Social Challenges for Forests and Forest Management», 22–24 жовтня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 25. (*Здобувачем проаналізовано тенденції накопичення лісових горючих матеріалів у чистих соснових насадженнях у зоні Київського Полісся*).

12. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Лісові горючі матеріали в соснових насадженнях Боярської лісової дослідної станції як провідний чинник рівня пожежної небезпеки в лісі. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів», 6–8 грудня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 134–135. (*Здобувачем закладено пробні площі, проведено регресійний аналіз, виявлено, що гуміфікований шар лісової підстилки визначається віком соснових насаджень*).

13. **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П., Сидоренко С. Г. Дослідження лісових горючих матеріалів стан та перспективи. Матеріали XIV-ої всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та спеціалістів «Історія освіти, науки і техніки в Україні», присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних учених в галузі аграрних наук – основоположників сільськогосподарської дослідної справи в Україні за своїми напрямами, професорам – Богданову Сергію Михайловичу (1859–1920), Шіндлеру Каміллу Гавриловичу (1869–1940) та член-кореспонденту АН УРСР Тюленєву Миколі Олександровичу (1889–1969), 17 травня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 534–536. (*Здобувачем проведено*

аналітичний огляд літератури та визначено необхідні подальші пірологічні дослідження для здійснення контролю над лісовими пожежами).

14. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P. The dependence of the fire of forest plantations Boyarka forest experimental station on the age structure, forest growing conditions and reserves of forest combustible materials. Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві», 18–19 квітня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 53. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень Боярської ЛДС, визначено залежність їх виникнення від запасу лісових горючих матеріалів та віку насадження*).

15. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Горимість лісів по підприємствах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 років. Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві», 18–19 квітня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 86–87. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень та визначено класи природної пожежної небезпеки по лісогосподарських підприємствах).*

16. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Тертишний. Influence of the pine plantation age on forest combustible materials in the Kyiv Polissya conditions (Ukraine). VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасний рух науки» 6–7 червня 2019 року: тези доповіді. Д., 2019. С. 1928–1930. (*Здобувачем закладено пробні площі, досліджено за групами лісові горючі матеріали та визначено найбільш пожежонебезчні соснові лісові насадження*).

17. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Закономірності накопичення наземних горючих матеріалів у сосняках Київського Полісся залежно від їх лісівничо-таксаційних показників. Міжнародна науково-практична конференція «Відновлення, охорона й збереження рослинного світу лісів України в умовах техногенного навантаження та змін клімату», 15–16 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 97–98. (*Здобувачем закладено пробні площі та*

досліджено закономірності накопичення наземних лісових горючих матеріалів за класами віку насадження).

18. Sydorenko S., **Hurzhii R.,** Yavorovskyi P. Post-fire tree mortality models for planting of different functional purpose. Міжнародна науково-практична конференція «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу», 24–25 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 58–59. (*Здобувачем спрогнозовано майбутній ризик збільшення частоти природних лісових пожеж*).

19. Сидоренко С. Г., Степанова С. М., Сидоренко С. В., Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Оцінювання запасів наземних горючих матеріалів у міських соснових лісах Харкова. Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегій стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти», 12 грудня 2019 року: тези доповіді. П., 2019. С. 60. (*Здобувачем проаналізовано запаси наземних лісових горючих матеріалів за класами віку та визначено їх варіативність*).

20 **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П., Левченко В. Б., Устименко Я. І., Сидоренко С. Г. «Пожежний прогноз»: новітній програмний продукт для оцінювання стану пожежної небезпеки в лісах України. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку (УкрНДІЛГА – 90 років)» 23–24 червня 2021 року: тези доповіді. Х., 2021. С. 44–45. *(Здобувачем розроблено новітній програмний продукт, який прогнозує ймовірний ризик виникнення лісових пожеж у лісах України на Digitals-платформі)*.

21. Левченко В. Б., **Гуржій Р. В.** Моніторинг і прогноз надходження вуглецю та продуктів горіння в атмосферу від масштабних лісових пожеж на прикладі Перганського природоохоронного науково-дослідного відділення Поліського природного заповідника. Матеріали ІІ міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і не формальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» 23 березня 2023 року: тези доповіді. Х., 2023. С. 83–85. (*Здобувачем здійсненно лісопірологічний моніторинг та досліджено викиди, продукти горіння під час неконтрольованих лісових пожеж)*.

22. Левченко В. Б., Ганжалюк Т. С., **Гуржій Р. В.** Актуальні проблеми лісовідновлення в умовах війни на лісопокритих площах філії овруцьке спеціалізоване лісове господарство ДП «Ліси України». Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнні відбудови: виклики для України та Світу. 25 травня 2023 року: тези доповіді. К., 2023. С. 114–116. (*Здобувачем проведено моніторингові дослідження пошкодження лісів в наслідок війни і визначено найбільш оптимальні методи їх відновлення та підготовлено і подано до публікації тези).*

Авторське свідоцтво

23. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Левченко В. Б., Устименко Я. І., Сидоренко С. Г., Пузріна Н. В., Бойко Г. О. Авторське свідоцтво на комп'ютерну програму: «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на DIGITALS-платформі». № 95983. *(Здобувачем розроблено програму та алгоритм програмного забезпечення).*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ..... 22

.

ВСТУП……... 23

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ……... 29

1.1. Класифікація лісових горючих матеріалів за різними системами... 31

1.2. Багаторічна динаміка запасів лісових горючих матеріалів у насадженнях залежно від типів лісорослинних умов ……..…… 36

1.3. Особливості формування запасу та огляд результатів дослідження горіння лісових наземних горючих матеріалів..... 39

1.4. Сезонна динаміка вологості наземних лісових горючих матеріалів……. 43

1.5. Горимість лісів Київського Полісся……... 45

1.6. Пост-пірогенні негативні наслідки в лісових екосистемах …….. 49

Висновки до розділу 1……..……. 52

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА, ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПРИРОДНІ І АНТРОПОЦЕНОТИЧНІ УМОВИ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ …… 55

2.1. Програма та методика об'єктів дослідження……. 55

2.2. Характеристика природних умов регіону дослідження з точки зору пожежної небезпеки …….……..... 62

2.3. Коротка характеристика лісового фонду Київського Полісся…….……. 64

Висновки до розділу 2……... 69

РОЗДІЛ 3. ГОРИМІСТЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ДИНАМІКУ ПОЖЕЖ У ЛІСАХ КИЇВСЬКОГО ПОЛІССЯ……. 70

3.1. Кількісна динаміка лісових пожеж в умовах Київського Полісся..... 70
3.1.1. Просторовий розподіл та пірологічний аналіз лісових пожеж 74
3.1.2. Сезонна динаміка лісових пожеж …….. 80
3.2. Прогноз виникнення і поширення лісових пожеж у Київському Поліссі в умовах глобальних змін кліматичних умов……... 83
Висновки до розділу 3……..... 91
РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОГРАМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ…… 93
4.1. Характеристика наземних запасів ЛГМ за ТЛУ Київського Полісся……..... 93
4.2. Запаси наземних лісових горючих матеріалів……... 99
4.3. Щільність лісової підстилки…….. 105
4.4. Визначення запасів наземних ЛГМ в найбільш горимих лісових насадженнях з розподілом за ТЛУ……..... 108
4.5. Розробка програмного забезпечення для оперативного прогнозування пожежної небезпеки в реальному часі у лісах Київського полісся та України на «DIGITALS-платформі» ……..... 116
Висновки до розділу 4……..... 125
ВИСНОВКИ……..... 127
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ……..... 132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..……..... 133
ДОДАТКИ……..... 151
.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТЛУ – тип лісорослинних умов;

Сз – сосна звичайна;

Бп – береза повисла;

Дз – дуб звичайний;

Влч – вільха чорна;

ЛГМ – лісові горючі матеріали;

НЛГМ – наземні лісові горючі матеріали;

ОПГ – основні провідники горіння;

10-hr – фракція легких горючих матеріалів (1-hour time lag fuel) d < 0,6 см;

100-hr – фракція тяжких горючих матеріалів (100-hour time lag fuel) d = 2,54 – 7,62 см;

1000-hr – фракція дуже тяжких горючих матеріалів (1000-hour time lag fuel) d > 7,62 см;

ЖНП – живий надгрунтовий покрив;

РГМ – рослинні горючі матеріали;

МГЕЗК – міжурядова група експертів по змінах клімату;

ОУЛМГ – обласне управління лісового і мисливського господарства;

ЧАЕС – Чорнобильська атомна електростанція;

УкрНДІЛГА – Український науково дослідний інститут лісового господарства і агролісомеліорації;

NASA – National Aeronautics and Space Administration, агентство уряду США;

ЄС – Європейський Союз;

Іс – індекс санітарного стану деревостану.

ВСТУП

На сьогоднішній день лісові неконтрольовані пожежі в Україні є одним із найнебезпечніших для сучасних лісів чинників, що призводить до ослаблення, деградації або цілковитого знищення деревостанів. Лісова пожежа виникає за рахунок наявності запасу, складу та готовності горючої сировини до загоряння. Кліматичні умови значно підвищують, або зменшують ризики виникнення лісових пожеж. У зв'язку з прогнозуванням науковцями світового рівня на найближчий період глобального потепління та зміни клімату в бік його посушливості, для України підвищуються реальні ризики зростання кількості й масштабів неконтрольованих, катастрофічних для всієї планети лісових пожеж [85, 103, 183].

У теперішній час у багатьох регіонах світу спостерігається зростаюча тенденція до поширення надзвичайно сильних неконтрольованих лісових пожеж. Переважно природні пожежі охоплюють великі регіони і навіть значні частини окремих континентів, наносячи людському суспільству та довкіллю величезних матеріальних збитків та призводячи до численних людських жертв [93].

Так, у 2017 році в країнах ЄС за даними Join Research Center при Європейській комісії і REUTERS, пройдено пожежами до 1 млн. га. Європейська інформаційна система лісових пожеж оцінила збитки від їхнього впливу у розмірі приблизно десяти млрд євро [135]. Не став винятком і 2019 рік з катастрофічними лісовими пожежами у Росії, де загальна площа, яка була охоплена лісовим вогнем, склала понад 11 млн га. В Бразилії природними пожежами було знищено понад 906 тис. га лісів [116]. Масштабні катастрофічні лісові пожежі, які мали місце у 2018 р. в Австралії, Греції, Португалії, Німеччині та Швеції, свідчать про те, що пожежні ризики збільшуються навіть для розвинених країн центральної та північної Європи [161].

В Європі площа соснових лісів перевищує 28 млн га, що складає понад 20 % загальної площі лісових земель [143]. В Україні найнебезпечніші в пожежному відношенні хвойні ліси займають 43 %, а чисті соснові насадження зростають на

35 % загальної площі лісів України. Вони головним чином ростуть на півночі України в зоні Полісся та на півдні в Степовій зоні, вздовж найбільших річок та в Криму. Понад 90 % загальної кількості пожеж в лісах України виникають саме у сосняках [13, 27, 79, 106]. Звітуючи публічно у 2017 році, Державне агенство лісових ресурсів України наголосило на тому, що впродовж останніх десяти років (2009–2018 рр.) на території України виникло 19,9 тис. лісових пожеж, на загальній площі 37,2 тис. га, а економічні збитки від них сягали 263,3 млн грн.

У Київському Поліссі щорічно виникає близько 300 лісових пожеж, водночас, середня площа однієї ліквідованої лісової пожежі за останні 27 років є досить значною і становить 1,3 га [103, 105]. Такі масштаби лісових пожеж призвели до колосальних матеріальних збитків у лісогосподарському секторі економіки України. Від'ємна демографічна динаміка, активна фаза ведення бойових дій на окупованих територіях на сході України та недостатнє фінансування лісової галузі спричинили негативні соціально-економічні наслідки, які в комплексі з несприятливими проявами глобальних змін клімату загострили проблему лісових пожеж на території України [183].

Дослідженням лісових пожеж, а також вивченням лісових горючих матеріалів (ЛГМ) займались такі вчені як: І. С. Мелехов [61], В. Г. Нестеров [65], Н. М. Горшенін [18], М. П. Курбатський [51, 52], В. В. Усеня [91], С. В. Зібцев [30, 31, 179, 180, 182], П. П. Яворовський [105, 106, 107], В. П. Ворон [12], В. В. Левченко [53], С. Г. Сидоренко [80, 82, 83, 84, 85, 86, 161], А. Д. Кузик [49, 50].

Водночас, дослідження лісових горючих матеріалів (ЛГМ) в Київському Поліссі носять лише фрагментарний характер. Зокрема у межах Київського Полісся подібні дослідження проведено лише в Чорнобильському радіаційно-екологічному біосферному заповіднику. Беручи до уваги те, що лісові горючі матеріали є визначальним чинником, який впливає на параметри горіння та поведінку лісових пожеж, визначення їх обсягів та розподілу в лісових насадженнях залежно від їхнього віку та типів лісорослинних умов, а також дослідження просторово-часових тенденцій виникнення лісових пожеж, є

надзвичайно актуальними і необхідними.

Мета та завдання дисертаційного дослідження. Мета дослідження – оцінити горимість лісів, визначити закономірності формування лісових горючих матеріалів в умовах Київського Полісся та розробити програму прогнозу динаміки пожежних ризиків на Digitals-платформі.

Завдання дослідження полягали у наступному*:*

– визначити рівень горимості лісових насаджень та встановити просторово-часові тенденції виникнення лісових пожеж у лісах Київського Полісся;

– дослідити особливості накопичення наземних лісових горючих матеріалів ЛГМ та їх розподіл в чистих соснових лісах в різних типах лісорослинних умов Київського Полісся;

– розробити моделі для оцінювання лісових горючих матеріалів у лісах Київського Полісся;

– зробити орієнтовний прогноз за пожежонебезпечний період по зміні кліматичних норм до 2050 року у межах Київського Полісся;

– розробити іноваційну програму на Digitals платформі для прогнозу динаміки ризику виникнення лісових пожеж.

Об'єкт дослідження – різновікові лісові насадження сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), що зростають в різних типах лісорослинних умов в межах державних лісогосподарських підприємств Київського Полісся.

Предметом дослідження є горимість лісів, лісові горючі матеріали та прогнозування пожежної небезпеки Київського Полісся.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційного дослідження були застосовані наступні методи: спеціальні – спостереження, експеримент; загальнонаукові – гіпотеза, аналіз, синтез, дедукція і порівняння; лісівничі, таксаційні, біометричні – під час збору польового експериментального матеріалу; математичного моделювання, математико-статистичні, аналізу, синтезу – під час виконання розрахункової частини дисертаційної роботи та оцінки точності результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення дисертації,

які визначають наукову новизну, полягають у наступному:

– проведено оцінювання запасів загальних обсягів наземних ЛГМ для чистих соснових лісів Київського Полісся та вивчено закономірності їх формування у різних типах лісорослинних умов;

– розроблено моделі оцінювання запасів ЛГМ за таксаційними характеристиками з врахуванням лісорослинних умов;

– спрогнозовано майбутні характеристики пожежонебезпечних сезонів в умовах змін клімату у межах Київського Полісся до 2050 року;

– створено програму оперативного прогнозування динаміки ризику виникнення лісових пожеж у лісах Київського Полісся «Прогнозування стану пожежної небезпеки у лісах України на Digitals-платформі».

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано інноваційні науково-методичні підходи оцінювання можливого виникнення та розповсюдження лісових пожеж, вдосконалення методів обстеження лісових насаджень упродовж пожежонебезпечного періоду з визначенням обсягів ЛГМ. Основні положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи було впроваджено у виробничу діяльність державних лісогосподарських підприємств Київського обласного управління лісового та мисливського господарства та у державне підприємство «Спеціалізоване лісогосподарське підприємство Київоблагроліс». Результати дослідження використовуються у навчальному процесі кафедри лісівництва Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України при викладанні навчальних дисциплін «Охорона лісів від пожеж» та «Лісова пірологія».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертації, методики по проведенню досліджень, здійснено польові й лабораторні дослідження, виконано математично-статистичну обробку отриманих дослідних даних та проведено розробку нормативно-інформаційних матеріалів. Також здійснено розробку алгоритму іноваційної програми оперативного прогнозування динаміки ризику виникнення

лісових пожеж у лісах України «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі».

Сформульовані в дисертаційному дослідженні наукові положення, висновки і рекомендації виробництву належать особисто здобувачеві та є його власним науковим доробком.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційного дослідження було апробовано та обговорено на: Міжнародній науково-практичній конференції «Здоров'я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства» (м. Київ, 2017 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів». (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу», присвяченій 120-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України та кафедри ботаніки ННІ лісового і садово-паркового господарства (м. Київ, 2018 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова, (м. Харків, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Соціальні та екологічні виклики лісам і лісовому менеджменту та їх подолання» (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів» (м. Київ, 2018 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та спеціалістів «Історія освіти, науки і техніки в Україні», присвяченій ювілейним датам від дня народження видатних учених в галузі аграрних наук – основоположників сільськогосподарської дослідної справи в Україні за своїми напрямами, професорам – Богданову Сергію Михайловичу (1859–1920), Шіндлеру Каміллу Гавриловичу (1869–1940) та член-кореспонденту АН УРСР Тюленєву Миколі Олександровичу (1889–1969) (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві» (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-

конференції «Сучасний рух науки» (м. Дніпро, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Відновлення, охорона й збереження рослинного світу лісів України в умовах техногенного навантаження та змін клімату» (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу» (м. Харків, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегій стійкого розвитку: агроекологічних, соціальних та економічних аспектах» (м. Полтава, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку (УкрНДІЛГА – 90 років)» (м. Харків, 2021 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і не формальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» (м. Харків, 2023 р.); Міжнародній науково-практичної конференції «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнні відбудови: виклики для України та Світу» присвяченої 125-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 2023 р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 23 наукових працях, з яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, дві статті у періодичних наукових виданнях іншої держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, одне авторське свідоцтво на комп'ютерну програму № 95983 та 16 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних позначень, скорочень і термінів, вступу, чотирьох розділів, висновків, пропозицій виробництву, списку використаних джерел і 8 додатків. Дисертацію викладено на 187 сторінках. Фактичний матеріал систематизовано у 10 таблицях, ілюстровано 53 рисунками. Список використаних джерел містить 183 найменувань, з яких 72 латиницею.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Лісові пожежі здіснюють вплив на життєдіяльність лісових екосистем Київського Полісся, яке може бути як негативним, так і частково позитивним, адже в результаті лісових пожеж можуть покращуватися умови для природного лісовідновлення, часто з небажаною зміною деревних видів рослин [14, 24, 23, 32, 84, 102, 103]. Водночас, найчастіше лісові пожежі виходять з-під контролю людини та спричиняють знищення лісової рослинності і біомаси, що в майбутньому може призвисти до значнних проявів ерозії ґрунтів під дією води і вітру [25, 79–82]. Неконтрольовані лісові пожежі негативно відображаються не лише на лісових насадженнях, їхніх природоохоронних, соціальних та інших корисних функціях, але і негативно впливають на інші ресурси, здоров'я, умови життєдіяльності і соціально-матеріальний добробут людини. Значна шкода від впливу лісових пожеж протягом тривалого періоду завдається також природним ландшафтам [104, 105].

Природні лісові пожежі призводять до задимлення і осідання забруднюючих, в тому числі і радіоактивних речовин на рослини, житлові будівлі, промислові та інші споруди, а також до зростання концентрації в атмосфері парникових газів. Ризик виникнення лісових пожеж збільшується, як через неконтрольоване розширення сільськогосподарських угідь, так і в результаті більш активного використання лісів з рекреаційною і туристичною метою [32, 183].

З стародавніх літописів, а саме з історичних докуметів лісові пожежі завжди пов′язані із посухою. Посухи, які супроводяться неконтрольованими лісовими пожежами, періодично мають закономірність повторюватись кожні 3-5 років і охоплювати окремі регіони. Значно рідше спостерігалися катастрофічні тривалі посухи у регіонах, які призводили до тяжких страждань всього живового на Землі. У Никонівському літописі особливо доцільно відмітити 1092 рік, коли висихали цілі болота та «горів грунт» [77, 90].

В Україні значна посуха спостерігалась в 1975 році коли вона розповсюдилася на західну частину Європи. При цьому виникли неконтрольовані великі лісові пожежі в ФРН, тоді у Нижній Саксонії неконторльований вогонь знищив в щент понад 8 тис. га. лісу. При цьому сприяв розвитку лісовій пожежежі ураганний вітер, що унеможливлював вести ніяку бородьбу з вогнем. Також не менш жорстока посуха спостерігалася в Франції, Бельгії, Італії, ФРН, Голландії США, Австралії, країни Східної Африки та Англії в 1976 р. Лише у Франції знищено вщент пожежами понад 50 тис. га. лісу [33, 31, 141].

За аналізом І. С. Мелехова [61], великі неконтрольовані лісові пожежі із катастрофічними наслідками можуть виникати по сьогодення. Наприклад в 1977 році в Каліфорнії після тривалої посухи виникали численні лісові пожежі від блискавок. Також одного разу хлопчик запустив у повітря паперового змія, який зачепився за електро дроти високовольтної електромережі, в результаті чого при займанні та падінні зайнялися лісові горючі матеріали, що супроводило виникнення неконтрольованої лісової пожежі, що сягнула великих розмірів і знищела в щент понад 154 тис. га. лісу [91, 156, 161].

Лісові пожежі завдають лісовому господарству значних економічних збитків. Найбільш значних за останні десять років у Київському Поліссі завдали у 2015 та 2020 році у зоні відчуження Чорнобильської АЕС та на території лісонасаджень Житомирської області, які мали катастрофічні наслідки, як для природних екосистем вцілому, так і для місцевого населення зокрема. Збитки від пожеж сягають десятки млрд гривень, але до теперішнього часу не можна повною мірою визначити точний розмір спричинених економічних втрат остаточно. Кошти на ліквідацію і подолання наслідків від лісових пожеж перевищили понад 200 млн гривень [35].

У штаті Вікторія (Австралія) в 2019 році, природні лісові пожежі стали причиною 173 випадків загибелі людей від вогню, в Греції, в 2007 році пожежі забрали життя близько 80 осіб (69 цивільних осіб, 9 сезонних пожежників і 2-х пілотів, за даними об’єднаного дослідницького центру, 2008 р.). Значна кількість лісових пожеж розповсюдилась із зони природних ландшафтів на території

міських забудов (наприклад, в Австралії, Італії та Сполучених Штатах Америки), що в свою чергу показує, як нерегульовані масштабні лісові пожежі можуть знищувати вщент житлові зони [23, 26, 85, 93].

В залежності від погодних умов в Україні у зв'язку з війною в останнє десятиліття, щорічно, виникає від 2,9–9,5 тис. лісових пожеж, які охоплюють значні площі від 0,5 до 15,0 тис. га., більшість яких припадає на ліси Донецької, Луганської, та Дніпропетровської областей [161, 183].

1.1. Класифікація лісових горючих матеріалів за різними системами

Лісові горючі матеріали (ЛГМ), їх склад, накопичення у фізичній масі є визначальним чинником, який впливає на параметри та процеси горіння, поведінку лісової пожежі, але на сьогоднішній день в Україні дослідження по вивченню складу, кількості накопичення та впливу ЛГМ на стан лісової пожежної небезпеки, а також ймовірність виникнення лісових пожеж носять лише фрагментарний та безсистемний характер і перебувають на початковому етапі досліджень [161].

Вивченням складу ЛГМ займались И. С. Мелехов [61], В. Г. Нестеров [64, 65], Н. М. Горшенін [18], М. П. Курбатський [51, 52] та ін. Більшість досліджень у цьому напряму проводились у США та на теренах колишнього Радянського Союзу. Водночас, на території України за часів УРСР, проведення таких досліджень з цього напрямку розпочалося лише в 60–70-х рр. XX століття. Ціла низка досліджень стосувалась класифікації лісових горючих матеріалів, вивченням їх властивостей та участі в процесі горіння [5, 9, 21, 63, 64, 75, 92, 150].

Одним з перших, хто спробував дати визначення лісовим горючим матеріалам та об'єднати їх у відповідні групи, був М. П. Курбатський [52]. За його науковим визначенням, лісовими рослинними горючими матеріалами є рослини та їхні сухі органічні рештки різного ступеню розкладу, які можуть горіти за умов виникнення лісової пожежі [11, 20, 75].

До складу горючих матеріалів, слід враховувати всі рослинні матеріали, які здатні горіти, а не лише лісові, оскільки до земель лісового фонду відносяться

також і невкриті лісовою рослинністю території, на яких також можуть виникати осередки пожеж. Згідно з визначення американських вчених [150], рослинні горючі матеріали – це сухі матеріали рослинного походження, що можуть горіти під час пожежі.

В основу класифікації шарів та складу рослинних горючих матеріалів, більшістю вчених покладено здатність ЛГМ до загоряння, яка залежить від їхніх фізичних властивостей: вологості, розмірів, розташування в лісовому фітоценозі тощо [9]. Волокітіна А. В. [9] у класифікації ЛГМ пропонує розглядати три рівні лісових горючих матеріалів:

1) класифікація елементарних частинок у комплексах ЛГМ;

2) класифікація простих комплексів (шарів) ЛГМ всередині біогеоценозів;

3) класифікація самих біогеоценозів як складних комплексів ЛГМ.

Курбатський М. П. [51], виділяючи окремі шари горючих матеріалів, враховував, окрім їхнього розміщення, також функції, які вони виконують під час лісової пожежі. Ним було виділено три групи ЛГМ: 1) провідники горіння; 2) підтримувачі горіння; 3) затримувачі горіння.

Волокітіна В. А. та М. А. Софронов [7], виділяють ще й четверту групу, а саме матеріали, які не беруть участі в процесі горіння, тобто ЛГМ, що знаходяться поза зоною горіння або ті, які не здатні згоряти навіть у полум’ї сильної лісової пожежі.

Головну роль у виникненні та поширенні лісової пожежі відіграє перша група ЛГМ, тому низка вчених намагались класифікувати матеріали, які входять до її складу. Так, Е. В. Конєв [45] поділив такі матеріали на: 1) відмерлий травостій; 2) опалу хвою; 3) опалі листки; 4) лишайники; 5) мохи. Яковлєв А. П. [108] в лісах південно-західної Якутії виділив шість типів наземних ЛГМ залежно від швидкості їхнього пожежного дозрівання, а саме: лишайниковий, мертво-покривно-толокнянковий, хвойно-глицевий, моховий, трав’яний і сфагновий. Шешуков М. А. [100] класифікував шари ЛГМ за рівнем питомої щільності: відкритий (до 0,3 $(кг \cdot м^{-3})^{-1}$), рихлий (0,3–4 $(кг \cdot м^{-3})^{-1}$), напіврихлий (5–15 $(кг \cdot м^{-3})^{-1}$),

ущільнений (16–30 (кг·м$^{-3}$)$^{-1}$), щільний (31–80 (кг·м$^{-3}$)$^{-1}$), дуже щільний (81–130 (кг·м$^{-3}$)$^{-1}$).

В основу класифікації шарів рослинних горючих матеріалів більшістю вчених покладено здатність ЛГМ до загоряння, яка залежить від їхніх фізичних властивостей: вологості, агрегатних розмірів та розташування в лісовому фітоценозі.

Курбатський М. П. всі лісові горючі матеріали за їхньою здатністю до загоряння об’єднав у сім груп [51]:

1) мохи та лишайники з дрібним опадом;

2) підстилка, перегнійний і торф'яні горизонти;

3) трави і напівкущі;

4) ломаччя, сушняк, гнилі пеньки і т. п.;

5) підріст і кущі;

6) хвоя, охвоєні гілки в полозі лісу;

7) стовбури ростучих дерев та живі гілки товщиною понад 7 мм.

Мохи, лишайники з дрібним опадом – це горючий матеріал, з якого найчастіше розпочинається загоряння, що потім переходить у лісову пожежу. Рівень вологості цих матеріалів, особливо лишайників, змінюється навіть протягом доби та залежить від погодних умов. Трави та напівкущі: чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus* L.), верес звичайний (*Calluna vulgaris* L.), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea* L.), багно звичайне (*Ledum palustre* L.), молінія голуба (*Molinia caerulea* L.) мають стійкий рівень вологості та самостійно горіти не можуть. Вони здатні горіти лише в тому випадку, коли під ними є сухий опад, мохи або лишайники. Підріст та підлісок, як і напівкущі, горять лише тоді, коли вони мають невисокий рівень стабільної вологості [8]. Особливість лісової підстилки і торфу полягає в тому, що рівень їхньої вологості залежить від рівня вологості ґрунту та знаходиться в межах від кількох відсотків до 500 % і більше. Ці матеріали досить повільно висихають, особливо в умовах сирих і мокрих едатопів $B_{4\text{-}5}$, $C_{4\text{-}5}$. Вітровал, бурелом, гнилі пеньки та порубкові рештки повільно змінюють рівень своєї вологості в надзвичайно широких межах. Хвоя, охвоєні

гілки в наметі деревостану мають стійкий і досить високий рівень вологості. Вони згоряють лише після підсушування вогнем, що рухається по поверхні ґрунту. Товсті гілки, стовбури дерев згоряють дуже рідко: як правило, після згоряння хвої, листків та тонких гілок вони лише підсихають [9, 75].

На основі проведених спостережень щодо загоряння лісових матеріалів від кинутого запаленого сірника І. С. Мелехов та С. І. Душа-Гудим [61] запропонували таку класифікацію наземних горючих матеріалів (в порядку зменшення рівня небезпеки їхнього загоряння):

1. Матеріали, які найчастіше загоряються: минулорічна відмерла трава, опала хвоя, опалі дрібні охвоєні гілочки з підсохлою хвоєю, кущисті лишайники; відмираючі та відмерлі мохи (характерні для недавніх зрубів); опале листя дерев та кущів у скрученому вигляді.

2. Матеріали, які часто загоряються: багаторічні підсохлі в поточному сезоні злаки родини (*Poaceae*), Іван-чай вузьколистий, або хаменерій вузьколистий (*Chamaenerion angustifolium*) оголений торф; зелені мохи; напіврозкладена лісова підстилка; гнила деревина, ломаччя.

3. Матеріали, які рідко загоряються: брусниця звичайна (*Vaccinium vitis-idaea* L.), чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus* L.), багно звичайне (*Ledum palustre* L.), лохина (*Vaccinium corymbosum* L.), плаун сплюснутий (булавовидний) (*Lycopodium* L.).

4. Матеріали, які дуже рідко загоряються: зозулин льон (*Polytrichum commune* L.), сфагнум (*Sphagnum* L.), широколисті лісові та лугові трави у вегетуючому стані.

Розвиваючи класифікацію ЛГМ М. П. Курбатського [52], А. В. Волокитина та М. А. Софронова [7] в якості визначальних, використали головні ознаки ЛГМ, пов’язані з їх горінням: можливість загоряння, характер горіння та роль ЛГМ в процесі горіння біогеоценозу.

Поділ на елементарні частинки у комплексах ЛГМ застосовують у США, водночас, не враховуючи за таких умов дуже дрібні їхні частинки. Тому за

класифікацією американських колег, виділяють дві великі категорії горючих матеріалів: живі та мертві [9, 150]. Живі ЛГМ поділяють на дві групи:

1) трави і трав'янисті рослини;

2) хвоя, листки і гілки діаметром понад 6 мм у кронах дерев.

Мертві ЛГМ поділяють на чотири групи залежно від швидкості їхнього висихання (time lag): легкі (1-hour time lag fuel), середні (10-hour time lag fuel), тяжкі (100-hour time lag fuel), дуже тяжкі (1000-hour time lag fuel). Залежно від просторового розташування, всі шари ЛГМ поділяють на три основні групи:

1 – наземні, 2 – надземні, 3 – підземні [9, 21, 75, 92].

Наземні горючі матеріали включають всю масу покриву, що є на ґрунті, та підлісок; надземні – підріст та дерева; підземні – це матеріали, які знаходяться нижче поверхні ґрунту. Майже аналогічні групи ЛГМ було виділено в Канаді. Крім того, у США існує поділ ЛГМ з урахуванням не тільки просторового їхнього розміщення, а й характеру поширення по них процесу горіння: 1) кущі; 2) сухі трави або зелені трави з перевагою сухих; 3) порубкові рештки; 4) лісовий опад; 5) підстилка; 6) перегній, торф.

Слід відзначити, що розподіл лісів на такі об'ємні категорії ЛГМ за горимістю, знижує точність визначення класів природної пожежної небезпеки, оскільки такий розподіл лісових горючих матеріалів у межах одного окремо взятого типу лісу та насаджень, які є надто неоднорідними, не дає змоги точно передбачити можливість виникнення лісових пожеж. Для вирішення цієї проблеми російські та американські вчені проводять картографування запасів ЛГМ, на основі яких розробляються системи оцінки та прогнозування рівня пожежної небезпеки. В США це системи – NFDRS – 78, BEHAVE, LANDIS, FFE; в Канаді – CFFDRS (з підсистемами для оцінки пожежної небезпеки FWI та прогнозу поведінки пожежі FBP) [9, 10]. В Україні створено під керівництвом проф. С. В. Зібцева Регіональний Східноєвропейський Центр моніторингу пожеж (REEFMC), що стало результатом багаторічної співпраці науковців Науково-навчального інституту лісового і садово-паркового господарства з Глобальним

Центром моніторингу пожеж (GFMC) та групою фахівців з лісових пожеж Європейської Економічної Комісії ООН / ФАО.

Для побудови таких систем потрібна точна оцінка запасів лісових горючих матеріалів. Оскільки ЛГМ відрізняються за своїми властивостями і роллю в процесі горіння лісових насаджень, їхню оцінку необхідно проводити з конкретним розподілом на фракції. Існує кілька методик оцінки запасів наземних ЛГМ. Деякі з них було описано в роботах М. П. Курбатського [10], який обґрунтував необхідні параметри вибірки на пробних майданчиках, кількість, площу та їхнє розташування. Також методики оцінки запасів наземних горючих матеріалів описано в роботах М. А. Софронова [90]. Для повної оцінки рівня пожежної небезпеки в лісах зони Полісся України і Київського Полісся зокрема, необхідно також враховувати запас надземних горючих матеріалів (запаси фітомаси) [9, 14].

1.2. Багаторічна динаміка запасів лісових горючих матеріалів в насадженнях залежно від типів лісорослинних умов

Швидкість накопичення та запас ЛГМ зумовлюються типами лісу, віком насадження та рубками догляду [31, 59]. Кузик А. Д. [49] відзначає, що опосередкований вплив на накопичення горючих матеріалів здійснюють ґрунтові умови, зокрема, рівень багатства ґрунту (трофотопу). Так, підвищення вмісту гумусу та мінеральних елементів сприяє більш інтенсивному розвитку трав'яної рослинності, яка у весняні і осінні періоди року призводить до накопичення трав'яного відпаду, що в свою чергу, підвищує рівень пожежної небезпеки [52].

Особливу увагу ряд дослідників приділяють накопиченню лісової підстилки та її фракційному складу. Деякі вчені, зокрема Г. А. Іванова [33], визначальну роль у дослідженні процесу виникнення лісових пожеж та їхньої інтенсивності віддають лісовій підстилці та визначенню її запасу, оскільки питома маса підстилки складає від 50 до 80 % від загального запасу ЛГМ. Шевчук Н. Ю. [98] зазначає, що запаси та склад лісової підстилки знаходиться у тісній залежності від типів лісу, гігрогенного ряду, екологічної структури, едатопу, наземного покриву

і фауни. Він також відзначає збільшення запасів лісової підстилки з віком внаслідок гальмування розкладу органічних речовин на стадії гуміфікації і їх повної консервації. Аткіна Л. І. [1] звертає увагу на збільшення рівня відпаду деревостанів з віком, що призводить до накопичення підстилки та збільшення у насадженнях за 80 років її запасів у 5–7 разів.

Накопичення лісової підстилки за різних умов в різних типах лісу проходить по-різному, окрім того, потужність підстилки і її запас різко коливаються в межах одного і того ж типу лісу, що залежить від однорідності насадження на лісовій ділянці, мікрорельєфу, вікових особливостей насадження та інших чинників [1]. В літературі зустрічаються різні дані щодо потужності та запасу підстилки і їх варіативності. Так, Л. І. Аткіна [1] наводить такі дані: варіативність підстилки у мішаних лісах Підмосков'я сягає 68 %; в насадженнях Полісся України – 15–30 %; в деревостанах Канади – 36–38 % [1]. Найчастіше за умов розгляду процесу накопичення лісової підстилки вона оцінюється не як горючий матеріал, а як важливий елемент природних лісових сукцесій, що визначає родючість ґрунтів (трофотопність), та продуктивність деревостанів. Так, за даними Г. В. Крикуна [48], вивченню запасів та функціональної ролі лісової підстилки й опаду як невід'ємної частини лісового біогеоценозу приділяли увагу в своїх роботах О. Л. Бельгард, Л. О. Карпачевський, А. П. Сапожніков, А. П. Травлеєв, А. О. Дубина, Н. М. Цвєткова, Ю. М. Чорнобай, М. С. Якуба та ін. За таких умов, часто аналізується фракційний склад підстилок [12, 1] та вплив рівня антропогенного навантаження на їхню динаміку [12].

У дослідженнях багатьох вчених показано, що в лісових біогеоценозах, особливо в хвойних насадженнях, зосереджено значні запаси лісових горючих матеріалів, від яких залежать характеристики горіння за умов виникнення лісових пожеж [10, 53, 92, 102]. Слід підкреслити, що у більшості публікацій наведено дані щодо кількості ЛГМ, які обмежуються показниками тільки по лісовій підстилці і органічному відпаду. На думку В. В. Усені [91], за умов встановлення запасів горючих матеріалів в лісових насадженнях, цього явно недостатньо, адже, одночасно слід брати до уваги і живий надґрунтовий покрив. Ці особливості

враховано у його дослідженнях за умов визначення кількості ЛГМ наземної групи в насадженнях хвойних видів деревних рослин республіки Білорусь [91]. Вивчення обсягу ЛГМ та ступеня їх горимості доцільно розглядати не окремо, а в поєднанні з типом погоди, оскільки вивчення окремо підстилки й живого надґрунтового покриву не дасть чіткої картини їхнього накопичення та причин, які впливають на умови виникнення лісових пожеж і особливо в умовах Київського Полісся.

Проведений аналіз даних за матеріалами наукових публікацій показав, що існують різні дані вчених щодо запасів горючих матеріалів у хвойних насадженнях. Так, Н. Е. Медведєв [60] відзначає, що запас повітряно-сухої речовини органічних залишків в сосново-брусничникових типах лісів Брянської області сягає 72 т·га$^{-1}$. Водночас, за іншими даними [7] у сосняках Московської області запас лісової підстилки коливається в межах від 25,1 до 33,0 т·га$^{-1}$. У дослідженнях Е. В. Конєва [44, 45] наголошується на тому, що кількість живого надґрунтового покриву і свіжого опаду, які є основними провідниками горіння, за умов виникнення низових лісових пожеж, накопичується в насадженнях за надмірного рівня зволоження, де процеси розкладання органічної речовини відбуваються з досить низькою активністю, а найменша їхня кількість спостерігається в лісах з бідними і сухими піщаними ґрунтами. За даними А. В. Волокітіної [6] в природно-кліматичних умовах Красноярського Приангар’я, за ґрунтових пожеж в насадженнях на торф’яно-болотних ґрунтах з розвиненим торф’яним горизонтом, маса органічних матеріалів які беруть участь в горінні, може сягати 150 т·га$^{-1}$.

Окрім запасів ЛГМ, розглядається також їх фракційний склад. Так, за даними А. М. Матвеєва [58], трав’янисті рослини та напівчагарники складають від 5,7 % до 13,5 % маси наземних ЛГМ. Запаси підстилки в модринових лісах коливаються від 4,1 до 24,7 т·га$^{-1}$, трав та напівчагарників в межах 1,4–2,2 т·га$^{-1}$, мохів та лишайників – 3,9–9,7 т·га$^{-1}$ [10]. Цвєтков П. А. [96] наводить такий фракційний розподіл НЛГМ в модринових лісах: лісова підстилка складає – 61,1–74,4 %, лишайники – 2,1–7,4 %, мохи – 5,0–14,8 %, опад – 1,2–5,0 %. За даними

А. В. Волокітіної [7], в модринових лісах, загальні запаси ЛГМ коливаються в межах 55,8–87,6 т·га$^{-1}$, в тому числі лісової підстилки 5,2–55,7 т·га$^{-1}$; крім того, зазначено, що в межах однорідної ділянки варіювання запасів шарів моху та лісової підстилки коливається під впливом нанорельєфу в межах 30 %.

Фракційний склад НЛГМ змінюється залежно від особливостей типів насаджень. Так, зі збільшенням повноти насаджень, зменшується частка участі трав і збільшується участь напівчагарників та мохів. Має місце збільшення маси лісового опаду, а також в свою чергу запасів лісової підстилки. Зі збільшенням частки листяних деревних видів у складі насаджень, збільшується участь трав та напівчагарників. За таких умов, запас мохів, лишайників, лісової підстилки та загальний запас ЛГМ зменшуються [59, 94, 94, 112].

1.3. Особливості формування запасу та огляд результатів дослідження горіння лісових наземних горючих матеріалів

Загальний обсяг опаду в хвойних і хвойно-листяних лісах коливається у досить значних межах залежно від широтного розташування місцевості, її кліматичних особливостей, повноти і класу бонітету насаджень, участі у складі деревостану листяних видів, а також погодних умов окремих років [10, 14]. Родин Л. Є. і Н. І. Базілевич [75, 76] вважають, що вік насаджень істотно не впливає на величину листкового опаду і це знаходить пояснення у відносній постійності листяної маси в лісових біогеоценозах.

В Україні дослідження запасів наземних лісових горючих матеріалів проводив О. А. Борсук [53] в зоні відчуження Чорнобильської АЕС у чистих соснових насадженнях в умовах свіжих борів і суборів (A_2, B_2, C_3) різного віку. Загальний запас наземних ЛГМ в умовах свіжих суборів вищий на 16 %, ніж в умовах свіжих борів. Різниця у запасі наземних ЛГМ має значні коливання. Так, у віці насаджень 53 роки така різниця складає 7 %, у 44 роки – 37 %. Причиною такого коливання запасу наземних ЛГМ є лісівничі особливості окремого насадження (санітарний стан дерев, повнота, живий надґрунтовий покрив, рівень пошкодження шкідниками та хворобами лісу тощо). Так, в однакових

лісорослиних умовах та однаковому віці деревостанів різниця запасу наземних ЛГМ може досягати до 45 %. Лісовій підстилці може належати більше 70 % загальної маси наземних ЛГМ [4].

Запас лісової підстилки в умовах свіжих борів 71,8 % є нищим, ніж в умовах свіжих суборів 73,6 %, відповідно від загального запасу наземних ЛГМ. У складі лісової підстилки свіжих борів опад складає в середньому 52 %, а у суборах – 32 % і 68 % – відповідно. Це пояснюється різними процесами інтенсивності розкладання опаду і запасом живого надґрунтового покриву. Також, досліджено фракційний склад ЛГМ. У свіжих борах спостерігається більший запас деревного відпаду (27,5 %), ніж у суборах (24,9 %). Запас дрібних гілочок (1-hr – d < 0,6 см) у свіжих борах і суборах однаковий і складає у середньому 2,1 %. Запас частинок 100-hr (гілочки = 2,5 –7,62 см) більший у свіжих суборах на 0,6 %, а частинок 10-hr і 1000-hr (гілочки d = 0,6 – 2,54 см і d > 7,62 см відповідно) більший у свіжих борах на 1 – 2 % [4].

Запас живого надґрунтового покриву (1,5 % загального запасу наземних ЛГМ) у два рази більший у свіжих суборах, порівняно зі свіжими борами [4]. Найменші величини запасу лісового опаду властиві 100-річним насадженням, найбільші – 25–45-річним деревостанам.

Євдокименко М. Д. [28] наводить такі дані щодо відновлення підстилки після лісової пожежі: кількість опаду в рік пожежі становить 240 г·(м^2)$^{-1}$, а на контролі 85 г·(м^2)$^{-1}$; під час пожежі згоріло підстилки 1540 г·(м^2)$^{-1}$ та живого надґрунтового опаду (ЖНО) 1120 г·(м^2)$^{-1}$. Підвищення маси лісового надґрунтового опаду відбувається внаслідок часткового пошкодження нижніх гілок дерев. Вже через рік після пожежі маса опаду нормалізується і перебуває в прямій залежності від кількості хвої на гілках, а через два роки стає у 1,5 разів меншою, ніж на контролі. Тому, для повного відновлення лісової підстилки та всіх її функцій, які вона виконує, потрібен досить тривалий період часу. Крім того, на згарищі відбувається значне порушення водного режиму ґрунту, змінюється трофотопні та гігротопні властивості грунтів, посилюється поверхневий стік за рахунок нерегульованого стоку атмосферних опадів [30].

В Україні є лише окремі фрагментарні дані літературних джерел щодо досліджень запасів та характеристик лісових рослинних горючих матеріалів.

Так, А. Д. Кузик [50] в лабораторних умовах досліджував параметри горіння найпоширеніших видів надземних лісових горючих матеріалів, визначав температуру займання хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), листків дуба звичайного (*Quercus robur* L.), трав'яних рослин і чагарників. Він встановив, що температура займання свіжозірваної хвої є нижчою, ніж сухої. Для листків видів деревних рослин спостерігається така ж залежність, а найнижчою, є температура займання листків вільхи чорної (*Alnus glutinosa* L. Gaerth.).

Лабораторією екології лісу Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації імені Г. В. Висоцького (УкрНДІЛГА ім. Г. В. Висоцького), проведено дослідження запасів лісової підстилки у сосняках Полісся України різного віку, в умовах свіжого субору за шарами мінералізації (опадовий, ферментативний, гуміфікований). За результатами досліджень було встановлено, що запаси підстилки збільшуються з віком сосняків, а просторове розміщення їх у межах лісового виділу є неоднорідним. Найбільше підстилки накопичується під стовбурами дерева, а з віком насаджень збільшується частка гуміфікованого шару та зростає об'ємна маса підстилки [12, 86].

Науковцями Національного університету біоресурсів і природокористування України [23, 24] проведено дослідження запасів наземних ЛГМ з відбором лісової підстилки за шарами мінералізації та одночасним обліком ЛГМ за фракціями. Для цього застосовували методику лісової служби США («FIREMON»). Окрім того, співробітниками Східноєвропейського центру моніторингу пожеж С. В. Зібцевим, О. М. Сошенським, В. В. Гуменюком [30] розпочато створення пірологічного геопорталу в рамках інтегрованої системи управління пожежами, основними вхідними параметрами для якого будуть дані щодо закономірностей накопичення різних типів ЛГМ та динаміки рівнів їх вологості.

Отже, на сьогоднішній день є необхідність проведення додаткових досліджень динаміки накопичення лісових рослинних горючих матеріалів у

різних типах лісу Київського Полісся, що є першочерговим і надзвичайно актуальним завданням пірологічних досліджень в Україні.

Hille M. G. [130] досліджував просторове розміщення ЛГМ та вплив рівня їхньої вологості на вигоряння в різних типах лісів США. Ним встановлено, що потужність лісової підстилки зменшується в напрямках від стовбура дерева до периферії крони, а також він виявив, що низький рівень вологості підстилки не має визначального впливу на ступінь її вигоряння, а рівень її вологості, що варіює в межах 30–120 %, зумовлює вигоряння підстилки біля стовбура, та менш повне її вигоряння по периферії крони і у прогалинах. Причиною цього є нерівномірність розподілу опадів у лісових насадженнях. Дані щодо їхнього розподілу під кроною насаджень наведено в роботі А. В. Волокітіної [6, 9]. Вона також, наводить результати щодо дослідження пошарового висихання НЛГМ і своїми дослідженнями довела, що потужність їхнього шару не впливає на виникнення лісової пожежі, а лише визначає інтенсивність та швидкість поширення лісової пожежі [9, 8]. Повноту вигоряння лісової підстилки досліджував А. М. Матвєєв [58, 59], який встановив, що виникнення пожеж в кущиково-моховій групі наземних ЛГМ можливе навіть за рівня вологості 220 %, а у лишайниковій за – 180 %. Водночас, повне вигоряння підстилки відбувається лише за рівня вологості від 20 до 30 %.

Для запобігання лісовим пожежам та прогнозування їхнього виникнення і розповсюдження, пропонуються різні заходи та системи, в основу яких покладено дані про кількість та структуру горючих матеріалів. Так, американські вчені в якості профілактичних заходів пропонують здійснювати шляхом видалення лісових горючих матеріалів механічним шляхом та проведення контрольованих палів [111]. З цією метою було розроблено низку систем щодо прогнозування виникнення, поширення та обчислення розміру очікуваних збитків від лісових пожеж, важливою умовою проведення яких є наявність даних про наземні ЛГМ [111, 150].

У результаті проведених досліджень, запропоновано проведення картографування показників кількості та площ зосередження лісових горючих

матеріалів. За даними А. В. Волокітіної [6, 7] крупномасштабне картографування ЛГМ та використання метеорологічної інформації дозволить ефективно прогнозувати поведінку і перспективні наслідки лісових пожеж [7, 9, 91]. Обґрунтування необхідності проведення картографування, методи його проведення описано у низці публікацій відомих вчених [2, 9, 39, 70].

1.4. Сезонна динаміка вологості наземних лісових горючих матеріалів

Значну роль в процесі виникнення та розповсюдження лісових пожеж відіграють наземні лісові горючі матеріали (НЛГМ), зокрема, такі їхні компоненти, як: живий надґрунтовий покрив, підлісок, лісова підстилка, опад [3, 104, 105]. Горючі матеріали цієї групи можуть швидко змінювати рівень своєї вологості під впливом зовнішніх чинників (опади, температура повітря, вологість лісової підстилки та грунту) [3, 104, 106, 107]. Вони відносяться як до провідників горіння, так і до матеріалів, які затримують горіння, залежно від сезону року. Вони здатні загорятися за рівня вологості 25–40 % [8]. Важливим чинником, який визначає горимість ЛГМ, є їхня гігроскопічність. Усі горючі матеріли можна поділити на негігроскопічні: живі рослини, що здатні регулювати рівень своєї вологоємності, а також гігроскопічні: рослини, рівень вологоємності яких залежить від умов навколишнього середовища [8]. Також, важливим чинником є верхня межа вологоємності ЛГМ, за якої можливе горіння. Вона відрізняється у різних видів наземних горючих матеріалів. Визначенням цієї межі займалось багато вчених [8]. Так, В. Г. Нестеров [64] вказував на межу для моху Шребера, яка знаходиться на рівні 45 %, водночас, Н. П. Курбатський [51, 52] зазначав, що рівень його горимості досить динамічний, залежить від умов обводненості типів лісу і в середньому складає 25–40 %, а І. С. Мелехов [61] за таких самих умов зазначає, що рівень його горимості в типах лісу $A_{4\text{-}5}$, $B_{4\text{-}5}$, $C_{4\text{-}5}$ становить за умов повного висихання – 27 %.

Волокітіна А. В. [7], наводить дані В. І. Жуковської щодо граничного рівня вологості для різних горючих матеріалів: лишайників – 37 %, моху Шребера – 16 %, відпаду трав – 16 % та опаду хвої сосни – 23 %. Лісові насадження із

вказаними видами надґрунтового покриву є найбільш пожежонебезпечним. Професором С. В. Зібцевим [183] зазначено, що найбільш пожежонебезпечними є сосняки лишайникові, вересові, зеленомохові та злакові; а під час надґрунтових посух, пожежі можуть виникати навіть у вологих типах лісорослинних умов з домінуванням у ґрунтовому покриві мохів та осок.

У суху погоду рівень вологості опаду, мохів і лишайників значно нижчий рівня вологості кущиків і трав. Лісова підстилка займає проміжне положення [54]. Коефіцієнти варіації рівня вологості зразків різних горючих матеріалів помітно відрізняються: у лишайників – 32 %, мохів – 32 %, трав – 17 %, опаду – 38 % та підстилки – 37 %. Аналогічно варіює і кількість рослинних горючих матеріалів (РГМ) [54]. Мох рунянка має пристосування для регуляції випаровування та поглинання вологи з повітря. У нього відсутні пошарові особливості рівня вологості. Найбільш пожеженебезпечними є лишайники, на другому місті знаходиться мох Шребера, на третьому – сфагнуми, і вже на четвертому місці знаходиться рунянка [54]. В суху погоду вологість опаду, лишайників і мохів значно нижче вологості кущиків і трав. Лісова підстилка має в цьому сенсі проміжне положення. Загальний рівень вологості ЛГМ підвищується від сухих умов місцезростання до вологих [54].

Фактори висихання, які враховуються за умов оцінки рівня пожежної небезпеки за умов погоди становлять: 1) температура повітря у 13–14 годині; 2) характеристика рівня вологості повітря (гідротермічний коефіцієнт, дефіцит вологості, температура точки роси); 3) тривалість бездощового періоду впливає непрямо, а через величину лісопожежного показника посухи за попередній день [74].

Максимальне насичення водою для моху холохоміуму спостерігалось після дводенного дощу (з середньою кількістю опадів 35 мм), який йшов протягом 2-х днів, тоді як сильні одночасні опади (з середньою кількістю опадів 25 мм) насичували мох вологою менше (390 % та 290 % відповідно). Один дощ навіть, сильний не здатний повністю наситити вологою мох [74]. Висихання шару соснового лісового опаду товщиною шару 2 см від 100 до 30 % (горимий стан)

може відбуватися протягом 8–10 год. Такі показники характерні і для лишайника – від 150–160 до 40 % (горимий стан) упродовж 8–12 год. [74]. Хід висихання від поверхні лісової підстилки в її вглибину не залежить від товщини шару моху (холоходіум) [74].

Висихання ЛГМ до рівня критичної вологоємності відбувається під впливом низки погодних чинників і їхнє пожежне дозрівання відбувається за умов їхнього відмирання і досягання низького рівня вмісту вологи, який становить менше 30 %, але таке висихання відбувається по-різному [54, 108, 109]. Так, наприклад, хвоя може горіти і в мокрому стані через наявність відповідного надгрунтового покриву. Трав'янисті рослини упродовж вегетаційного періоду містять значну кількість вологи. Проте наприкінці літа і на початку осені такі рослини відмирають та висихають (у багаторічних рослин висихає їхня надземна частина) [64, 67, 104]. У сухому стані вони особливо пожежонебезпечні, оскільки крім низького рівня вологості, мають просторову структуру, сприятливу для поширення горіння. Окремі вчені пропонують використовувати, поняття пожежного дозрівання ЛГМ на ділянках лісу для визначення рівня їхньої пожежної небезпеки [7, 8, 64]. За таких умов, необхідно опрацьовувати шкали пожежного дозрівання на основі аналізу наземних лісових горючих матеріалів (НЛГМ) у різні періоди року (весняний, літній, осінній) з урахуванням особливостей вегетації рослин [9, 11, 20, 55, 91]. Як показник, який враховує сукупність метеорологічних чинників, пропонується використовувати клас ґрунтової посухи, запропонований проф. В. Г. Нестеровим [64]. Зміна цього показника впливає на виникнення та швидкість поширення лісових пожеж, поверхневу теплоту згоряння ЛГМ [32, 64, 91]. За даними С. В. Зібцева [183], опад загоряється за показника В. Г. Нестерова [65] 300–500, а за 700 і більше в умовах A_2 – B_2 відбуваються стійкі пожежі, за яких може загорятись вся лісова підстилка.

1.5. Горимість лісів Київського Полісся

Ліси Київського Полісся на частку яких припадає велика частина радіоактивного забруднення, відноситься до найбільш горимих зон. У даній зоні

практично щороку виникає значна кількість випадків загорянь лісових горючих матеріалів. Проведений аналіз С. І. Душа-Гудимом [27] на території Київської та Житомирської областей за розподілом лісових пожеж, показав, що в 1980–1988 рр. виникало щорічно від 41 до 307 випадків загорянь. У рік катастрофи відбулося 453 випадки лісови пожеж, з них у Київській області понад 288, кількість випадків загорянь після аварійного року у 1987 в значній мірі знизилася і склала приблизно 176 випадки, але вже в наступному, 1988 році, зросла до 307 випадків. У 1992 році горимість лісів в зоні Київського полісся навколо ЧАЕС досягла надзвичайних розмірів – тисячі гектарів соснових лісових насаджень були пройдені вогнем, а особливо в лісах найбільш забруднених радіонуклідами [27].

У дослідженнях С. І. Душа-Гудима [27] 1973 року виявлено, що в Поліській зоні України найбільш висока частота лісових пожеж, а саме 302 випадки в рік на 1 млн га загальної площі лісового фонду була зафіксована в Київській області. У роках низької та середньої пожежної небезпеки за умовами погоди середні площі лісових пожеж в Київському Поліссі були не великі, що свідчить про досить високий рівень охорони лісів. У роки пожежних максимумів площі пожеж збільшувалися, деякі пожежі виходили з-під контролю і поширювалися на сотні гектарів. Росподілення лісових пожеж у Київському Поліссі не було рівномірне і визначалося ступенем пожежної небезпеки лісових ділянок і кількістю джерел вогню в соснових лісах. Ще на початку 70-х років на території Київського Полісся було виділено 3 центри горимості лісів: Київський, Тетерівсько-Іванківський і Поліcько-Чорнобильський. У центри горимості соснових насаджень включалися лише ті лісогосподарські підприємства або лісництва, де частота випадків лісових пожеж перевищувала середню по Київському Поліссю. На ці території припадало понад 85 % лісових пожеж Київського Полісся.

Структура територій наступна:

1. Київський центр горимості соснових лісів – це територія, яка включала Первомайське лісове господарство, Ірпінське лісництво і три лісопаркових господарства м. Києва;

2. Тетерівсько-Іванківський центр горимості лісів – це смуга території, яка включала північно-східну частину Тетерівського, східну частину Іванківського та центральну частину Димерського лісового господарства.

3. Поліcько-Чорнобильський центр горимості лісів – це смуга території, що іде з крайнього північного заходу Київського Полісся на південний схід, до Київського водосховища; північно-східним кордоном цієї території є річка Прип'ять та південно-західній частині де лінія південного кордону Поліського лісового господарства, продовжена до гирла річки Тетерів. Там росташовані лісові насадження Поліського, Ново-Шепелівського і Чорнобильського лісових господарств (адміністративно-господарський поділ і кордони лісових господарств проведені до чорнобильської аварії. У даний час Ново-Шепелівського лісового господарства немає, змінилися кордони інших лісгоспів.) Поліcько-Чорнобильський центр горимості лісів – це тепер територія 30-кілометрової зони ЧАЕС, нинішньої зони відчуження [13, 14].

У наступні роки кількість пожеж суттєво не змінювалася. Так, за аналізом 10-річного періоду (1981–1990 рр.) в регіоні зареєстровано 9 великих пожеж, одна з самих великих (загальною площею 600 га) виникла в травні 1984 р. у Чапаєвському лісництві Чорнобильського лісгоспу [27].

На території Житомирської області райони концентрації лісових пожеж також припадають на північну, а саме на Поліську частину Київського Полісся. Навесні 1983 року біля Народицького лісового господарства відбулися великі лісові пожежі, що межує з територією Поліського лісового господарства Київського Полісся. Найбільш горіли загущені соснові культури, створені на колишніх сільськогосподарських землях [27].

За даними Регіонального Східноєвропейського Центру моніторингу пожеж (REEFMC) [74] протягом останніх років горимість лісів України значно зросла. Цьому свідчать великомаштабні лісові пожежі, а саме у 2015, 2020 роках. Особливо на території Київського Полісся, так у серпні–вересні лісові пожежі спричинили задимлення всього регіону та спричинили негативний вплив на здоров’я мільйонів громадян. У квітні та серпні 2015 року сталися великі пожежі

у Зоні відчуження (14,8 тис. га), у тому числі у 10-км зоні, які за даними Норвезького Інституту досліджень атмосфери (NILO, Evangelio) призвели до забруднення шістьма радіонуклідами значних територій Європи. Вже на початку березня 2020 року в Україні відбувалося від 50 до 100 пожеж на перелогах, полях, у заплавах і в лісах щоденно, а в середині березня ДСНС неодноразово закликало громадян усіх областей зупинити масове випалювання рослинності. 27 березня сталася перша велика пожежа 2020 року – згоріли ліси та перелоги на західному кордоні Зони відчуження площею 750 га, а вже протягом 3–4-го квітня пожежею було знищено половину лісів Древлянського природного заповідника, яка згодом поширилася у Зоні відчуження.

Пожежі протягом останніх років свідчать, що Україна, внаслідок зміни клімату та складної соціально-економічної ситуації, в тому числі, через відсутність державного фінансування охорони лісів від пожеж, опинилась у групі країн із високим ризиком виникнення неконтрольованих пожеж та катастрофічними наслідками для населення, населених пунктів та довкілля як: США, Іспанія, Австралія, Греція, Португалія, Чилі та інші. Тому, для недопущення катастрофічної ситуації необхідні подальші дослідження та інноваційні винаходи для прогнозу та контролю над лісовими пожежами [74].

Одним з головних чинників, який впливає на потенційну горимість лісів, а також зумовлює наслідки негативного впливу вогню на ліси зони Полісся України є інтенсивність пожежі, яка значною мірою визначається запасами сухих лісових горючих матеріалів та їхнім співвідношенням в рослинних асоціаціях [35, 59]. Спостереження вчених свідчать, що в сухих типах лісу (лишайникові, мохово-лишайникові) пожежі поширюються швидко, мають рухливий характер, часто з витягнутими контурами [35]. У більш вологих перехідних типах лісорослинних умов $B_{4\text{-}5}$, $C_{4\text{-}5}$ (мохові, мохово-кущикові, сфагнові) швидкість поширення лісових пожеж є значно нижчою, а процес горіння має стійкіший характер, що пояснюється підвищеними запасами наземних лісових горючих матеріалів (НЛГМ) [8]. Цвєтков П. А. [96] розробив і впровадив в користування лісогосподарськими підприємствами шкалу оцінки чинників пожежостійкості

модринових лісів, де запаси НЛГМ він визначив як один з головних чинників, коефіцієнт впливу якого становить 0,45. Тобто, НЛГМ є визначальним чинником пожежостійкості лісових насаджень, оскільки саме кількість та склад лісових горючих матеріалів визначає інтенсивність розвитку лісових пожеж та швидкість їх поширення.

1.6. Пост-пірогенні негативні наслідки в лісових екосистемах

Лісові пожежі мають значний негативний вплив на лісові ґрунти, оскільки вони значно погіршують трофотопні умови, а відповідно і мікробіологічні та морфологічні процеси у лісових ґрунтах [26, 38, 128, 135–139]. Вони негативно впливають на стан ґрунтів: під впливом високих температур відбувається погіршення властивостей лісової органіки, що знаходиться у верхніх генетичних горизонтах (лісова підстилка, гумусовий шар) ґрунтового профілю на глибину впливу високих температур [39, 86, 134–136].

Внаслідок високої температури й теплового випромінювання знищуються або пошкоджуються структури клітин живих організмів, в результаті чого відбувається порушення в них обміну речовин та вони інтоксикуються [49, 50].

Такі негативні впливи носять локальний характер на території лісу, які зазнали впливу вогню, та суміжних з ними ділянках лісонасаджень, а також прилеглих безлісних територій, об’єктів житлового та промислового призначення, а також глобальний характер впливаючи на атмосферу та гідросферу [49].

Виникнення, розвиток та перебіг лісових пожеж залежить від таких екологічних та лісівничих характеристик лісу як: типологічної характеристики деревостану, просторової структури, віку, повноти і густоти лісонасадження.

Водночас вологість грунту впливає на ЖНП, який у сухому стані є також провідником горіння. Родючість грунтів у поєднанні з вологістю формують відповідний фітоценотичний склад, який впливає на можливість виникнення й поширення пожеж. Просторова й вікова структура, характер зімкнутості крон, повнота й густота деревостану також впливають на формування мікроклімату, який в свою чергу чинить вплив на виникнення та перебіг пожеж [49, 50].

Водночас, лісові пожежі мають також позитивний вплив, звільняючи територію для природного лісовідновлення. Так, рухливі низові пожежі сприяють інтенсивному лісовідновленню через проростання насіння сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) віком понад 5 років [49].

Отже, між лісовими пожежами і екологічними умовами існують безпосередні й опосередковані впливи. Цілеспрямованими лісівничими заходами можливо зменшити загрозу виникнення лісових пожеж.

Після лісових пожеж, внаслідок вигоряння лісових горючих матеріалів утворюється зола. Зола зі значним вмістом в ній мікро та макро елементів, хоч і певною мірою частково компенсує негативні наслідки від лісових пожеж, оскільки вона є добривом для ґрунтів, але має лише короткостроковий позитивний вплив, який триває від 2 до 3 років і з часом нівелюється [52, 127, 159, 160]. Також, негативно змінюються фізико-хімічні властивості ґрунтів, їх механічний склад, перебіг морфологічних і мікробіологічних процесів, гідротермічний і водно-повітряний режим, що має безпосередній вплив на їхні біологічні властивості за рахунок збільшення рівня pH, зниження рівнів гідролітичної кислотності, водопроникності та вологості грунтів [52, 138, 139]. Після проходження стійких лісових пожеж, змінюється рівень кислотності ґрунтів, який наближається до лужного і свідчить про суттєві зміни, які виникли за таких умов в ґрунтово-поглинальному комплексі [52, 159, 160–162]. З часом, хоч і поступово, відбувається відновлення вмісту органічнічних речовин в ґрунтах, за рахунок утворення і формування нової підстилки, але її регенерація залежить від лісорослинних умов та лісівничо-таксаційнних характеристик насаджень. Після проходження лісових пожеж, відбувається також ущільнення ґрунту, збіднення його на сполуки калію і фосфору, окрім того, інтенсифікується розвиток ерозійних процесів [52, 140, 141, 148, 149].

Лісові пожежі на початковому етапі постпірогенної сукцесії після їх ліквідації послідовно і незворотно впливають на закономірність зміни одного біогеоценозу (мікробного ценозу, фітоценозу, біоценозу тощо) іншим на знищеній пожежою ділянці лісу [33]. У лісових насадженнях та ґрунті відбуваються суттєві

зміни у складі мезофауни [52, 83, 84, 86]. Від негативних наслідків впливу лісових пожеж невеликої і середньої інтенсивності в рік їхнього виникнення, вміст азоту в лісовій підстилці соснових деревостанів знижується на 10–25 % [1]. Лісова підстилка значною мірою впливає на рівень родючості лісових ґрунтів, має суттєвий запас елементів мінерального живлення та азоту. Також, вона впливає на водно-повітряний та тепловий режим ґрунту, знижує рівень випаровування та запобігає розвитку ерозійних процесів, і сприяє кращому проникненню вологи в ґрунт, водночас, підвищуючи продуктивність лісових насаджень [1, 87, 88]. В результаті змін перебігу процесів в лісовій підстилці, внаслідок виникнення лісових пожеж, різко змінюється елементний склад лісових горючих матеріалів та верхніх шарів ґрунту, зменшується вміст гумусу в ґрунті, зростає кількість зольних елементів, зокрема обмінного кальцію, калію, фосфору та інших елементів мінерального живлення деревних видів, зменшується вміст вуглецю та азоту, і зростає рівень актуальної кислотності ґрунту [3, 36, 50, 88, 151–153]. Важливою проблемою є також постпірогенне відновлення лісової підстилки. Цій проблемі були присвячені роботи М. Д. Євдокименко [28], Ю. Н. Краснощеков [47], М. В. Болоневої [3] та ін. За даними М. В. Болоневої [3], запас лісової підстилки у сосново-брусничнo-різнотравному типі лісу в перший рік після пожежі становив 7,5–8,0 т·га$^{-1}$, через 30 років після пожежі – 9,1–10,5 т·га$^{-1}$, водночас, як на контролі – 30,4–37,3 т·га$^{-1}$.

Пожежі надзвичайно негативно впливають на ріст та розвиток лісових насаджень. У більшості випадків, після пожеж частково гальмується ріст і розвиток деревних рослин, або й взагалі вони починають відмирати, залежно від інтенсивності й тривалості впливу на них високих температур [110, 163–165, 167, 168]. Вогонь у лісі надзвичайно негативно впливає на компоненти лісових насаджень. Він повністю, або частково знищує живий надґрунтовий покрив, підлісок, підріст, відпад, рослинний опад та позаярусну рослинність [32, 102, 119, 120, 124, 125].

Лісові пожежі по-різному впливають і на навколишнє природне середовище, забруднюючи його токсичними продуктами горіння, радіонуклідами на

попередньо забруднених в результаті аварії на Чорнобильській атомній електростанції грунтах, що в свою чергу спричиняє підвищення рівня ерозії ґрунтів [92, 126, 146, 147, 154, 155, 170, 172, 173]. За таких умов, зменшуються обсяги поверхневого та підґрунтового стоку, порушується процес перебігу природного вуглецевого циклу, підвищується концентрація діоксиду вуглецю, а також відбувається негативний їх вплив на лісову фауну [36, 171]. Вогонь під час дії на відповідну вікову категорію лісових насаджень може суттєво впливати на зміну видового складу деревостанів, де цінні соснові ліси, частково замінюються пожежостійкішими деревними видами: березою повислою (*Betula pendula* L.), осикою (*Populus tremula* L.) та іншими, які у господарському відношенні є менш цінними [8, 85]. Також, лісові пожежі призводять до ослаблення деревостанів, утворення і розвитку грибкових захворювань та заселення ослаблих деревостанів комплексом стовбурових шкідників, які пошкоджують насадження, що в свою чергу призводить до їх масового всихання [8]. Все це індукує збіднення видового складу і зниження якості деревини, що супроводжується економічними втратами в лісовій галузі.

Негативно лісові пожежі впливають на умови проживання лісової фауни. За впливу високої температури і задимленості невеликих за площею лісових пожеж, дорослі і здорові представники лісової фауни можуть переміститись в більш безпечне місце, водночас молодь, а також ослаблені і хворі особини не в змозі знайти безпечне місце і гинуть. Якщо лісові пожежі охоплюють великі території лісу, утворюючи замкнуте кільце, тоді гинуть дорослі та здорові представники фауни, оточені вогнем [150, 156, 157, 166, 169]. Під час тривалого впливу високої температури лісової пожежі на поверхню ґрунту, гине більшість представників ґрунтової фауни. Найбільші збитки лісовій фауні наносять тривалі великомасштабні лісові пожежі, які знищують значну кількість лісової органіки.

Негативні наслідки лісових пожеж особливо гостро відчуваються у перші роки після їхнього проходження [32, 33, 147]. Так, з одного гектара діючої лісової пожежі в атмосферу відбувається викид від 80 до 100 тонн димових часток і 10–20 тонн суміші газів: оксиду вуглецю (CO), оксиду азоту (NO), діоксиду азоту

(NO_2) і аміаку (NH_3) [37, 174, 175]. Близько 40 % річної емісії парникових газів складають продукти горіння лісів внаслідок масштабних лісових пожеж [81, 114, 115, 121, 144, 145, 171].

Таким чином, в результаті пожеж різко збільшується рівень забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, негативно здіснюється вплив на формування вуглецю, захист від вітрових фронтів, зростає небезпека розвитку ерозійних процесів, руйнується біогеоценоз, який формувався протягом десятків і навіть сотень років, зменшується прозорість атмосфери в результаті інтенсивного її задимлення [26, 27, 102, 137].

Однією з досить серйозних проблем сучасної України є недооцінка з боку державних статистичних органів економічних і соціальних збитків, спричинених природними пожежами народному господарству нашої держави, а також, недосконаліть методики обчислення збитків, спричинених впливом цих пожеж [28, 32]. До теперішнього часу за діючими методиками лісогосподарські підприємства визначають збитки, що спричинені пожежами за таксами пошкодженої пожежами деревини на корені. Однак, якщо в результаті пожежі дерева лише всохли, але є можливість реалізувати деревину упродовж перших двох років після пожежі, то таку деревину з точки зору маркетингу оцінюють лише частково, або й взагалі не враховують під час визначення розмірів економічних збитків [28]. Така методика розрахунку збитків від лісових пожеж в 4–5 разів занижує реальні масштаби економічних збитків, без урахування втрат приросту деревини і шкоди, завданої лісовими пожежами мисливському господарству, водоохоронним, ґрунтозахисним, санітарно-гігієнічним та іншим корисним екологічним функціям лісів України.

Висновки до розділу 1

1. За аналізом літературних джерел виявлено, що у Київському Поліссі пірологічні дослідження проводилися фрагментарно. Оцінювання горимості лісів та детальні дослідження часових і просторових тенденцій виникнення лісових пожеж з врахуванням природних та соціально-економічних умов Київського Полісся практично не проводилися.

2. Виявлено, що дослідження комплексів лісових горючих матеріалів у регіоні дослідження є обмеженими. Наявні дослідження не дозволяють у повній мірі оцінити фактичну природну пожежну небезпеку ділянок лісового фонду, зважаючи на відсутність даних щодо запасів рослинних горючих матеріалів та їх актуального стану. Зважаючи на це дослідження з визначення запасів та особливостей формування комплексів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) є актуальним завданням на шляху до зниження пожежних ризиків та удосконалення протипожежних профілактичних заходів в умовах Київського Полісся.

Результати досліджень цього розділу відображено у публікаціях: «Дослідження лісових горючих матеріалів стан та персективи» [24], «Особливості формування комплексу наземних лісових горючих матеріалів у соснових лісах Київського Полісся» [66].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА, ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ПРИРОДНІ І АНТРОПОЦЕНОТИЧНІ УМОВИ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма та методика об'єктів дослідження

Дослідження горимості та лісових горючих матеріалів у Київському Поліссі виконано у п'ять етапів: 1-підготовчий; 2-польовий; 3-камеральний, 4-аналіз і 5-узагальнення отриманих результатів. Під час кожного етапу було сформовано та виконано завдання для досягнення мети дослідження, послідовний порядок їх наведено нижче:

1) – опрацювання вітчизняних та зарубіжних джерел інформації щодо аналізу горимості лісів та досліджень лісових горючих матеріалів; опрацювання та підбір методик для проведення досліджень; розробка польових відомостей та реляційної бази даних для збору та зберігання експериментальних даних;

2) – лісівничий та таксаційний опис лісових насаджень; закладання тимчасових пробних площ для дослідження лісових горючих матеріалів;

3) – проведення первинного аналітичного і статистичного аналізу отриманих даних; здійснення обробки вихідних дослідних даних та отримання відповідних результатів;

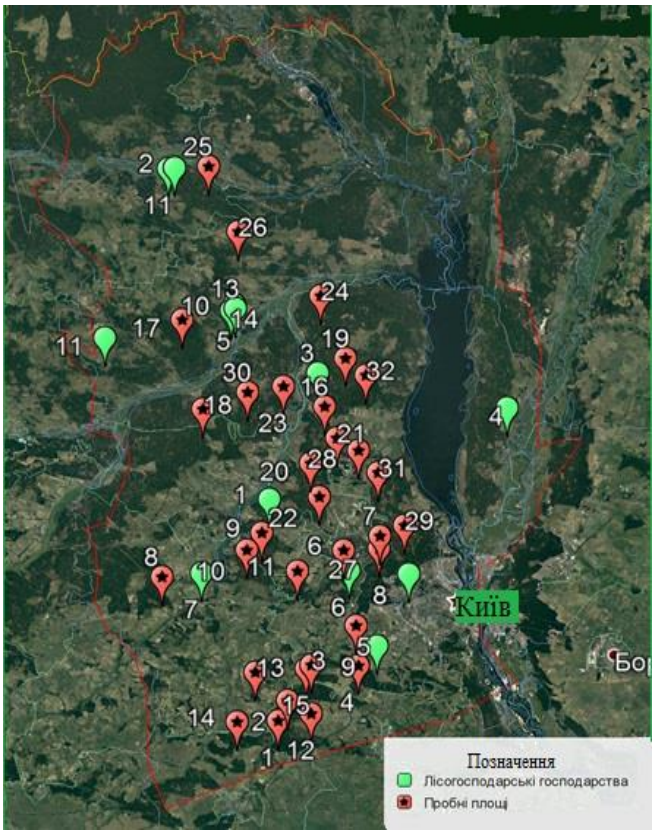
4) – узагальнення, формування висновків і пропозицій.

В ході цього використовували загальнонаукові методи: аналізу, системного підходу, математичної статистики, а також спеціальні: лісівничо-таксаційні, геоботанічні, лісопірологічні та геоінформаційні.

З метою підбору об'єктів та закладання пробних площ, спочатку проведено аналіз державного лісового фонду та статистики лісових пожеж у розрізі державних лісогосподарських філій, лісництв, кварталів і таксаційних виділів, що входять в лісокористування Київського Полісся. За таких умов виділено найбільш розповсюджені та найбільш горимі насадження, що зростають у певних типах лісорослинних умов, проведено аналіз розподілу насаджень за класами природної пожежної небезпеки. Для подальшого аналізу відібрано лісові насадження, що

зростають у відповідних едатопах, які є найбільш горимими для умов Київського Полісся. На рис. 2.1 представлено адміністративно-територіальне районування за даними С. А. Генсірука зони Київського Полісся [13]. Було проаналізовано вікову структуру найбільш горимих сосняків, які зростають у відповідних типах лісорослинних умов. В результаті проведеного аналізу, здійснено підбір найрепрезентативніших ділянок для закладки мережі пробних площ на території лісогосподарських підриємств віднесених до Київського Полісся.

Аналіз проводили за методиками, розробленими С. І. Душа-Гудимом та М. А. Софроновим [27, 90, 29] та методики моніторингу впливу пожеж FIREMON (США). Дані щодо лісових пожеж отримали за статистичними даними книг обліку лісових пожеж, які ведуться в лісових господарствах.



1. філія «Клавдіївське л/г»
2. філія «Поліське л/г»
3. філія «Димерське л/г»
4. філія «Вищедубечанське л/г»
5. філія «Іванківське л/г»
6. філія «Київське л/г»
7. філія «Макарівське л/г»
8. ВП НУБіП «Боярська ЛДС»
9. Димерське агролісництво
10. Поліське агролісництво
11. Оливське агролісництво
12. Сидоровецьке агролісництво
13. Шпильківське агролісництво

Рис. 2.1. Територія Київського Полісся за С. А. Генсіруком

Ділянки підібрано у найбільш розповсюджених та горимих насадженнях різного віку у відповідних типах лісорослинних умов (C_2, B_2, A_2). Підбір ділянок здійснено з використанням таксаційних описів, реляційної бази даних «Таксаційна характеристика лісових насаджень, таксаційних видів в описі до

проекту організації лісового господарства до лісогосподарських підприємств», книг реєстрації лісових пожеж, планово-картографічних матеріалів [76]. Після проведення попереднього підбору ділянок проведено їх огляд в натурі, та визначено остаточний відбір місць для закладання пробних площ.

Під час закладання пробних площ, здійснено опис лісових ділянок згідно загальноприйнятих методик в лісовій таксації [76], а також методик, запропонованих Н. П. Курбатським [51] та М. А. Софроновим [89]. Під час проведення таксаційного опису ділянок, встановлено: склад насадження за співвідношенням запасів порід, що склали деревостан та записували у вигляді формули в якій великими літерами вказували деревний вид і цілими числами коефіцієнт участі відповідного виду в загальному запасі деревостану, де сума всіх числових коефіцієнтів була рівно 10. Вік дерев визначали шляхом відбору кернів віковим буром.

Також, на підставі переліку дерев визначено середні: висоту, діаметр та повноту насаджень. Окомірно визначено зімкнутість намету деревостану, описано підлісок, підріст, живий надґрунтовий покрив, виявлено видовий склад та проективне покриття для ЖНП, описано ґрунт та його механічний склад [41, 42, 71, 76].

При зборі дослідних даних використано методики М. П. Курбатського, М. А. Софронова та методика «FIREMON» [51, 89, 121, 122]. В насадженнях проведено визначення запасів лісової підстилки. Для цього закладено облікові майданчики розміром 1 м×1 м.

Збір підстилки проводився у липні–серпні, перед початком опадання листків. Якщо підстилка не мала чітко виражених шарів, то вона збиралась на майданчику цілком. Якщо ж вона мала виражені шари, то кожен шар відбирали окремо і після висушування до повітряно–сухого стану визначали його масу. На пробних майданчиках [51] перед відбором проб проведено заміри товщини шарів РГМ, потім зрізали траву і кущі, а також самосів і підріст, який за висотою не перевищував висоту трав’яно-кущикового ярусу. Після чого зібрано опад, підстилку, мохи та лишайники, попередньо обрізавши підстилку по межах

облікового майданчика гостро відточеним ножем. Відібрані зразки упаковано в поліетиленові пакети і визначено їхню масу як у польових умовах, так і після висушування у термостаті протягом 24 год. до абсолютно сухої маси за температури 105 °С. Кількість опаду об'єднано з кількістю мохів та лишайників, оскільки відділяти їх було надзвичайно трудомістко. Маса надґрунтових РГМ, зазвичай, не перевищувала 3 кг на м^2. Середню масу лісової підстилки із усіх облікових майданчиків перераховували на 1 га [11, 90, 76].

Методика та програмне забезпечення «FIREMON» (Fire Monitoring and Inventory System) розроблено за участі U. S. Forest Service, Missoula Fire Sciences Laboratory у співпраці з U. S. Geological Survey, National Park Service [121, 122]. За цією методикою на ділянках для обліку ЛГМ було закладено трансекти довжиною 25 м (рис. 2.2), на яких проведено визначення маси різних фракцій лісової підстилки, потужність підстилки та відсоток покриття надґрунтовим покривом, зімкнутість пологу деревостану, середню висоту живого надґрунтового покриву, а для крупних деревних решток також їхній розподіл за класами деструкції [53].

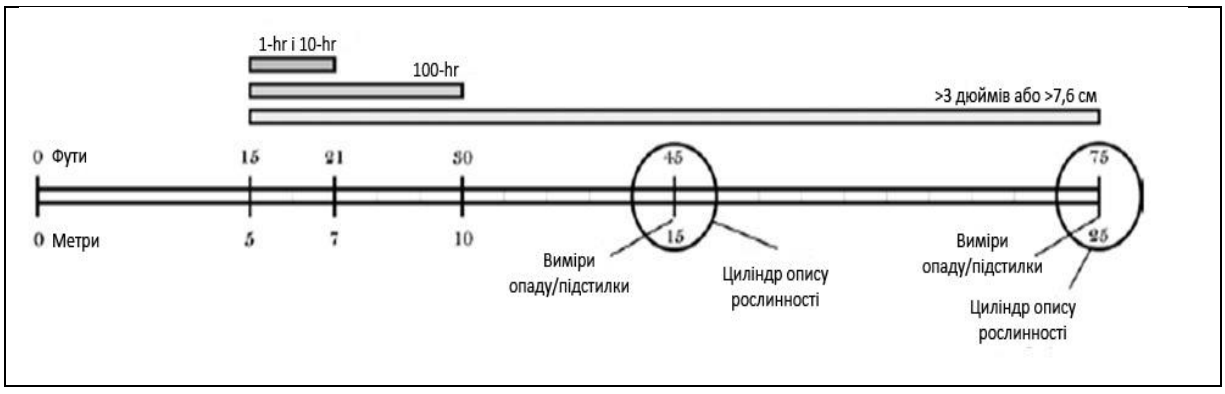


Рис. 2.2. Розміри трансекти та розташування точок обліку ЛГМ

Поділ на фракції здійснено згідно прийнятої в США класифікації наземних горючих матеріалів, якою не беруться до уваги дуже дрібні частинки. Згідно цієї методики виділено дві великі категорії горючих матеріалів: мертві та живі. В свою чергу мертві ЛГМ поділено на чотири групи залежно від швидкості їхнього висихання (time lag): легкі (1 – hour time lag fuel), середні (10 –hour time lag fuel), тяжкі (100 – hour time lag fuel), дуже тяжкі (1000 – hour time lag fuel) [9, 150].

Найдрібніші частинки (1 Н d < 0,6 см та 10 Н d=0,6–2,54 см) підраховано на довжині двохметрового відрізка, частинки 100 Н (d=2,54–7,62 см) на довжині п’ятиметрового відрізка, 1000 Н (d > 7,62 см) на всій довжині трансекти та записано кожну окремо із зазначенням їхнього стану. Товщину, а також співвідношення між шарами лісової підстилки та облік живого надгруньового покриву (ЖНП) та кущів, визначено на кругових ділянках, на позначках 10 м та 25 м трансекти. На кожній лісовій ділянці закладено по 4 трансекти. Для обліку фракцій використано шнур відповідної довжини з позначками 2,5 та 10 м. Обліковано лише ті частинки, які перетинаються трансектами. Зібрані таким чином дані оброблено з використанням програмного забезпечення «FIREMON» [121, 122].

Обробку зібраних даних здійснено методами математичної статистики. Також визначено середню масу та потужність лісової підстилки, середньоквадратичне відхилення зібраних даних, та середню похибку. Під час проведення аналізу використано дисперсійний, кореляційний та регресійний аналіз. Статистичну обробку даних здійснено з використанням програм: Microsoft Office Excel, Statistica 10 та FIREMON.

У зв’язку з відсутністю орієнтовно географічних даних відповідно ладшафтно-лісових пожеж на території України, для їх аналізу використано методики, а також дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). В ході цього використано сенсор MODIS, які періодично на добу здійснюють фото знімки поверхні Землі, для виявлення термальних аномалій, а також виникнення осередків пожеж [128]. Знімок дозволяє визначити за кординатами місце виникнення загорання, а також зберігається рік, місяць, число та години доби зробленого відповідного знімку. Що допомагає у досліджені та відтворенні історичного просторово-часового розподілу виникнення пожеж [31]. Наявність інформації, яка отримана за допомогою сенсорами MODIS, допомагає у розробці різнопланових елементів тематичного обробітку. Наприклад MCD64A1 та MCD45A1, що відображають вогняні пошкодження площі із роздільною здатністю 500 м. [128].

Інформація про випадки пожеж на основі даних щодо термальних аномалій, зафіксованих сенсорами MODIS за період з 2005 по 2022 рік. Відповідне реагування систем, згідно з алгоритмом MODIS MOD14/MYD14 Fire and Thermal Anomalies, вважається "гарячою точкою" (hotspot), що зазначає координати у пікселях розміром 1×1 км, де виявлено загоряння [31, 87].

При досліджуванні площі застосовано аналіз горимості територій із врахуванням всіх осередків пожеж в тому числі і лісових, торф'яних та сільськогосподарських, а саме випалювання сухого травостою і тд. Під час аналізу використовувалися методика та дані ДЗЗ, а також дані термальних аномалій Firms з роздільною здатністю до 1 км, де аналізували гарячі точки із випадковістю лісових пожеж за 30 %, визначено за кожен день часового розподілу з 2006 по 2022 рік [31, 87].

Для розробки проекцій по зміні клімату та історичних даних норм, були використані дані із електронного порталу – gis.ucar.edu, моделі результату роботи застосовано: CCSM4. Моделювання масштабного атмосферного клімату було виконано NCAR за сприянням прототипу – CCSM4, п'ятого звіту IPCC. Сам CCSM4, сформований із 4-х відокремлених моделей, які в той же час стимулюють навколишнє середовище, моря, поверхню суші тощо. Дана модель позволяє при дослідженні аналізувати попередні, нинішні та прийдешні кліматичні обстановки Землі. В той же час кліматичне моделювання – CCSM4 генерується сіткою Гаусса, коли окрема позиція сітки може існувати без порівняно досяжної, за участю одновимірних масивів ортогональних координат, довготи та широти. При цьому у самих вихідних даних CCSM4 розташовані довготи рівномірно на 1,25 ^{0} в той же час коли широти в якійсь мірі змінюються приблизно в 0,94 ^{0}. Слідуючи з цього, орієнтовно просторова відокремлена відмінність прогнозу масштабного клімату складає 105 км. У зв'язку з нерегулярною сіткою в моделі CCSM даний веб-портал поширює інформацію в параметрі точкового шейп-файла, у якому окрема точка репрезентує центроїд певної комірки CCSM. Крім цього відкритий шейп-файл хибних прямокутних багатогранників вихідної відповідної моделі [128, 155].

Інформація аналізувалася за історичні роки (1990 по 2010 рр.) із урахуванням грядущих перемін (на період до 2050 р.). У дослідженні використано сценарій RCP 4.5, як більш вірогідний. Програма видозміни клімату була покращена у 5-му звіті Міжурядовою групою експертів по змінах клімату (IPCC). Дотеперішні сценарії еманації SRES розроблені, для представлення сюжетних ліній і соціально-економічного розвитку та аналізу певних викидів в 21 столітті [155].

Сучасний метод визначає репрезентативні канали концентрації (RCP), які відображають концентрацію парникових газів (ПГ) в атмосфері та часову траєкторію здобутку цієї концентрації. Відповідні RCP названі на основі ступенів радіоактивної дії (підвищення атмосферної температури, або парникового ефекту), створеного до 2100 року. Саме чотири RCP, що були виготовлені, враховують монументальний шлях, де радіоактивний ефект сягає понад 8,5 Вт на один $м^2$ Втм-2 до 2100 року, і два прохідні «стабільні шляхи», в яких радіоактивний ефект нормалізується на 4,5 Вт*м-2 та 6 Вт-2 далі 2100 року, також є низьким шляхом, радіоактивний ефект сягає піку около 3 Вт*м-2 у 2100 році та спадає. Відповідний спадаючий сценарій характеризує викиди парникових газів, що впадуть нижче нуля приблизно до 2070 року та продовжуватимуть скорочуватися (вуглець негативний). Самі ці RCP не пов’язані ні з одним соціально-економічним відповідним сценарієм. Багато інших соціально-економічних сценаріїв можуть спричинити до подібних змін у складі атмосфери. Також, RCP не слід вважати прогнозом або абсолютним обмеженням. Бо вони представляють можливі альтернативні сценарії майбутнього, але не є віщуванням або прогнозами. Ні один RCP не призначений як найкраще припущення чи найбільш вірогідний показник [128, 155].

Після отримання даних щодо проекції зміни клімату за заданими параметрами (Модель CCSM4, сценарій зміни клімату RCP4.5, часовий період до 2050 р.) було проведено екстракцію даних для регіону дослідження – Київського Полісся, з цією метою створено відповідний шейп файл.

2.2. Характеристика природних умов регіону досліджень з точки зору пожежної небезпеки

У природному відношенні, Київське Полісся не є абсолютно однорідною територією. Специфічною його ознакою, є підвищення рівня континентальності клімату з заходу на схід [54, 55]. Цей регіон в минулому майже повністю був вкритий лісами, які переривалися лише заболоченими ділянками.

Кліматичні умови Київського Полісся залежать від географічної широти, довготи та циркуляції повітря, певний вплив на нього здійснює Атлантичний океан та Азійський континент. Основним кліматоутворюючим фактором, що визначає тип погоди на цій території є сонячна радіація, яка складає 98–100 ккал·$(см^2)^{-1}$ на рік. Тривалість сонячного випромінювання зростає в напрямку з заходу на схід і становить 1500–1800 год. на рік. У середньому ефективне випромінювання упродовж року складає від 30 до 35 % сукупної радіації [18]. Знижується і середньорічна температура повітря в напрямку з заходу на схід від 7 до 5,7 ° С, середньорічна кількість опадів зростає від 550 на сході до 700 мм на заході досліджуваного регіону. Значна кількість опадів випадає упродовж теплого періоду року, а саме з квітня до жовтня, водночас, варіювання кількості опадів у різні роки коливається від 300 до 1000 мм. Кожного року в середньому випадає від 550 до 650 мм опадів, з них від 350 до 450 – у теплу пору року. Вегетаційний період в цьому регіоні триває від 205 до 210 діб. Протяжність безморозного періоду – 165 діб [15].

Приблизно 80 % фотосинтетично-активної радіації [56, 66] в умовах регіону Київського Полісся витрачається на випаровування вологи. У Київському Поліссі коефіцієнт зволоження ґрунтів варіює від 2,0 до 2,4, водночас, температура вище 15 °С триває від 90 до 105 календарних діб. Сніговий покрив на поверхні ґрунту утримується від 90 до 100 діб, але його висота варіює від 13 до 15 см на заході і від 30 до 35 см на сході [56]. Гідротермічний коефіцієнт становить 1,2–1,4, рівень вологості є оптимальним, але в окремих частинах Київського Полісся спостерігалась нестача вологи або її надлишок. Кількість вологи, яка витрачається на випаровування, становить 400–450 мм в рік. Січнева середня багаторічна

температура складає близько – 7 ° С, липня + 18 ° С, сума ефективних температур – 730–980 ° С, тривалість періоду з температурою + 10 ° С – 150 діб [15].

Суми добових середніх температур вище 0 ° С мають властивість до зміни на досліджуваній території від 3077 до 3002 ° С, а сума активних температур (вище 10 п ° С) варіює в більш широких межах від 2490 до 3994 ° С [15].

За таких умов, східна частина Київського Полісся характеризується найвищим проявом процесу аридизації, який посилюється за умов глобального потепління. Також, на цій території формуються складні умови для росту та розвитку рослинності, оскільки осушені торфовища важко і повільно прогріваються. В останні роки спостерігається стійке збільшення температури повітря та максимальних середньорічних її значень, які припадають саме на пожежонебезпечний період. Надзвичайно важливу роль відіграє наявність лісових насаджень, під впливом яких відзначаються найменші коливання температури [66].

Вчені відмічають, що з 90-х років XX ст. в зоні Полісся України спостерігається значна тенденція до зміни клімату, яка, насамперед, проявилась у зростанні за останні двадцять років середньорічної температури повітря на величину, що є близькою до 1,0 ° С відносно кліматичної норми. Найбільші зміни річної температури в регіоні досліджень мали зимові та весняні сезони, де середня температура збільшилась відповідно на 1,6 ° С та 1,3 ° С [41].

За характером своєї рослинності, Київське Полісся відносять до зони хвойно-широколистяних лісів з характерною особливістю – відсутністю значних площ із однорідною рослинністю. Лісистість території зменшується з півночі на південь та з заходу на схід [39].

Для підвищення продуктивності земель в умовах Київського Полісся проводять заліснення пісків, протиерозійні заходи, регулювання водно-повітряного режиму ґрунтів. Частина Київського Полісся забруднена внаслідок аварії на ЧАЕС 1986 року і вилучена з господарського використання.

Глобальні зміни клімату спричинили підвищення температури повітря в Євроатлантичному регіоні, що індукувало збільшення рівня пожежної небезпеки

в лісах України за рахунок інтенсивнішого підсушування природних горючих матеріалів у лісових екосистемах зон Полісся, Лісостепу та Степу України. Ще на початку XXI століття низкою дослідників було встановлено, що за період 1991–2005 рр., порівняно з попереднім 1961–1990 рр., середньомісячна температура повітря в зоні Полісся України впродовж пожежонебезпечного періоду значно підвищилась, на що вказують дані метеорологічного контролю метеостанцій «Суми», «Чернігів» і «Луцьк» відповідно на 2,6–4,1 та 2,9 °С [37, 102]. Крім того, за період 1991–2019 рр., середня тривалість стійкого снігового покриву в зимовий період зменшилася на 10–15 діб, а періоди з температурами повітря вище за +5 °С збільшились у середньому на 8–20 діб. Зросла, також, тривалість періодів із високими температурами повітря в день (більше +25…+30 ° С) і збільшилась кількість днів із стійкими суховіями, а саме зі зниженням відносної вологості повітря до 30 %, що значно підвищило рівень пожежної небезпеки в лісах Полісся України [97, 102].

Значні зміни клімату на сьогодні призводять до всихання соснових лісів через зміну водного режиму, кліматичних показників та прогресуючого поширення дереворуйнівних хвороб: кореневої губки (*Heterobasidion annosum*), соснової губки (*Phellinus pini*) та інших [41–43]. В Київському Поліссі, в останнє десятиліття зростає рекреаційне навантаження на природні екосистеми, що в поєднанні з змінною кліматичних умов з точки зору пожежної небезпеки в подальшому сприятиме з більшенню лісових пожеж у Київському Поліссі [136, 141].

2.3. Коротка характеристика лісового фонду Київського Полісся

Лісові масиви Київського Полісся за своїм народногосподарським значенням і географічним розташуванням виконують в основному водоохоронні, грунтозахисні, санітарно-гігієнічні та оздоровчі функції і мають обмежене експлуатаційне значення. Загальна площа земель лісового фонду Київського Полісся становить 435 084,1 тис. га [41, 88].

Лісистість зони Київського Полісся складає 44 % [69, 103]. Домінуючими є соснові ліси. Соснові ліси ростуть на відносно бідних дерново-слабопідзолистих піщаних, супіщаних ґрунтах різного ступеня зволоженості. Залежно від трофності ґрунтів, рівня їх гігроморфності, природного поширення рослинності, в зоні Полісся сформувалися різноманітні типи лісів. Домінуючим є суборові й борові типи (C_2, B_2) [69, 103]. Твердолистяні насадження займають – 9,7 %, а м'яколистяні – 25,8 % від загальної вкритої лісом площі. Також у лісах Полісся поширені береза повисла (*Betula pendula* L.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), вільха чорна (*Alnus glutinosa* L.), тополя тремтяча (*Populus tremula* L.) та граб звичайний (*Carpinus betulus* L.); трапляються ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), липа серцелиста *(Tilia cordata* L.*)*, клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), в'яз гладенький (*Ulmus* L.), берест (*Ulmus minor* L.) та ін. [69]

У віковій структурі насаджень Київського Полісся переважають молодняки (60,9 %), середньовікові деревостани становлять 26,1 %, достигаючі – 9,1 %, стиглі та перестійні займають лише 3,9 % вкритої лісом площі. Середній приріст насаджень коливається у межах 3,5–4,2 $м^3$ на 1 га [69].

Лісові деревостани Київського Полісся мають відносно бідний підлісок, до складу якого входять передусім горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.), крушина ламка (*Frangula alnus* L.), бруслина бородавчаста (*Evonimus verrucosa* L.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.). Зрідка у підліску та на узліссях ростуть глід (*Crataegus laevigata* L.), терен (*Prunus spinosa* L.), барбарис (*Berberis* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.) і бузина червона (*Sambucus racemosa* L.), верба заяча (*Salix* L.) тощо. У північно-західних районах Київського Полісся ялівець звичайний (*Juniperus communis* L.) [69].

У моховому й трав'яному покриві переважають зозулин льон звичайний (*Polytrichum commune* L.), багно звичайне (*Ledum palustre* L.), чорниця високорosла (*Vaccinium corymbosum* L.), сфагнум (*Sphagnum* L.), молінія (*Molinia caerulea* L.), підбіл (*Tussilago farfara* L.), журавлина (*Vaccinium oxycoccos* L.). Все наведене вище біологічне різноманіття, а особливо мохово-трав'яний покрив, підсилює можливість виникнення у борових умовах Полісся лісових пожеж, що

охоплюють майже всі едатопи. Під час довгих посух пожежонебезпечними стають не лише сухі, але й свіжі, вологі та заболочені типи лісу. У вологих і мокрих умовах при їх висиханні виникають підземні пожежі, що завдають шкоди кореневим системам лісоутворюючих деревних видів. Рослинний надґрунтовий покрив представлений «сукупністю трав'яних рослин, мохів, лишайників, а іноді напівчагарників які покривають ґрунт під пологом лісу» [13, 22]. У Київському Поліссі у складі живого надгрунтового покриву представлені: медунка лісова (*Pulmanaria angustifolia* Rupr.), сон широколистий (*Pulsatilla patens* L.), суниця лісова (*Fragaria vesca* L.), перстач білий (*Potentilla alba* L.), грушанка круголиста та мала (*Pirola rotundifola* L.), вероніка лікарська (*Veronica officinalis* L.), дікран багатосніжковий та хвилястий (*Dicranum polisetum* Sw.et D. *undulatum* Ehth.), плеуроцій Шредера (*Pleurozium Schreberi* (Brid.) Mitt)), леукобрій сизий (*Leucobryum glaucum H*edw. (Aongstr.), купина пахуча (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce)), гілокоміум блискучий (*Hylocomium splendens* Schimp) [22, 134].

Пожежостійкість лісових насаджень цієї зони значною мірою залежить від їх складу. Це пов'язано з тим, що стійкість деревних видів до пошкодження вогнем за однакових лісорослинних умов і в одному насадженні неоднакова. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із найбільш пожежонебезпечних деревних видів. Різна вогнестійкість деревних видів викликана неоднаковим вмістом вологи в тканинах, смолистих речовин в хвої, корі, а також заболонній деревині (заболоні), біологічними особливостями і будовою наземних органів. Висока горимість соснових лісів спричинена значною кількістю смолистих речовин у тканинах деревини, швидким займанням лишайників, мохового покриву, смолистістю деревини (особливо в нижній частині стовбура), значною світлопроникністю деревного пологу і, як наслідок цього, швидким підсиханням верхнього шару лісової підстилки. Береза повисла (*Betula pendula* L.) серед листяних насаджень є найбільш вразливою до дії вогню. Її вогнестійкість досить суттєво знижує береста і тонкі, швидко підсихаючі гілочки. Особливо пошкоджуються порослеві куртини, де накопичується горючий матеріал. Молодняки берези повислої (*Betula pendula* L.), під пологом яких навесні і восени

накопичується суха трава і листки, інтенсивно вигоряють навіть від низових рухливих пожеж. Пожежостійкість лісових видів залежить також від фізико-географічних умов території. Тому, аналіз горимості лісів, проведений в лісах Київського Полісся, що показав досить серйозний негативний вплив вогню в осередках займання на всі компоненти лісу. Виходячи з проведеного нище аналізу, найбільш поширеними в регіоні дослідження є ліси, сформовані за рахунок сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), питома маса яких у складі насадження складає 70,6 % (рис. 2.3). Понад 70 % лісових пожеж виникає саме в сосняках.

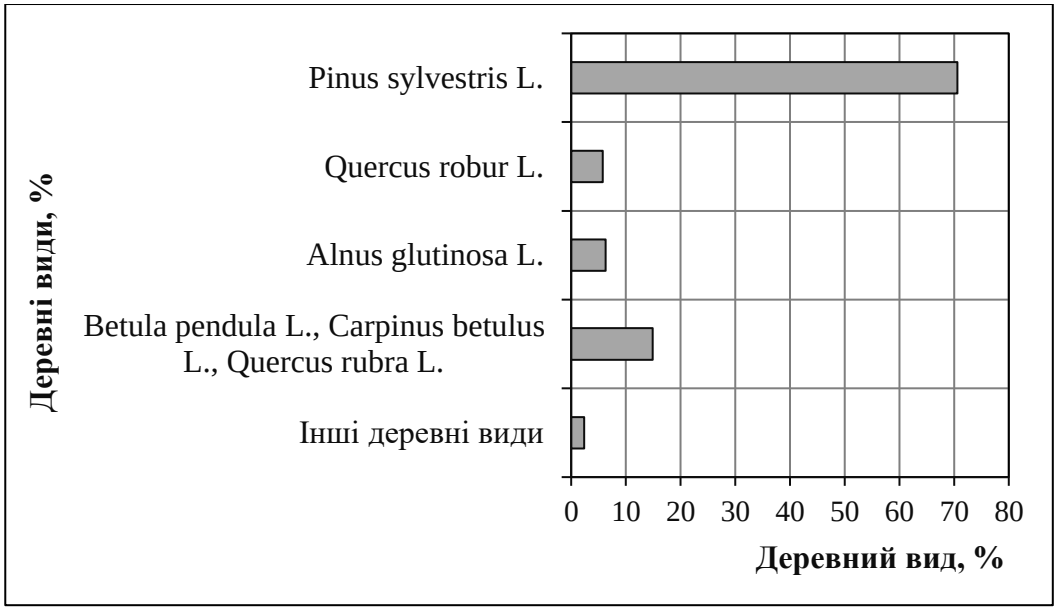


Рис. 2.3. Розподіл площі лісів в Київському Поліссі за основними лісоутворюючими видами, %

Зважаючи на те, що сосняки віднесено до найбільш пожежонебезпечних деревних видів у зв’язку із значною смолистістю, швидким висиханням верхнього шару лісової підстилки і загалом значним накопиченням лісових горючих матеріалів під пологом лісу, на що впливає в значній мірі повнота насадження. Тому, проведено розподіл вкритих за лісовою рослинністю земель, повнотою та класами бонітетів (рис. 2.4).

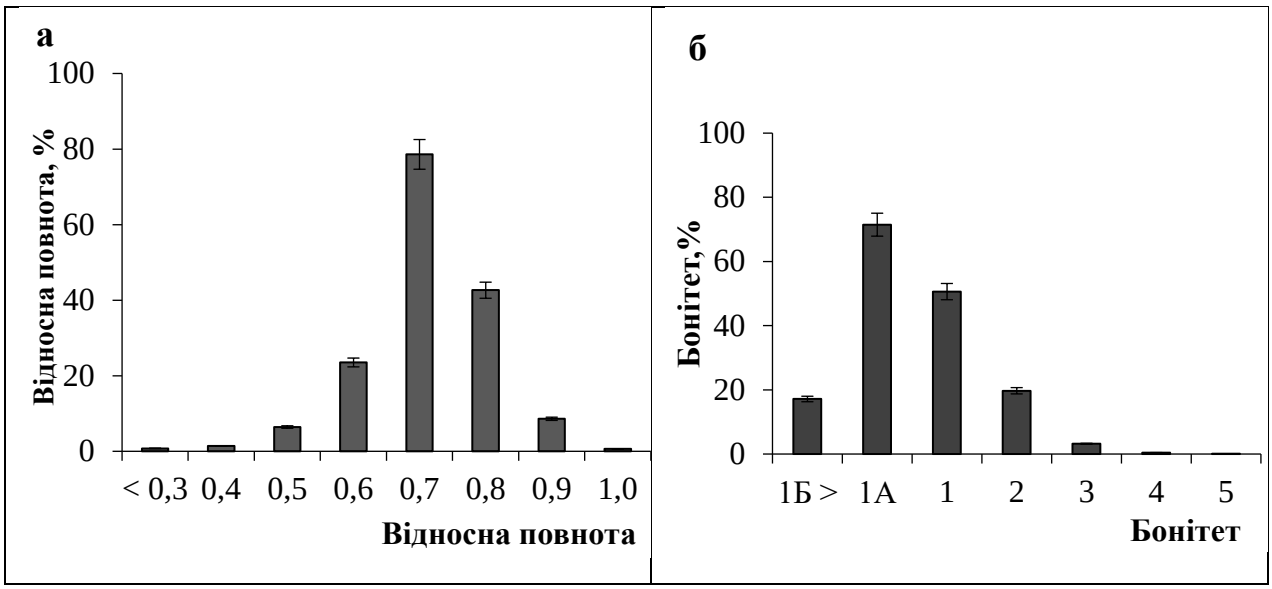


Рис. 2.4. Розподіл лісового фонду у Київському Поліссі: а) за повнотами; б) класами бонітетів (матеріали повидільної бази Укрдержліспроекту)

Зокрема, було встановлено, що при аналізі лісонасаджень, зростаючих в певних типах лісорослинних умов, більша їх частина мала повноту 0,7 і 0,8 з домінуванням деревостанів 1^{a} класу бонітету.

Значна площа насаджень у Київському Поліссі представлена умовами свіжого сугруду – 64,6 % (рис. 2.5).

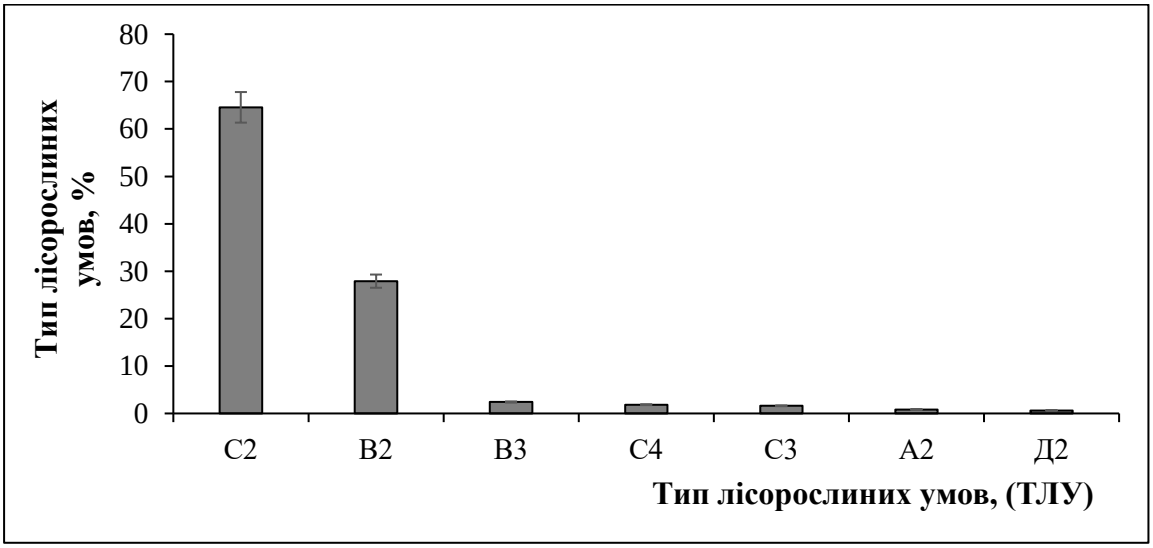


Рис. 2.5. Розподіл площ лісонасаджень у Київському Поліссі за ТЛУ (матеріали повидільної бази ВО «Укрдержліспроект»)

З метою запобігання і в подальшому зменшення кількості та площі лісових пожеж, необхідно провести лісопірологічний аналіз, який в майбутньому дозволить певною мірою спрогнозувати та попередити ймовірність виникнення

маштабних неконтрольованих лісових пожеж. Основа складових елементів цього аналізу передбачає визначення:

– визначення кількісної динаміки і центрів горимості лісових насаджень;

– питомої середньої площі й сезонної динаміки виникнення лісових пожеж;

– визначення залежності випадків лісових пожеж від типу лісорослинних умов;

– здійснення прогнозу лісових пожеж з урахуванням змін кліматичних умов.

Висновки до розділу 2

1. Зважаючи на те, що значна частина Київського Полісся заліснена сосновими насадженнями (питома частка яких становить 70,6 %), проблема їх захисту від пожеж є вкрай гострою. Адже переважна кількість пожеж виникають саме у соснових лісах.

2. Незважаючи на те, що значна частка лісів зростає у свіжих (понад 93 %) гігротопах пожежні ризики на таких ділянках залишаються високими. Впродовж посушливих періодів, пожежна небезпека на таких ділянках стрімко зростає.

3. Визначено, що у віковій структурі деревостанів Київського Полісся переважають молодняки, питома частка яких в структурі насаджень складає 69,9 %, які відносяться до І-го класу природної пожежної небезпеки. Молодняки мають низько опущену крону, тому кожна низова пожежа на таких ділянках за неможливості її вчасної ліквідації може швидко трансформуватися у верхову. Зважаючи на це у регіоні дослідження існують постійні ризики виникнення верхових пожеж.

Результати досліджень цього розділу відображено у публікаціях: «Закономірності накопичення наземних горючих матеріалів у сосняках Київського Полісся залежно від їх лісівничо-таксаційних показників» [105].

РОЗДІЛ 3

ГОРИМІСТЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ДИНАМІКУ ПОЖЕЖ У ЛІСАХ КИЇВСЬКОГО ПОЛІССЯ

Упродовж останніх десятиліть в Україні відслідковується тенденція до суттєвого збільшення кількості лісових пожеж та їх площі, що значною мірою зумовлено наростанням антропогенного тиску на ліси, а також суттєвими кліматичними змінами. Як зона Полісся України в цілому, так і Київське Полісся зокрема, належать до територій найбільш пірологічно-небезпечних щодо виникнення та розповсюдження масштабних неконтрольованих лісових пожеж. Особливо це є актуальним для зони Київського Полісся, яка перебуває під значним антропогенним навантаженням за рахунок близькості до мегаполісу м. Києва [91, 27, 21, 20].

3.1. Кількісна динаміка лісових пожеж в умовах Київського Полісся

Аналізуючи горимість Київського Полісся за дамими супутникової зйомки (ДЗЗ) MODIS впродовж 15 років виявлено, що пожежні максимуми спостерігалися у 2009 році коли відбулося 815 лісових пожеж, 2014–1082 випадки, найбільш критичному 2015–1444 випадки та 2020 роках – 1033 випадки лісових пожеж (рис. 3.1).

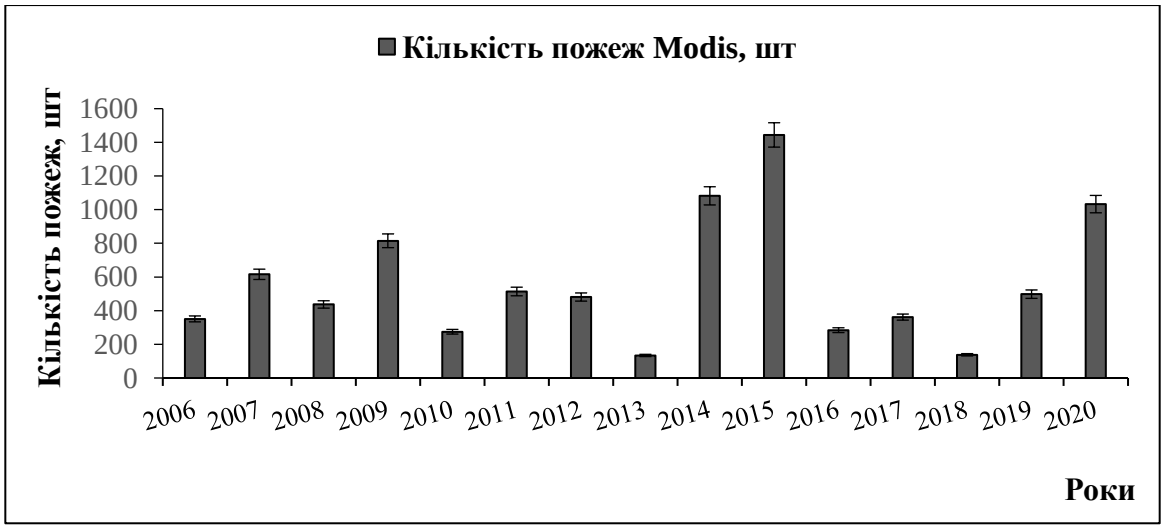


Рис. 3.1. Горимість ланшафтів Київського Полісся з 2006 по 2020 роки за даними ДЗЗ (MODIS)

Значний вплив на виникнення і поширення лісових пожеж здійснюють термальні аномалії Київського Полісся, які більш відзначені у північній частині Київського Полісся (рис. 3.2).

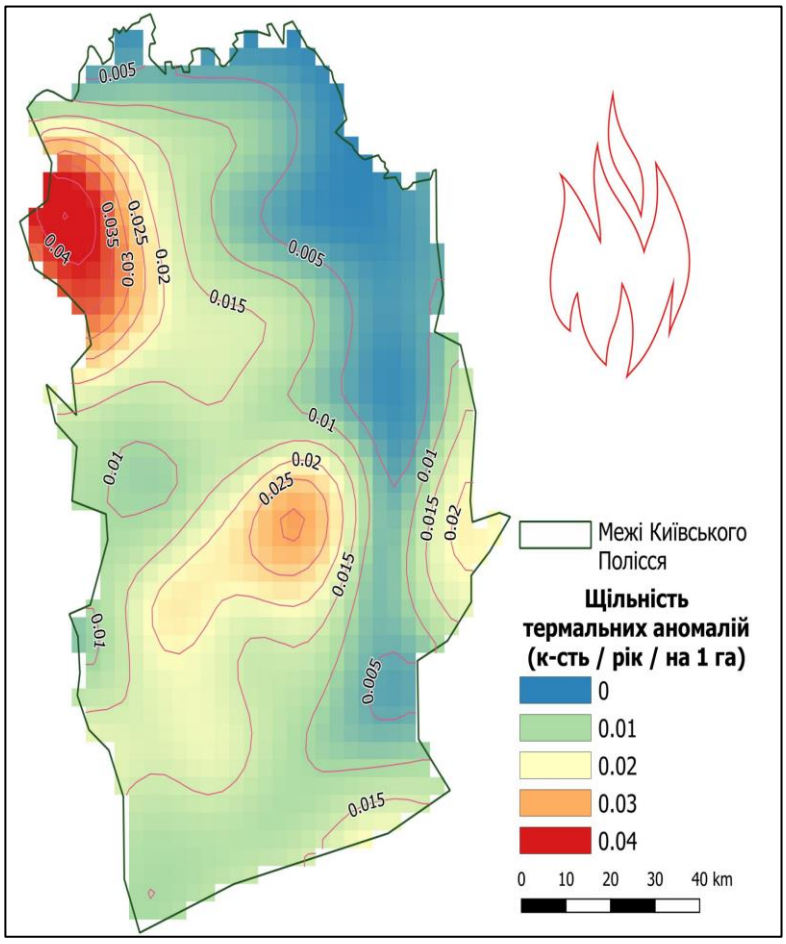


Рис. 3.2. Картограма термальних аномалій у Київському Поліссі за даними MODIS джерело даних FIRMS з 2006 по 2020 роки

Під час аналізу розподілу кількості лісових пожеж за роками по лісовим господарствам віднесених до Київського Полісся, виявлено, що пожежний максимум в лісових насадженнях у типах лісорослинних умов A_2 – B_2 спостерігався у 2009 р. (рис. 3.3), коли відбулося 905 лісових пожеж на загальній площі 333,8 га, що в свою чергу склало 18,4 % від загальної кількості зареєстрованих пожеж за досліджуваний період і перевищило максимальне значення більш, ніж у півтора рази від пірологічної норми. Цей рік за спостереженням гідрометеорологічних станцій був аномально посушливим [40], що сприяло частому виникненню і розповсюдженню лісових пожеж.

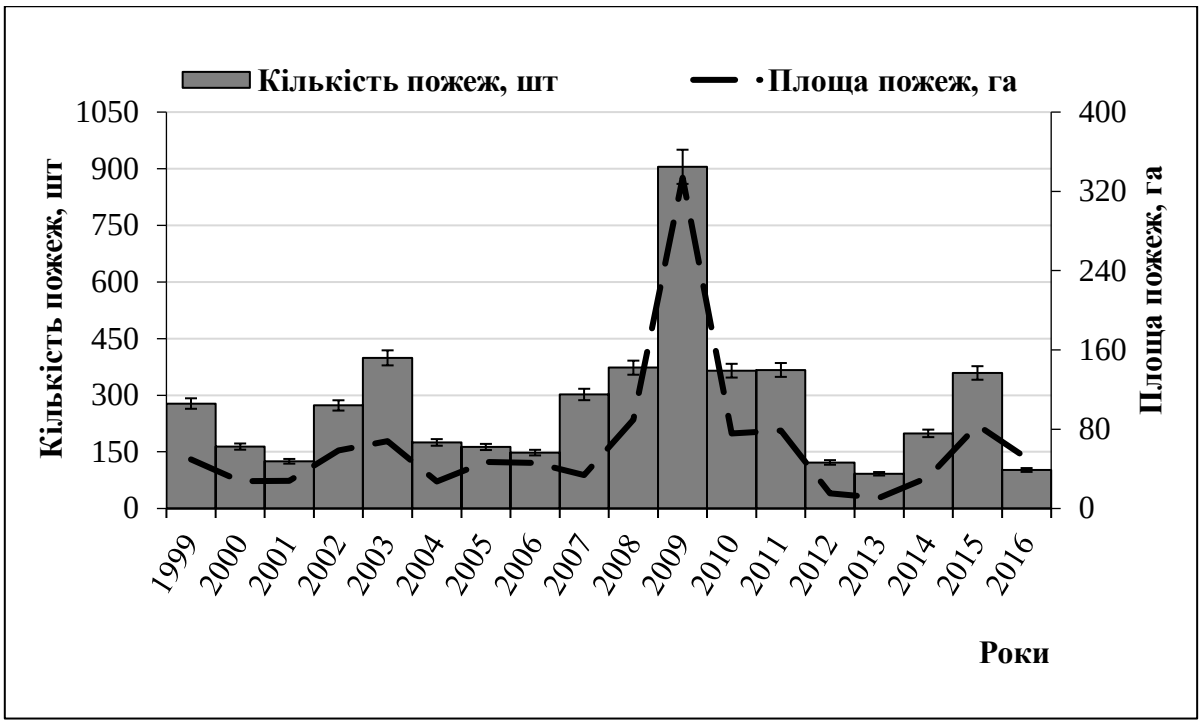


Рис. 3.3. Показники динамічної активності виникнення лісових пожеж по лісогосподарських підприємствах віднесених до меж Київського Полісся за період 1999–2016 рр.

Відповідний показник за площею лісових пожеж у 2009 р. склав 28,9 % і перевищив середньорічне значення майже в чотири рази від очікуваного. Також максимальні піки лісових пожеж відзначались і в інші роки, але значне перевищення середньорічних показників горимості не були наскільки яскраво вираженими.

Було встановлено, що висока горимість лісів для цього регіону, була характерною в чистих сосняках свіжого бору та субору (умови A_2–B_2). У змішаних насадженнях лісові пожежі виникали значно рідше – 24,9 %. У більшості випадків вони були обумовлені антропогенним фактором при тривалому бездощовому періоді.

Аналізуючи дані кількості пожеж книг обліку по лісовим господарствам віднесених до Київського Полісся та дані ДЗЗ MODIS з 2006 по 2016 роки виявлено за всіма роками значну розбіжність (рис. 3.4), а саме в середньому розбіжність складає до 10 %, наприклад найбільш горимий 2019 рік за даними

лісогосподарських підприємств зафіксовано – 905 (27,14 %) випадків, в той же час за даними MODIS – 815 (12,7 %) випадків.

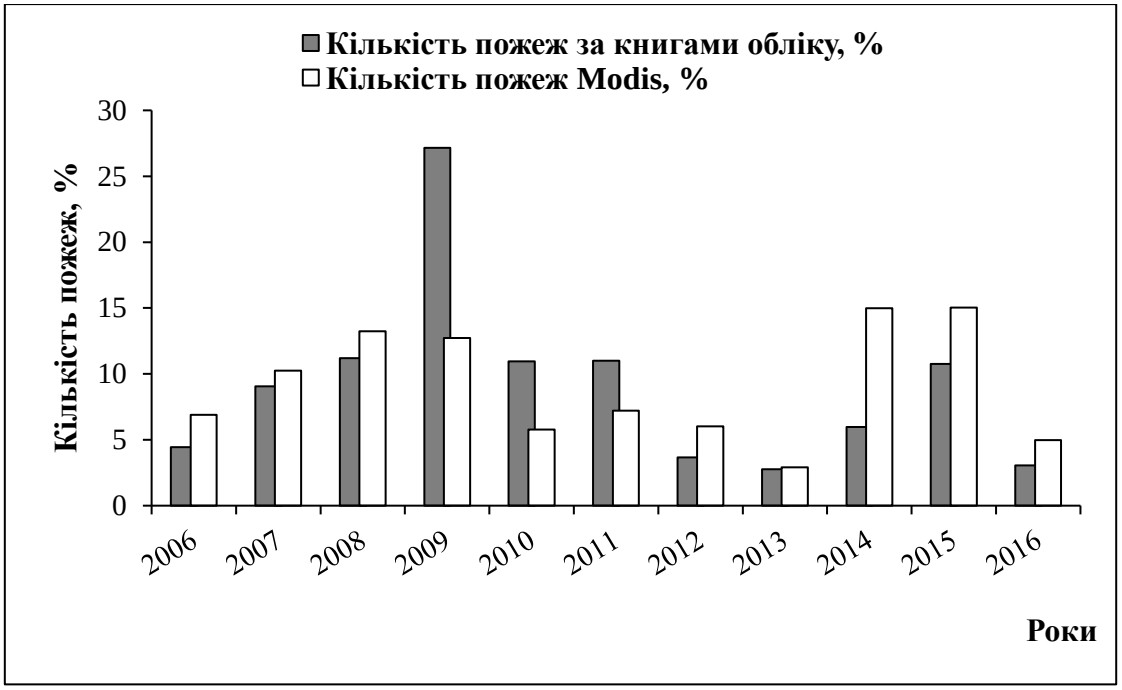


Рис. 3.4. Розподіл лісових та ландшафтних пожеж за кількістю випадків (за даними книг обліку лісових господарств та за даними супутникової зйомки MODIS)

Якщо взяти 2015 рік, то за даними книг обліку у лісових господарствах, він не є найбільш горимий і зафіксовано 359 (10,8 %) випадки пожеж в той же час за даними MODIS він найкритичніший і зафіксовано 1444 (15 %) випадки лісових пожеж. Цим можна стверджувати, часовий розподіл ландшафтних пожеж на сільськогосподарських землях та травостоях значно відрізняються та потребують подальших досліджень, зокрема їх валідації та перевірки достовірності.

Під час аналізу тенденцій виникнення лісових пожеж за досліджуваний період встановлено, що за 17 років в лісах Київського Полісся було зареєстровано 8554 випадки лісових пожеж на загальній площі 1264 га, з яких верховими лісовими пожежами було знищено 21,4 га. Найбільша кількість пожеж зафісована у філії «Клавдіївського лісового господарства» 3947 випадки пожеж (рис. 3.5). В той же час набільша площа пожеж виявлена у лісах філії «Київського лісового господарства» 274 га. та ВП НУБіП «Боярська ЛДС» 319,8 га та Сидоровецькому

агролісництву 325,9 га. Найбільшу кількість і площу пожеж виявлено у стиглих та пристигаючих лісах [20, 21, 23].

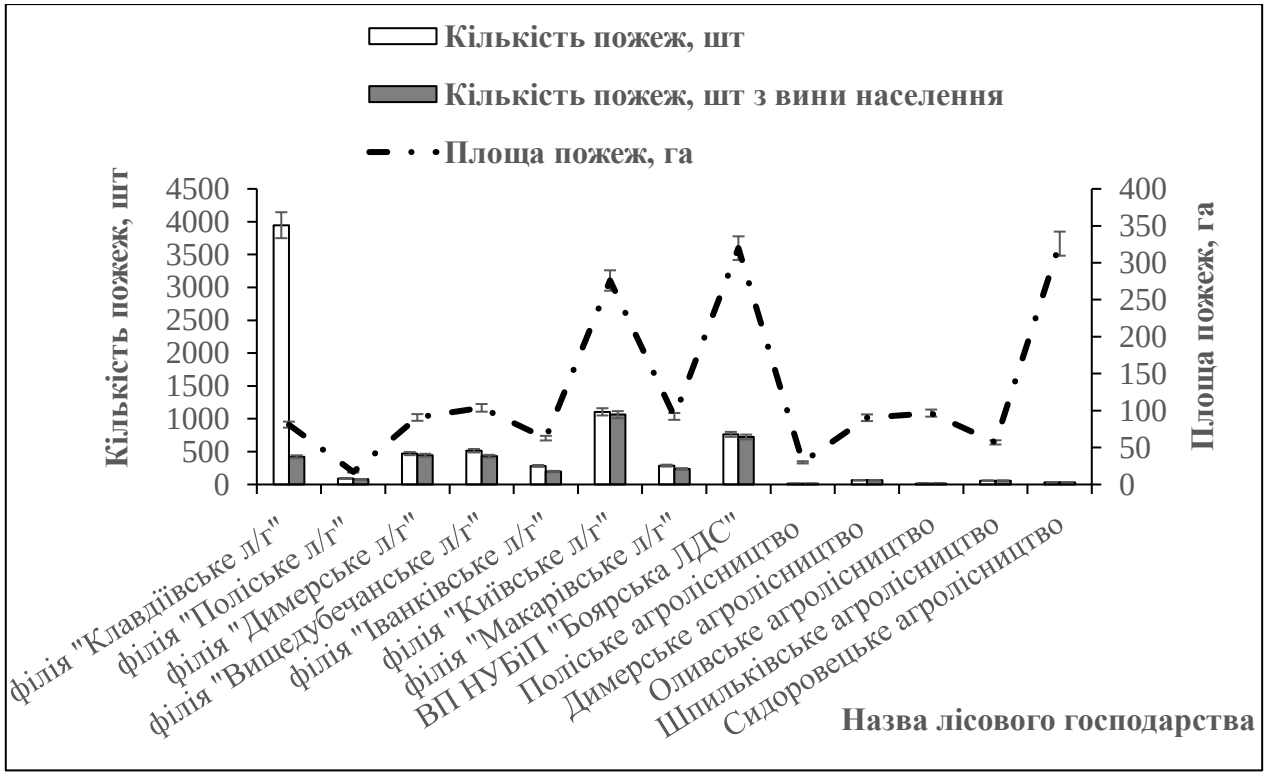


Рис. 3.5. Аналіз кількості і площі лісових пожеж та вплив антропогенного фактора на їх кількість, площу за книгами обліку на лісогосподарських господарствах у межах Київського Полісся

Аналізуючи загальну кількість пожеж у лісогосподарських господарствах віднесених до Київського Полісся визначено, що більша їх кількість виникла з вини населення, а саме біля мегаполісу в філії «Київського лісового господарства» 1063 випадки.

3.1.1. Просторовий розподіл та пірологічний аналіз лісових пожеж.

Проведені дослідження просторового розподілу лісових пожеж у розрізі лісогосподарських господарств віднесених до Київського Полісся свідчать про те, що найбільша кількість пожеж відбулась у лісогосподарських господарвах, розташованих в межах зеленої зони м. Києва (рис. 3.6). З них найбільше пожеж сталося у філії «Київське лісове господарство» – 259 випадків за рік. Ще у двох лісогосподарських господарствах, пожеж зафіксовано в 1,9–2,2 разів менше: зокрема, в Димерському – 153, Вищедубечанському – 88. У лісах решти

лісогосподарських господарств, де переважають мішані за складом ліси, або які розташовані далеко від зеленої зони столиці, кількість випадків лісових пожеж є значно меншою, водночас площі таких пожеж є значно більшими.

Рис. 3.6. Кількість і площа лісових пожеж у лісогосподарських господарствах віднесених до Київського Полісся згідно даних книг обліку за 2009 рік

Науковцями Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького доведено, що найбільшу кількість низових лісових пожеж також зафіксовано саме у лісах зелених зон [12].

Розподіл кількості пожеж і пошкодженої вогнем площі залежно від складу насадження та загальної його площі насадження показав, що найбільша кількість пожеж була відмічена у чистих соснових насадженнях в типах лісорослинних умов B_2, A_2 і соснових насадженнях з домішкою берези повислої (*Betula pendula* Roth.) та вільхи чорної (*Alnus glutinosa* L.) B_3, що в середньому становить 43,37 % і 24,25 % (рис. 3.7). В умовах B_3 кількість і площа, пройдена пожежами, значно перевищує загальну площу в умовах A_2.

Отже, за результатами аналізу у Київському Поліссі було встановлено, що найбільше пожеж виникло у типі лісорослинних умов (B_2) як за кількістю

(43,37 %), так і за площею (39,28 %) в чистих насадженнях сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

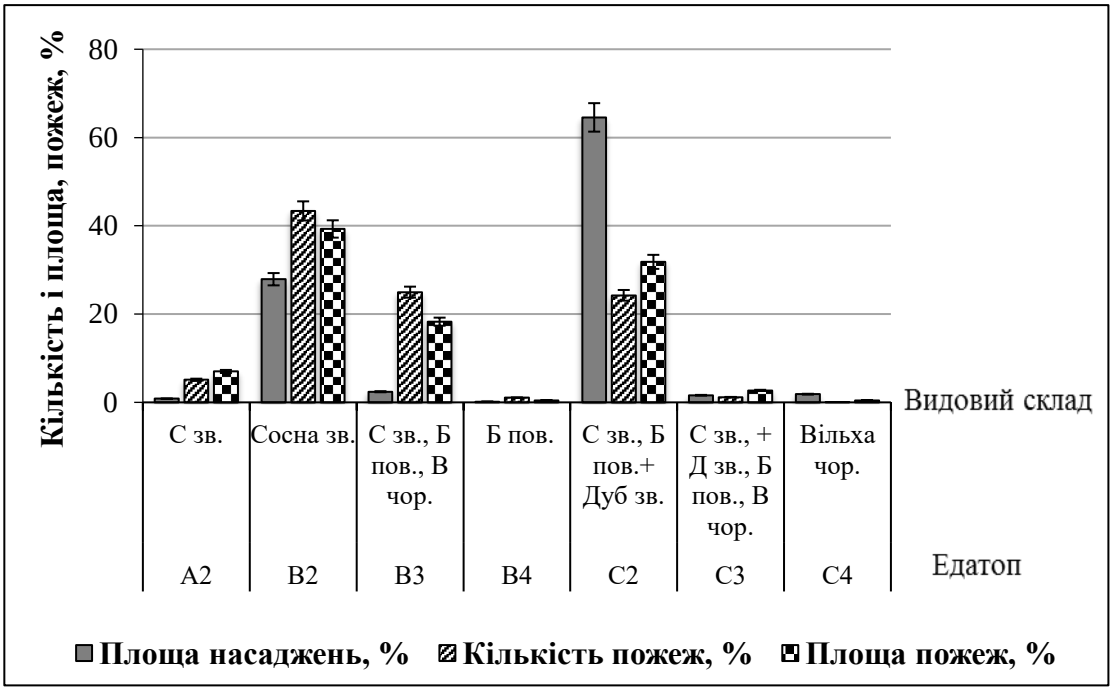


Рис. 3.7. Горимість деревних видів залежно від ТЛУ в лісових насадженнях Київського Полісся за період 1999–2016 рр.

Водночас, загальна площа типу лісорослинних умов B_2 складає 27,91 %. У типі лісорослинних умовах C_2 лісові пожежі становили за кількістю 24,25 % й за площею – 31,83 %. Загальна площа типу лісорослинних умов C_2 складає 64,56 %, що більше ніж удвічі перевищує площу лісорослинних умов типів лісу B_2. Переважаючий склад насаджень в цих умовах – сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) з домішкою берези повислої (*Betula pendula* L.) і дуба звичайного (*Quercus robur* L.).

Встановлено, що горимість соснових насаджень в умовах Київського Полісся сягає 0,33 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. В той час як для інших порід горимість не перевищує 0,13 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. Щільність пожеж соснових лісів становить 0,85 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га (для інших порід 0,34 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га). Одним із основних чинників, які впливають на горимість лісів Київського Полісся є людський фактор (значна щільність населення понад 60 осіб × км $^{-2}$).

В умовах свіжого субору порівняно з вологим субором, кількість і площа лісових пожеж є значно вищою (рис. 3.8). Це пояснюється більшою питомою масою в складі лісових насаджень едатопу типу B_3, а саме листяних видів, природна пожежна небезпека яких є значно нижчою. Також, під час порівняння всіх площ за ТЛУ (див. рис. 3.7), виявлено, що у едатопі B_2 де росте 27,9 % усіх насаджень, виникло 43,4 % пожеж, тоді як у едатопі C_2, де росте понад 64,6 % усіх насаджень, виникло за 17-річний період всього 24,2 % усіх пожеж. Це пояснюється домінуванням у свіжому сугруді листяних та мішаних насаджень, які є менш пожежонебезпечними. У сирих суборах (B_4) і сугрудах (C_4) відмічено незначну кількість пожеж (1,1 та 0,04 % відповідно), адже ризик виникнення пожеж в насадженнях, що ростуть у таких умовах є незначним, пожежна небезпека може наставати тільки після надзвичайно довгої і тривалої посухи.

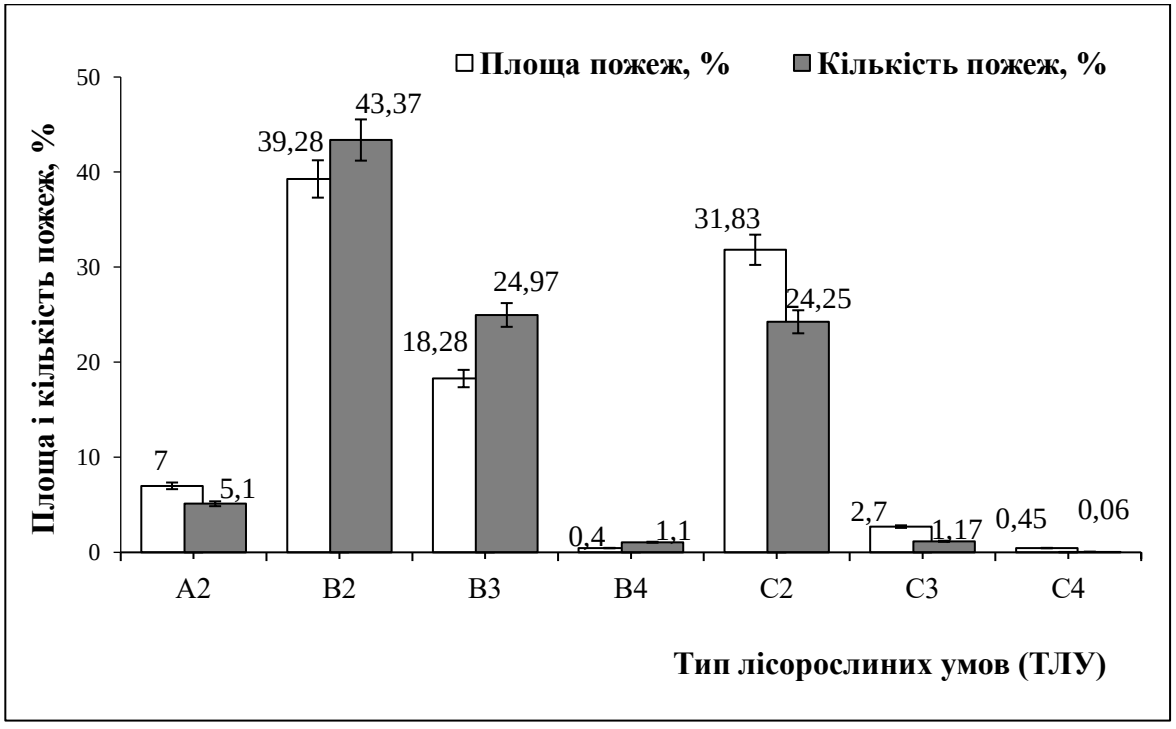


Рис. 3.8. Кількість і площа лісових пожеж в лісонасадженнях Київського Полісся у різних ТЛУ

Встановлено, що щільність пожеж в умовах B_2 сягає 1,1 га × рік $^{-1}$ × 1000 га), а горимість лісів 0,8 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. В умовах свіжих сугрудів (C_2), щільність пожеж складає 0,4 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га, а горимість за площею – 0,1 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. Визначено, що попри нижчі абсолютні показники за кількістю та площею пожеж найбільш горимі виявилися насадження, що ростуть у ТЛУ B_3 та

A_2 горимість складала 3,7 та 0,9 га × рік $^{-1}$ × 1000 га відповідно, у той же час щільність лісових пожеж становить 8,3 та 4,6 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га.

При проведенні порівняльного аналізу було встановлено, що у віковій структурі соснових насаджень переважають молодняки і середньовікові деревостани, у яких виявлено високий ступінь горимості. Саме у молодняках і середньовікових сосняках в ТЛУ A_2 та B_2 виявлено найбільшу кількість лісових пожеж 26,8 % і 52,3 %, площею відповідно 15,5 % і 60,3 % (рис. 3.9).

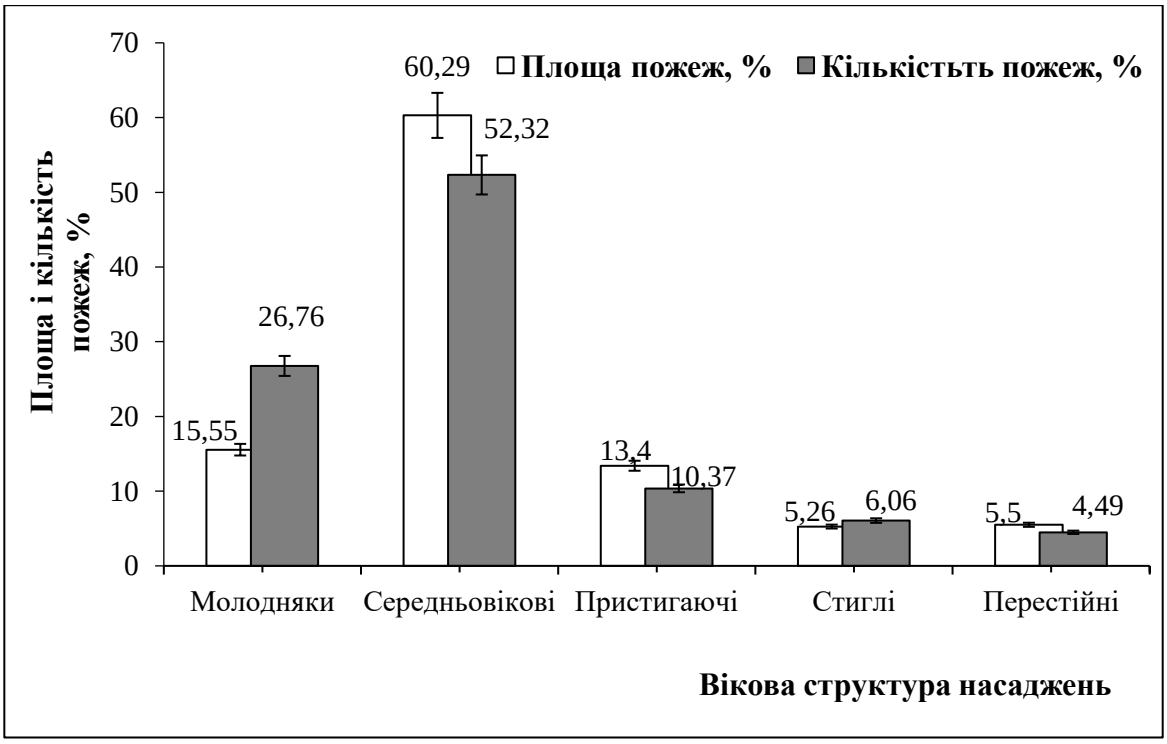


Рис. 3.9. Кількість і площа лісових пожеж в лісонасадженнях різних вікових груп Київського Полісся у відсотковому еквіваленті

Найменшу кількість лісових пожеж виявлено у стиглих і перестійних насадженнях – 6,1 % і 4,5 %, площа у перестійних насадженнях перевищує 5,5 %, а у стиглих лісових насадженнях вона менша і складає 5,3 %. Пристигаючі насадження зайняли середину за кількістю випадків та площею лісових пожеж 10,4 %, але площа пожеж також домінує над кількістю їх випадків.

У молодняках найбільша кількість пожеж зафіксована у типі лісорослинних умовах B_2 (39,1 %), а найменша у – B_3 (21,9 %), водночас, найбільша площа пожеж виявлена в умовах B_3 (56,4 %), що подано на рис. 3.10.

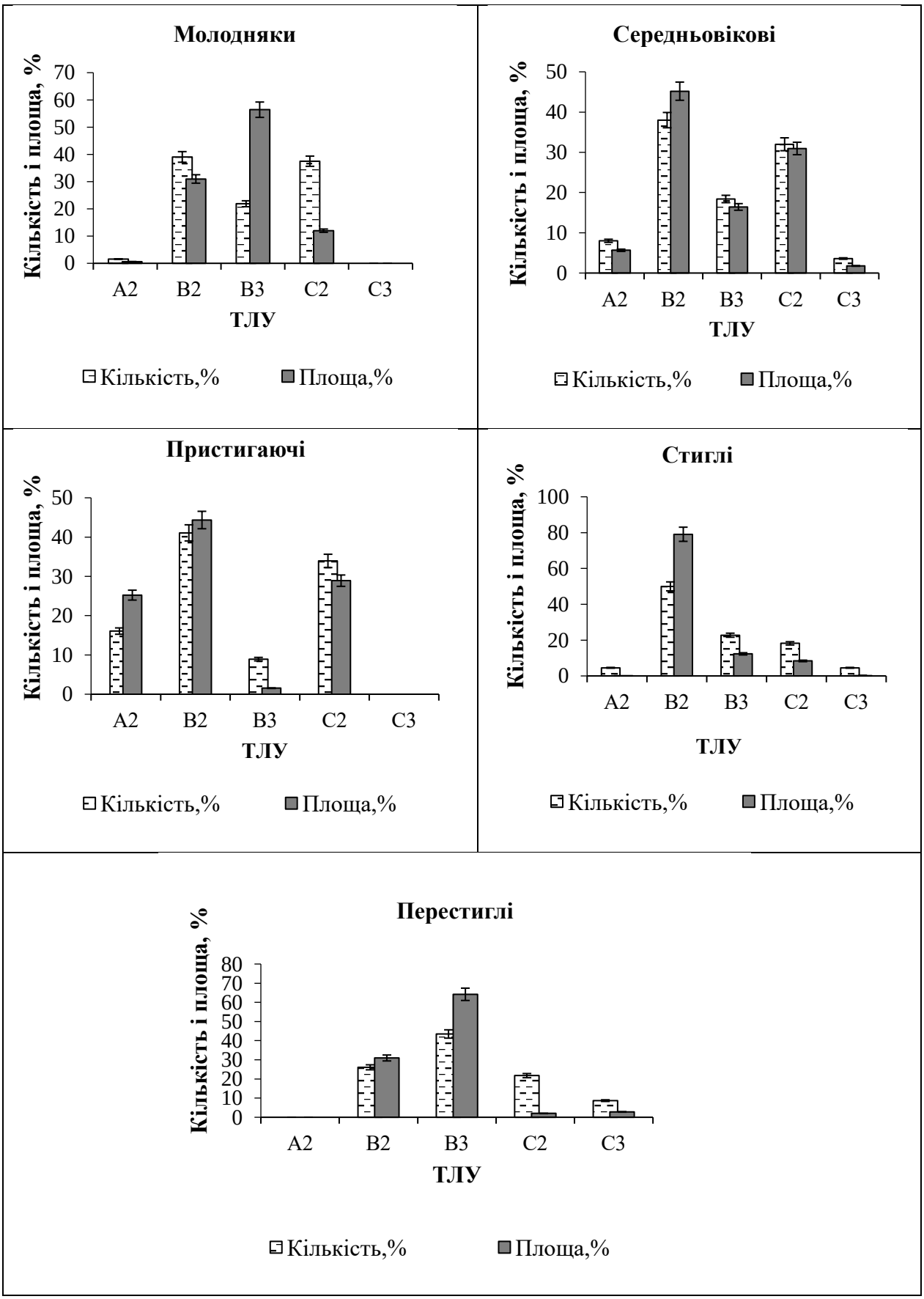


Рис. 3.10. Горимість лісів Київського Полісся у розрізі вікових груп та едатопів у відсотковому еквіваленті

У середньовікових насадженнях найбільша кількість і площа лісових пожеж спостерігається в типі лісорослиних умов B_2 (38 і 45,2 %), а найменша в умовах C_3 (3,6 і 1,8 %) відповідно. У пристигаючих і стиглих насадженнях прослідковується та ж тенденція.

Водночас, в перестиглих лісових насадженнях більша кількість і площа пожеж в типі лісорослинних умов B_3.

3.1.2. Сезонна динаміка лісових пожеж.

Аналізуючи розподіл багаторічної динаміки лісових пожеж в розрізі місяців пожежонебезпечного періоду (рис. 3.11) видно, що більшість випадків лісових пожеж спостерігається саме у весняний період (квітень, травень) та влітку (серпень). Це пояснюється тим, що основний пік пожежної небезпеки припадає на весняний період, коли є сприятливі погодні умови для загоряння лісових горючих матеріалів (основним найнебезпечнішим компонентом серед комплексу надземних ЛГМ у цей період є суха торішня трава та опад), які швидко підсихають.

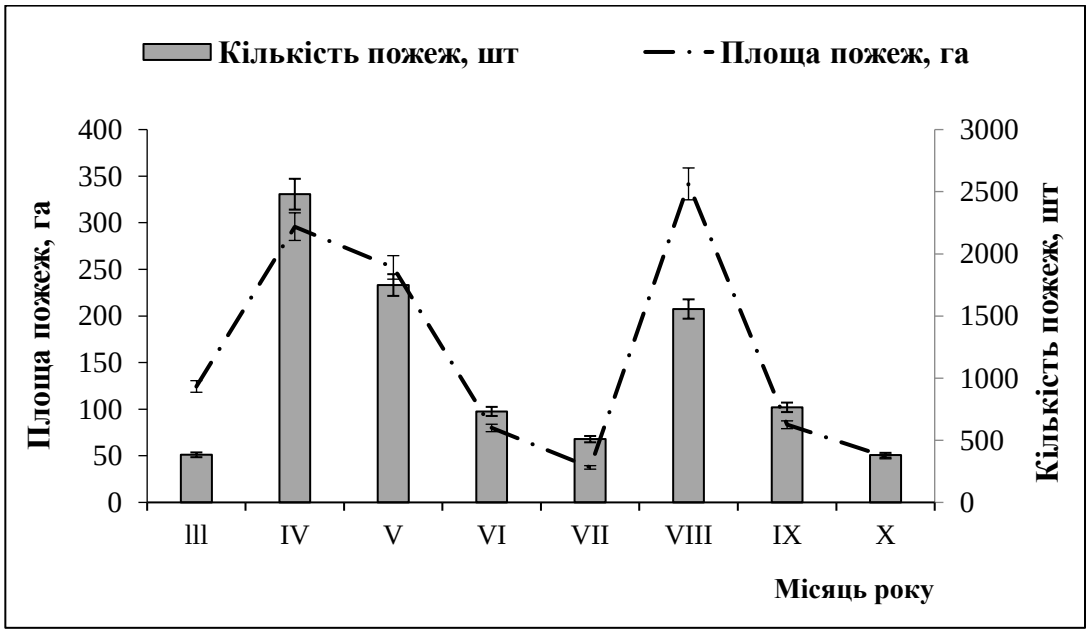


Рис. 3.11. Залежність кількості і площі лісових пожеж за місяцями року у межах Київського Полісся

Встановлено, що в тижневому розрізі виникнення лісових пожеж, найбільшу їх кількість 19,3 % зареєстровано у понеділок (рис. 3.12).

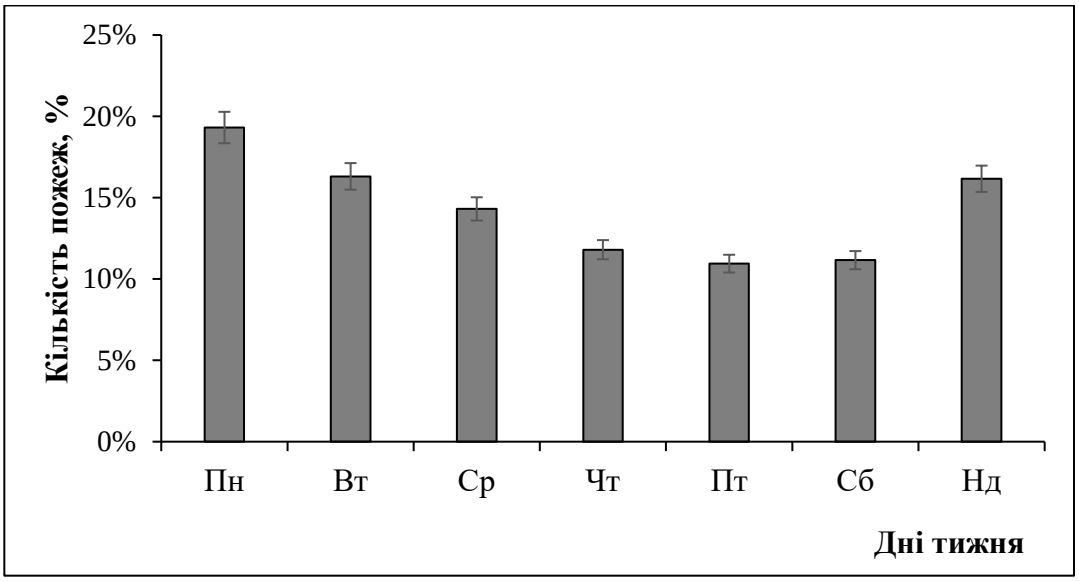


Рис. 3.12. Розподіл кількості лісових пожеж за днями тижня у межах Київського Полісся

Найбільшу кількість випадків виникнення лісових пожеж 23,4 % зареєстровано з 14 по 16 год. (рис. 3.13). За раніше проведеними дослідженнями науковців більший відсоток пожеж, а саме 97 % виникає саме з вини людини [21,23].

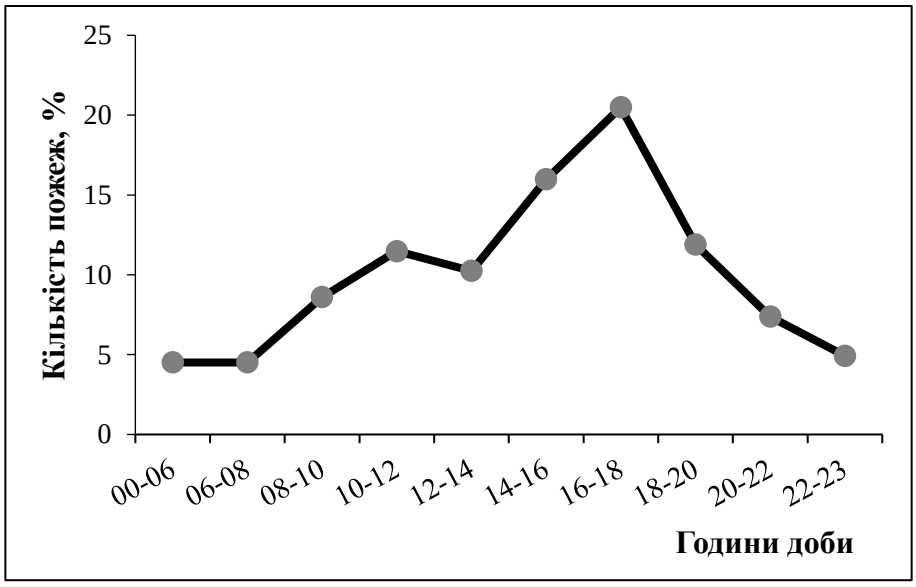


Рис. 3.13. Горимість лісів у Київському Поліссі за годинами доби

За результатами досліджень було встановлено, що понад 39 % лісових пожеж було ліквідовано на площі до 0,1 га, 35,62 % – на площі до 0,5 га, але майже 25 % ліквідованих лісових пожеж перевищила площу 0,5 га (рис. 3.14).

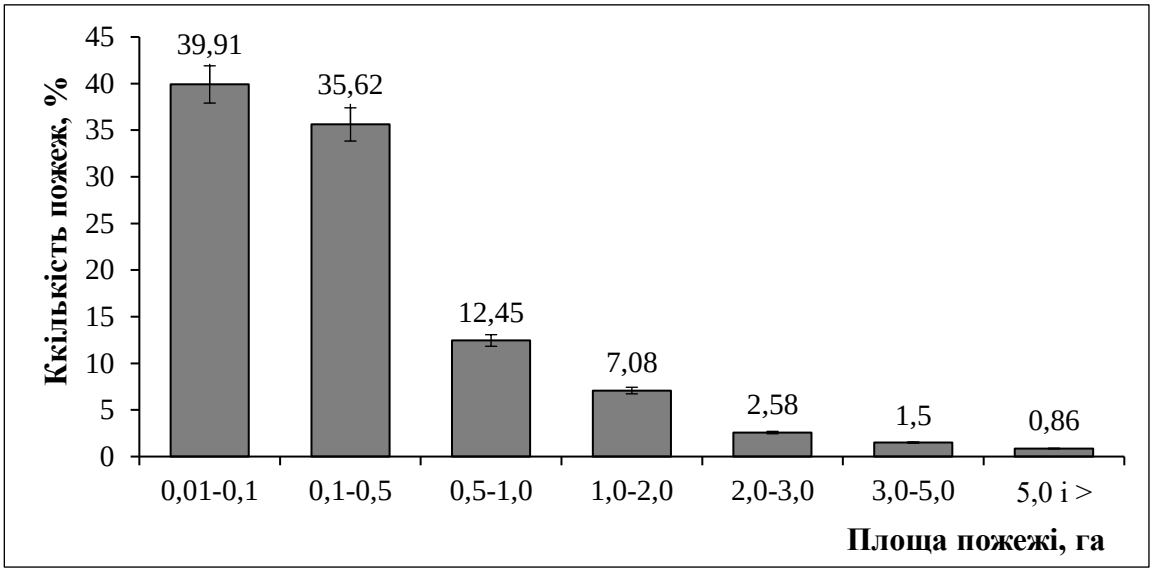


Рис. 3.14. Розподіл лісових пожеж за площею в Київському Поліссі

У результаті досліджень встановлено, що найбільша частка лісових пожеж, а саме 27,1 % і 26,1 % була ліквідована упродовж від 30 хв. до 1 години (рис. 3.15). Це свідчить про оперативність їх виявлення та ліквідації. Також частина, а саме 1,3 % і 1,1 % масштабних неконтрольованих лісових пожеж тривала від 10 до 20 год. і більше.

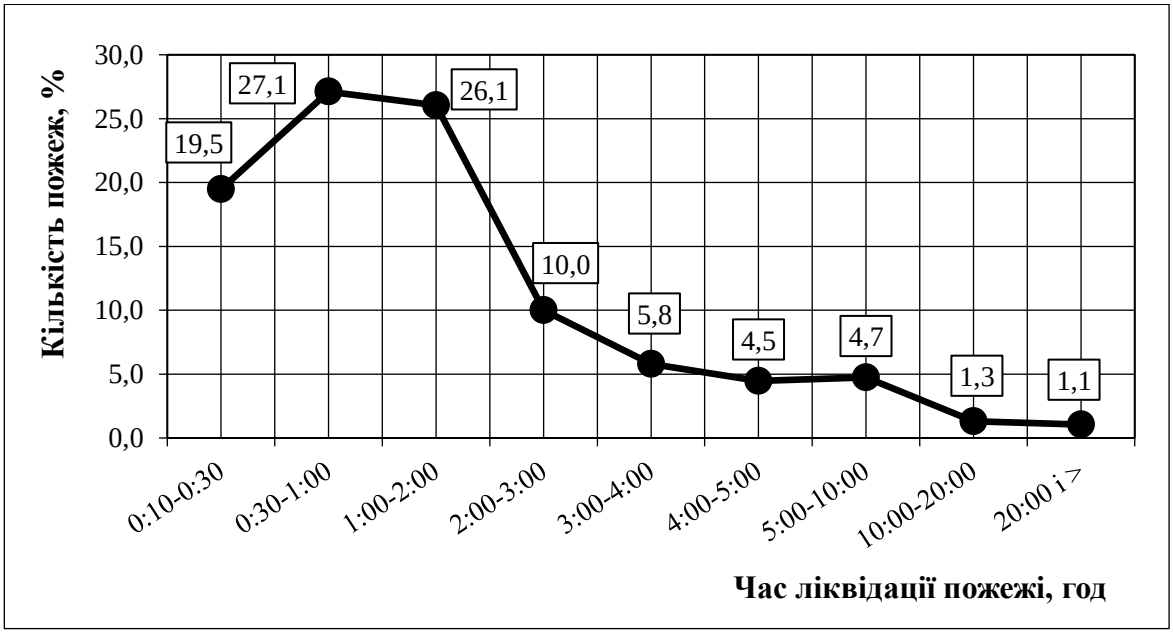


Рис. 3.15. Горимість лісів за часом до повної їх ліквідації

Проведений аналіз лісових пожеж за ліквідованою площею свідчить про необхідність не тільки посилення сил і засобів пожежогасіння у Київському Поліссі, але й потребу у будівництві та розширенні мережі доріг і проїздів протипожежного призначення, оскільки четверта частина лісових пожеж перевищувала площу 0,5 га.

3.2. Прогноз виникнення і поширення лісових пожеж у Київському Поліссі в умовах глобальних змін кліматичних умов

Рівень пожежної небезпеки в лісах Київського Полісся визначається не лише показником природного класу пожежної небезпеки у лісових насадженнях, з врахуванням погодно-кліматичних умов регіону, але й кількістю накопиченої сухої горючої речовини в лісі [65]. Пожежна небезпека значною мірою залежить від добових змін температури, вологості повітря, кількості опадів або їх відсутності, тривалості бездощового періоду, швидкості та напряму вітру тощо. Для моніторингу і прогнозу рівня пожежної небезпеки з врахуванням погодних умов як в Київському Поліссі, так і в Україні в цілому, застосовують комплексний показник, що враховує такі погодні складові як: температуру повітря протягом доби, точку роси, кількість днів бездощового періоду, наявність або відсутність вітру та його напрям [62].

Проводячи статистичний аналіз погодних умов, а також характеризуючи тип клімату в умовах Київського Полісся за період 1990–2018 рр., спостерігається стійка тенденція переходу до сухого типу погоди (табл. 3.1). Особливе занепокоєння викликає той факт, що на території Київського Полісся в останні три роки мають місце досить тривалі бездощові періоди, які супроводжуються високою температурою повітря та південно-східним домінуючим вітром, що з часом переходить у суховій. Такий синоптичний тип погоди обумовлює динамічний ріст пожежної небезпеки, і, як наслідок цього, призводить до осередкового виникнення лісових пожеж [23, 78, 103]. За даними Міжурядової групи експертів по змінах клімату (МГЕЗК) такі аномальні зміни є нетиповими або навіть безпрецедентними за останні десятиріччя [158]. Особливу тривогу викликає той факт, що такі погодні, і, як наслідок, кліматичні зміни будуть в

майбутньому посилюватись, що в свою чергу потенційно призведе до змін в лісових біогеоценозах [65]. Такі зміни не лише становлять загрозу для життя та здоров'я людей, а й зумовлюють значні та незворотні зміни в лісових і болотних екосистемах. Підвищення температури повітря, яке супроводжується дефіцитом вологи, негативно впливає на лісові масиви Київського Полісся, особливо на ріст і розвиток дерев, зниження стійкості і призводить до висихання лісів в зоні Київського Полісся, що значною мірою впливає на зростання рівня пожежної небезпеки [65, 98]. На підвищення ймовірності виникнення лісових пожеж впливає також збільшення тривалості теплого періоду та зростання грозової активності [62, 98]. У Київському Поліссі за даними Р. К. Пачаури та Чаба Матиаша [68, 97], найбільш вразливими до лісових пожеж є штучно створені ліси. Очікується, що до кінця 2030 року на території Центральної та Східної Європи ризик пожежної небезпеки збільшиться, особливо в центральних, південних та східних регіонах, зросте і ризик виникнення лісових і торф'яних пожеж, що зумовлено не лише підвищенням температури повітря, зростанням посушливості, а й збільшенням тривалості пожежонебезпечного сезону [62, 65, 95, 98, 158, 176, 177]. Глобальні зміни клімату найвідчутніше проявилися упродовж останніх трьох десятиріч. Щорічна кількість лісових пожеж в Україні за цей період зросла майже в 3,1 рази [98].

В останні десятиріччя значної шкоди від несприятливих температурних факторів зазнають як пристигаючі, так і стиглі насадження сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в умовах Київського Полісся [21, 31]. Про це свідчать значні за площею лісові пожежі у межах Київського Полісся України [20, 22].

Найбільша середня кількість опадів за рік у Київському Поліссі за 20-річний період з 1999 по 2018 рр. випала у 6-му календарному місяці (червні), а саме 69,3 мм (табл. 3.1). Найменша кількість опадів випала у 9 календарному місяці (вересні) 34,1 мм. Середня кількість пожеж за 20-річний період склала в середньому 425,5 випадків на рік.

Таблиця 3.1.

Кількість опадів за період з 1999 по 2018 рр. в умовах Київського Полісся

Роки	Місяці												За рік	П/Н період
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		(III-X)
1999	67,3	47,6	65,3	66,7	75,8	62,8	48,4	35,7	32,4	56,7	68,9	68,0	695,6	443,8
2000	67,0	41,7	68,0	60,5	57,0	50,2	57,0	24,6	26,1	50,3	71,4	74,7	648,4	393,6
2001	52,6	65,4	62,2	59,0	55,3	45,7	45,7	27,4	34,9	46,9	65,3	78,2	638,7	377,2
2002	63,6	52,3	49,9	66,8	65,6	84,8	82,6	41,5	31,6	63,1	71,3	61,0	734,1	485,9
2003	47,0	33,8	58,7	55,7	55,0	58,8	58,7	38,8	34,0	35,1	74,3	58,6	608,5	394,8
2004	59,1	43,4	59,3	43,7	53,1	79,3	33,1	33,6	24,7	60,2	72,2	58,0	619,8	387,1
2005	65,2	49,0	78,9	59,8	67,7	56,9	38,8	32,7	48,6	46,9	54,1	71,9	670,4	430,3
2006	90,8	43,1	55,6	60,2	60,9	72,1	57,5	24,0	46,6	31,3	63,6	70,5	676,1	408,1
2007	50,4	52,0	58,0	64,7	60,0	70,0	64,0	16,9	18,1	73,9	101,6	77,9	707,4	425,5
2008	65,0	46,2	60,4	59,6	53,2	62,9	47,9	31,1	36,6	43,2	50,0	53,9	610,1	395,0
2009	66,0	32,0	68,3	52,1	53,1	70,1	60,4	55,3	18,6	62,7	89,6	64,8	693,1	440,6
2010	57,2	55,7	62,7	57,0	46,4	80,8	65,3	60,2	39,7	42,8	56,2	62,5	686,5	454,9
2011	51,0	64,6	68,4	48,5	80,7	92,5	72,3	53,8	35,9	49,5	57,6	68,7	743,7	501,8
2012	72,6	57,8	52,1	54,0	59,9	76,5	26,7	32,8	26,8	44,0	66,8	72,0	642,0	372,8
2013	58,4	50,7	58,7	62,1	61,5	69,7	60,3	24,9	33,1	43,5	54,4	59,2	636,2	413,7
2014	64,9	56,8	52,9	47,5	62,7	68,8	82,0	43,9	41,1	40,3	55,3	76,0	692,1	439,2
2015	52,3	54,2	57,3	69,0	54,3	50,1	41,2	47,1	48,1	46,3	75,7	68,7	664,2	413,3
2016	64,7	48,8	63,9	61,3	66,6	74,9	71,1	25,7	45,1	63,9	69,3	78,8	734,0	–
2017	64,1	47,8	63,8	45,7	68,0	83,1	51,0	31,3	25,2	43,8	56,9	66,9	647,7	412,0
2018	50,6	46,1	46,1	58,8	68,8	76,5	48,7	42,3	34,0	71,9	53,4	80,8	678,0	447,1
Середнє за 20 років	61,5	49,4	60,5	57,6	61,3	69,3	55,6	36,2	34,1	50,8	66,4	68,5	671,3	425,5

Зібрані і проаналізовані дані середньої суми температур по місяцях за 20-річний період (табл. 3.2), свідчить про те, що найбільша їх частка припадає на 7 календарний місяць (липень) 21,8, а найменша частка на 3 і 4 (березень, квітень).

Таблиця 3.2.

Середньомісячна багаторічна температура за роками за період з 1999 по 2018 рр. у Київському Поліссі, ° С

Роки	Місяці												Серед. за рік	П/Н період (III-X)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1999	-1,6	-1,2	2,6	8,0	12,7	18,6	21,2	20,7	15,7	8,4	3,1	-0,7	9,0	13,5
2000	-3,1	0,2	1,8	7,9	13,6	20,4	23,0	22,3	16,8	8,4	4,2	-0,6	9,6	14,3
2001	-3,7	-0,1	3,0	7,2	12,1	19,0	23,0	20,4	14,9	8,3	3,3	-0,9	8,9	13,5
2002	-1,7	-1,4	2,9	8,4	12,9	18,2	20,9	20,7	16,0	7,6	4,0	-1,0	9,0	13,4
2003	-3,1	-0,9	2,0	7,1	12,8	18,1	22,2	18,5	15,1	10,4	2,3	0,3	8,7	13,3
2004	-3,5	-3,8	1,9	7,5	15,0	18,4	22,2	20,5	17,1	9,1	3,2	1,0	9,0	13,9
2005	-2,4	-2,1	2,0	9,0	13,4	21,2	22,3	20,7	15,3	9,7	4,1	0,3	9,5	14,2
2006	-1,7	-3,3	0,7	6,3	13,2	19,8	20,4	21,5	15,5	10,1	2,3	-0,6	8,7	13,4
2007	-3,8	-1,2	0,9	8,1	13,7	19,3	23,0	21,1	17,8	8,5	3,4	-0,8	9,2	14,1
2008	-5,6	-1,5	1,4	7,2	14,6	18,1	22,4	21,2	14,8	8,3	3,5	2,1	8,9	13,5
2009	-0,8	-4,0	2,7	8,5	14,1	20,3	21,1	19,4	17,1	9,2	3,1	1,4	9,3	14,0
2010	-1,0	0,9	1,7	8,0	15,7	19,4	21,3	18,9	15,6	9,4	4,5	0,3	9,6	13,8
2011	-1,0	-2,4	0,1	8,0	13,2	17,8	20,7	20,6	15,3	9,2	3,2	1,8	8,9	13,1
2012	-0,9	-0,3	2,6	8,9	13,3	19,5	23,0	21,1	15,7	9,0	4,6	1,5	9,8	14,1
2013	-2,1	0,5	2,1	7,6	15,4	18,5	21,5	21,0	15,5	9,2	2,4	1,6	9,4	13,9
2014	-1,4	-2,3	1,6	7,7	12,8	19,7	20,3	19,4	15,7	9,6	3,8	-0,9	8,8	13,4
2015	-4,6	-1,9	2,5	6,9	15,0	18,8	23,1	19,4	14,8	9,2	4,3	1,4	9,1	13,7
2016	0,3	-2,8	1,1	7,3	15,3	18,2	21,1	22,1	15,3	9,0	2,6	-3,3	8,9	13,7
2017	-1,0	0,0	0,6	9,8	14,6	17,4	21,6	20,3	15,9	8,6	3,6	1,1	9,4	13,6
2018	-1,3	0,3	2,1	7,8	11,4	17,4	20,6	20,6	15,9	8,3	2,8	-0,8	8,8	13,0
Серед-ні	-2,2	-1,4	1,8	7,9	13,7	18,9	21,8	20,5	15,8	9,0	3,4	0,2	9,1	13,7

Встановлено, що кількісний показник пожеж знаходиться у прямій кореляційній залежності від температури повітря у вересні та жовтні за ступеня ймовірності (r=0,45–0,60). Також, виявлено, що чим вищою є середня, мінімальна та максимальна температура повітря у вересні та жовтні, тим більша кількість лісових пожеж може виникнути у регіоні досліджень.

Таблиця 3.3.

Розподіл кількості і площі лісових пожеж за роками залежно від температури повітря упродовж пожежонебезпечного періоду і річної кількості опадів в Київському Поліссі за період з 1999 по 2018 рр.

Роки	Температура, ° С		Опади, мм		*Кіль-кість пожеж, шт	Кількість термальних аномальних пожеж за MODIS	Пло-ща, га
	середня за рік	пожежн. Період (III-X)	за рік	пожежн. Період (III-X)			
1999	9,0	13,5	695,6	443,8	278	–	49,43
2000	9,6	14,3	648,4	393,6	164	–	27,57
2001	8,9	13,5	638,7	377,2	125	–	27,97
2002	9,0	13,4	734,1	485,9	273	–	58,57
2003	8,7	13,3	608,5	394,8	399	–	67,93
2004	9,0	13,9	619,8	387,1	175	–	27,26
2005	9,5	14,2	670,4	430,3	163	–	46,92
2006	8,7	13,4	676,1	408,1	148	351	45,92
2007	9,2	14,1	707,4	425,5	302	616	33,67
2008	8,9	13,5	610,1	395,0	373	437	89,68
2009	9,3	14,0	693,1	440,6	905	815	333,8
2010	9,6	13,8	686,5	454,9	365	275	75,86
2011	8,9	13,1	743,7	501,8	367	514	78,63
2012	9,8	14,1	642,0	372,8	122	481	15,44
2013	9,4	13,9	636,2	413,7	92	134	10,8
2014	8,8	13,4	692,1	439,2	199	1082	31,31
2015	9,1	13,7	664,2	413,3	359	1444	84,24
2016	8,9	13,7	734,0	–	102	284	50,8
2017	9,4	13,6	647,7	412,0	–	362	–
2018	8,8	13,0	678,0	447,1	–	138	–
Серед-ні	9,1	13,7	671,3	425,5	–	–	–

Примітка. Офіційні дані по книгах обліку на лісогосподарських підприємствах.

За результатами проведених досліджень можна спрогнозувати, що найбільший дефіцит опадів за пожежнонебезпечний період буде спостерігатись в південій частині Київського Полісся з середньою кількістю опадів в 110 мм, а найменший їх дефіцит прослідковується у північній частині і становитиме – 70 мм (рис. 3.16).

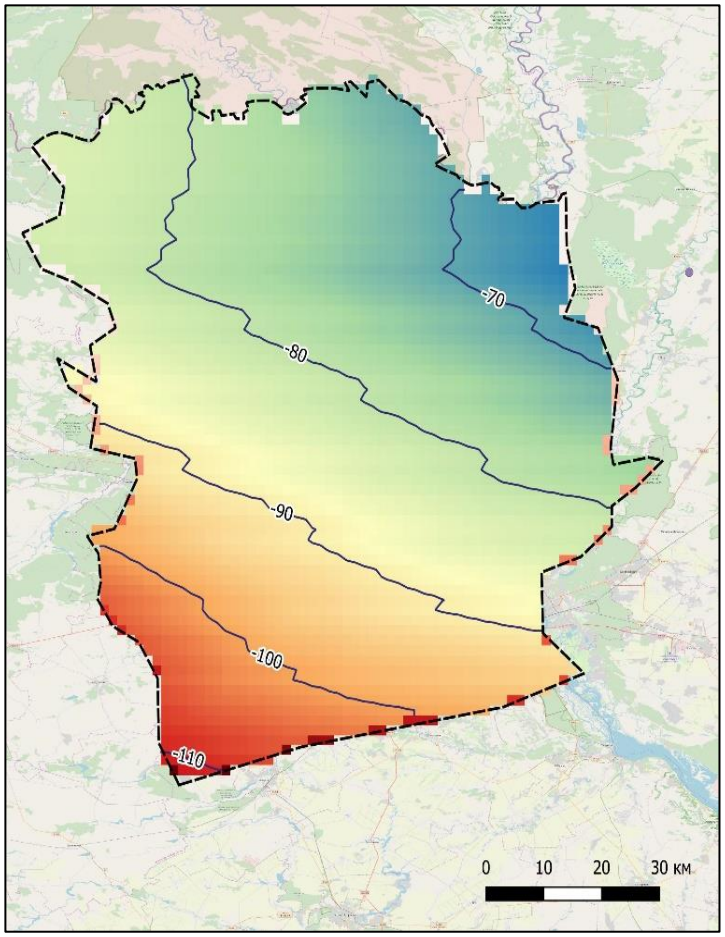


Рис. 3.16. Середній прогнозований дефіцит опадів до 2050 року за сценарієм RCP 4,5

Прогнозуючи середню температуру за пожежнонебезпечний період для Київського Полісся, а саме на період до 2050 р. за сценарієм RCP 4,5, слід зазначити, що середня температура підвищиться приблизно в період до 2050 р. на 1 ° С, тобто середня температура буде складати 16,6 ° С, а середня кількість опадів становитиме 376,6 мм (рис. 3.17). Найбільша середньомісячна температура буде у липні – 24,78 ° С, водночас, найбільша кількість опадів прогнозується у червні – 71,0 мм (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Прогнозована середня температура повітря та середньомісячна кількість опадів на період до 2050 р.

Місяць	Опади	Температура, °С
Січень	59,6	3,31
Лютий	57,7	1,64
Березень	64,5	4,13
Квітень	56,6	10,03
Травень	49,3	17,08
Червень	71,0	20,24
Липень	33,7	24,78
Серпень	36,1	23,36
Вересень	21,9	20,13
Жовтень	43,5	12,99
Листопад	66,4	6,62

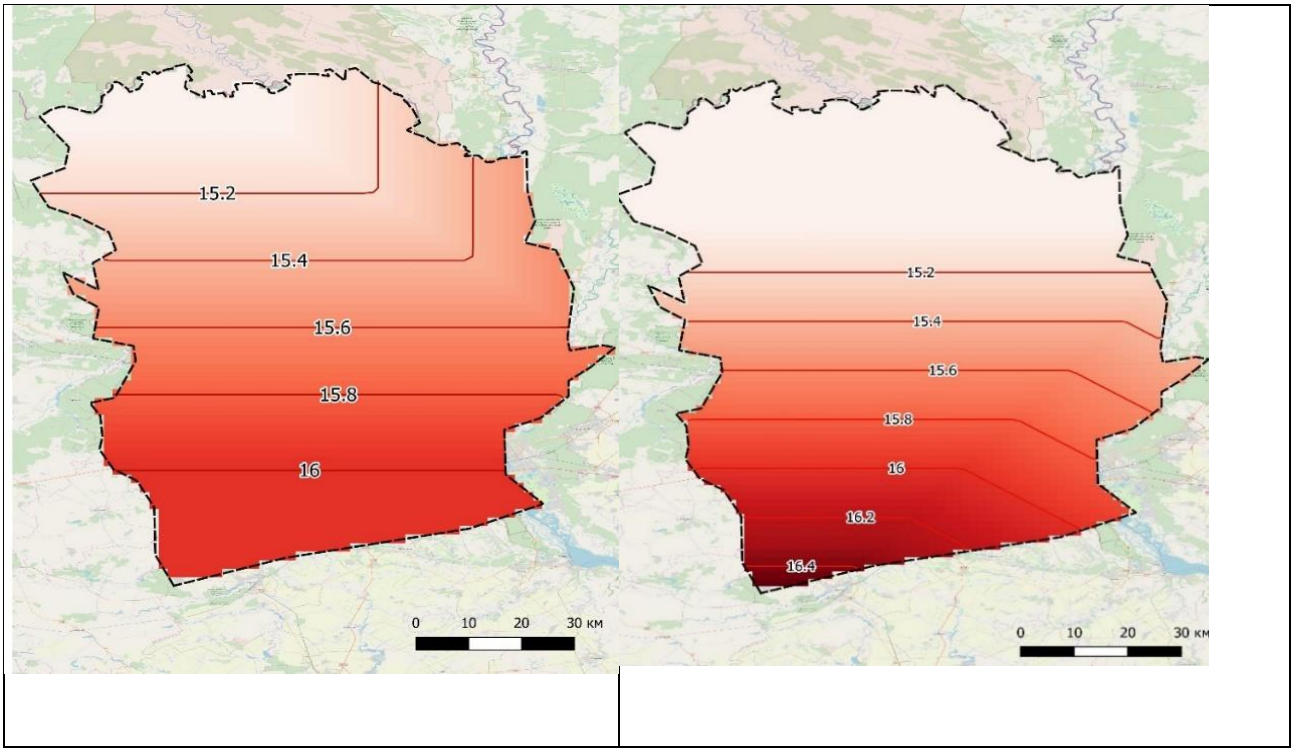


Рис. 3.17. Орієнтовна середня температура повітря за пожежонебезпечний період на період до 2050 р. за сценарієм RCP 4,5 (ліворуч – кліматична норма, праворуч – за сценарієм RCP 4,5 на період до 2050 р.)

Таблиця 3.5

Орієнтовний клас пожежної небезпеки за умовами погоди в зоні Київського Полісся за період з 2009 по 2019 рр.

Роки	Класи пожежної небезпеки					Середній Клас КПО	К-сть пожеж
	1	2	3	4	5		
2009	9,76	20,16	35,61	24,72	9,76	2,51	351
2010	10,93	25,75	46,03	11,99	5,29	2,31	616
2011	9,87	21,38	36,02	23,68	9,05	2,48	437
2012	15,07	25,99	40,68	17,33	0,94	2,17	815
2013	17,57	21,68	29,16	26,92	4,67	2,18	275
2014	8,93	19,16	42,86	23,38	5,68	2,51	514
2015	6,46	12,36	29,07	33,15	18,96	2,91	481
2016	11,32	24,04	38,15	26,48	0,00	2,34	134
2017	7,96	21,56	51,24	19,24	0,00	2,46	1082
2018	10,88	16,93	47,67	22,80	1,73	2,42	1444
2019	9,33	21,93	36,82	22,91	9,00	2,49	284

Таблиця 3.6

Комлексний показник природної пожежної небезпеки в зоні Київського Полісся за період з 2009 по 2019 рр.

Рік	Місяці, КППН за Нестеровим (1945)								
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Середнє за рік
2009	106	4619	5381	1399	963	3665	2122	582	2350
2010	276	1046	1624	1806	1504	4834	1361	659	1642
2011	516	1805	3695	4908	832	1619	3924	705	2235
2012	353	551	2097	1297	2217	2826	1393	499	1408
2013	47	1810	4329	1089	3069	2624	191	660	1736
2014	893	2456	768	1047	1694	5164	3734	1782	2190
2015	661	1870	1346	4677	2149	9147	5608	5523	3870
2016	371	1237	850	2552	2569	2659	3721	504	1799
2017	577	1531	2331	2464	2019	2168	1853	769	1711
2018	66	1654	2023	3979	797	2519	2740	1563	1953
2019	341	1665	727	3048	1444	2327	7087	2427	2364

Як видно з табл. 3.6, у зв’язку зі змінами кліматичних умов в зоні Київського Полісся, суттєво посилюється динаміка зміни класу пожежної небезпеки, що в свою чергу визначається кількістю лісових пожеж за цей період.

Тому, за результатами досліджень було встановлено, що зміна клімату і зменшення вологи в умовах Київського Полісся прямо впливає на збільшення кількості лісових пожеж в цьому регіоні.

Висновки до розділу 3

1. За результатами досліджень встановлено, що горимість соснових насаджень в умовах Київського Полісся сягає 0,33 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. В той час як для інших порід горимість не перевищує 0,13 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. Щільність пожеж 0,85 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га (для інших порід 0,34 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га). Переважаючими факторами, які впливають на горимість лісів Київського Полісся є природний фактор, антропогенний (значна щільність населення понад 60 осіб × км $^{-2}$) та значна частка чистих штучних соснових насаджень (66 % від загальної площі сосняків), які є найбільш пожежонебезпечними.

2. Встановлено, що значна кількість пожеж зафіксована в лісах, зростаючих в умовах свіжих суборів (B_2) кількість лісових пожеж становить 27,9 % (щільність пожеж у даних лісорослинних умовах сягає 1,1 га × рік $^{-1}$ × 1000 га), а їх площа 39,3 % (горимість лісів у даних лісорослинних умовах сягає 0,8 га × рік $^{-1}$ × 1000 га). В умовах свіжих сугрудів (C_2), що характеризуються складом: сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) з домішкою берези повислої (*Betula pendula* L.) кількість пожеж сягає 24,2 % (0,4 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га). Площа цих лісових пожеж складає в середньому 31,8 % (0,1 га × рік $^{-1}$ × 1000 га) від загальної площі, вкритої лісом за ТЛУ. Найбільш горимими є насадження у ТЛУ B_3 та A_2 горимість складала 3,7 та 0,9 га × рік $^{-1}$ × 1000 га відповідно, у той же час щільність лісових пожеж становить 8,3 та 4,6 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га.

3. Доведено, що найбільш горимими є середньовікові насадження сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). В них зафіксовано 60,3 % кількість випадків лісових пожеж, площа яких склала 52,3 % від загальної площі всіх зареєстрованих пожеж.

4. Результати досліджень за аналізом горимості по місяцях показали, що у соснових насадженнях в зоні Київського Полісся найбільша кількість лісових пожеж виникає у квітні – 2480 випадків, а найбільша їх площа зафіксована у серпні – 341,68 га. Значна кількість пожеж у квітні пояснюється наявністю

значних обсягів РГМ у стані готовому до займання (суха торішня трава) як у лісі так і поза ним (перелоги, сіножаті, заплави тощо). Пожежі у природних екосистемах, унаслідок випалювання сухої трави, часто поширюються на лісові масиви спричиняючи значну кількість лісових пожеж. Пожежний пік у серпні пояснюється особливостями проходження фенологічних фаз переважаючою трав'яною рослинністю (висихання трави у надгрунтовому покриві під пологом лісу та поза лісовими масивами) та підвищенням середніх добових температур повітря, зниженням відносної вологості повітря та частими посухами у цей період року.

5. Встановлено, що найбільше пожеж ліквідовують у понеділок 19,3 %. Таким чином нехтування правилами пожежної небезпеки населенням у вихідні та святкові дні (неділя) мають наслідком появу додаткових джерел вогню у лісі, які у подальшому розвиваються у пожежі. Які виявляють і ліквідовують уже в понеділок.

6. Аналіз кількості лісових пожеж в розрізі доби зафіксував збільшення випадків пожеж з 11 години, але більшу кількість випадків лісових пожеж з $16^{\underline{00}}$ до $18^{\underline{00}}$ години, що в середньому становить 20,5 %. Такий часовий розподіл кількості пожеж викликаний добовою динамікою основних елементів пожежної погоди. Таким чином саме з 12 години (залежно від сезону року) починає збільшуватися до свого добового максимуму температура повітря, а показник відносної вологості повітря навпаки зменшується. Такі зміни метеорологічних показників сприяють формуванню пожежного середовища, саме у другій половині дня, після 11 години.

Результати досліджень цього розділу відображено у публікаціях: «Динаміка горимості лісів Київського обласного управління лісового і мисливського господарства (ОУЛМГ)» [20], «Тенденції виникнення лісових пожеж у лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства» [21], «Просторово-часовий розподіл лісових пожеж в Україні за даними супутникової зйомки» [22], «Горимість лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції» [99].

РОЗДІЛ 4
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПРОГРАМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У РЕГІОНІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Склад, особливості та мінливість лісових гоючих матеріалів залежать від типу лісу, таксаційних і лісівничих характеристик насаджень, рельєфу та особливостей кліматичних умов, які впливають на швидкість розкладання рослинних органічних решток і здатність ЛГМ до загоряння [1, 2, 4, 9, 12]. Зміни природно-кліматичних умов впливають на швидкість відмирання фітомаси крони, а, отже і на масу опаду (хвої, листків, плодів і дрібних гілок) із дерев, з яких формується лісова підстилка. Також змінюється швидкість їх висихання, а, отже і настання рівня «пірологічної стиглості» ЛГМ. Це зумовлює необхідність проведення комплексних досліджень для визначення кількісних та якісних характеристик ЛГМ, які нерозривно пов’язані з потенційним рівнем горимості досліджуваних лісів. Виявлення закономірностей у формуванні комплексів лісових горючих матеріалів дасть змогу в подальшому розробити моделі прогнозування запасів всього комплексу лісових горючих матеріалів для лісів України. Такі дані можуть бути використані при моделюванні ходу лісових пожеж.

4.1. Характеристика наземних запасів ЛГМ за ТЛУ Київського Полісся

У результаті досліджень встановлено, що запаси наземних ЛГМ відрізняються залежно від лісорослинних умов та таксаційних показників насаджень (табл. 4.1). Збільшення запасу ЛГМ із віком відбувається внаслідок росту і розвитку дерев у деревостані, коли збільшується запас хвої в кронах та відбувається сповільнення швидкості розкладання опаду. Фракційний склад, потужність і запаси ЛГМ залежать від низки чинників, серед яких найбільшу роль відіграють лісівничі та таксаційні характеристики насадження.

Таблиця 4.1

Запас наземних горючих матеріалів у сосняках Київського Полісся

Склад	Вік, років	Повнота	Запас, $м^3 \cdot га^{-1}$	Запас ЛГМ, $т \cdot га^{-1}$			
				підстилка	деревна лама-нь	мохи	злакова рослин-ність
$С_2$							
10Сз	15	1,17	60,1	13,8	0	–	–
10Сзв+Дзв	15	0,8	64	9,2	0,3	–	0,8
10Сз	30	1,3	165	19,9	5	–	–
10Сзв + Дз	45	0,72	249	22,7	9,4	3	–
10Сз	60	0,71	314	37,4	4,2	3,1	–
10Сзв+Дзв	80	0,71	370	16,8	3,5	5,1	–
$В_2$							
10Сз+Дзв	15	0,89	54	8,9	0,2	–	0,8
10 Сз+Дзв	15	0,88	43	7,9	0,2	–	0,7
10Сзв+Дзв+Бп+Ос	23	0,92	99	21,3	3,4	0,1	–
10Сз + Бп	43	0,74	173	29,7	3,8	0,8	–
10Сз + Бп	50	0,67	274	11,9	4,2	2,7	–
10Сз + Дзв	60	0,72	314	29	4,2	4	–
10Сз	70	0,8	273	28,7	4,7	3,2	–
10Сз	75	0,74	370	45,4	7,9	4	–
10Сз	80	0,83	299	37,7	7,9	4,7	–
10Сз + Бп	85	0,79	306	23,4	4,2	–	0,8
10Сз	90	0,65	313	46	4,2	5	0,4
$А_2$							
10Сз +Дз	32	0,8	190	10,6	4,3	2,1	0,2
10Сз + Бп	37	0,8	200	17,4	8,5	1,3	0,3
10Сзк	38	0,7	200	16,3	6,9	10	0,4
10Сзк	46	0,8	340	17,2	13,6	4,3	0,5
10Сз	46	0,7	280	17,2	13,9	4,2	0,7
10Сз	47	0,8	260	17,5	12,5	4	0,5
10Сз	49	0,75	370	17,7	13,7	4,4	0,1
10Сз	59	0,7	340	16,5	5,2	1,3	0,4
10Сзк	60	0,7	340	12,5	15,3	3,9	0,2
10Сзк	62	0,75	360	13,7	7,2	4	–
10Сзк	62	0,7	320	14,6	7,7	4	–

Продовж. табл. 4.1

Склад	Вік, років	Повнота	Запас, м3. га$^{-1}$	Запас ЛГМ, т·га$^{-1}$			
				підстилка	деревна ламань	мохи	злакова рослинність
A_2							
10Сз	63	0,8	340	15,5	7,6	4,7	0,5
10Сз	63	0,7	240	13,1	10	2,8	0,6
10Сз	64	0,65	350	13,9	7,3	3	–
10Сз	68	0,7	320	15,7	9	3	–

Встановлено, що на запас наземних ЛГМ впливає низка чинників, зокрема: таксаційні показники насадження, їх склад, лісорослинні умови, інтенсивність природного зрідження тощо. Зважаючи на це, було проведено детальніші дослідження запасів та фракційного складу ЛГМ у різних типах лісорослинних умов (свіжих борах A_2, свіжих суборах B_2, свіжих сугрудах C_2) з врахуванням таксаційних характеристик насаджень (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Фракційна структура наземних лісових горючих матеріалів т·га$^{-1}$

Вік, роки	Ферментативний і гумусний горизонти	Опад	1-hr	10-hr	100-hr	1000-hr	ЖНП
C_2							
15	9,0	4,8	–	–	–	–	0,1
15	3,1	6,3	0,3	–	–	–	0,9
30	11,4	9,7	0,2	–	–	4,7	0,0
45	19,6	5,9	1,3	3,7	2,3	2,1	0,1
60	33,7	5,8	0,4	1,2	–	2,6	0,2
80	14,8	2,8	0,2	1,8	–	1,5	0,7
B_2							
15	3,7	5,4	0,2	–	–	–	0,7
15	3,0	5,1	0,2	–	–	–	0,4
23	18,9	3,2	0,2	0,7	1,3	1,2	0,2
43	24,6	6,7	0,5	0,4	0,6	2,4	0,2
50	7,0	6,4	0,3	0,7	–	3,2	0,3
60	24,2	7,1	0,3	0,5	0,8	2,5	0,2
70	25,7	4,1	0,4	0,8	1,4	2,1	0,2
75	41,4	4,9	0,3	0,3	1,9	5,4	0,2

Продовж. табл. 4.2

Вік, роки	Ферментатив-ний і гумусний горизонти	Опад	1-hr	10-hr	100-hr	1000-hr	ЖНП
B_2							
80	34,6	5,6	0,6	0,8	0,3	6,2	0,2
85	17,5	7,9	0,6	0,5	0,5	2,6	0,3
90	36,8	13,1	0,5	0,8	1,6	1,3	0,4
A_2							
32	8,9	6,8	0,2	1,2	–	2,8	0,1
37	14,9	8,3	0,5	1,8	–	6,3	0,3
38	13,2	11,7	0,5	1,8	–	4,5	0,2
46	14,7	12,4	0,5	5,5	–	7,6	0,3
46	14,5	12,9	0,4	5,5	–	8,0	0,3
47	14,8	13,0	0,5	1,9	4,9	5,2	0,3
49	14,9	12,9	0,5	2,0	5,4	5,7	0,4
59	12,8	11,5	0,6	1,7	–	2,8	0,2
60	10,2	7,8	0,6	9,8	1,2	3,7	0,2
62	11,2	9,0	0,5	1,2	2,1	3,4	0,2
62	12,1	9,6	0,6	1,3	2,2	3,6	0,2
63	12,9	10,1	0,5	1,4	2,1	3,6	0,2
63	11,0	7,8	0,5	4,3	2,0	3,2	0,2
64	11,2	8,4	0,4	1,5	2,2	3,2	0,2
68	12,4	9,3	0,6	2,5	2,3	3,7	0,2

У свіжих борах A_2 основну частку наземних ЛГМ складає підстилка і її участь сягає понад 81 % від загального запасу наземних ЛГМ (рис. 4.1). Частка ферментативного та гуміфікованого шарів змінюється у межах 30,4–46,5 %, опадового – 23,3–38,8 %. Частка дрібних гілочок (1-hr) та ЖНП є незначною і сягає 5 % від загального обсягу горючих матеріалів. Частка деревної ламані 10-hr становить від 19,5 % до 29,4 %, та збільшується з погіршенням санітарного стану насадженя (Ic=2,1). Запас крупної деревної ламані 100-hr, практично відсутній у насадженнях III–V класу віку, суттєве його збільшення простежується після досягнення сосняками віку понад 47 років, коли його частка в загальному обсязі ЛГМ зростає до 3,6–12,1 %. Сушняк (1000-hr) становить 9,5–18,5 % від маси наземних ЛГМ.

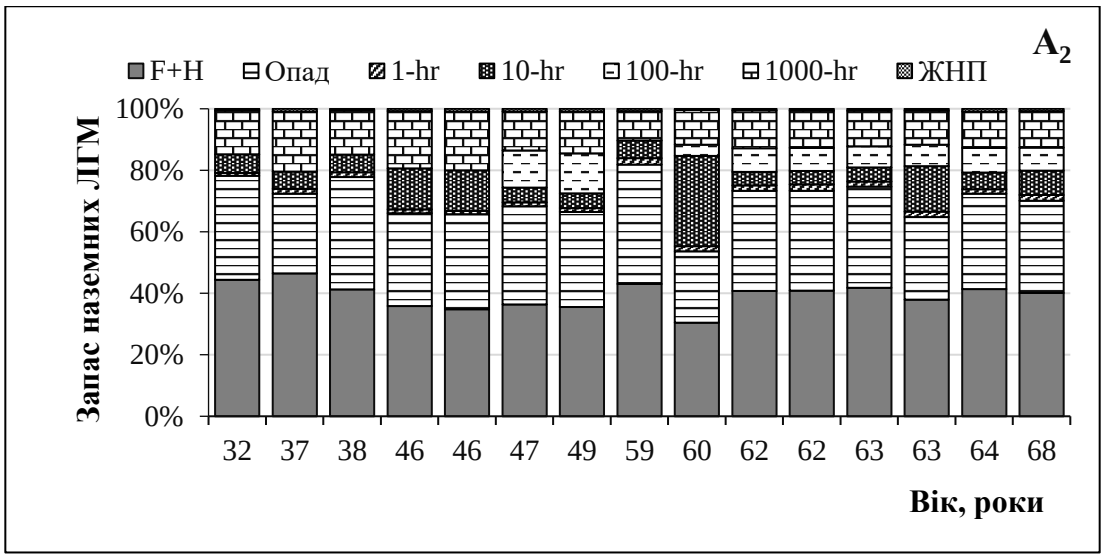


Рис. 4.1. Фракційний склад наземних ЛГМ у чистих сосняках, зростаючих в умовах свіжого бору

За проведеними дослідженнями визначено, що у свіжих суборах A_2 частка лісової підстилки значно більша (понад 91 % від загального запасу наземних ЛГМ), що в більшості випадків характерно для соснових молодняків (рис. 4.2). Частка ферментативного та гуміфікованого шарів, значно вища, ніж у борах та змінюється у межах 36,9–76,2 %. За таких умов простежується чітке збільшення частки гуміфікованого та ферментативних шарів з віком. Частка опадового шару варіює у значному діапазоні від 8,9 до 59,1 %, маючи найвищі значення у сосняках II класу віку, та зменшуючись з віком насаджень. Частка дрібних гілочок (1-hr) та ЖНП є незначною, і рідко сягає 2–3 % від загальної маси горючих матеріалів. Частка деревної ламані 10-hr також є незначною – до 4 % (що на 25,4 % менше порівняно з борами). Запас крупної деревної ламані [23, 24, 121] 100-hr, практично відсутній у насадженнях II класу віку, суттєве його збільшення простежується після досягнення сосняками віку понад 20 років, коли його частка в загальній масі ЛГМ зростає до 5 %. Сушняк (1000-hr) становить 0,7–17,9 % від маси наземних ЛГМ, та не має чіткої залежності зі змінами віку насадження, більше залежачи від обсягів виконання лісівничих заходів [23, 24, 114].

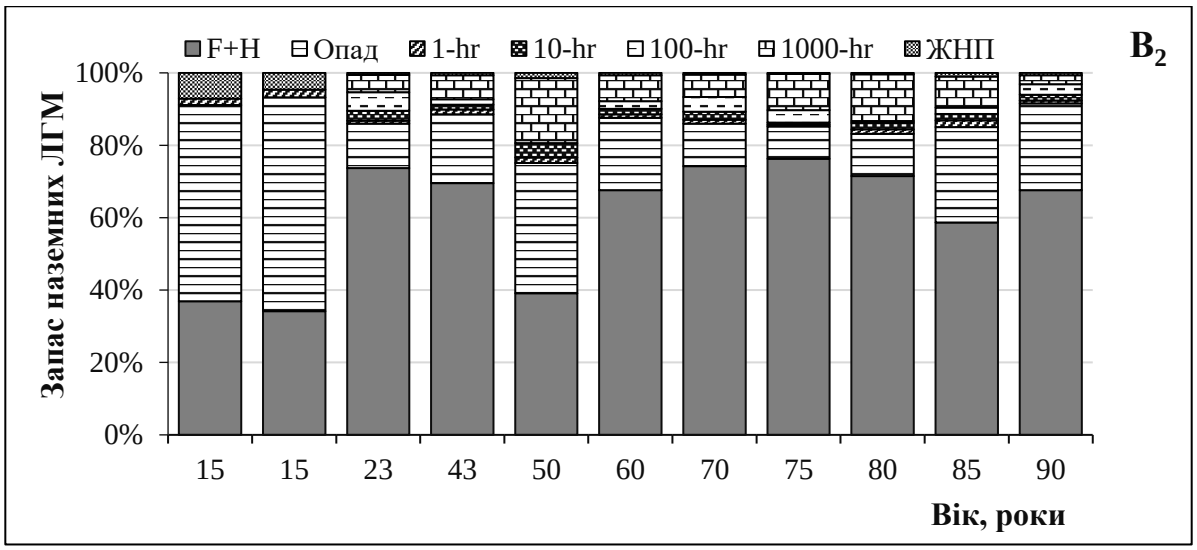


Рис. 4.2. Фракційний склад наземних ЛГМ у чистих сосняках, зростаючих в умовах свіжого субору

У свіжих сугрудах C_2 частка лісової підстилки, порівняно з борами та суборами незначна, та змінюється у межах 41–76 % від загального запасу наземних ЛГМ (рис. 4.3).

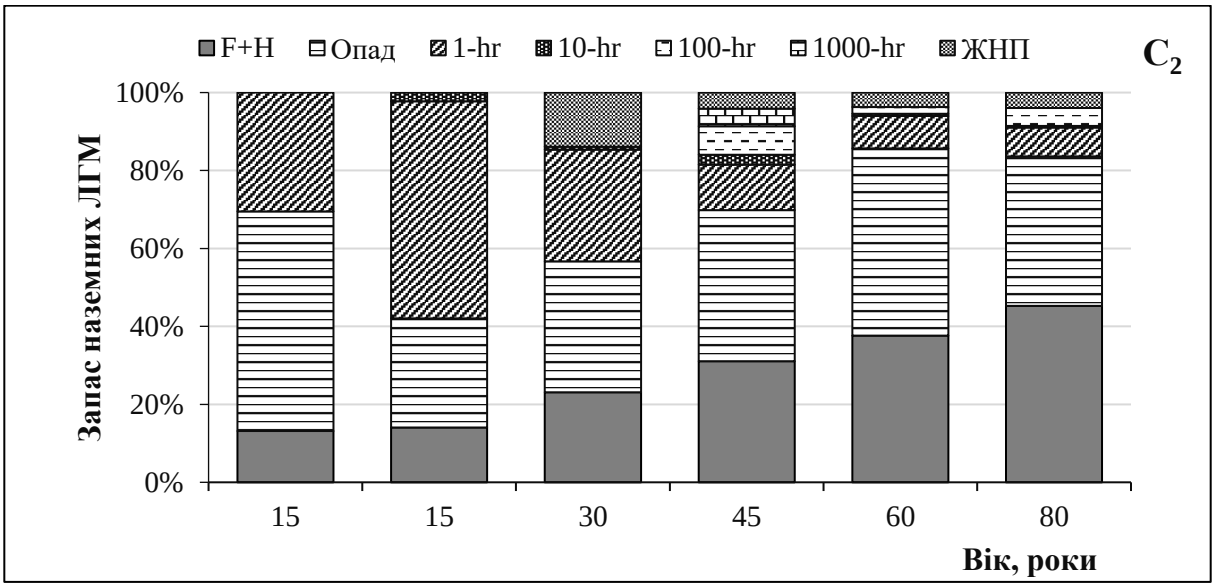


Рис. 4.3. Фракційний склад наземних ЛГМ у чистих сосняках, зростаючих в умовах свіжого сугруду

Частка ферментативного та гуміфікованого шарів, змінюється від 15 % у молодняках до 43 % у стиглих насадженнях й простежується чітке збільшення частки гуміфікованого та ферментативних шарів з віком. Частка опадового шару у сугрудах є найбільшою у молодняках 49 %. Частка дрібних гіличок (1-hr) є найбільшою, порівняно з іншими трофотопами (13–59,3 %), особливо у 15-річних

молодняках – 59 %, а після змикання крони у багатих умовах, посилюється внутрішньовидова конкуренція, як наслідок відбувається відмирання та опадання нижніх гілочок у дерев, що призводить до збільшення опаду фракції 1-hr. Частка деревної ламані 10-hr є незначною і становить в середньому до 3 %. Запас крупної деревної ламані 100-hr, практично відсутній у насадженнях до віку 30 років. Частка сушняку (1000-hr) також незначна і становить 0–5,9 % від маси наземних ЛГМ і може бути пояснена вчасним проведенням лісівничих заходів. Таким чином обсяги наземних ЛГМ (лісова підстилка, деревна ламань, опад) порівнюючи соснові ліси є найбільша у сугрудах. Запаси ЛГМ збільшуються пропорційно віку насадження та його запасу, та обернено пропорційно до повноти насаження.

4.2. Запаси наземних лісових горючих матеріалів

В результаті досліджень було встановлено, що запас лісової підстилки збільшується з віком насаджень (рис. 4.4). Так, у насадженнях II класу віку він становить 8,4–11,5 т·га$^{-1}$, сягаючи максимуму у V–VII класах віку деревостанів – 14,4–41,5 т·га$^{-1}$. Така значна варіація у показниках пояснюється неоднорідністю порівнюваних груп за повнотою та відмінностями у швидкості акумуляції і розкладанні підстилки у різних трофотопах та різного віку.

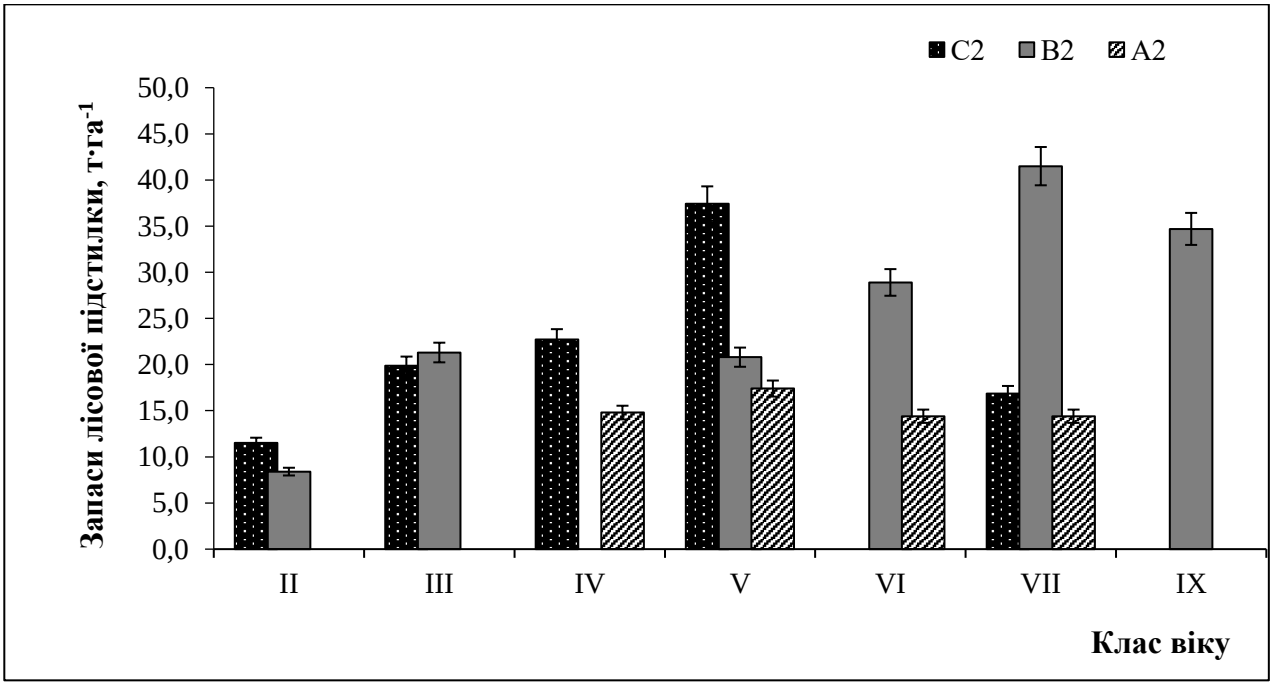


Рис. 4.4. Запас лісової підстилки у насадженнях різних класів віку, т·га$^{-1}$

У суборах, максимум у запасах підстилки досягається у середньовікових сосняках – 37,5 т·га$^{-1}$, після чого до віку насаджень 71–80 років вони знижуються до 16,8 т·га$^{-1}$. У суборах максимум запасів лісової підстилки накопичується до VII класу віку деревостанів – 41,5 т·га$^{-1}$. Натомість в умовах бору, запаси підстилки змінюються з віком насаджень сосни у незначних межах: 14,8–17,4 т·га$^{-1}$.

У типі лісорослинних умов свіжого бору A_2 у V класі віку сосняків запас деревної ламані найбільший (13,4 т·га$^{-1}$) і поступово зменшується з підвищенням класу віку (рис. 4.5). В типі лісорослинних умов свіжого субору B_2 запас більший у VII класі віку насаджень – 7,9 т·га$^{-1}$, водночас, в типі лісорослинних умов свіжого сугруду C_2 більший запас виявлено в IV класі віку – 9,4 т·га$^{-1}$.

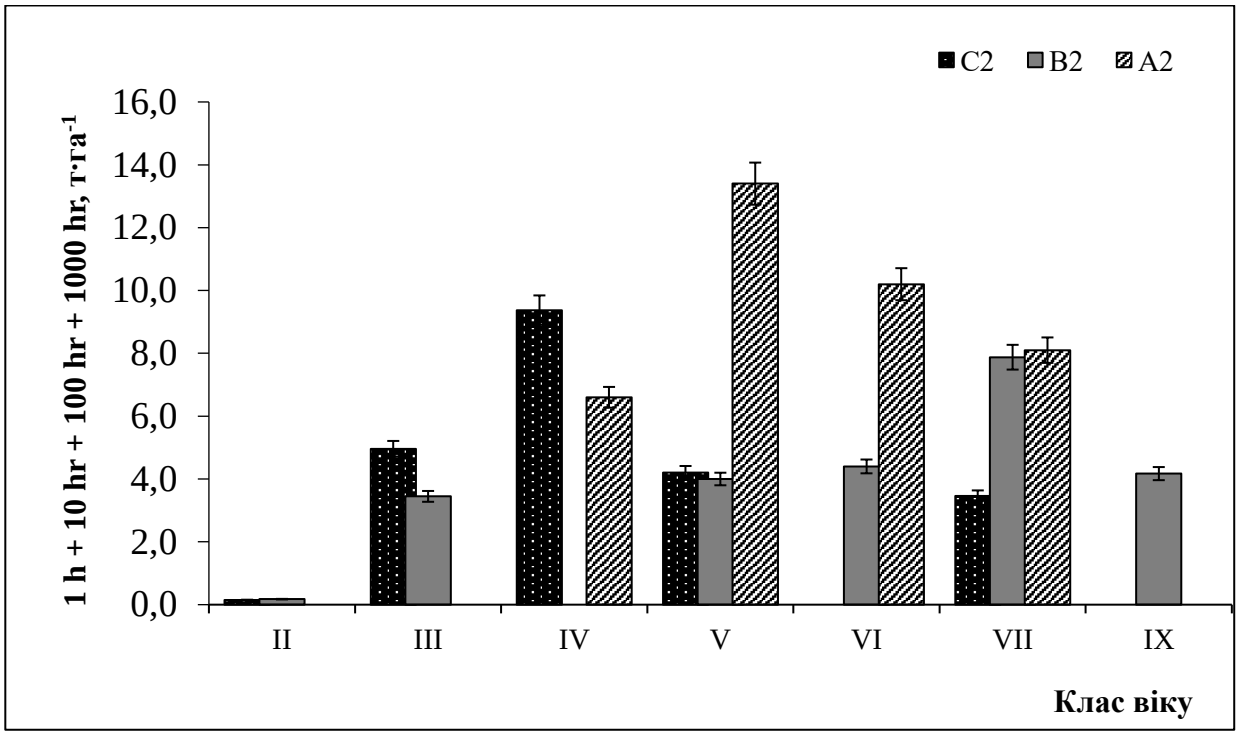


Рис. 4.5. Запас деревної ламані в лісонасадженнх різних класів віку, т·га$^{-1}$

Запас I групи ЛГМ відзначено найбільший у типі лісорослиних умов свіжого бору A_2 в насадженнях V класу віку – 23,7 т·га$^{-1}$, а у типі свіжого субору B_2 у деревостанах VII класу віку – 15,4 т·га$^{-1}$, водночас, у типі свіжого сугруду C_2 найбільший запас в насадженнях III класу віку 14,5 т·га$^{-1}$ (рис. 4.6).

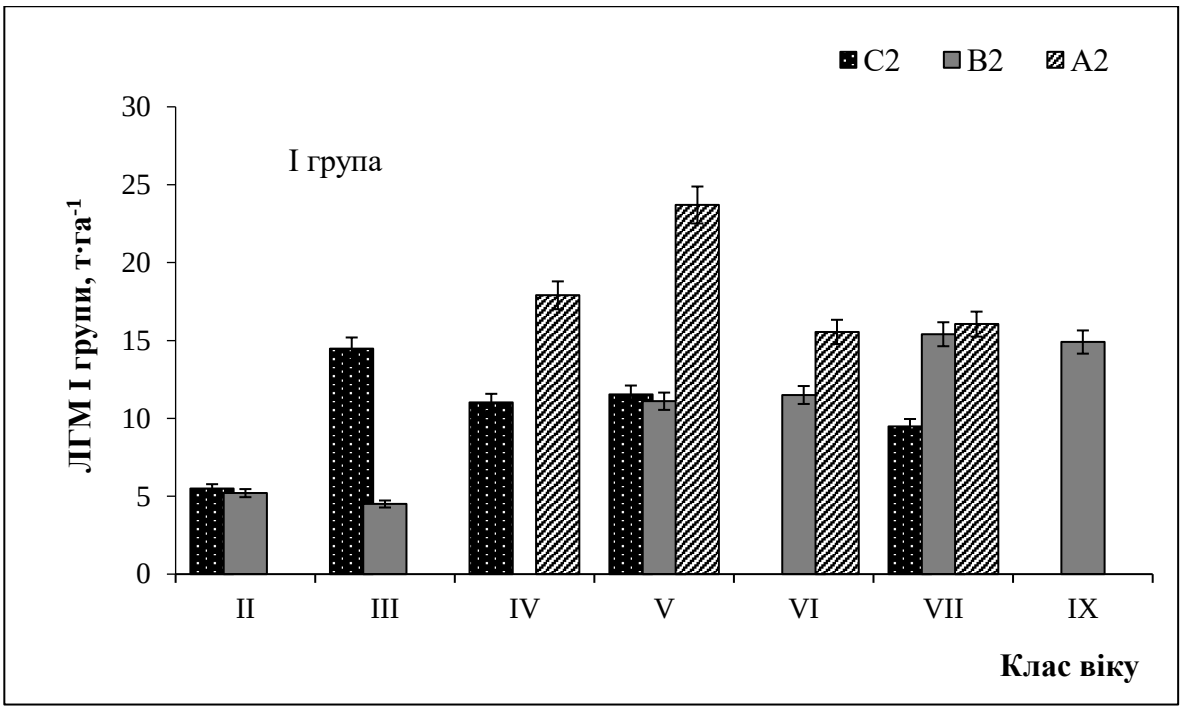


Рис. 4.6. Запас ЛГМ I групи в лісонасадженях різних класів віку, т·га$^{-1}$

Найбільший запас II групи ЛГМ виявлено у типі лісорослиних умов свіжого субору B_2 VII класу віку 38,0 т·га$^{-1}$ (рис. 4.7). У типі лісорослиних умов свіжого сугруду C_2 найбільший запас ЛГМ зафіксовано в насадженнях V класу віку – 33,7 т·га$^{-1}$, водночас, у типі лісорослинних умов свіжого бору A_2 спостерігались найбільші ЛГМ, також в деревостанах V класу віку – 14,7 т·га$^{-1}$.

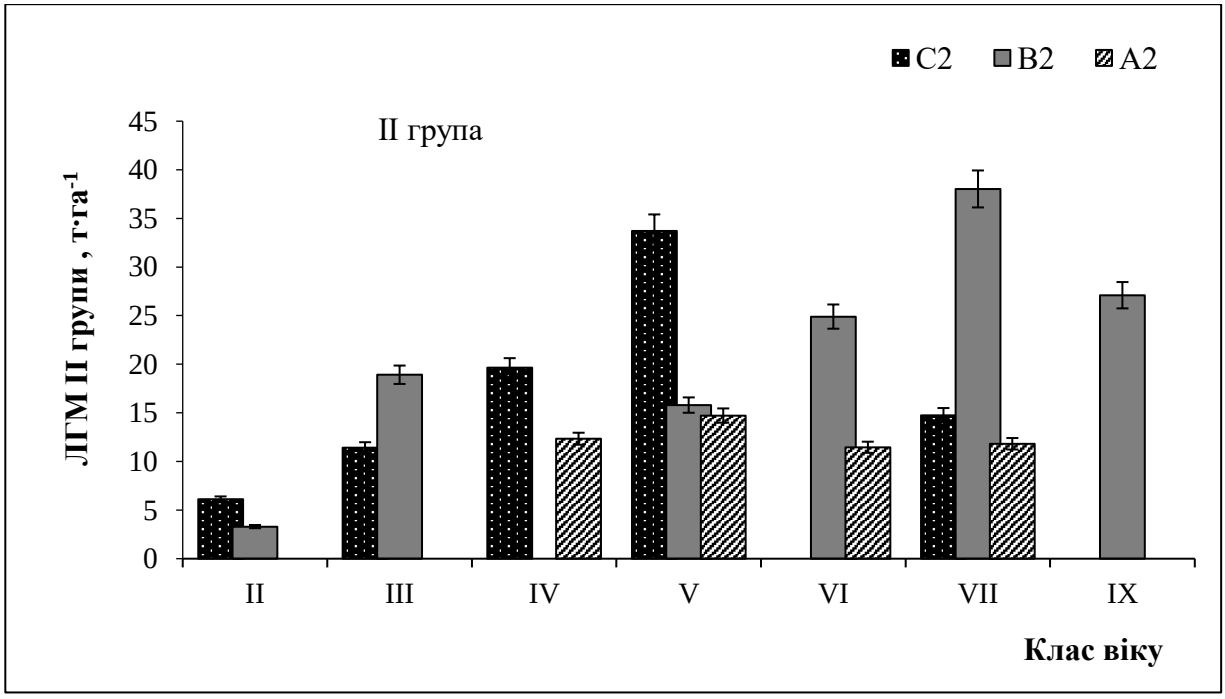


Рис. 4.7. Запас ЛГМ II групи в лісонасадженнях різних класів віку, т·га$^{-1}$

Опадовий шар хвої та кори найтовщий в насадженнях, зростаючих в типі лісорослиних умов свіжого сугруду C_2 III класу віку – 8,5 т·га$^{-1}$ (рис. 4.8).

У типі лісорослинних умов свіжого субору B_2 у деревостанах IX класу віку – 7,6 т·га$^{-1}$, водночас, в типі лісорослиних умов свіжого бору A_2 найбільший показник ЛГМ виявлено в деревостанах VI класу віку – 3 т·га$^{-1}$.

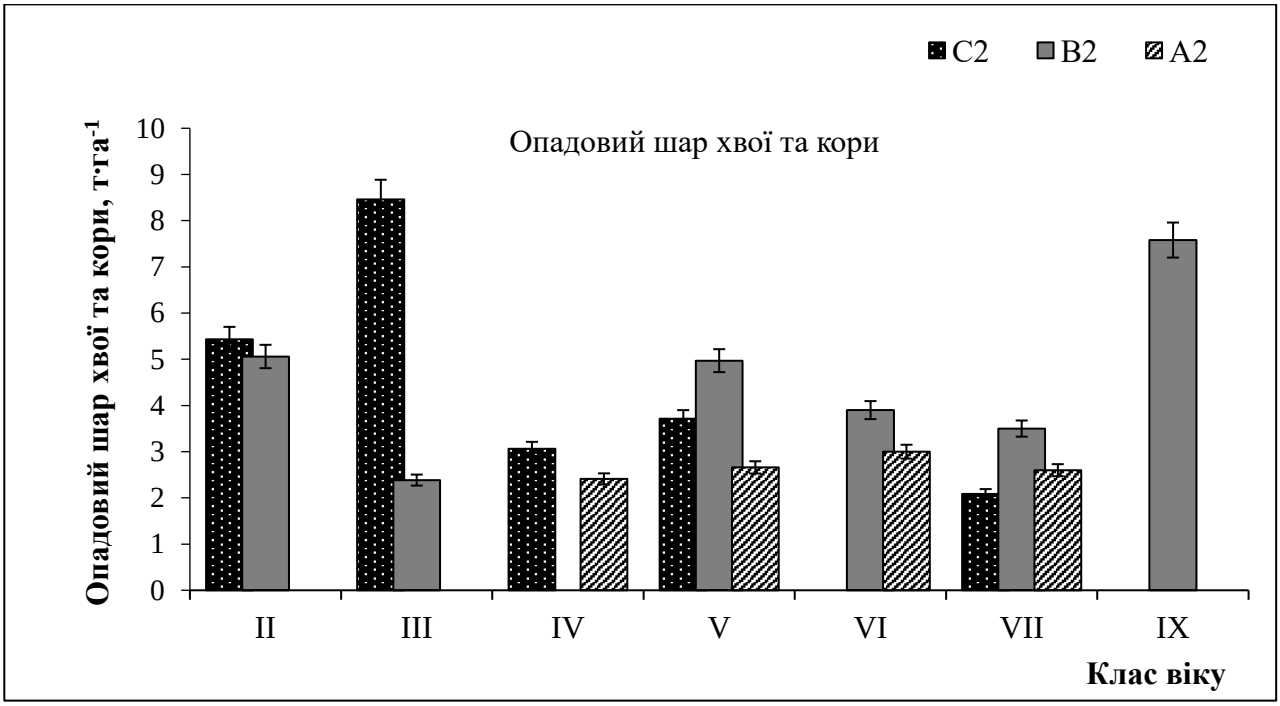


Рис. 4.8. Запас опадового шару хвої та кори в лісонасадженнях різних класів віку, т·га$^{-1}$

У типі лісорослиних умов свіжого сугруду (C_2) фракція 100-hr і 10-hr має найбільший запас в насадженнях IV класу віку 2,3 т·га$^{-1}$ і 3,7 т·га$^{-1}$ (рис. 4.9), водночас, фракція 1-hr має найбільший запас в деревостанах III класу віку, а найменший в насадженнях II класу – 0,1 т·га$^{-1}$.

У лісорослинних умовах свіжого субору (B_2) фракція 100-hr має більші запаси в насадженнях III класу віку – 1,3 т·га$^{-1}$ (рис. 4.9), а найменші в деревостанах V класу віку – 0,3 т·га$^{-1}$. Фракції 10-hr мають більші запаси в сосняках III класу віку – 0,7 т·га$^{-1}$, 1-hr найбільший запас виявлено в деревостанах VII класу віку, а найменший – II класу віку – 0,2 т·га$^{-1}$. У типі лісорослиних умов свіжого бору (A_2) фракція 100-hr має більші запаси у сосняках V класу віку – 2,60 т·га$^{-1}$, а найменші в насадженнях VI класу віку – 0,60 т·га$^{-1}$. Фракція 10-hr має

більші запаси у деревостнах VI класу віку – 5,76 т·га$^{-1}$, а найменші у деревостанах IV класу віку – 1,62 т·га$^{-1}$, водночас, фракція 1-hr має найбільший запас у сосняках V класу віку – 7,1 т·га$^{-1}$, а найменші запаси у деревостанах VI і VII класів віку – 3,9 т·га$^{-1}$.

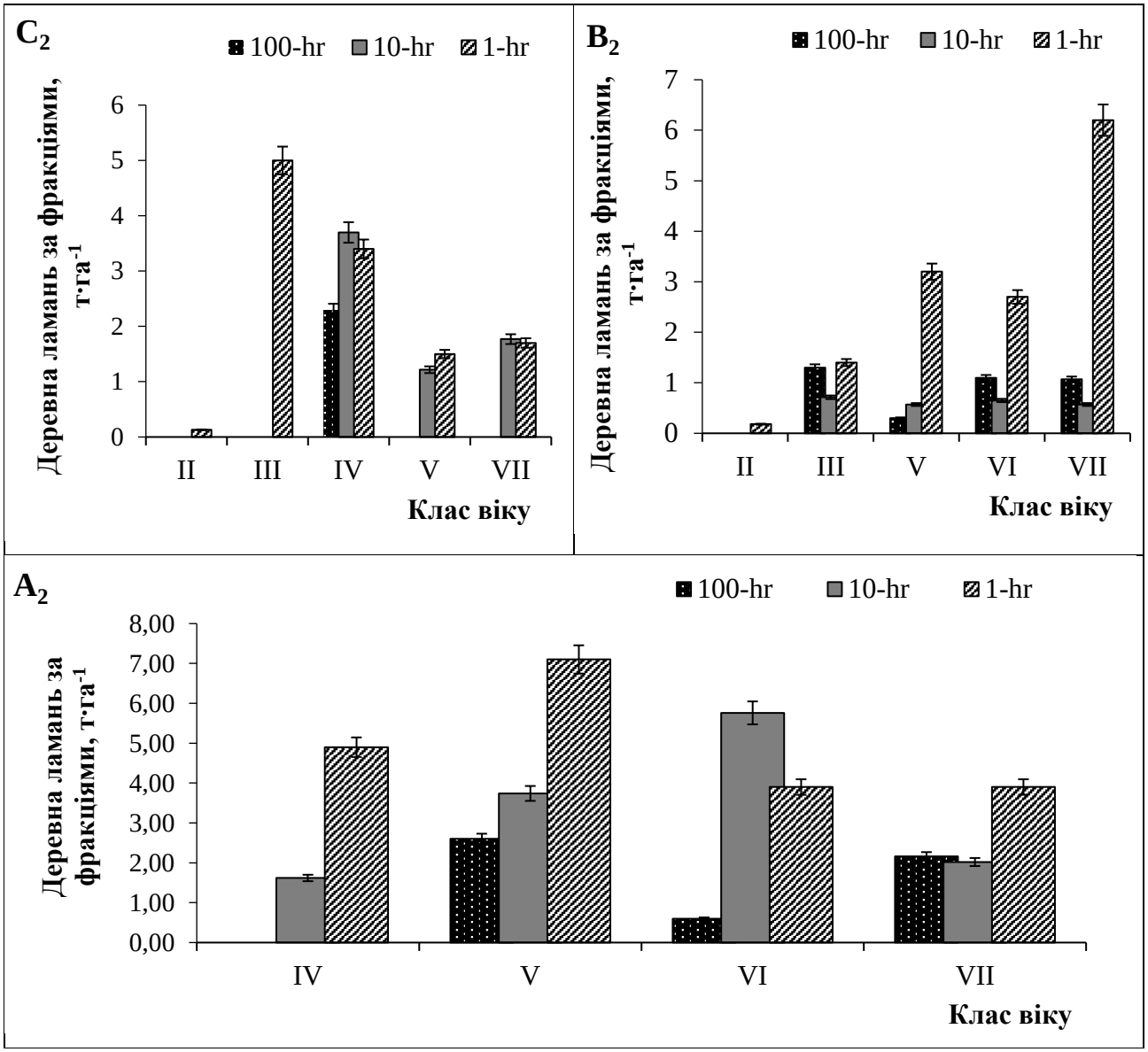


Рис. 4.9. Запас деревної ламані за фракціями в насадженнях різних класів віку в різних типах лісорослинних умов Київського Полісся, т·га$^{-1}$

Резюмуючи викладене, необхідно зазначити, що вплив на запас деревної ламані за фракціями насамперед пов’язаний з різними таксаційними показниками насадження та різними кліматичними умовами.

Запас наземних лісових горючих матеріалів у чистих соснових насадженнях свіжих сугрудів, суборів та борів наведено у табл. 4.3. Зміна багатства та рівня

вологості ґрунту, віку насадження, санітарного стану насадження впливають на фракційний склад та загальний запас наземних ЛГМ.

Таблиця 4.3

Загальна характеристика запасу ламані по фракціях за різних ТЛУ та класами віку

Клас віку	Підстилка усього (L+F+H), т/г	Фракційний склад, т/га			Запас I групи, т/га	II група (F+H) Підстилка, т/га	Опад, т/га	Запас дерев-ної ламані, т/га
		1hr	10hr	100hr				
C_2								
2	11,5	0,1	–	–	5,5	6,1	5,5	0,2
3	19,9	5,0	–	–	14,5	11,4	14,5	5,0
4	22,7	3,4	3,7	2,3	11,0	19,6	8,0	9,4
5	37,4	1,5	1,2	–	11,5	33,7	8,4	4,2
7	16,8	1,7	1,8	–	9,5	14,8	4,4	3,5
B_2								
2	8,4	0,2	–	–	5,2	3,3	5,2	0,2
3	21,3	1,4	0,7	1,3	4,5	18,9	4,4	3,4
4	–	–	–	–	–	–	–	–
5	20,8	3,2	0,6	0,3	11,1	15,8	9,3	4,0
6	28,9	2,7	0,7	1,1	11,5	24,9	7,9	4,4
7	41,5	6,2	0,6	1,1	15,4	38,0	11,1	7,9
9	34,7	2,4	0,7	1,1	14,9	27,1	12,4	4,2
A_2								
4	14,8	4,9	1,6	–	17,9	12,3	13,5	6,6
5	17,4	7,1	3,7	2,6	23,7	14,7	19,4	13,4
6	14,4	3,9	5,8	0,6	15,6	11,5	12,9	10,2
7	14,4	3,9	2,0	2,2	16,1	11,8	12,5	8,1

За підвищення рівня родючості ґрунту запас наземних ЛГМ зростає (табл. 4.4). Викликано це, у першу чергу, збільшенням запасу лісової підстилки та живого надґрунтового покриву з віком. Із збільшенням класу віку, змінюється фракційна структура наземних ЛГМ, а саме збільшується запас II групи ЛГМ та зменшується участь хвої, кори та гілочок [133].

4.3. Щільність лісової підстилки

В результаті проведених нами досліджень виявлено, що щільність лісової підстилки коливається від 15,2 (у низькоповнотних насаджень) до 115 г·(дм^3)$^{-1}$.· На експериментальних даних для насаджень з повнотою 0,65–1,00 було визначено середні значення щільності підстилки для різних вікових груп (рис. 4.10). Встановлено, що чітка тенденція до зміни щільності з віком для лісорослинних умов B_2 та A_2 відсутня і щільність більшою мірою залежить від відносної повноти насадження (r=0,5; p=0,05). В умовах свіжого сугруду спостерігається максимальне збільшення щільності підстилки у середньовікових насадженнях (68,5 г·(дм^3)$^{-1}$) та різкий спад у показниках її об'ємної маси у стиглих насадженнях до 20,9 г·(дм^3)$^{-1}$, що пояснюється швидшим розкладанням лісової підстилки під деревостанами з домішкою листяних видів та зниженням відносної повноти з віком сосняків.

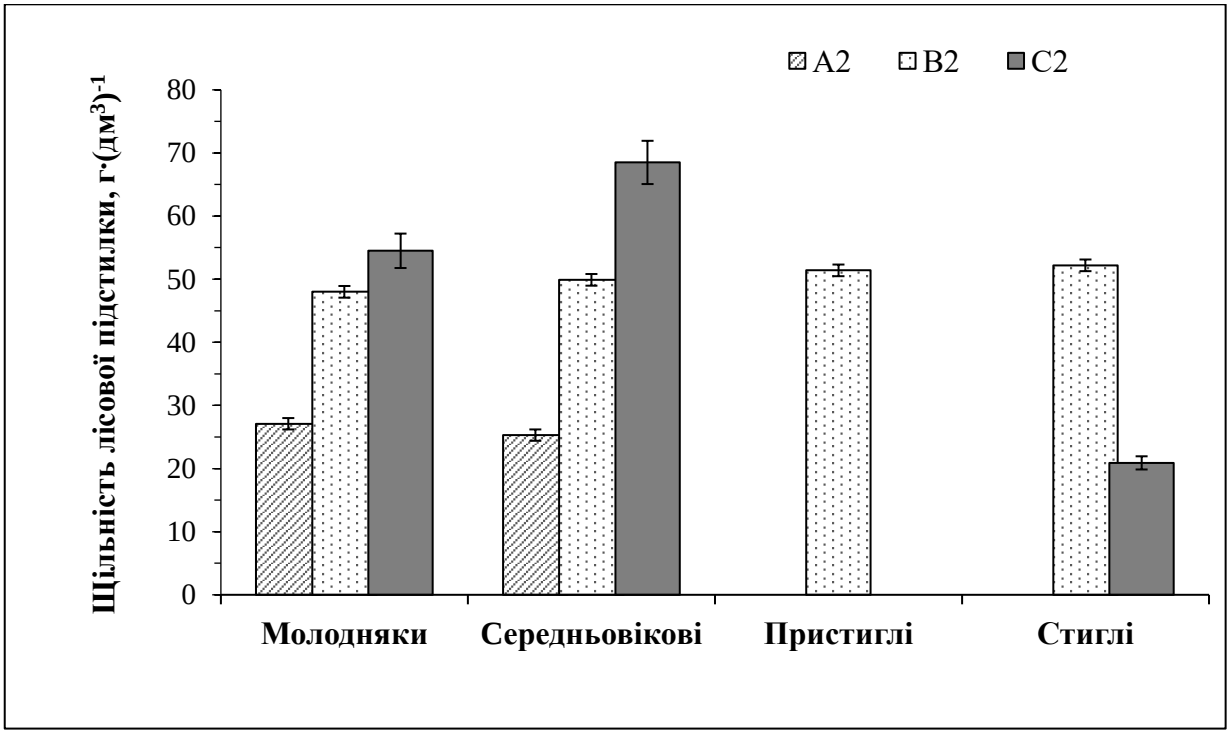


Рис. 4.10. Щільність лісової підстилки у чистих сосняках за групами віку соснових насаджень, г·(дм^3)$^{-1}$

Щільність підстилки в типі лісорослиних умов (C_2) коливалася у межах від 19,4 до 115,2 г·(дм^3)$^{-1}$; B_2 від 34,3 до 88,8; A_2 від 15,2 до 49,8 г·(дм^3)$^{-1}$ відповідно, що вказує на те, що зі збільшенням трофності умов місцезростань збільшується щільність шару підстилки. Під час кореляційного аналізу у чистих сосняках

виявлено пряму достовірну залежність збільшення щільності підстилки зі збільшенням відносної повноти (рис. 4.11).

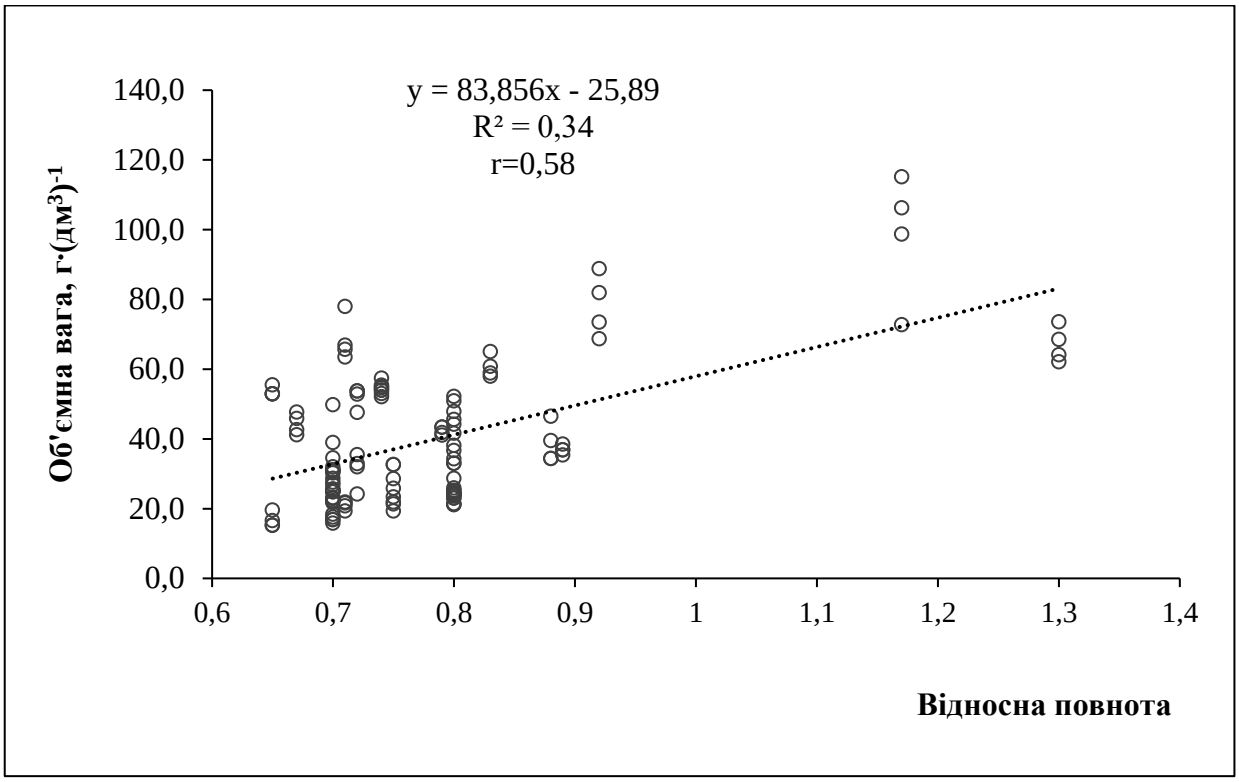


Рис. 4.11. Щільність лісової підстилки залежно від відносної повноти насадження

Моделювання запасів підстилки було виконано через обрахунок моделей конверсійних коефіцієнтів (*Rv*) за фактичними даними на зразок моделювання фітомаси насаджень (табл. 4.4) [78, 84].

$$Rv = M_{мп} / M, \qquad (4.1)$$

де $M_{лп}$ – мортмаса лісової підстилки, т × га$^{-1}$,

M – запас стовбурів у корі деревостану м^3 × га$^{-1}$.

Для моделювання застосовано слідуючий дизайн рівняння:

$$y = a_0 \times x^{a1} \times x_n^{an}, \text{ [84]} \qquad (4.2)$$

де y – залежна змінна, a_0, a_n – коефіцієнти регресії, x, x_n – незалежні змінні.

Запас лісової підстилки таким чином буде вираховуватися через залежність:

$$M_п = Rv \times M \qquad (4.3)$$

Де $M_п$ – запас лісової підстилки у абсолютно сухому стані, тонн;

M – запас стовбурів у корі, м^3 на га$^{-1}$.

Таблиця 4.4

Моделювання запасів наземних ЛГМ найбільш горимих ТЛУ B_2

Вік	D, см	H, м	P	M, $м^3 \cdot га^{-1}$	L+F+H	Товщина	Прогнозовані лінійна	Прогнозовані, Rv	Прогнозовані
15	6,2	7,9	0,89	54	9,0	2,38	10,03	0,188	10,100
15	5,9	7,4	0,88	43	8,1	2,1	11,26	0,185	7,975
23	12,6	10,4	0,92	99	22,1	2,7	13,25	0,180	17,882
43	15,1	16,3	0,74	173	31,4	5,2	15,83	0,122	21,120
50	23,4	20,9	0,67	274	13,4	2,8	14,46	0,102	28,036
60	25,7	24,1	0,72	314	25,3	5,7	14,62	0,109	34,539
70	27,6	23,4	0,8	273	29,8	6,1	25,38	0,125	33,971
75	32,3	25,4	0,74	370	46,3	8,1	38,52	0,109	40,668
80	31,5	26	0,83	299	40,2	6,2	26,85	0,127	38,268
85	32,4	26,7	0,79	306	25,4	5,3	30,55	0,119	36,234
90	34,2	27,1	0,65	313	49,8	8,6	36,35	0,089	27,987

Найкращими змінними (рис. 4.12) для включення до моделей виявилися *d* – середній діаметр, см; *P* – відносна повнота насадження; *A* – вік, років.

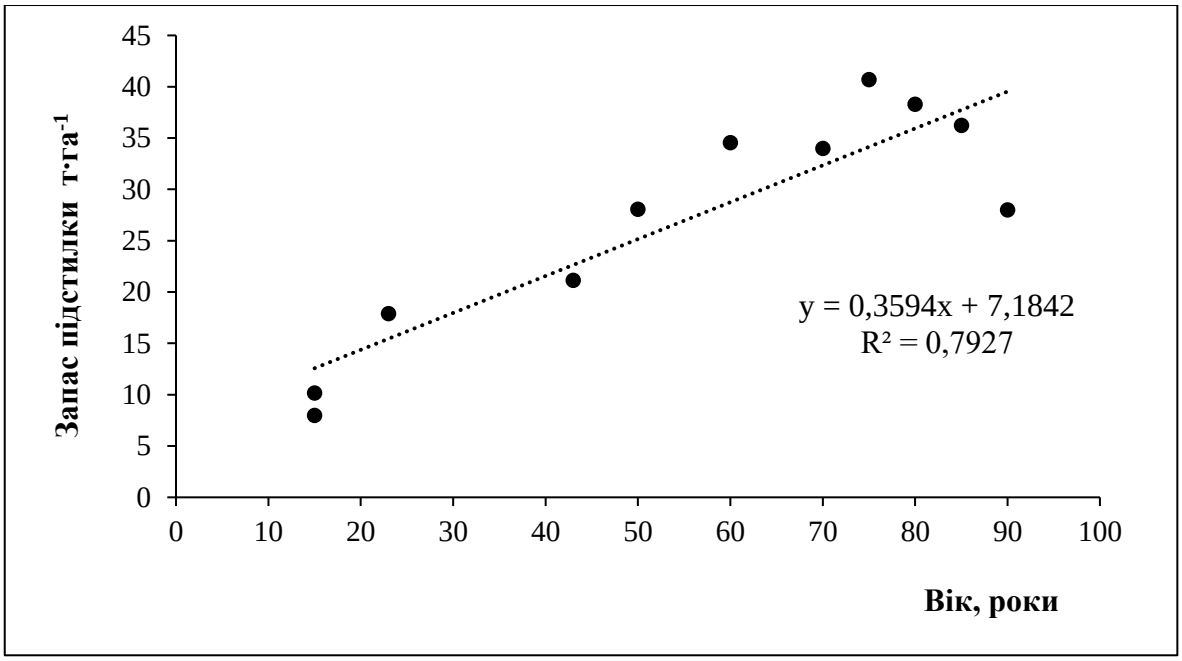


Рис. 4.12. Загальна модель запасу підстилки залежно від віку соснових насаджень, $т \cdot га^{-1}$

Модель для визначення конверсійного коефіцієнта *Rv* для оцінювання мортмаси лісової підстилки у лісах Київського Полісся має вигляд:

$$Rv\ заг = 0{,}34 \times d^{-0{,}043} \times P^{1{,}39} \times A^{-0{,}13}\ (R^2 = 0{,}75) \qquad (4.4)$$

Модель для визначення конверсійного коефіцієнта *Rv* опаду для оцінювання мортмаси лісової підстилки у лісах Київського Полісся має вигляд:

$$Rv\ опад = 0{,}35 \times d^{-2{,}06} \times P^{-1{,}13} \times A^{-0{,}88}\ (R^2 = 0{,}97) \qquad (4.5)$$

Таким чином запропоновані моделі дозволяють оцінити загальні запаси лісової підстилки у лісах Київського Полісся, що дозволить точніше здійснювати прогноз горіння, розвитку, поведінки лісової пожежі на рівні таксаційного виділу.

4.4. Визначення запасів наземних ЛГМ в найбільш горимих лісових насадженнях з розподілом за ТЛУ

У результаті проведених нами досліджень було виявлено, що зростання запасів наземних ЛГМ із збільшенням віку деревостану є нерівномірним, особливо, в типах лісорослинних умов свіжих суборів (рис. 4.13). Причиною цього є особливість утворення та відпад біомаси кожного насадження окремо. Збільшення запасу ЛГМ з віком відбувається внаслідок приросту деревостану і збільшення запасу хвої в кронах та сповільнення швидкості розкладання ЛГМ. Останнє пояснюється зміною реакції ґрунтового середовища через поступове підкислення ґрунтового розчину опадом хвої, який надходить щорічно. Кисла реакція ґрунтового розчину призводить до зниження активності ґрунтової мікро- та мезофауни [4]. Фракційний склад, потужність та запаси ЛГМ залежать від низки чинників, серед яких найбільшу значимість мають таксаційні характеристики насадження. Виявлено, що із збільшенням віку деревостану та рівня трофності ґрунту, у чистих сосняках змінюється фракційний склад та збільшується запас наземних лісових горючих матеріалів.

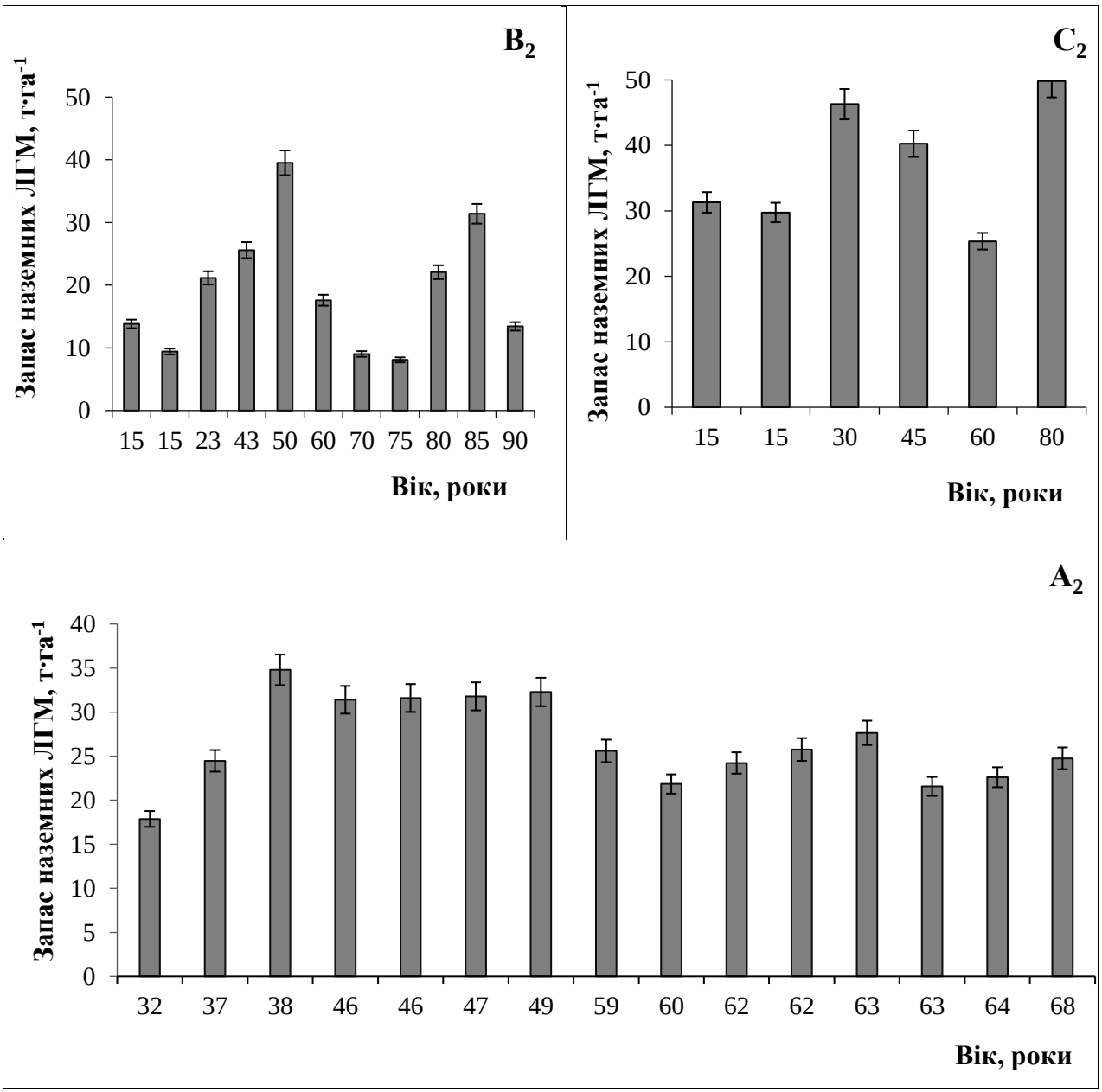


Рис. 4.13. Запас маси наземних ЛГМ в умовах Київського Полісся залежно від віку лісонасаджень та типу лісорослиних умов

Зміна запасу лісової підстилки із збільшенням віку насадження є досить нерівномірною особливо в типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2), що спричинено різними особливостями утворення та відпаду біомаси відповідного соснового насадження. Найбільший запас за таких умов спостерігавсь у 50-річному віці насаджень – 39,5 т·га$^{-1}$ (рис. 4.14), а найменший – у їхньому 75-річному віці 8,1 т·га$^{-1}$. У цьому типі лісорослинних умов закладено пробні площі в насаження 15-річного віку, створених на зрубі та на відкритих галявинах. Запас лісової підстилки на зрубі виявився – 13,8 т·га$^{-1}$, а на галявині – 9,4 т·га$^{-1}$.

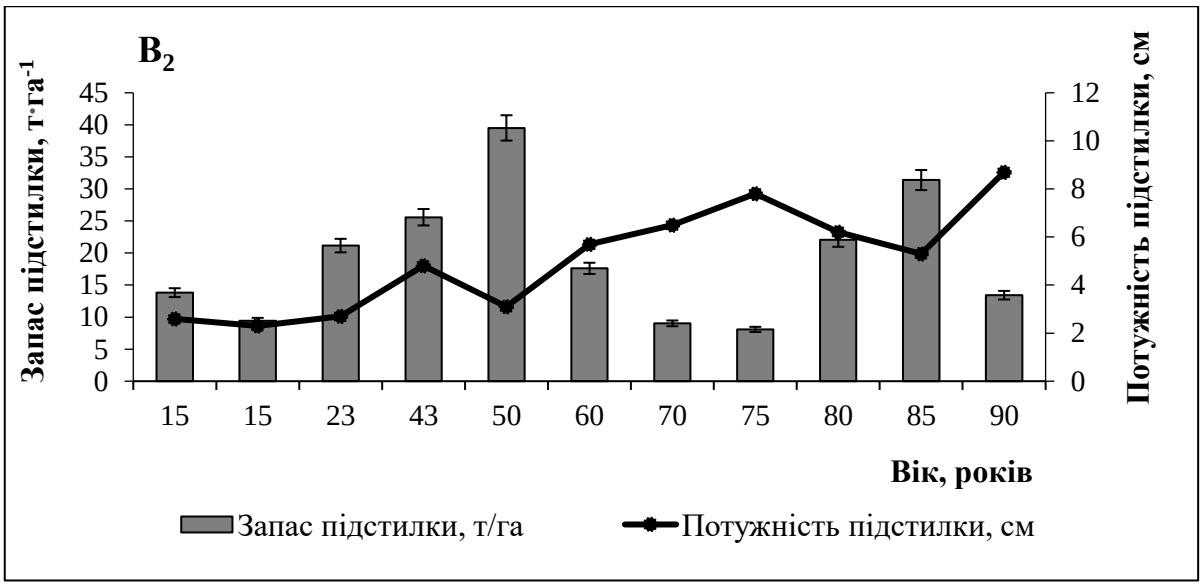


Рис. 4.14. Зміна запасу і потужності лісової підстилки залежно від віку насаджень, закладених в типі лісорослинних умов B_2

Запас лісової підстилки в сосняках, зростаючих у типі лісорослинних умов свіжих сугрудах C_2 найбільший у деревостанах 80-річного віку (49,8 т·га$^{-1}$). Найменший відзначився в насадженнях 60-річному віку (25,4 т·га$^{-1}$) на зміну запасу лісових горючих матеріалів впливають лісівничі особливості окремо взятого насадження такі як зімкнутість крони, склад, особливість утворення та відпад біомаси і т.д. (рис. 4.15).

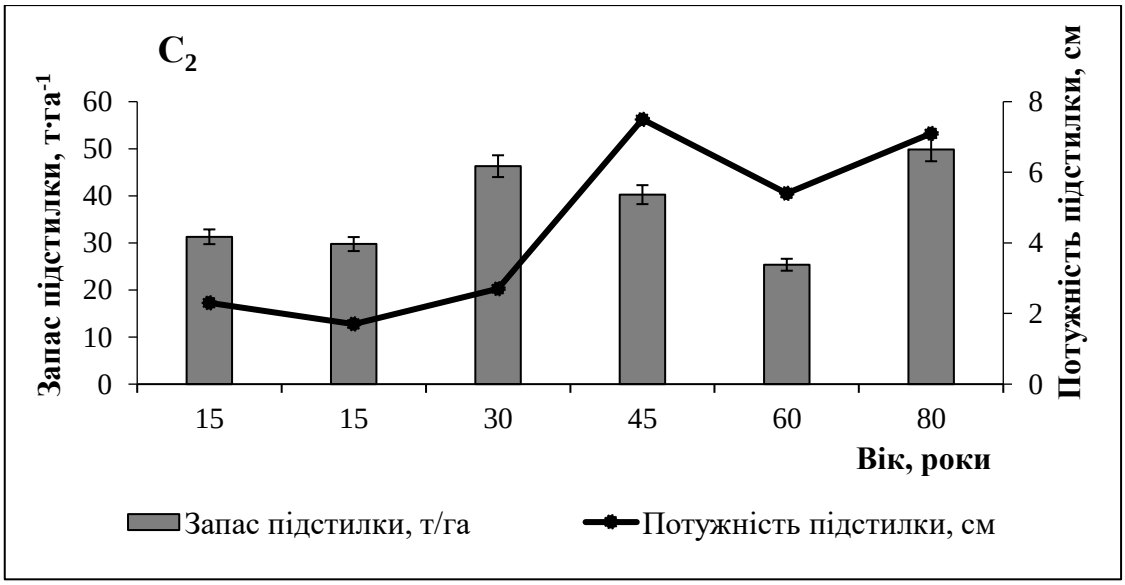


Рис. 4.15. Зміна запасу і потужності лісової підстилки залежно від віку лісонасаджень, закладених в типі лісорослинних умов свіжого сугруду (C_2)

В соснових насадженнях 15-річного віку запас лісової підстилки виявився більший за їх створення на зрубі 31,3 т·га$^{-1}$, порівняно із закладкою лісових культур на галявині 29,7 т·га$^{-1}$.

У типі лісорослинних умов свіжого бору (A_2) запас лісової підстилки найбільший спостерігався в насадженнях 38-річного віку – 34,8 т·га$^{-1}$ (рис. 4.16), а наймеший запас зафіксовано в деревостанах 32-річного віку (17,9 т·га$^{-1}$).

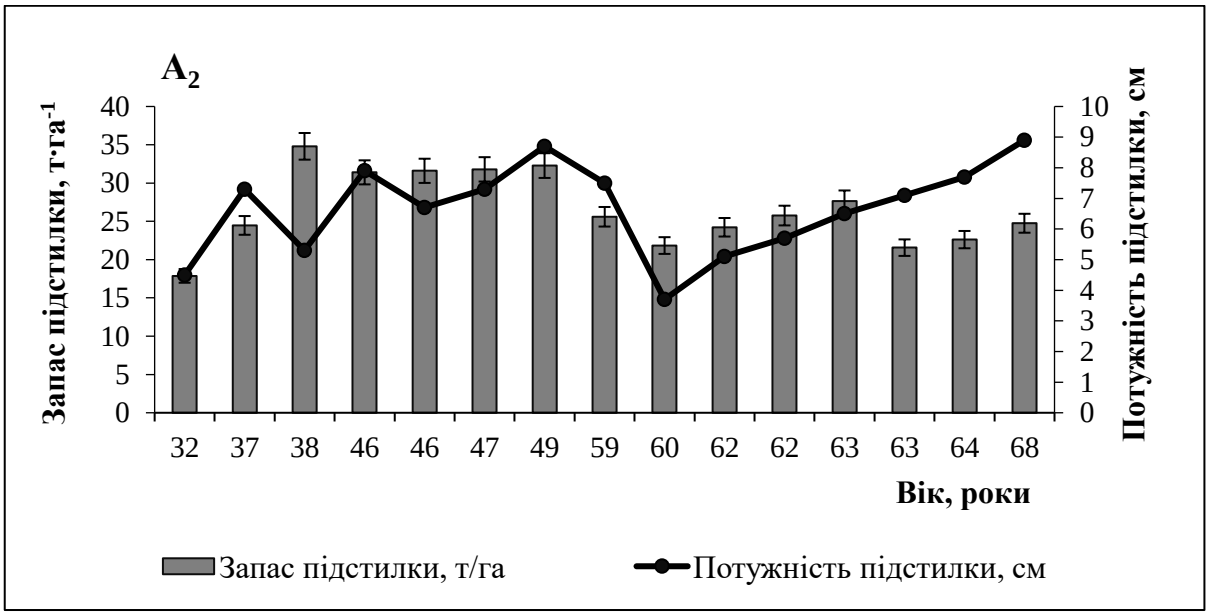


Рис. 4.16. Зміна запасу і потужності лісової підстилки лісонасаджень залежно від віку, закладених в лісорослинних умовах A_2

Аналіз запасу хвої у сосняках показав, що із збільшенням віку насадження її запас у сосняках є нерівномірним, особливо зростаючих в умовах свіжих суборів і сугрудів (рис. 4.17). Причиною такої нерівномірності є лісівничі особливості кожного насадження окремо. Збільшення наземної маси хвої в насадженнях певного віку відбувається внаслідок збільшення запасу хвої у кронах та зменшення швидкості її розкладання, водночас, вплив на гальмування розкладу здіснюється зміною реакції грунтового середовища через його підкислення опадом хвої. Найбільший запас хвої в типі лісорослиних умов свіжого субору (B_2), виявлено в деревостанах 85-річного віку 5,9 т·га$^{-1}$, а найменший – у насадженнях 23-річного віку 2,4 т·га$^{-1}$. У типі лісорослинних умов свіжого сугруду (C_2), найвищий показник запасу зафіксовано в насадженнях 30-річного віку 8,5 т·га$^{-1}$, а найменший – в деревостанах 80-річного віку – 2,1 т·га$^{-1}$ відповідно. Варіювання запасів хвої в типі

лісорослинних умов свіжого бору (A_2) має більш-менш рівномірний характер. За таких умов, найбільший запас зафіксовано у 59-річному віці насаджень – 3,7 т·га$^{-1}$, а найменший в насадженнях 32-річного віку 1,6 т·га$^{-1}$.

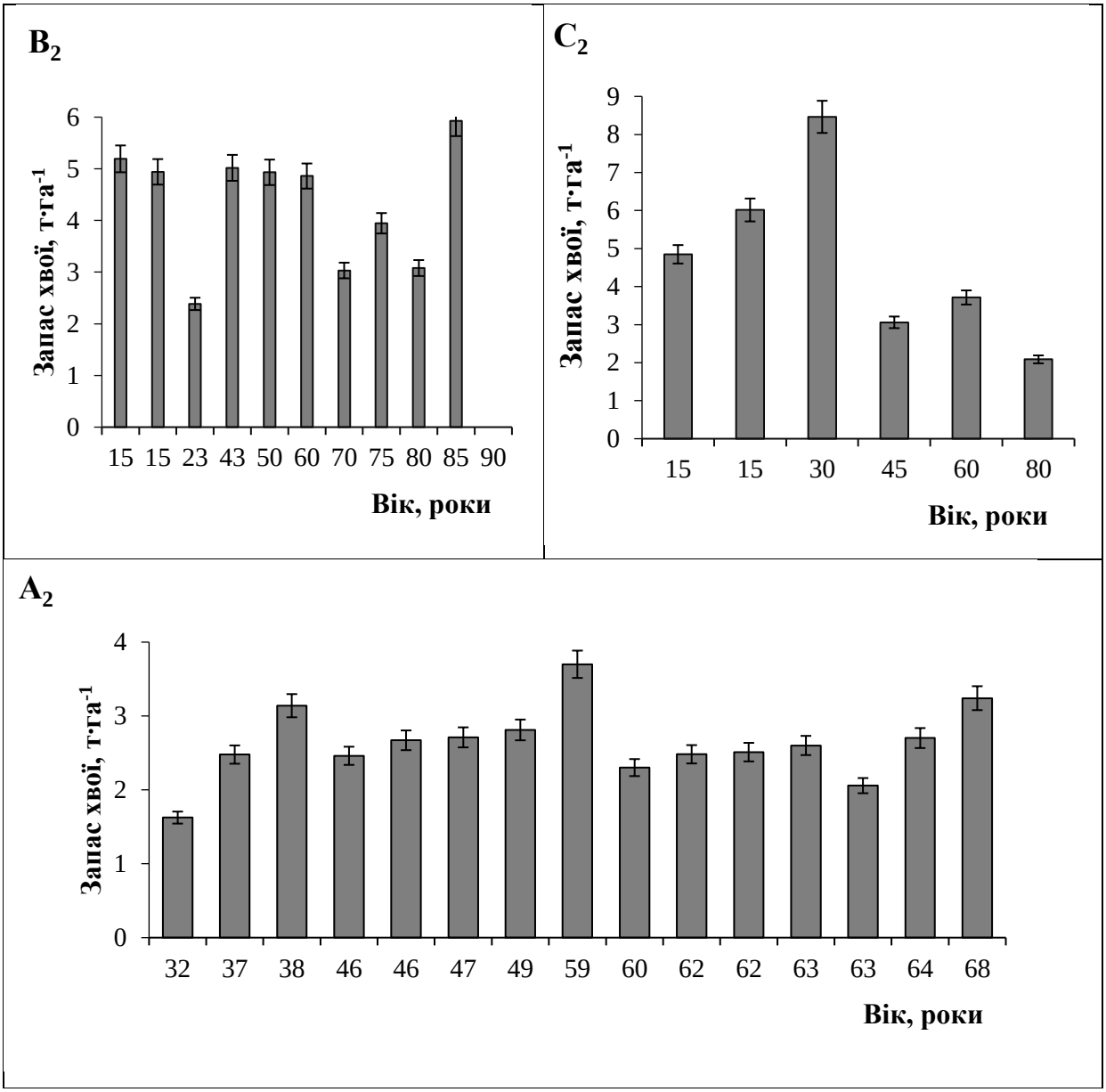


Рис. 4.17. Зміна запасу хвої з віком насаджень сосни звичайної в типах лісорослиних умов B_2, C_2 та A_2

Розподіл лісової підстилки за шарами мінералізації суттєво відрізнявся як у розрізі лісорослинних умов, так і у розрізі віку сосняків. Основною складовою мортмаси шару (L) є опад хвої. Цей шар підстилки разом із трав'яним покривом належить до І групи ЛГМ, які є «провідниками горіння», тобто він бере активну участь у розвитку та поширенні лісової пожежі і горить, як правило, у «полум'яній»

фазі горіння. Нижчі шари лісової підстилки – ферментативний та гуміфікований – належать до II групи ЛГМ [9, 10]. Вони є більш вологими і щільнішими, тому горять за «безполум'яної» фази горіння і, як правило, цілком не вигоряють (рис. 4.18).

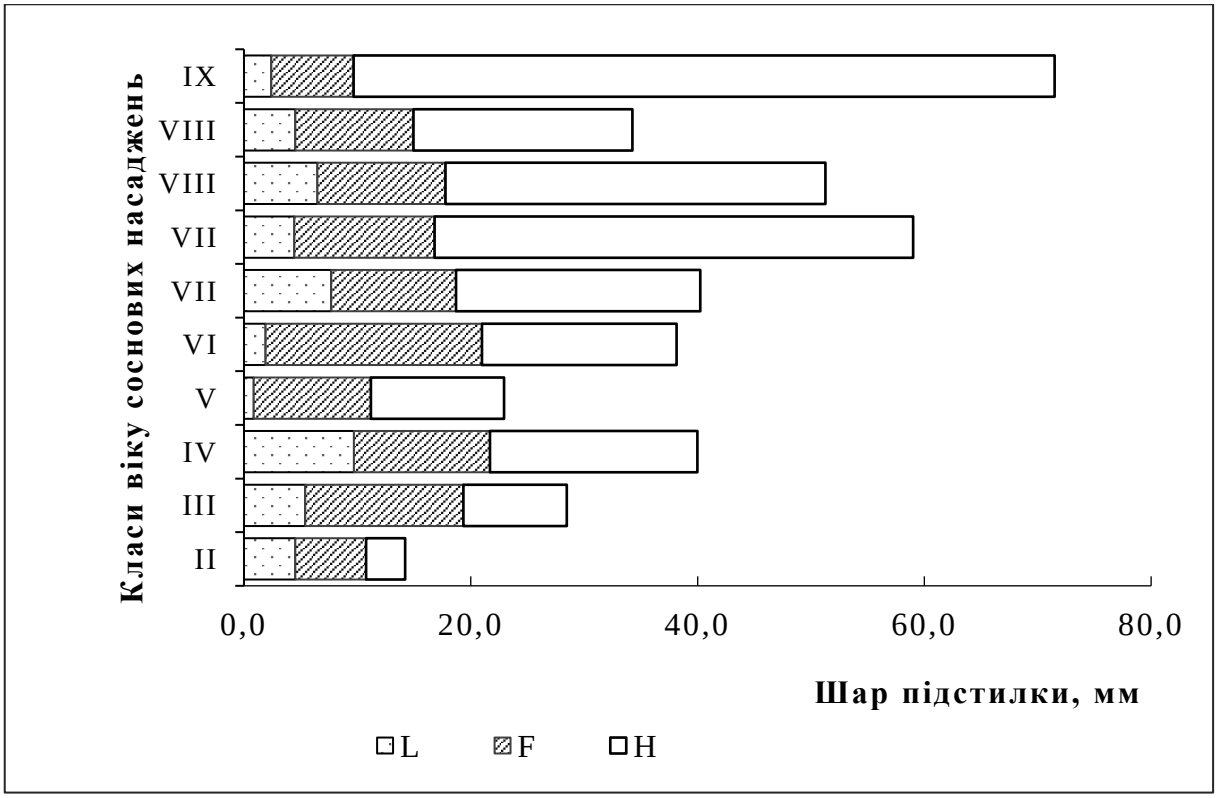


Рис. 4.18. Розподіл лісової підстилки за шарами мінералізації у чистих сосняках у межах Київського Полісся, що ростуть в типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2)

За дослідженнями В. П. Ворона [12], максимальні значення температур горіння підстилки в умовах суборів, яка висушена до повітряно-сухого стану, зареєстровано в середньому ферментативному (F) шарі на рівні – 370–513 ° С. Для них характерні значний запас і пухка структура, що сприяє доступу повітря та зростанню температури горіння. Температура горіння верхнього опадового шару досягала показників у межах 354–444 ° С, що пов'язано з невеликою його товщиною. Найнижчу температуру горіння відзначено в шарі (Н), яка коливається на рівні від 200 до 300 ° С [12].

Горіння мортмаси цього горизонту часто проходить без полум'я впродовж довгого періоду часу. Режим горіння значних запасів підстилки під основою

стовбура призводить до локального пошкодження кореневих лап і дрібних коренів деревних рослин, розміщених у верхніх горизонтах ґрунту, що збільшує вплив і тривалість дії негативних чинників під час постпірогенного розвитку сосняків [78, 84, 86].

Виявлено, що ферментативний та гуміфікований шари підстилки мають тенденцію до зростання з віком насадження (рис. 4.19). Найяскравіше таку тенденцію помітно під час проведення аналізу товщини шару лісової підстилки у II класі віку сосняків 3,5 мм, у середньовікових сосняках VII класу віку він уже становив 21,5–42,2 мм.

Тенденція до збільшення запасу ферментативного та гуміфікованого шарів підстилки зберігається і для насаджень, зростаючих в умовах свіжого сугруду (рис. 4.19).

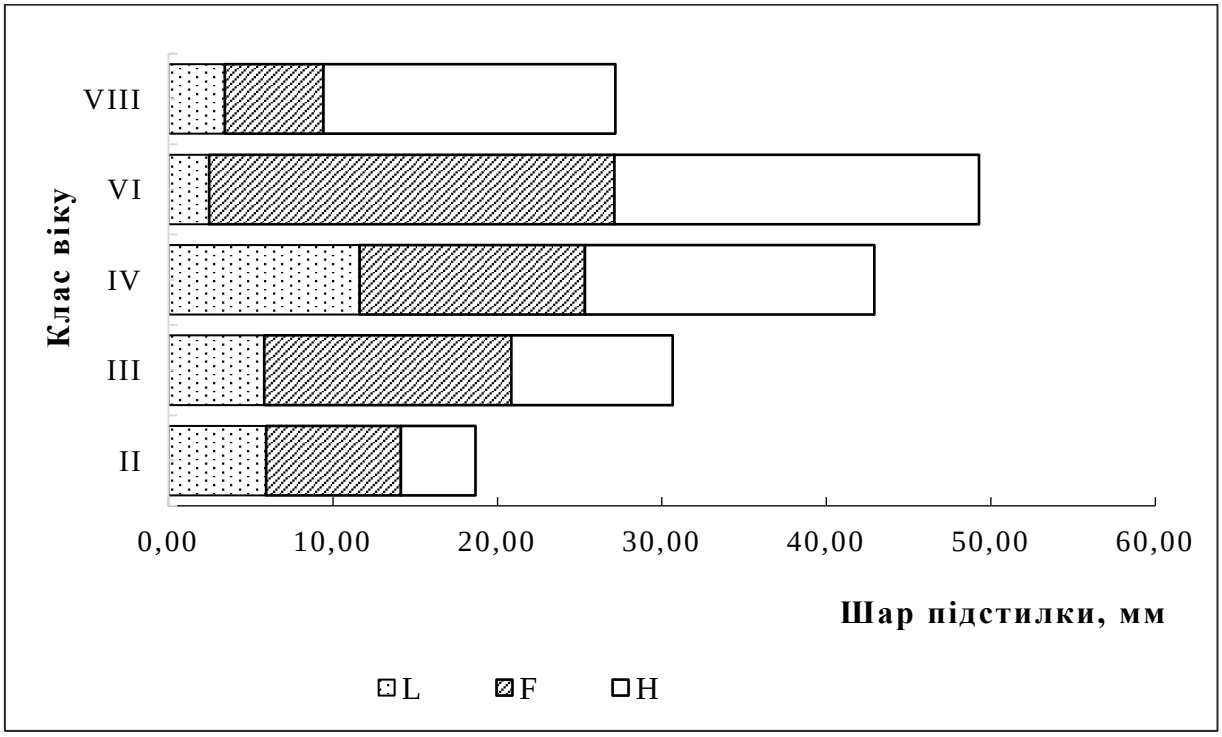


Рис. 4.19. Розподіл лісової підстилки за шарами мінералізації у чистих сосняках, які зростають в типі лісорослинних умов свіжого сугруду (C_2)

Під час проведення кореляційного аналізу між запасом гуміфікованого шару підстилки та віком насадження, виявлено тісний прямий кореляційний зв’язок: r = 0,89; p = 0,05. Тобто зі збільшенням віку соснових насаджень збільшується

також і запас гуміфікованого шару підстилки. Регресійним аналізом встановлено, що така залежність найкраще апроксимується рівнянням експоненти (рис. 4.20).

За результатами проведеного регресійного аналізу було встановлено, що об’єм цього шару підстилки на 78 % визначався віком соснового насадження. Водночас, суттєвих достовірних зв’язків між запасом опадового та ферментативного шарів з одного боку та віком насадження з іншого не виявлено.

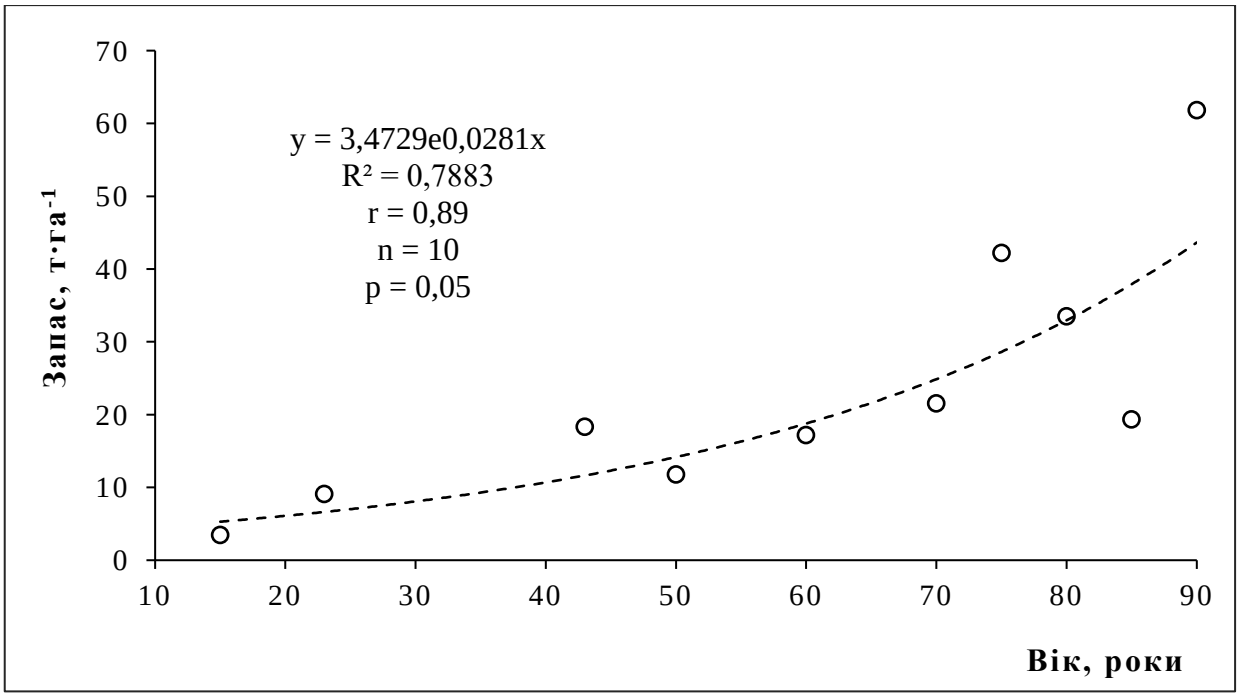


Рис. 4.20. Кореляційна залежність запасів гуміфікованого шару підстилки від віку сосняків зростаючих в типі лісорослиних умов свіжого субору (B_2)

Запас і структура ЛГМ за віком насадження в рівній мірі з рєльєфом та погодніми умовами, а саме відносною температурою і силою та напрямком вітру впливають на поведінку лісової пожежі.

Наприклад, збільшення частки гуміфікованого та ферментативного шарів підстилки з віком насадження свідчить про збільшення ризиків виникнення стійких низових пожеж, що носять характер підстилково-гумусових. Таким чином розглядаючи комплекси ЛГМ, що формуються у молодняках Київського Полісся, найбільш ймовірними будуть рухливі низові пожежі з високим ризиком переходу до верхової. Низові пожежі (за недопущення їх розвитку у верхові пожежі) будуть мати переважно слабку (у молодняків I класу) та середню інтенсивність

(молодняки II класу) зважаючи на обсяги опадового шару лісової підстилки та наявності злакової рослинності. У середньовікових сосняках інтенсивність низових пожеж буде коливатися від слабкої до сильної, чому сприяють значні обсяги ЛГМ наземної групи, інтенсивність і швидкість розповсюдження буде залежати від конкретних погодних умов під час пожежі та рельєфу ділянки. У стиглих сосняках за умови тривалих посух переважатимуть стійкі низові пожежі сильної інтенсивності, адже тут у структурі ЛГМ переважатиме лісова підстилка, особливо де найбільш щільні ферентативний та гуміфікаційний шари. Такі пожежі матимуть катастрофічні наслідки для насадження. За умови неповного висихання нижнього гуміфікаційного шару будуть виникати рухливі низові пожежі, коли повністю вигоратиме лише верхній опадовий шар лісової підстилки, або ж стійкі пожежі слабкої та середньої інтенсивності, такі пожежі не матимуть для насадження суттєвих наслідків. Крім того маючи високо підняті крони перехід низової пожежі у верхову є малоймовірний, лише за умови значної кількості підросту з хвойних.

Літні пожежі з цілковитим вигоранням підстилки для стиглих і перестиглих сосняків є більш катастрофічними за весняні. Надзвичайно високі рівні постпірогенного відпаду описані в роботі С. Г. Сидоренка [83, 161] пов’язані саме з накопиченням значних запасів лісової підстилки у стиглих сосняках в типах лісорослинних умов свіжих борів та суборів. Нашими спільними з лабораторією екології лісу УкрНДІЛГА дослідженнями виявлено, що схожі тенденції у накопиченні запасів ЛГМ наземної групи, зокрема лісової підстилки є характерними і для сосняків Київського Полісся, тому наслідки від стійких літніх низових пожеж у Київському Поліссі будуть мати схожі закономірності [133, 161].

4.5. Розробка програмного забезпечення для оперативного прогнозування пожежної небезпеки в реальному часі у лісах Київського Полісся та України на DIGITALS–платформі

Діюча на сьогоднішній день в Україні сучасна методика прогнозування природної пожежної небезпеки за коефіцієнтом пожежної небезпеки В. Г. Нестерова [64], яка використовується ще з 1965 року і базується на основі

математичного аналового розрахунку, констатує факт числового зв’язку наявності лісової пожежі з встановленими межами класів пожежної небезпеки лише для найбільш пожежонебезпечної території і лише у найбільш пожежонебезпечний місяць. В інші місяці, на решті територій країни така шкала не відображає об’єктивного стану пожежної небезпеки.

Система гасіння і моніторингу лісових пожеж Incident Command System (США), базується на визначенні осередку виникнення лісової пожежі в лісах США на основі отриманої інформації зі спектральних інфрачервоних та ультрафіолетових камер мережі спостережних протипожежних постів, що в свій час була організована по всій території США [138, 169]. За таких умов, не задіюється мережа GSM стандарту та супутникова GIS-технологія. Система розрахована, в більшості випадків, на координацію заходів по міжвідомчій взаємодії пожежних підрозділів США при гасінні лісових пожеж, організації першої атаки при розвитку лісової пожежі на великій території та застосуванні нових підходів при гасінні лісових пожеж.

Тому, нами було проведено комплекс пошуково-конструкторських робіт, результатом яких стала розробка додатку який слугує для прогнозу стану пожежної небезпеки за умовами погоди в лісах Київського Полісся, де вона була успішно апробована та впроваджена. Ця програма оперативного моніторингу та прогнозування ймовірного ризику виникнення і розповсюдження лісових пожеж в державному лісовому фонді отримала назву «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі». На програму було успішно отримано авторське свідоцтво № 95983 групою науковців у складі: П. П. Яворовський, Р. В. Гуржій, В. Б. Левченко, Я. І. Устименко, С. Г. Сидоренко, Н. В. Пузріна, Г. О. Бойко.

Програма «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі», здійснює електронний дискретний цифровий аналіз поточних кліматичних даних отриманих в режимі реального часу, також ступеня горимості лісових насаджень та стану природної пожежної небезпеки. До бази програми можна додавати інформацію по різним лісогосподарським філіям і по розрізі

окремо взятого лісництва по кварталах та виділах які будуть аналізуватися і синтизуватися на Didgitals-платформі. Також програмно в електронний гаджет на платформі Android дистанційно з використанням супутникової GIS-системи та мережі Internet у стандарті GSM-1800 в режимі on-line постійно надсилаються поточні параметри режиму погоди моніторингової території, а саме: максимальної і мінімальної температури повітря, ймовірності випадання та фактичної кількості опадів, рівня вологості повітря на цій території, швидкості та напряму вітру з його прогнозом на кожну наступну годину. Після завершення обробки дистанційної інформації, яка надходить на електронний гаджет на основі операційної системи Android, інформація стану пожежної небезпеки за її класами відображається у вигляді візуальної пунктово-піктографічної інформації на електронному дисплеї гаджету у формі нанесеної на картографічну основу попередньо створених матеріалів базового або поточного лісовпорядкування в умовах конкретного лісництва або лісового господарства.

Запропонований нами спосіб прогнозування стану пожежної небезпеки за умовами погоди відрізняється динамікою формування в режимі реального часу числових даних поточного стану погоди, ступеня горимості лісових насаджень як в цілому по лісогосподарському підприємству, так і в розрізі окремо взятого лісництва по кварталах та виділах аналізуються і синтезуються на Didgitals-платформі, яка автоматично аналізує масив отриманих даних і розподіляє їх на картографічній основі лісогосподарського підприємства із зазначенням класу пожежної небезпеки. Таким чином, додаток в автоматичному режимі з використанням ситеми Android проводить прогноз ймовірного ризику виникнення осередків лісових пожеж на території, що знаходиться під посиленим пірологічним моніторингом.

Для створення програмного продукту «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах україни на digitals-платформі» було використано Microsoft Visual Studio 2019 [46, 63, 170].

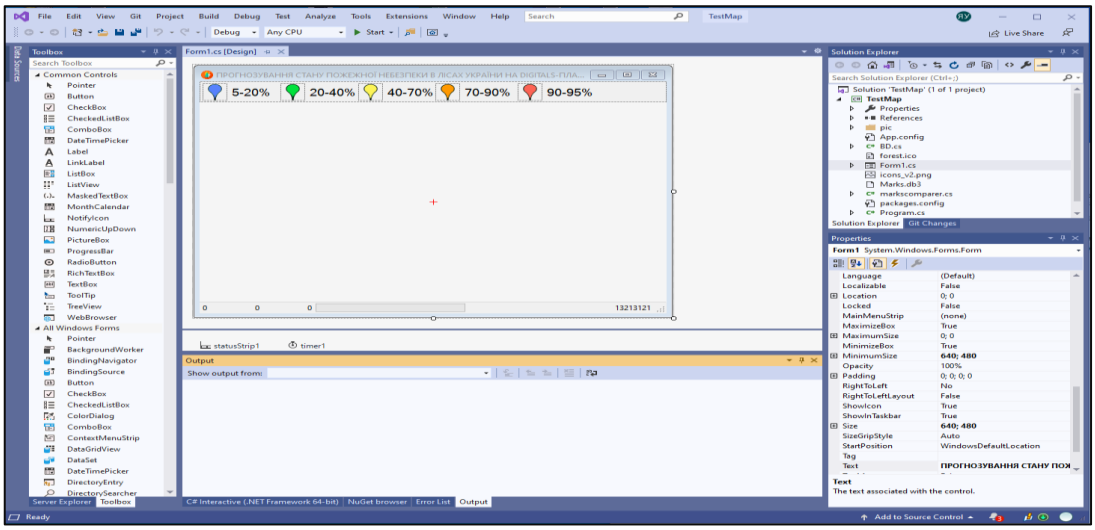


Рис. 4.21. Програма Visual Studio 2019

Для написання програми використовувалась мова програмування C# – об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи .NET, розроблена Андерсом Гейлсбергом, Скотом Вілтамутом та Пітером Гольде під егідою Microsoft Research (належить Microsoft) [63, 112]. Програмний код наведено в додатку Ґ.

Станом на сьогодні C# визначено флагманською мовою корпорації Microsoft, бо вона найповніше використовує нові можливості .NET. Решта мов програмування, хоч і підтримуються, але визнані такими, що мають спадкові прогалини щодо використання .NET [143] .

Для написання графічного інтерфейсу програми використовувалась технологія Windows Forms.

Windows Forms – це прикладний програмний інтерфейс (API), який відповідає за графічний інтерфейс і є частиною Microsoft .NET Framework. Цей інтерфейс полегшує доступ до елементів інтерфейсу Microsoft Windows, створюючи обтікання для наявного Win32 API в керованому коді. І керований код – класи, що реалізують API для Windows Forms, не залежить від мови розробки. Тобто при програмуванні можна в рівній мірі використовувати Windows Forms, як при написанні програмного забезпечення на C, CJ, і на VB.Net, J і т.д. [176].

З одного боку, Windows Forms розглядається як заміна старої і більш складної бібліотеки MFC, спочатку написаної мовою C. З іншого боку, Windows Forms не

пропонує парадигми, порівнянної з MVC. У Windows Forms є сторонні бібліотеки. Windows Forms насправді є лише «обгорткою» компонентів Windows API, і ряд його методів безпосередньо доступ до Win32-функції зворотного виклику, які недоступні на інших платформах [176].

Для розрахунку ймовірності можливого ризику виникнення лісової пожежі використовуються наступні дані:

– Опади;

– температура;

– вологість;

– швидкість вітру;

– координати запиту.

OpenWeatherMap (OWM) – це онлайн-сервіс, який надає платний (є функціонально обмежена безкоштовна версія) API для доступу до поточної погоди, прогнозів та історичних даних. В якості джерела даних використовуються офіційні метеостанції, дані метеостанцій аеропортів і дані з приватних метеостанцій [148].

Інформація обробляється *Open Weather Map*, після чого на основі даних будується прогноз погоди і карти погоди, такі як карти хмар і опадів. Основною ідеєю сервісу OWM є використання приватних метеостанцій, які допомагають підвищити точність оригінальної інформації про погоду і, як наслідок, точність прогнозів погоди [116].

Натхненням *Open Weather Map* були *Open Street Map* і *Вікіпедія*, які створюють безкоштовну інформацію і надають безкоштовну інформацію для всіх. *OWM* в даний час є комерційною організацією.

OpenWeatherMap використовує платний *API* (є функціонально обмежений вільний доступ) для надання поточної погоди, прогнозу та карт погодних явищ, таких як хмари, вітер, тиск та опади. Всі дані про погоду можуть бути отримані в JSON, XML або HTML форматах [148].

Open Weather Map надає такі типи даних прогнозування [148]:

– прогноз на хвилину на 1 годину;

– погодинний прогноз на 4 дні;

– щоденний прогноз на 16 днів;

– прогноз погоди на 30 днів.

Open Weather Map надає безліч карт погоди, включаючи карти опадів, хмарний покрив, атмосферний тиск, температуру, вітер і багато інших. Карти можна підключати до мобільних додатків і веб-сайтів. Погодні карти можуть бути з'єднані як шари для багатьох постачальників карт, включаючи статичну плитку, WMS, OpenLayers, листівку, Карти Google та Карти Яндекса. Сервіс використовує карти OpenStreetMap для побудови метеокарт [116, 148].

Всі дані *Open Weather Map* поширюються під ліцензією Creative Common License CC-BY-SA 2.0.

Для роботи з програмою «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі» необхідне підключення до глобальної мережі Інтернет. Саме з мережі Інтернет програма отримує масиви даних, які опрацьовує та формує прогноз стану пожежної небезпеки в лісах України.

Для запуску програми потрібно запустити файл ForestFire.exe (рис. 4.22).

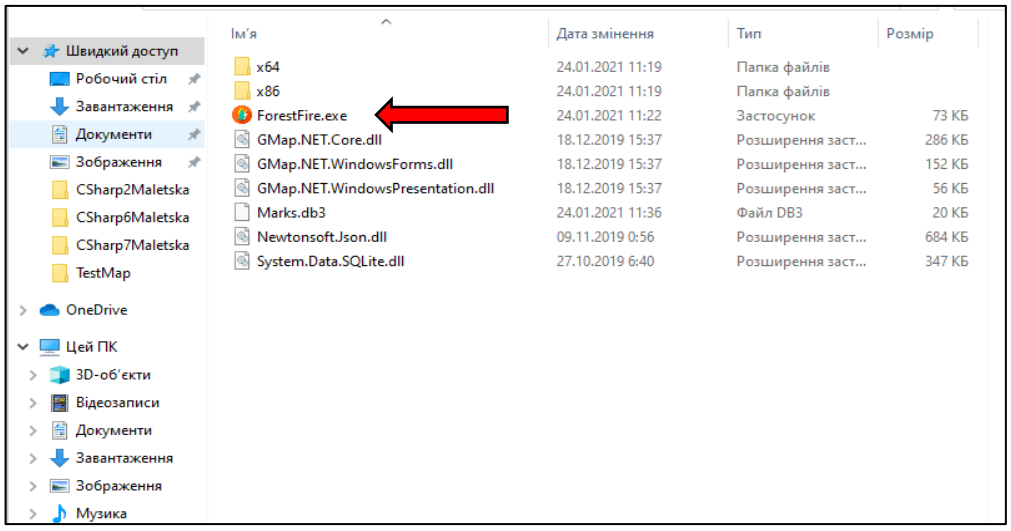


Рис. 4.22. Програма: «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals–платформі»

Під час запуску програми відбувається встановлення збережених маркерів з прогнозом стану пожежної небезпеки в лісах України.

Кількість та положення маркерів, програма «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі» завантажує з файлу marks.xml. У

файлі міститься додаткова інформації про лісові насадження за координатами поточного маркеру в режимі on-line. Збереження прогностичних маркерів показано на інтерфесі програми (рис. 4.23). Інтерфейс – це сукупність засобів, методів і правил взаємодії (управління, контролю і т. д.) між елементами системи.

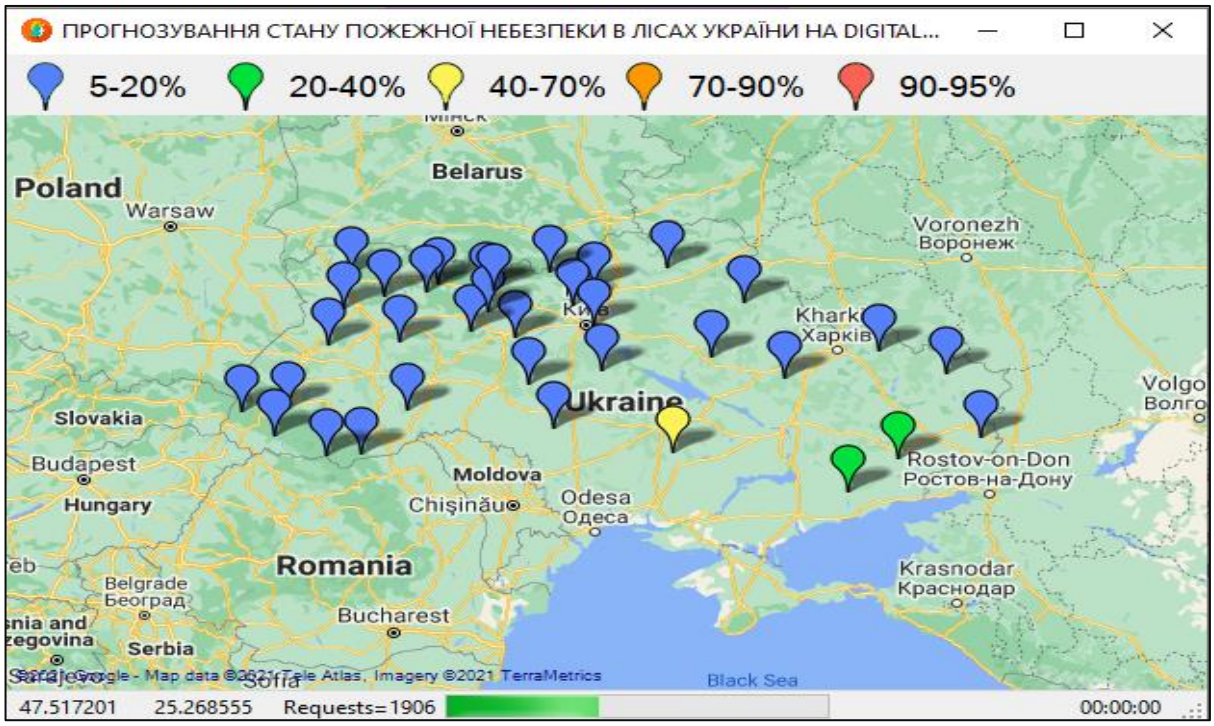


Рис. 4.23. Інтерфейс програми «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі»

Координати прогностичних маркерів зберігаються у базі даних (рис. 4.24).

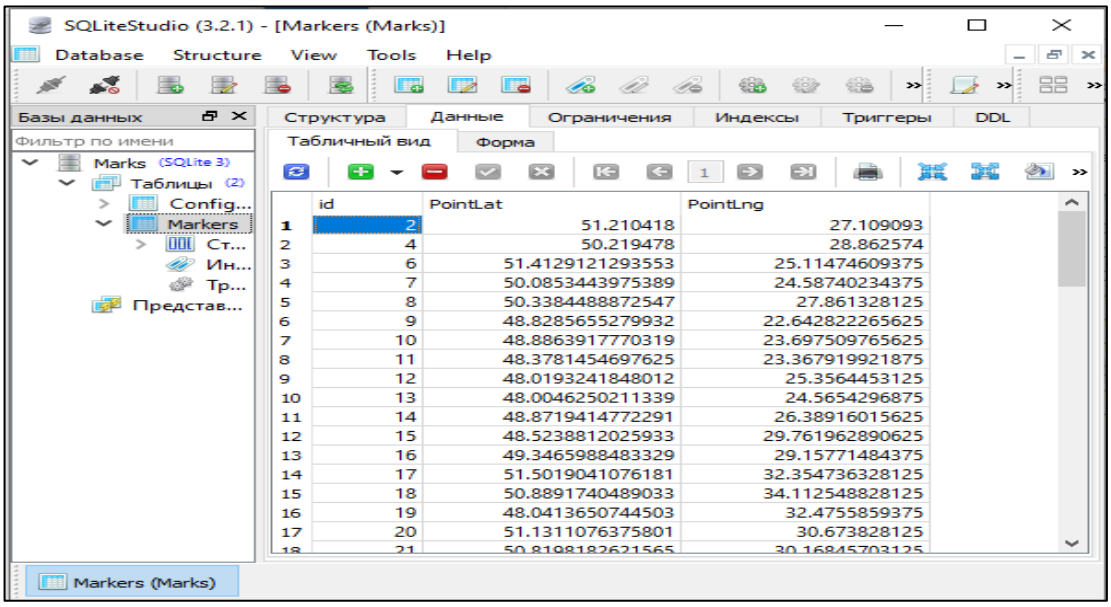


Рис. 4.24. Кординати прогностичних маркерів програми «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі»

Програма дозоляє додавати нові прогностичні маркери. Для зручності можна контролювати положення маркеру за координатами, які відображаються в рядку стану (рис. 4.25).

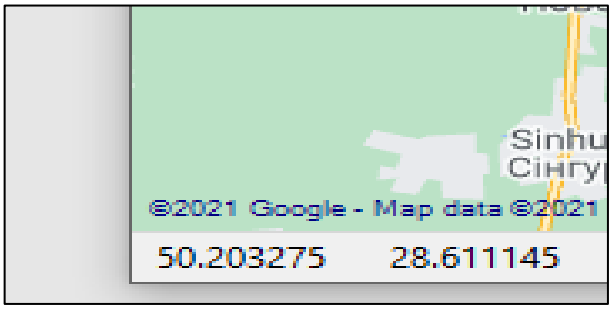


Рис. 4.25. Контроль положення прогностичних маркерів за кординатами

Для створення нового прогностичного маркера потрібно виконати подвійний клік лівою кнопкою миші по вибраній місцевості приклад наведений на рис. 4.26.

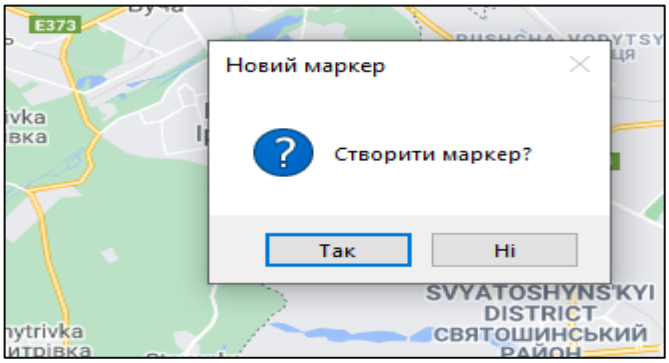


Рис. 4.26. Створення нового прогностичного маркеру

Потрібно підтвердити або відмінити встановлення прогностичного маркеру. У разі підтвердження на карті з’явиться прогностичний маркер (рис. 4.27).

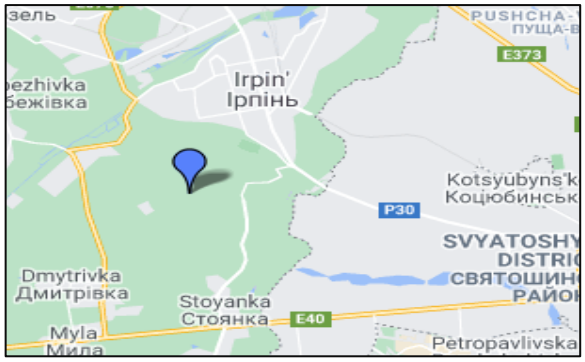


Рис. 4.27. Створений прогностичний маркер

При наведенні вказівника миші на прогностичний маркер буде показано додаткове вікно з детальною інформацією: ймовірність пожеж (%), температура повітря (° С), вологість (%), швидкість вітру (м/с), напрям вітру (у °), що подано на рис. 4.28.

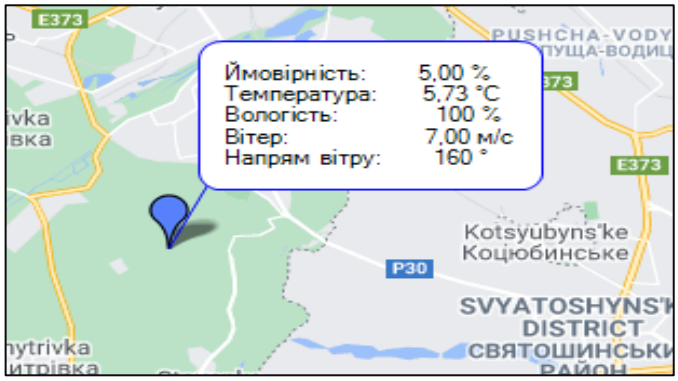


Рис. 4.28. Детальна інформація прогностичного маркера

Для видалення прогностичного маркеру потрібно виконати подвійний клік правою кнопкою миші по вибраному прогностичному маркеру (рис. 4.29).

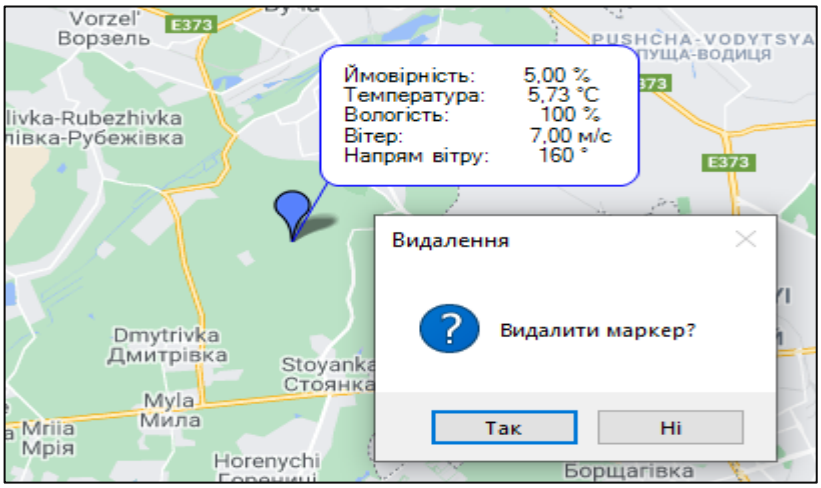


Рис. 4.29. Видалення прогностичного маркера

Потрібно підтвердити або відмінити видалення прогностичного маркеру. У разі підтвердження на карті буде видалено вибраний прогностичний маркер.

В залежності від ймовірності пожежної небезпеки прогностичний маркер буде фарбуватись у відповідні кольори (рис. 4.30).

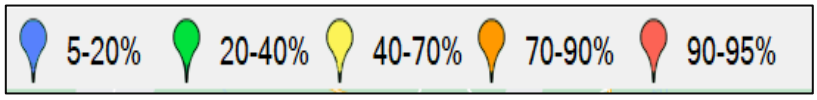


Рис. 4.30. Ймовірність виникнення пожежі, %

Під час запуску програми і через кожну годину (рис. 4.31) програма буде виконувати оновлення прогнозу стану пожежної небезпеки в лісах України. Інтервал часу до оновлення можна побачити в рядку стану програми.

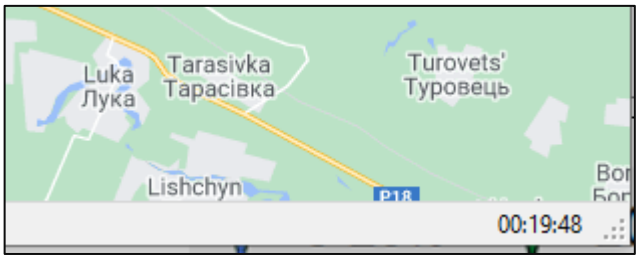


Рис. 4.31. Інтервал часу до оновлення в рядку стану програми

Програма «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі» працює повністю в автоматизованому режимі, не потребує жодних дій по введенню даних від користувача.

Карта у програмному вікні програми «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі», може масштабуватись та переміщуватись в усіх проекціях.

Висновки до розділу 4

1. Маса запасу опадового шару (L) знаходиться в обернено пропорційній залежності від повноти деревостанів (r=0,49; p=0,05) та не залежить від віку насаджень. Що пов’язано зі архітектоніки крон сосни з віком та просторової структури насадження, що зрештою впливає на зміни обсягів хвої з віком насаджень. Натомість, маса запасів F і H шарів збільшуються з віком (r=0,55; p=0,05), й прямо пропорційно залежать від середнього діаметра, висоти і запасу насадження (r=0,59, 0,46 та 0,42 відповідно), та обернено пропорційно від повноти деревостанів (– 0,38). Збільшення ферментативного та гуміфікаційного шарів з віком насадження відбувається за рахунок сповільненого процесу розкладу опадового шару. Такі особливості формування комплексів наземних ЛГМ будуть мати вплив на поведінку лісових пожеж, що виникатимуть на таких ділянках. Так, збільшення частки та запасу ферментативного та гумінікаційного шарів підстилки сповільнюватимуть процес горіння, але сприятимуть розвитку стійких низових

пожеж, у той час як для молодняків характерними будуть рухливі низові пожежі та верхові пожежі, через низьке розташування крон.

2. У результаті проведеного моніторингу стану пожежної небезпеки в лісових масивах Київського Полісся, нами була зібрана і опрацьована вичерпна інформація по стану пожежної небезпеки в цьому регіоні. Отримані масиви даних було використано для розробки додатку «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі», на яку було отримано авторське свідоцтво, за номером № 95983

3. Додаток дозволяє більш ефективно проводити лісопірологічний прогноз в режимі on-line, та дозволяє розраховувати ймовірність ризику виникнення лісової пожежі із ймовірністю 95 %. В подальшому програма «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digitals-платформі» може бути модифікованою, оскільки програмний код головного модуля цієї програми дозволяє проводити числові програмні уніфікації відповідно до виробничих особливостей певного лісогосподарського підприємства.

Результати досліджень цього розділу відображено у публікаціях: «Запаси наземних лісових горючих матеріалів в лісах Київського Полісся» [23], «Лісові горючі матеріали в соснових насадженнях Боярської лісової дослідної станції як провідний чинник рівня пожежної небезпеки в лісі» [101], «Influence of the pine plantation age on forest combustible materials in the Kyiv Polissya conditions (Ukraine)» [102], «Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine» [125], «Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine» [150].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі узагальнено результати досліджень закономірностей накопиченння лісових горючих матеріалів та проведено уніфікацію методик їх обліку. Визначено, що рівень природної пожежної небезпеки, як Київського Полісся так і в цілому в Україні, визначається: складом насадження, наявністю запасів, вологістю і характером розміщення ЛГМ. На формування запасів та структури лісових горючих матеріалів значно впливає низка екологічних факторів. За результатами виконаних завдань дисертації можна зробити такі висновки:

1. За аналізом літературних джерел виявлено, що у Київському Поліссі пірологічні дослідження проводилися фрагментарно. Оцінювання горимості лісів та детальні дослідження часових і просторових тенденцій виникнення лісових пожеж з врахуванням природних та соціально-економічних умов Київського Полісся практично не проводилися.

2. Виявлено, що дослідження комплексів лісових горючих матеріалів у регіоні дослідження є обмеженими. Наявні дослідження не дозволяють у повній мірі оцінити фактичну природну пожежну небезпеку ділянок лісового фонду, зважаючи на відсутність даних щодо запасів рослинних горючих матеріалів та їх актуального стану. Зважаючи на це дослідження з визначення запасів та особливостей формування комплексів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) є актуальним завданням на шляху до зниження пожежних ризиків та удосконалення протипожежних профілактичних заходів в умовах Київського Полісся.

3. Зважаючи на те, що значна частина Київського Полісся заліснена сосновими насадженнями (питома частка яких становить 70,6 %), проблема їх захисту від пожеж є вкрай гострою. Адже переважна кількість пожеж виникають саме у соснових лісах.

4. Незважаючи на те, що значна частка лісів зростає у свіжих (понад 93%) гігротопах пожежні ризики на таких ділянках залишаються високими. Впродовж посушливих періодів, пожежна небезпека на таких ділянках стрімко зростає.

5. Визначено, що у віковій структурі деревостанів Київського Полісся переважають молодняки, питома частка яких в структурі насаджень складає 69,9 %, які відносяться до І-го класу природної пожежної небезпеки. Молодняки мають низько опущену крону, тому кожна низова пожежа на таких ділянках за неможливості її вчасної ліквідації може швидко трансформуватися у верхову. Зважаючи на це у регіоні дослідження існують постійні ризики виникнення верхових пожеж.

6. За результатами досліджень встановлено, що горимість соснових насаджень в умовах Київського Полісся сягає 0,33 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. В той час як для інших порід горимість не перевищує 0,13 га × рік $^{-1}$ × 1000 га. Щільність пожеж 0,85 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га (для інших порід 0,34 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га). Переважаючими факторами, які впливають на горимість лісів Київського Полісся є природний фактор, антропогенний (значна щільність населення понад 60 осіб × км $^{-2}$) та значна частка чистих штучних соснових насаджень (66 % від загальної площі сосняків), які є найбільш пожежонебезпечними.

7. Встановлено, що найбільша кількість пожеж зафіксована в лісах, зростаючих в умовах свіжих суборів (B_2) кількість лісових пожеж становить 27,9 % (щільність пожеж у даних лісорослинних умовах сягає 1,1 га × рік $^{-1}$×1000 га), а їх площа 39,3 % (горимість лісів у даних лісорослинних умовах сягає 0,8 га × рік $^{-1}$ × 1000 га). В умовах свіжих сугрудів (C_2), що характеризуються складом: сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) з домішкою берези повислої (*Betula pendula* L.) кількість пожеж сягає 24,2 % (0,4 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га). Площа цих лісових пожеж складає в середньому 31,8 % (0,1 га × рік $^{-1}$ × 1000 га) від загальної площі, вкритої лісом за ТЛУ. Найбільш горимими є насадження у ТЛУ B_3 та A_2 горимість складала 3,7 та 0,9 га × рік $^{-1}$ × 1000 га відповідно, у той же час щільність лісових пожеж становить 8,3 та 4,6 шт × рік $^{-1}$ × 1000 га.

8. Доведено, що найбільш горимими є середньовікові насадження сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). В них зафіксовано 60,3 % кількість випадків лісових пожеж, площа яких склала 52,3 % від загальної площі всіх зареєстрованих пожеж.

9. Результати досліджень за аналізом горимості по місяцях показали, що у соснових насадженнях в зоні Київського Полісся найбільша кількість лісових пожеж виникає у квітні – 2480 випадків, а найбільша їх площа зафіксована у серпні – 341,68 га. Значна кількість пожеж у квітні пояснюється наявністю значних обсягів РГМ у стані готовому до займання (суха торішня трава) як у лісі так і поза ним (перелоги, сіножаті, заплави тощо). Пожежі у природних екосистемах, унаслідок випалювання сухої трави, часто поширюються на лісові масиви спричиняючи значну кількість лісових пожеж. Пожежний пік у серпні пояснюється особливостями проходження фенологічних фаз переважаючою трав'яною рослинністю (висихання трави у надгрунтовому покриві під пологом лісу та поза лісовими масивами) та підвищенням середніх добових температур повітря, зниженням відносної вологості повітря та частими посухами у цей період року.

10. Встановлено, що найбільше пожеж ліквідовують у понеділок 19,3 %. Таким чином нехтування правилами пожежної небезпеки населенням у вихідні та святкові дні (неділя) мають наслідком появу додаткових джерел вогню у лісі, які у подальшому розвиваються у пожежі. Які виявляють і ліквідовують уже в понеділок.

11. Аналіз кількості лісових пожеж в розрізі доби зафіксував збільшення випадків пожеж з 11 години, але більшу кількість випадків лісових пожеж з $16^{\underline{00}}$ до $18^{\underline{00}}$ години, що в середньому становить 20,5 %. Такий часовий розподіл кількості пожеж викликаний добовою динамікою основних елементів пожежної погоди. Таким чином саме з 12 години (залежно від сезону року) починає збільшуватися до свого добового максимуму температура повітря, а показник відносної вологості повітря навпаки зменшується. Такі зміни метеорологічних

показників сприяють формуванню пожежного середовища, саме у другій половині дня, після 11 години.

12. Визначено, що запас наземних ЛГМ збільшується з класом віку насадження. Встановлено, що найбільший запас I групи ЛГМ формується у типі лісорослинних умов свіжого бору (A_2) в насадженнях сосни звичайної *(Pinus sylvestris* L.*)* V класу віку – 23,7 т·га$^{-1}$, а в соснових деревостанах VII класу віку, зростаючих у типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2) – 15,4 т·га$^{-1}$, водночас, в умовах свіжих сугрудів найбільший їх запас виявлено в насадженнях III класу віку – 14,5 т·га$^{-1}$. Найбільший запас II групи ЛГМ виявлено в сосновх насадженнях VII класу віку, зростаючих в типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2) – 38,0 т·га$^{-1}$. В типі ліорослинних умов свіжого сугруду (C_2) найбільший запас таких ЛГМ виявлено в деревостанах сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.*)* V класу віку – 33,7 т·га$^{-1}$, водночас, в типі лісорослиних умов свіжого бору A_2 найбільші запаси II групи ЛГМ було виявлено також в сосняках V класу віку – 14,7 т·га$^{-1}$.

13. Визначено, що у типі лісорослиних умов свіжого сугруду (C_2) найбільші запаси фракцій 100-hr і 10-hr формуються у деревостнах IV класу віку – 2,3 т·га$^{-1}$ і 3,7 т·га$^{-1}$, водночас, дрібні ЛГМ (1-hr) мають найбільший запас в сосняках III класу віку, а найменший в соснових молодняках II класу віку – 0,1 т·га$^{-1}$. В типі лісорослинних умов свіжого субору (B_2) фракція 100-hr має більші запаси в сосняках III класу віку – 1,30 т·га$^{-1}$, а найменші в деревостанах V класу віку – 0,3 т·га$^{-1}$. Фракції 10-hr більші запаси мають в соснових насадженнях III класу віку – 0,71 т·га$^{-1}$, найбільший запас фракції 1-hr виявлено в сосняках VII класу віку, а найменший – в молодняках II класу віку – 0,2 т·га$^{-1}$. У типі лісорослиних умов свіжого бору (A_2) фракція 100-hr має більші запаси в деревостанах V класу віку – 2,60 т·га$^{-1}$, а найменші в насадженнях сосни звичайної *(Pinus sylvestris* L.*)* VI класу віку – 0,60 т·га$^{-1}$. Фракція 10-hr має найбільші запаси в деревостанах VI класу віку – 5,76 т·га$^{-1}$, а найменші в деревостанах сосни IV класу віку – 1,62 т·га$^{-1}$, водночас, фракція 1-hr має найбільший запас в сосняках V класу віку – 7,1 т·га$^{-1}$, а найменший – в деревостнах VI і VII класів віку – 3,9 т·га$^{-1}$. Виявлено, що вплив на запас деревної ламані за фракціями насамперед пов’язаний з різними

таксаційними показниками насадження та різними кліматичними умовами.

14. Резюмуючи результати проведених досліджень необхідно зауважити, що залежно від швидкості висихання лісових горючих матеріалів запас тяжких ЛГМ, 100-hr, 10-hr та 1-hr найбільше залежав від запасу та відносної повноти насадження, збільшуючись у високопродуктивних високоповнотних насадженнях зі значним запасом. Маса запасу опадового шару (L) знаходиться в обернено пропорційній залежності від повноти насадження. Натомість, запаси F і H шарів мають чітку тенденцію до збільшення з віком насадження. Виявлено, що запаси ферментативного та гуміфікованого шарів прямо пропорційно залежать від середнього діаметра, висоти і запасу насадження.

15. Визначено, що зі збільшенням рівня трофності лісорослинних умов, починаючи від умов бору до свіжого сугруду зменшується маса обсягів деревної ламані (наприклад у V класі віку в умовах бору 7,7 т·га$^{-1}$, а у сугруді 1,5 т·га$^{-1}$). Маса шишок у складі опаду є більшою в умовах бору та зменшуються зі збільшенням рівня трофності, окрім того, зменшується маса запасу бріофлори (мохів) та опадового шару підстилки, яка в умовах свіжого сугруду швидше розкладається.

16. На основі проведених досліджень розроблено додаток «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі», За умов проведення лісопірологічного прогнозу в режимі on-line, програма автоматично з використанням операційної системи Android розраховує можливий ймовірний ризик виникнення лісової пожежі, за поточними даними про опади, температуру повітря, швидкість і напрямок вітру, вологість повітря. У подальшому ця програма може бути модифікованою, оскільки програмний код головного модуля цієї програми дозволяє проводити числові програмні уніфікації, відповідно до виробничих особливостей певного лісового господарства.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для зниження ризиків виникнення, зменшення площі лісових пожеж та покращення управління лісовими пожежами в межах Київського Полісся пропонуються такі заходи:

1. Рекомендуємо державним лісовим господарствам проводити моніторинг стану пожежної небезпеки за розробленою іноваційною програмою «Прогнозування стану пожежної небезпеки на DIGITAL-платформі» та забезпечувати за високої ймовірності ризик виникнення лісових пожеж спільне патрулювання за участю лісової охорони, поліції та працівників ДСНС в місцях масового відпочинку населення.

2. Проводити навчання відповідальних працівників лісової охорони щодо користування програмою «Прогнозування стану пожежної небезпеки на DIGITAL-платформі».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аткина Л. И., Стародубцева Н. И. Лесная подстилка в сосновых лесах Джабык-Карагайского бора. Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы междунар. науч.-практ. конф., 2005 р. Томск: 2005. С. 46–49.

2. Белякин А. А., Волокитина А. В. Картографирование растительных горючих материалов в южном Прибайкалье на основе пирологической характеристики типов леса. Пожары в лесных экосистемах Сибири: Материалы Всер. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 37–39.

3. Болонева М. В. Динамика фракционного состава подстилок при пирогенных сукцессиях в сосновых лесах Прибайкалья. Пожары в лесных экосистемах Сибири: Материалы Всер. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 98–100.

4. Возникновение лесных пожаров: сб. науч. труд. под ред. Н. П. Курбатского Москва: Наука, 1964. 182 с.

5. Волеваха Н. М. Гидрометеорологические условия мелиорированних территорий. Красноярск: Наук. думка. 1974. С. 56–68.

6. Волокитина А. В. Интенсивность горения напочвенного покрова в зависимости от его послойного влагосодержания. Прогнозирование лесных пожаров. Красноярск: институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. 1978. С. 68–86.

7. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Науч. изд. Новосибирск: СО РАН, 2002. 314 с.

8. Волокитина А. В., Софронов М. А. Пространственное варьирование вида и запаса мохово-лишайникового покрова и подстилки в северных лиственничниках. Хвойные бореальной зоны. 2008. № 3(4). С. 209–215.

9. Волокитина А. В., Софронов М. А., Карнаухова Е. А. Прогнозирование поведения и последствий низовых пожаров с использованием крупномасштабных карт растительных горючих материалов. Лесное хозяйство. 2004. №1. С. 41–43.

10. Вопросы лесной пирологии. Сб. науч. труд. под. ред. Н. П. Курбатского. Красноярск: СО АН СССР. 1974. 257 с.

11. Воробейчик В. Л. Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения. Экология: Институт экологии растений и животных, 1995. № 4. С. 278–284.

12. Ворон В. П., Мельник Є. Є., Сидоренко С. Г. Тенденції виникнення пожеж в лісах зеленої зони м. Харкова. Проблемы пожарной безопасности. 2012. Вып. 32. С. 37–42.

13. Генсірук С. А. Ліси України. К.: Наук. думка. 1992. 408 с.

14. Географічна енциклопедія України: в 3-х т. Редкол: О. М. Маринич (відп. ред.) та ін. К.: «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана. 1993. Т. 3: П.–Я. 480 с.

15. Географічна енциклопедія України: В 3-х т. Ред-Г35 кол: О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. К.: «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана. 1990. Т. 2: З.–О. 480 с.

16. Герасимова И. И. Украина и Молдавия. М.: Наука. 1972. 440 с.

17. Горение и пожары в лесу / под ред. Н. П. Курбатского. Красноярск: СО АН СССР. 1984. 115 с.

18. Горшенин Н. М., Диченков Н. А., Швиденко А. Й. Лесная пирология. Львов: Выща школа. 1981. 160 с.

19. Григора І. М., Соломаха В. А. Основи фітоценології. К.: Фітосоціоцентр, 2000. 240 с.

20. Гуржій Р. В. Динаміка горимості лісів Київського обласного управління лісового і мисливського господарства (ОУЛМГ). Здоров’я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6–7 квітня. 2017 р. К.: НУБіП України, 2017. С. 66–67.

21. Гуржій Р. В. Тенденції виникнення лісових пожеж у лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства. Науковий вісник НУБіП України. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2017. Вип. 266. С. 104–109.

22. Гуржій Р. В., Малованюк А. В. Просторово-часовий розподіл лісових пожеж в Україні за даними супутникової зйомки. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів». Національний університет біоресурсів і природокористування України, 27 березня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 46–47.

23. Гуржій Р. В., Яворовський П. П. Запаси наземних лісових горючих матеріалів в лісах Київського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 124–130.

24. Гуржій Р. В., Яворовський П. П., Сидоренко С. Г. Дослідження лісових горючих матеріалів стан та персективи. Історія освіти, науки і техніки в Україні. Матеріали XIV-ї всеукр. наук.-практ. конф., молодих учених та спеціалістів, 17 травня. 2019 р. К.: НААН, ННСГБ, 2019. С. 534–536.

25. Державна служба статистики: веб-сайт. URL:http://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення: 09.07.2020).

26. Дерновоподзолистые почвы. М. И. Полупан и др. Почвы Украины и повышение их плодородия. К.: Урожай, 1988. Т. 1. С. 128–136.

27. Душа-Гудым С. И. Лесные пожары на территориях загрязненных радионуклидами. Охрана и защита леса. Механизация лесопользования: обзорная информация. 1995. Вып. 9. С. 50.

28. Евдокименко М. Д. Пирогенные трансформации гидротермического режима почвы в сосновых лесах Забайкалья. Пожары в лесных экосистемах Сибири. Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. 2008. С. 122–125.

29. Запаси підстилки та живого надґрунтового покриву як показник ризику виникнення пожеж у соснових лісах Полісся: [Ворон В. П. та ін.]. РВВ НЛТУ,

2018. Вип. 16. С. 9–16.

30. Зібцев С. В., Миронюк В. В., Богомолов В. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. Перехід від проекту протипожежного впорядкування до системи підтримки прийняття рішень в рамках інтегрованої системи управління пожежами. Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів, 6–8 груд. 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 58–60.

31. Моніторинг ландшафтних пожеж Транскордонної Рамсарської території «Ольмани-Переброди» за даними дистанційного зондування Землі. [Зібцев С. В. та ін.]. Лісівництво і агролісомеліорація. 2019. Вип. 134 С. 88–95.

32. Зібцев С. В. Аналіз особливостей лісопожежної обстановки та стану протипожежної охорони лісу в зонах радіаційного забруднення. Наукові доповіді Національного аграрного університету. 2006. № 4 (5). С. 45–48.

33. Иванова Г. А., Иванов А. В. Зонально-географические особенности пожаров в сосновых лесах Средней Сибири. Пожары в лесных экосистемах Сибири: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. 2008. С. 132–133.

34. Инженерная экология: Учебник. / Под ред. проф. В. Т. Медведева. М.: Гардарики, 2002. 687 с.

35. Інформаційне агентство «Українські Національні Новини». 2007 – 2019. Privacy Policy. URL:https://www.unn.com.ua/uk/news/tag/lisovi-pozhezhi (дата звернення: 07.01.2020).

36. Карнаухов М. И., Михайлова М. А., Белякин А. А. Типы основных проводников горения на территории памятника природы «Митинские столбы» и их картографирование. Пожары в лесных экосистемах Сибири: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. 2008. С. 58–60.

37. Карти Гідрометцентру України Показники пожежної небезпеки: веб-сайт. URL:www.dsns.gov.ua/files/prognoz/2009/10/main.ua.php (дата звернення: 09.10.2020).

38. Кіт М. Г. Клімат ґрунтів і процеси ґрунтоутворення. Грунт – основа

добробуту держави, турбота кожного: матеріали VII з'їзду УТГА. Кн. 2. Харків, 2006. С. 82–84.

39. Кіт М. Г. Клімати ґрунтів західних областей України. Генезис, географія і екологія ґрунтів. Львів: Простір М. 1998. С. 46–53.

40. Клименко Н. А. Почвенные режимы гидроморфных почв Полесья УССР. К.: Изд-во УСХА, 1990. 174 с.

41. Клімат Полісся: дослідження вчених і довготривалий прогноз погоди на Поліссі. URL:http://www.polissya.eu/2012/01/wetlandsclimate-polissya-proekt-es.html (дата звернення: 15.04.2020).

42. Кліматичні та метеорологічні фактори. URL:http://www.lnu.edu.ua/faculty/geology/phis_geo/fourman/EbooksFVV/Programmes/Klimatology%20and%20Meteorology/Klimat.html (дата звернення: 17.04.2020).

43. Кондратьев К. Я. Глобальные изменения климата: данные изменений и результаты численного моделирования (НИ Центр экологической безопасности РАН). Исследование Земли из космоса. Санкт-Петербург. 2004. № 2. С. 61–96.

44. Конев Э. В. Лесопожарный определитель. Лесное хозяйство. 1986. № 7. С. 60–63.

45. Конев Э. В. Матиматическая модель горения лишайникового напочвенного покрова. Вопросы лесной пирологии. ИЛиД СО РАН СССР. Красноярск. 1972. С. 52–76.

46. Костриба О. В. Основи програмування. Частина 1. Visual C# Express Edition. [Цикл лекцій: навчальн. посібн.] Білогір'я. 2008. С. 74.

47. Краснощеков Ю. Н., Кузьмиченко В. В. Изменение зольного состава лесной подстилки при выжигании шелкопрядников в южной тайге Средней Сибири. Вестник КГУ: «Естественные науки». 2006. № 5. С. 110–117.

48. Крикун Г. В. Фракційний склад, запаси підстилки та опаду в біогеоценозах байраку Військового (Дніпропетровська обл.). Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. 2007. № 11. С. 46–50.

49. Кузик А. Д. Про взаємний вплив лісових пожеж і ґрунтів. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2009. Вип. 19.4.

С. 106–111.

50. Кузик А. Д. Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. Вип. 24.4. С. 214–218.

51. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиДСО АН СССР. 1970. С. 5–58.

52. Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и её измерение по местных шкалам. Лесные пожары и борьба с ними. М.: АН СССР. 1963. С. 5–30.

53. Левченко В. В., Борсук О. А., Борсук А. А. Лісові горючі матеріали: [навчальн. посібн.]. Київ: НУБіП України, 2015. 237 с.

54. Литвак П. В. Лесные экосистемы Полесья Украины. Житомир: Полісся, 2001. 340 с.

55. Ліпінський В. М., Дячук В. А. Клімат України: [монографія]. Київ: Вид-во Раєвського. 2003. 342 с.

56. Лісівництво: [підр. / за ред. В. Є. Свириденка. 3-тє вид., переробл. та доповн.]. Київ: Арістей, 2008. 544 с.

57. Лісова пірологія: [підр. / Зібцев С. В. та ін.]. Київ: Арістей, 2016. 331 с.

58. Матвеев А. М. Запасы лесных горючих материалов и их географическая изменчивость в криолитозоне Средней Сибири. География и природные ресурсы. 2006. № 4. URL:http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipk/2006-4/54.pdf. (дата звернення: 05.09.2018).

59. Матвеева Т. А. Запасы лесных горючих материалов в горных лесах Южной Сибири. Вестник алтайского государственного университета. 2008. №12 (50). URL:http://www.asau.ru/doc/nauka/vestnik/2008/12/Lesnoe%20Hozjaistvo_Matveeva.pdf (дата звернення 11.10.2017).

60. Медведев Н. Е. Леса Бурятии. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во. 1976. 130 с.

61. Мелехов И. С., Душа-Гудым С. И. Лесная пирология. Москва: МЛТИ. 1979. 80 с.

62. Мохов И. И. Региональные модельные оценки пожароопасности при

глобальных изменениях климата. Доклады Академии Наук. Москва: 2006. № 6. С. 1–5.

63. Мова програмування. C#: веб - сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/C_Sharp. (дата звернення 11.17.2019).

64. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы её определения. Москва: Гослесбумиздат, 1945. 76 с.

65. Нестеров В. Г. Пожарная охрана леса. Москва: Гослестехиздат, 1945. 176 с.

66. Особливості формування комплексу наземних лісових горючих матеріалів у соснових лісах Київського Полісся: [Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Сидоренко С. Г.]. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2019. Вип. № 2. С. 73–81.

67. Особливості формування стиглих деревостанів після низових пожеж: [Сидоренко С. Г. та ін.]. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 127. С. 169–176.

68. Пачаури Р. К., Райзингер А. Изменение климата. Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Москва: Научная мысль, 2007. 104 с.

69. Поварніцин В. О. Ліси Українського Полісся. Київ: Вид-во УАН УРСР, 1959. 208 с.

70. Постанова КМУ № 555 від 27 липня 1995. Про затвердження санітарних правил в лісах України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF#Text (дата звернення: 12.07.2018)

71. Постпирогенные изменения елементного состава лесных горючих материалов и почв в бореальных лесах Сибири: [Иванова Г. А. и др.]. Сибирский экологический журнал. 2003. № 6. С. 735–742.

72. Пятое национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата, подготовленное на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции

Организации Объединённых Наций об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола 2009. URL:http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/124_051/print152169600 2207247> (дата звернення: 09.10.2019).

73. Редькин А. Ю., Волокитина А. В. Составление карт растительных горючих материалов в процессе лесоустройства. Пожары в лесных экосистемах Сибири: 2008 год. Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. 2008. С. 73–75.

74. Регіональний Східноєвропейський Центр моніторингу пожеж (REEFMC). URL: https://nubip.edu.ua/node/9083 (дата звернення: 07.10.2020).

75. Родин Л. Е., Базилевич Л. Н. Динамика органического вещества и биологический в основных типах растительности. Москва, 1965. 253 с.

76. Родин Л. Е., Ремезов Л. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Москва, 1967. 145 с.

77. Сафронов М. А. Об условиях высыхания лесных горючих материалов под пологом деревостоев. Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиДСО АН СССР. 1970. С 59–104.

78. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Швиденко А. Й. Лісова пірологія: [підр.]. Київ, 1999. 172 с.

79. Свириденко В. Є. Лісівництво. [Цикл лекцій: навчальн. посібн.]. Київ: Арістей, 2007. 391 с.

80. Сидоренко С. Г. Прогнозування стану та ймовірності відпаду соснових молодняків після низової пожежі у Лівобережному Лісостепу України. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку: матеріали наук. конф., присвяченої 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, 29–30 вересня 2015 року. Харків: УкрНДІЛГА, 2015. С. 135.

81. Сидоренко С. Г. Роль пошкодження крони на відновлення дерев

соснових молодняків, постраждалих в ході низових пожеж. Наука на службі сільського господарства: матеріали Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 5 березня Миколаїв. 2013. URL:http:miapv.com.ua/?dl_id=135 (дата звернення: 19.10.2020)

82. Сидоренко С. Г. Уровень летального повреждения кроны и ствола после низовых пожаров в сосновых молодняках Харьковской области. Агролесомелиорация в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: поиск новой модели: материалы Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых., 25–28 ноября 2013 года. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. С. 234–237.

83. Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Сидоренко А. Г. Особливості післяпожежного розвитку стиглих та перестійних сосняків, пройдених низовими пожежами в Лівобережному Лісостепу України. Аграрна наука, освіта, виробництво: європейський досвід для України: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 17–18 листопада 2015 року. Житомир: ЖНАЕУ, 2015. С. 249.

84. Сидоренко С. Г Оцінювання запасів лісової підстилки як основного наземного горючого матеріалу соснових лісів Лівобережного Лісостепу. Лісове і садово-паркове господарство. 2018. Вип. 1. С. 12–14.

85. Сидоренко С. Г., Сидоренко С. В. Лісотипологічний аналіз поженої небезпеки лісів Лівобережного Лісостепу України. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування. Матер. наук.-практ. конф., 29–30 листопада 2017 року. Харків, 2017. С. 121–122.

86. Sydorenko S., Sydorenko S., Hurzhii R., Yavorovskyi P. Post-fire tree mortality models for planting of different functional purpose. Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу: матер. Міжнар. науково-практ. конф., 24–25 жовт. 2019 року. Харків: ХНТУСГ, 2019. С. 58–59.

87. Сидоренко С. Г. Закономірності ландшафтного пожежного режиму в Лівобережному Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2021. Вип. 139. С. 115–123.

88. Солдатов А. Г., Тюков С. Ю., Туркевич М. В. Ліси України. К.: Вид-во УАСГН. 1960. 464 с.

89. Софронов М. А., Волокитина А. В. Методика пирологического обследования и описания лесных участков, пройденных пожарами. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачова СО РАН. 2007. 71 с.

90. Софронова Т. М., Волокитина А. В., Софронов М. А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах южного Прибайкалья. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, ГОУ ВИО, 2007. 236 с.

91. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2002. 206 с.

92. ФАО. Состояние лесов мира 2018. Пути к достижению устройчивого развития с учетом значения лесов. Рим. 2018: URL:http://www.fao. org/countryprofiles/index/en/?iso3=UKR (дата звернення: 21.02.2019).

93. Фуряев И. В., Дементьева Ю. С. Формирование комплексов напочвенных горючих материалов в сосняках-разнотравных Верхне-Обского лесного массива. Пожары в лесных экосистемах Сибири: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. 2008. С. 190–193.

94. Ходаков В. Е., Жарикова М. В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Либідь, 2011. 470 с.

95. Цветков П. А. Пожароустойчивость северотаежных лиственничников. Хвойные бореальной зоны. 2006. Вып. 3. С. 126–132.

96. Цветков П. А. Исследование природы пожаров в северной тайге Средней Сибири. Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. XXIII, № 2. С. 186–195.

97. Чаба Матиаша. Леса и изменение климата в Восточной Европе и Центральной Азии. Рим. 2010. 209 с.

98. Шевчук Н. Ю. Склад підстилок штучних лісових насаджень у південній частині Криворіжжя. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2005. Вип. 13. Т. 1. С. 286–289.

99. Шестое национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата, подготовленное на выполнение статей 4 и 12 Рамочной конвенции

Организации Объеденённых Наций об изменении климата и статьи 7 Киотского протокола. 2012. (2012, листопад, 21). Innovative Solutions In Modern Science № 8 (27), 2018. URL:http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/993_532 (дата звернення: 27.11.2019)

100. Шешуков М. А. К вопросу составления пожарных карт. Сб. трудов Даль НИИЛХ. 1996. Вып. 8. С. 407–416.

101. Яворовський П. П., Гуржій Р. В. Аналіз горимості лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції за 2004–2016 роки. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 131. С. 158–164.

102. Яворовський П. П., Гуржій Р. В. Горимість лісів по підприємствах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 років. Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві. Матер. Міжнар. наук.-практ. конф., 18–19 квітня 2019 року. К.: НУБіП України, 2019. С. 86–87.

103. Яворовський П. П., Гуржій Р. В. Моніторинг лісових пожеж в лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 рр. Колесниковські читання: матеріали Всеукр. наук.-прак. конф., 16–17 жовтня 2018 року. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2018. С. 126.

104. Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Малованюк А. В. Горимість лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції. Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–25 квітня 2018 року. К.: Видавництво Ліра-К, 2018. С. 177–178.

105. Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Сидоренко С. Г. Закономірності накопичення наземних горючих матеріалів у сосняках Київського Полісся залежно від їх лісівничо-таксаційних показників. Відновлення, охорона й збереження рослинного світу лісів України в умовах техногенного навантаження та змін клімату. Матер. Міжнар. наук.-практ. конф., 15–16 жовтня. 2019 р. К.: НУБіП України, 2019. С. 97–98.

106. Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Сидоренко С. Г. Лісові горючі

матеріали в соснових насадженнях Боярської лісової дослідної станції як провідний чинник рівня пожежної небезпеки в лісі. Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6–8 грудня 2018 року. К.: НУБіП України, 2018. С. 134–135.

107. Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Тертишний А. П. Influence of the pine plantation age on forest combustible materials in the Kyiv Polissya conditions (Ukraine). Сучасний рух науки : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., 6–7 червня. 2019 року. Дніпро, 2019. С. 1928–1930.

108. Яковлев А. П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, Сиб. Отд-ние, 1979. С. 195–213.

109. Agee J. K., Skinner C. N. Basic principles of forest fuel reduction treatments. Forest ecology and management. 2005. № 211. Pp. 83–96.

110. Agee J. K., Wakimoto R. H., Biswell H. H. Fire and fuel dynamics of Sierra Nevada conifers. Forest ecology and management. 1978. No. 1. Pp. 255–265.

111. Balling R. C., Meyer G. A., Wells S. G. Relation of surface climate and burned area in Yellowstone National Park. Agric. For. Meteor. 1992. No. 60. Pp. 285–293.

112. Ben Watson. Writing High-Performance .NETCode. 2014. 262 p. URL: http://www.writinghighperf.net/buy/ (Last accessed: 07. 06. 2019).

113. Byram G. M. Combustion of forest fuels. In Forest Fire: Control and Use. R. P Davis (editor). McGraw-Hill Co., NY. 1959. Pp. 61–89.

114. Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS). URL: http://www.fire.ak.blm.gov/content/weather/2008%20CFFDRS%20Weather%20Guide.pdf. (Last accessed: 01.03.2018).

115. CBS News. "Brazil's Bolsonaro says he will accept aid to fight Amazon fires". August 27, 2019. Retrieved August 30, 2019.

116. Current weather and forecasts in your city. URL: http://openweathermap.org/ (Last accessed: 05. 07. 2019).

117. Dowdalla M., Bondarb Y., Skipperud L. Investigation of the vertical

distribution and speciation of 137 Cs in soil profiles at burnt and unburnt forest sites in the Belarusian Exclusion Zone. Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 175–176. Pp. 60–69.

118. Egging L. T., Barney R. J. Fire management: a component of land management planning. Environmental management. 1979. Vol. 3(1). Pp. 15–20.

119. Fire behavior and fire danger software. Missoula Fire Sciences Laboratory. URL: http://www.firemodels.org (Last accessed: 11. 04. 2018).

120. Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and environment N. Evangeliou et al. Ecological monographs. 2015. Vol. 85(1). Pp. 49–72.

121. FIREMON Database User Manual. 56 p. URL: http://frames.nbii.gov/documents/ projects/firemon/FMDBv4_Method.pdf (Last accessed: 19. 09. 2018).

122. FIREMON Software. URL: http://frames.nbii.gov/documents/projects/firemon/ JFiremonInstaller.v2.1.2.msi (Last accessed: 25. 09. 2018).

123. Fites-Kaufman, Jo Weixelman, David Merril, Amy. One-Year Postfire Mortality of Large Trees in Low and Moderate-Severity Portions of the Star Fire in the Sierra Nevada1. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-189 2008. 2019. Pp. 279–284.

124. Forest Fire Management and Organizations. C. Chandler et al. Fire and Forestry. 1991. Vol. II. 298 p.

125. Fuller M. Forest fires. An introduction to wildland fire behavior, management, firefighting and prevention. New York: Wiley Nature editions, 1991. 232 p.

126. Glossary of forest fire management terms. Canadian Committee on Forest Fire Management National Research Council of Canada. Ottawa, 1987. 91 p.

127. Groisman P., Ivanov S. Regional Aspects of Climate-Terrestrial-Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe. Springer. 2009. 288 p.

128. Giglio L., Boschetti L., Roy D., Humber M., Justice C. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. 2018. Pp. 72–85. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718303705 (Last accessed:

23. 11. 2020).

129. Hao W. M., Bondarenko O. O., Zibtsev S. V., Hutton D. Vegetation Fires, Smoke Emissions, and Dispersion of Radionuclides in the Chernobyl Exclusion Zone. Developments in Environmental Science. 2008. Vol. 8. Pp. 265–275.

130. Hille M. G., p S. L. Mixed conifer forest duff consumption during prescribed fires: tree crown impacts. Forest science. 2005. Vol. 51 (5). Pp. 417–424.

131. Heikkila T. V., Gronguist R., Juruelius M. Handbook on forest fire control. Helsinki, 1993. 239 p.

132. Hea H. S., Shanga B. Z., Crowb T. R., Gustafsonc E. J., Shifleyd S. R. Simulating forest fuel and fire risk dynamics across landscapes. LANDIS fuel module design. Ecological Modelling. 2004. Vol. 180. Pp.135–151

133. Hurzhii R. V., Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., Tyshchenko O. M., Tertyshnyi A. P., Yakubenko B. Ye. Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2021. Vol. 63 (2). Pp. 116–124.

134. International Multi-Lingual Fire Management Terminology. Global Fire Monitoring Center. URL: http://www.fire.uni-freiburg.de/literature/RUS-MON-GER http://www.fire.uni-freiburg.de/literature/RUS-MON-GER-ENG-Glossary-Web.pdf (Last accessed: 15. 11. 2018).

135. Jesús San-Miguel-Ayanz, Tracy Durrant, Roberto Boca, Giorgio Libertà, Alfredo Branco, Daniele de Rigo, Davide Ferrari, Pieralberto Maianti, Tomàs Artés Vivancos, Hugo Costa, Fabio Lana, Peter Löffler, Daniel Nuijten, Anders Christofer Ahlgren, Thaïs Leray. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa. 2017. DOI: 10.2760/663443.

136. Keeley J. E. Impact of antecedent climate on fire regimes in coastal California. Int. Journal of Wildland Fire. 2004. Vol. 13. Pp. 173–182.

137. Kessel S. R. Fire modelling, fire management, and land management planning. Environmental management. 1979. Vol. 3(1). Pp. 1–2.

138. Key C. H., Benson N. C. Landscape assessment: sampling and analysis methods. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System: USDA Forest.

139. Key C. H., Benson N. C. Remote Sensing Measure of Severity: The Normalized Burn Ratio. FIREMON Landscape Assessment (LA) V4 Sampling and Analysis Methods. 2004. Pp. 1–16.

140. Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Regional signatures of changing landscape and climate of northern central Siberia in the Holocene. Russian Geology and Geophysics 2004. Vol. 45(6). Pp. 672–685.

141. Kipfmueller K. F., Swetnam T. W. Fire-climate interactions in the Selway–Bitterroot wilderness area. Wilderness Science in a Time of Change Conference: Wilderness Ecosystems, Threats, and Management. USDA Forest Service, 2000. Vol. 5. Pp. 270–275.

142. Landsberg J. D. A review of prescribed fire and tree growth response in the genus Pinus. Twelfth Conference on Fire and Forest Meteorology: proceedings. Georgia, 26–28 October. 1993. Georgia: USA, 1994. Pp. 326–346.

143. Laslo D. Developing multi-platform desktop applications with .NET Core 3 and Visual Studio 2019: Build C# GUI application for macOS, Linux and Windows. 2019. 321 p.

144. Loboda T., Csiszar I. Estimating burned area from from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error. Contemporary Earth Remote Sensing From Space. 2005. V. 2. Pp. 415–421.

145. Mason W. L. Alìa R. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales 2000. Vol. 9. 317 p.

146. National Fire danger Rating System (NFDRS). URL: http://www.wrh.noaa.gov/sew/fire/olm/nfdrs.htm (Last accessed: 09. 10. 2018).

147. NASA. Scientific Visualization Studio. 17 November, 2014.

148. Nepyivoda V. Forestry in the Chornobyl Exclusion Zone: Wrestling with an Invisible Rival. Journal of Forestry. 2005. Vol. 103. Iss. 1. Pp. 36–40.

149. OpenWeatherMap, (OWM). URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenWeatherMap (Last accessed: 07. 11. 2019).

150. Panek J. Zespol wisienki stepowej (Pru netum fruticosae) i jego sukcesia. Rocz. Wolynski. Rowne. 1931. Vol. 11. Pp. 403–425.

151. Panek J. Wisniowa gora na Wolyniu. Ochr. Przyr. 1933. Rocz. 13. Pp. 72–78.

152. Panek J. Roslinnosc stepowa I naskalna lessowego Wolynia. Rocz. Wolynski. Rowne. 1939. 8. Pp. 26–66.

153. Pyne S. J., Andrews P. L., Laven R. D. Introduction to Wildland Fire: Fire Management in the United States: 2-nd ed. 1996. Pp. 808.

154. Rollins M. G. LANDFIRE: a nationally consistent vegetation, wildland fire, and fuel assessment. Int. Journal of Wildland Fire. 2009. Vol. 18. Pp. 235–249.

155. Richard M., Mustafa B., Sander B., et al. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. 2011. Pp. 132. URL: https://doi.org/10.1038/nclimate1058

156. Stacey R. European Glossary for Wildfires and Forest Fires. European forest Fire Network. URL: http://www.fire.uni-freiburg.de/literature/EUFOFINET-FireGlossary.pdf (Last accessed: 11. 12. 2018).

157. Stocks B. J., Lawson B. D., Alexader M. E. et al. The Canadian forest fire danger rating system: an overview. The Forestry Chronicle. 1989. Vol. 65, N. 6. Pp. 450–457.

158. Stocks B. J., Simard A. J. Forest fire management in Canada. Reprinted from. Disaster Management. 1993. Vol. 5, N. 1. 8 p.

159. Sunderman S. O., Weisberg P. J. Remote sensing approaches for reconstructing fire perimeters and burn severity mosaics in desert spring ecosystems. Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 115. Issue 9. Pp. 2384–2389.

160. Sukhinin A. I. The Krasnoyarsk Subsystem of Wildfire Monitoring from Space. International Boreal Forest Research Association Conference, Duluth, Minnesota, USA. 1997. Pp. 37–42.

161. Sydorenko S., Voron V., Koval I., Sydorenko S., Rumiancev M., Hurzhii R. Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Central European Forestry Journal. 2021. Vol. 67. Pp. 21–29.

162. Sofronov M. A., Volokitina A. V. Forecasting regional pyrological situation in boreal forests under global climate change. Soros Foundation. The Program East-East

Global Regional Ecological Problems, Editorin-Chief Prof. R. G. Khlebopros. Krasnoyarsk, 1994. Pp. 40–47.

163. Sitt D. Climate Change. The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers. 2013.

164. Szafer W. Element gorski we florze nizu Polskiego. Krakow: Pol. Akad. Umiejetn., 1930. 112 p.

165. Szafer W. Szata roslinna Polski Nizowej. I. 2. Szata roslinna Polski. Warszawa. 1959. Vol. 2. 333 p.

166. Tymstra C., Bryce R., Wotton B., Armitage O. Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model: Information Report NOR-X-417. 2010. 88 p.

167. Trabaud L. Fuel mapping helps forest firefighting in Southern France. Fire Management Notes. 1978. N. 1. Pp. 14–17.

168. Velez R. Preventing forest fires through silviculture. Unasylva. 1990. V. 41. Pp. 10–12.

169. Viro P. J. Prescribed burning in forestry. Communication. Inst.-Helsinki: Forestalls Fannies. 1969. 215 p.

170. Visual Studio. URL: https://visualstudio.microsoft.com/ru/ (Last accessed: 12. 11. 2019).

171. Weber R. O. Modelling fire spread through fuel beds. Prog. Energy Combust. Sci. 1991. Vol. 17. Pp. 67–82.

172. Westerling A. L., Brown T. J., Gershunov A., Cayan D. R., Dettinge M. D. Climate and wildfire in the western United States. Bull. Amer. Meteor. Soc. 2003. Vol. 84. Pp. 595–604

173. Wesk J. Die Waldbrand, seine Vorbeugung und Kampfung. Stuttgart: Kohehammer Verlag. 1950. 83 p.

174. Wright J. C. Forest-fire hazard research as developed and conducted at the Petawawa forest experimental station. Ottawa: Forest Service Department of the Interior Canada, 1967. 40 p.

175. Wilson Carl C. Boadsides corridors with high fire kazand and risk. J. Forest.

1979. No. 9.

176. Windows Forms overview. URL: https://docs.microsoft.com/enus/dotnet/framework/winforms/windows-forms-overview (Last accessed: 20.11.2019).

177. Zabulonov Yu. L., Burtnyak V. M., Zolkin I. O. Airborne gamma spectrometric survey in the Chernobyl exclusion zone based on oktokopter UAV type. PAST. No. 5 (99). 2015. Pp. 163–168.

178. Zhang Y. H., Wooster M. J., Tutubalina O., Perry G. L. Monthly burned area and forest fire carbon emission estimates for the Russian Federation from SPOT VGT. Remote Sensing of Environment. 2003. V. 87. Iss. 1. Pp. 1–15.

179. Zibtsev S. V., Goldammer J. G., Robinson S., Borsuk O. A. Fires in nuclear forests: silent threats to the environment and human security. Unasylva. 2015. No. 243/244 (Vol. 66). Pp. 40–51.

180. Zibtsev S. V., Oliver C. D., Goldammer J. G., Hohl A., Borsuk O. A. Wildfires management and risk assessment in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. Twenty-five years after Chernobyl accident. Safety for the future: International Conference, 20–22 April 2011 year: Kyiv, 2011. Pp. 187–191.

181. Zibtsev S. V., Oliver C. D., Goldammer J. G., Hohl A., Borsuk O. A. Wildfires Risk Reduction from Forests Contaminated by Radionuclides: A Case Study of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. Living with fire Addressing global change thought integrated fire management: International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 9–13 May 2011 year. Sun City, 2011. 23 p.

182. Zibtsev S. V., Oliver C. D., Goldammer J. G., Hohl A., Borsuk O. A. Needs for development of wildfire management in the Chornobyl exclusion zone. Twenty-five years after Chernobyl accident. Safety for the future: International Conference, 20–22 April 2011. Kyiv, 2011. Pp. 354–355.

183. Zibtsev S. Ukraine forest fire report. International Forest Fire News (IFFN). 2010. Vol. 40. Pp. 61–75.

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях України, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. **Гуржій Р. В.** Тенденції виникнення лісових пожеж у лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2017. Вип. 266. С. 104–109.

2. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Аналіз горимості лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції за 2004–2016 роки. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 131. С. 158–164. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень за книгами обліку лісових пожеж у Боярській ЛДС та визначено пожежні максимуми і відносну горимість лісів*).

3. **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П. Запаси наземних лісових горючих матеріалів в лісах Київського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 124–130. (*Здобувач заклав пробні площі, провів експериментальні дослідження, зробив аналіз отриманих даних та визначив закономірність накопичення лісових горючих матеріалів за класами віку*).

4. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Особливості формування комплексу наземних лісових горючих матеріалів у соснових лісах Київського Полісся. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: «Лісівництво та декоративне садівництво». 2019. Вип. 2. С. 73–81. (*Здобувачем закладено 16 пробних площ, проведено експериментальні дослідження, здійснено кореляційний аналіз дослідних даних та встановлено тісний кореляційний зв'язок між гуміфікованим шаром підстилки та класом віку соснових насаджень)*.

Статті у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу

5. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P., Sydorenko S. H., Levchenko V. B., Tyshchenko O. M., Tertyshnyi A. P., Yakubenko B. Ye. Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2021. Vol. 63 (2). Pp. 116–124. (*Здобувачем закладено 32 тимчасові пробні площі в чистих соснових насадженнях різного віку у межах Київського Полісся, досліджено лісові горючі матеріали та встановлено їх варіативність за класами віку*).

6. Sydorenko S., Voron V., Koval I., Sydorenko S., Rumiancev M., **Hurzhii R.** Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Central European Forestry Journal. 2021. Vol. 67 (1). Pp. 21–29. (*Здобувач провів експериментальні дослідження, зробив аналіз отриманих даних та визначив вплив низових лісових пожеж на чисті соснові насадження*).

Тези наукових доповідей

7. Гуржій Р. В. Динаміка горимості лісів Київського обласного управління лісового і мисливського господарства (ОУЛМГ). Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Здоров’я лісів, екосистемні послуги та лісові продукти для суспільства», 6–7 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 66–67.

8. **Гуржій Р. В.,** Малованюк А. В. Просторово-часовий розподіл лісових пожеж в Україні за даними супутникової зйомки. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів». Національний університет біоресурсів і природокористування України, 27 березня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 46–47. (*Здобувачем здійсненно літературний аналіз та перспективність застосування систем дистанційного моніторингу лісових пожеж*).

9. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Малованюк А. В. Горимість лісових насаджень Боярської лісової дослідної станції. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу», присвяченій 120-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України та кафедри ботаніки ННІ лісового і садово-паркового господарства, 22–25 квітня 2018 року: тези

доповіді. К., 2018. С. 177–178. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень та встановленно піки горимості у межах Боярської ЛДС*).

10. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Моніторинг лісових пожеж в лісах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 рр. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Колесниковські читання» присвяченої пам'яті професора О. І. Колесникова, 16–17 жовтня 2018 року: тези доповіді. Х., 2018. С. 126. (*Здобувачем проведено аналіз горимості за 18-річний період за книгами обліку лісових пожеж по лісогосподарських підприємствах та встановлено піки горимості*).

11. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P. Reserves of terrestrial forest combustible materials in the Kyiv Polissya forest. Proceedings International scientific and practical conference «Addressing Ecological and Social Challenges for Forests and Forest Management», 22–24 жовтня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 25. (*Здобувачем проаналізовано тенденції накопичення лісових горючих матеріалів у чистих соснових насадженнях у зоні Київського Полісся*).

12. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Лісові горючі матеріали в соснових насадженнях Боярської лісової дослідної станції як провідний чинник рівня пожежної небезпеки в лісі. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів», 6–8 грудня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 138–139. (*Здобувачем закладено пробні площі, проведено регресійний аналіз, виявлено, що гуміфікований шар лісової підстилки визначається віком соснових насаджень*).

13. **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П., Сидоренко С. Г. Дослідження лісових горючих матеріалів стан та перспективи. Матеріали XIV-ої всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та спеціалістів «Історія освіти, науки і техніки в Україні», присвяченої ювілейним датам від дня народження видатних учених в галузі аграрних наук – основоположників сільськогосподарської дослідної справи в Україні за своїми напрямами, професорам – Богданову Сергію Михайловичу (1859–1920), Шіндлеру Каміллу

Гавриловичу (1869–1940) та член-кореспонденту АН УРСР Тюленєву Миколі Олександровичу (1889–1969), 17 травня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 534–536. (*Здобувачем проведено аналітичний огляд літератури та визначено необхідні подальші пірологічні дослідження для здійснення контролю над лісовими пожежами)*.

14. **Hurzhii R. V.,** Yavorovskyi P. P. The dependence of the fire of forest plantations Boyarka forest experimental station on the age structure, forest growing conditions and reserves of forest combustible materials. Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві», 18–19 квітня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 53. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень Боярської ЛДС, визначено залежність їх виникнення від запасу лісових горючих матеріалів та віку насадження*).

15. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Горимість лісів по підприємствах Київського обласного управління лісового і мисливського господарства за період 1999–2016 років. Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві», 18–19 квітня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 86–87. (*Здобувачем проаналізовано горимість лісових насаджень та визначено класи природної пожежної небезпеки по лісогосподарських підприємствах).*

16. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Тертишний. Influence of the pine plantation age on forest combustible materials in the Kyiv Polissya conditions (Ukraine). VII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасний рух науки» 6–7 червня 2019 року: тези доповіді. Дніпро, 2019. С. 1928–1930. (*Здобувачем закладено пробні площі, досліджено за групами лісові горючі матеріали та визначено найбільш пожежонебезчні соснові лісові насадження*).

17. Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.,** Сидоренко С. Г. Закономірності накопичення наземних горючих матеріалів у сосняках Київського Полісся залежно від їх лісівничо-таксаційних показників. Міжнародна науково-практична конференція «Відновлення, охорона й збереження рослинного світу лісів України

в умовах техногенного навантаження та змін клімату», 15–16 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 97–98. (*Здобувачем закладено пробні площі та досліджено закономірності накопичення наземних лісових горючих матеріалів за класами віку насадження*).

18. Sydorenko S., **Hurzhii R.,** Yavorovskyi P. Post-fire tree mortality models for planting of different functional purpose. Міжнародна науково-практична конференція «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу», 24–25 жовтня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 58–59. (*Здобувачем спрогнозовано майбутній ризик збільшення частоти природних лісових пожеж*).

19. Сидоренко С. Г., Степанова С. М., Сидоренко С. В., Яворовський П. П., **Гуржій Р. В.** Оцінювання запасів наземних горючих матеріалів у міських соснових лісах Харкова. Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Ефективне функціонування екологічно стабільних територій у контексті стратегій стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти», 12 грудня 2019 року: тези доповіді. Полтава, 2019. С. 60. (*Здобувачем проаналізовано запаси наземних лісових горючих матеріалів за класами віку та визначено їх варіативність*).

20 **Гуржій Р. В.,** Яворовський П. П., Левченко В. Б., Устименко Я. І., Сидоренко С. Г. «Пожежний прогноз»: новітній програмний продукт для оцінювання стану пожежної небезпеки в лісах України. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку (УкрНДІЛГА – 90 років)» 23–24 червня 2021 року: тези доповіді. Х., 2021. С. 44–45. *(Здобувачем розроблено новітній програмний продукт, який прогнозує ймовірний ризик виникнення лісових пожеж у лісах України на Digitals-платформі).*

21. Левченко В. Б., **Гуржій Р. В.** Моніторинг і прогноз надходження вуглецю та продуктів горіння в атмосферу від масштабних лісових пожеж на прикладі Перганського природоохоронного науково-дослідного відділення Поліського природного заповідника. Матеріали ІІ міжнародної науково-практичної інтернет-

конференції «Актуальні проблеми формальної і не формальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» 23 березня 2023 року: тези доповіді. Х., 2023. С. 83–85. (*Здобувачем здійсненно лісопірологічний моніторинг, досліджено викиди, продукти горіння під час неконтрольованих лісових пожеж)*.

22. Левченко В. Б., Ганжалюк Т. С., **Гуржій Р. В.** Актуальні проблеми лісовідновлення в умовах війни на лісопокритих площах філії Овруцьке спеціалізоване лісове господарство ДП «Ліси України». Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнні відбудови: виклики для України та Світу. 25 травня 2023 року: тези доповіді. К., 2023. С. 114–116. (*Здобувачем проведено моніторингові дослідження пошкодження лісів в наслідокок війни, визначено найбільш оптимальні метотоди їх відновлення та підготовлено і подано до публікації тези).*

Авторське свідоцтво

23. Яворовський П. П., Гуржій Р. В., Левченко В. Б., Устименко Я. І., Сидоренко С. Г., Пузріна Н. В., Бойко Г. О. Авторське свідоцтво на комп’ютерну програму: «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на DIGITALS-платформі». № 95983. *(Здобувачем розроблено програму та алгоритм програмного забезпечення).*

Додаток Б
Пробні площі у межах Київського Полісся

№ проби	Підприємство	Лісництво	Квартал	Виділ	Площа, га	Тип лісу, ТЛУ	Склад (характ. Дерев)	Ярус	Група віку	Клас бонітету	Вік, років	Діаметр, см	Висота, м	Повнота	Бонітет	Запас, м3•га-1	тігротоп	трофотоп	Листя і кора	жнп т/га	100 годин (2,6-7,6 см)	10 годин (0,7-2,5 см)	до 1,0 см	1 година (до 0,6 см)	(H) Розкладений горизонт	(F) Напівроскладений горизонт	Шишки	мох	трава	Опад	II група (F+H) Підстилка	Запас I групи	Запас I і II групи	Підстилка усього L+F+H
1	Боярська ЛДС	Боярське	41	2	1,9	С2	10 Сз	1	2	1	**15**	7,3	7,4	1,17	1А	60,14	2	3	4,8486	0,11						8,9694				4,8486	8,9694	4,8486	13,818	13,818
2	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Шпильківське	8	20	0,6	С2	0Сзв+Дз	1	2	1	**15**	6,7	6,9	0,8	1	64	2	3	6,0142	0,9				0,2542		3,1452			0,8459	6,2684	3,1452	6,2684	9,4136	9,1594
3	Боярська ЛДС	Боярське	94	16	2,2	С2	10 Сз	1	2	1	**30**	14,9	12,5	1,3	1	165	2	3	8,4623	0			4,72	0,2429	5,1234	6,285	1,0441			14,4693	11,4084	14,4693	25,8777	19,8707
4	Боярська ЛДС	Плесецьке	183	16	1,1	С2	0 Сзв + Д	1	4	1А	**45**	21,9	20,8	0,72	1А	249	2	3	3,0598	0,12	2,295	3,698	2,1	1,281	8,5159	11,127	1,602	2,98124		8,0428	19,6429	11,024	27,6857	22,7027
5	Боярська ЛДС	Боярське	202	18	0,6	С2	10 Сз	1	5	1А	**60**	26,9	24,9	0,71	1А	314	2	3	3,7139	0,2		1,2165	2,61	0,3771	22,375	11,349	1,7055	3,12569		8,4065	33,724	11,5322	42,1305	37,4379
6	Боярська ЛДС	Плесецьке	82	9	1,3	С2	ві культу	1	7	1	**80**	33,8	28,4	0,71	1А	370	2	3	2,0859	0,7		1,7693	1,51	0,1839	11,462	3,2935	0,5794	5,12453		4,3592	14,7555	9,48373	19,1147	16,8414
7	Боярська ЛДС	Плесецьке	3	7	5,3	В2	+Дзв+Кл	1	2	1	**15**	6,2	7,9	0,89	1а	54	2	2	5,1926	0,7				0,1752		3,6577			0,7672	5,3678	3,6577	5,3678	9,0255	8,8503
9	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Поліське	3	12	0,8	В2	0 Сз+Дзв	1	2	1	**15**	5,9	7,4	0,88	1а	43	2	2	4,9412	0,4				0,1831		2,9578			0,6857	5,1243	2,9578	5,1243	8,0821	7,899
10	Боярська ЛДС	Боярське	90	14	1,8	В2	в+Дзв+Б	1	2	1	**23**	12,6	10,4	0,92	1а	99	2	2	2,3853	0,15	1,3009	0,7133	1,23	0,2023	15,613	3,3075	0,5654	0,11802		4,383	18,9205	4,50102	23,3035	21,3058
11	Боярська ЛДС	Боярське	114	3	2,1	В2	0 Сз + Б	1	3	1 А	**43**	15,1	16,3	0,74	1	173	2	2	5,0187	0,23	0,5509	0,4449	2,35	0,4911	17,418	7,2314	1,2301	0,80615		9,0899	24,6494	9,89605	33,7393	29,6681
12	Боярська ЛДС	Плесецьке	118	7	0,7	В2	0 Сз + Б	1	4	1б	**50**	23,4	20,9	0,67	1а	274	2	2	4,9322	0,26		0,7034	3,21	0,2735	4,0739	2,9193	1,2226	2,65846		9,6383	6,9932	12,2968	16,6315	11,9254
13	Боярська ЛДС	Плесецьке	117	8	0,3	В2	0 Сз + Вз	1	5	1А	**60**	25,7	24,1	0,72	1а	314	2	2	4,8602	0,24	0,7727	0,5422	2,54	0,3476	15,9728	8,2003	1,9166	3,98569		9,6644	24,1731	13,6501	33,8375	29,0333
14	Боярська ЛДС	Боярське	119	1	2,3	В2	10 Сз	1	6	1 А	**70**	27,6	23,4	0,8	1	273	2	2	3,032	0,16	1,4185	0,7538	2,14	0,3822	22,319	3,3527	0,6641	3,21216		6,2183	25,6717	9,43046	31,89	28,7037
15	Боярська ЛДС	Боярське	119	3	2,5	В2	10 Сз	1	6	1	**75**	32,3	25,4	0,74	1а	370	2	2	3,9459	0,18	1,8915	0,3187	5,41	0,2558	30,316	11,128	0,6506	4,01216		10,2623	41,444	14,2745	51,7063	45,3899
16	Боярська ЛДС	Боярське	117	3	1,9	В2	10 Сз	1	7	1	**80**	31,5	26	0,83	1	299	2	2	3,0794	0,21	0,2587	0,8366	6,23	0,618	27,365	7,2566	1,9301	4,65316		11,8575	34,6216	16,5107	46,4791	37,701
17	Боярська ЛДС	Боярське	88	25	1,3	В2	0 Сз + Б	1	6	1	**85**	32,4	26,7	0,79	1	306	2	2	5,93	0,3	0,5171	0,5425	2,56	0,5518		17,488	1,3869		0,792	10,4287	17,488	10,4287	27,9167	23,418
18	Боярська ЛДС	Боярське	90	10	1,2	В2	10Сз	1	8	1 А	**90**	34,2	27,1	0,65	1	313	2	2	9,2376	0,38	1,6023	0,8496	1,32	0,4562		36,78	3,3579	5,01257	0,418	14,3717	36,78	19,3843	51,1517	46,0176
19	ДП "Київське ЛГ"	Ірпінське	47	22	1,9	А2	10 Сз +Дз	1	3	1 А	32	16	14,3	0,8	1 А	190	2	1	1,62	0,14		1,22	2,83902	0,20	3,26	5,68	4,99	2,12	0,16	9,65	8,94	11,77	18,60	10,5697
20	ДП "Київське ЛГ"	Ірпінське	54	9	0,5	А2	0 Сз + Б	1	3	1	37	18	15	0,8	1	200	2	1	2,48	0,29		1,80	6,25764	0,49	5,12	9,76	5,32	1,30	0,26	14,54	14,88	15,84	29,42	17,362
21	ДП "Київське ЛГ"	Ірпінське	47	3	1,6	А2	10 Сзк	1	3	1 А	38	24	16	0,7	1 А	200	2	1	3,14	0,22		1,84	4,54604	0,50	4,23	8,96	8,02	9,95	0,39	16,20	13,19	26,15	29,39	16,3318
22	ДП "Київське ЛГ"	Ірпінське	47	15	3,3	А2	10 Сзк	1	4	1 Б	46	22	21	0,8	1 Б	340	2	1	2,46	0,33		5,47	7,60627	0,51	4,71	9,98	9,42	4,32	0,49	20,00	14,69	24,31	34,69	17,1554
23	ДП "Клавдіївське ЛГ"	Клавдіївське	65	14	0,6	А2	10 Сз	1	4	1 А	46	26	20	0,7	1 А	280	2	1	2,67	0,34		5,51	7,99499	0,42	4,81	9,67	9,81	4,21	0,68	20,90	14,48	25,11	35,39	17,1558
24	ДП "Поліське ЛГ"	Зеленополянське	13	2	4,1	А2	10 Сз	1	4	1	47	18	17	0,8	1	260	2	1	2,71	0,34	4,91	1,94	5,18	0,50	4,91	9,87	9,80	4,00	0,52	18,19	14,78	22,19	32,97	17,4942
25	ДП "Димерське ЛГ"	Шевченківське	60	14	1,6	А2	10 Сз	1	4	1 Б	49	22	23	0,75	1 Б	370	2	1	2,81	0,36	5,42	2,04	5,74434	0,52	5,01	9,91	9,62	4,42	0,12	18,69	14,92	23,11	33,61	17,7331
26	ДП "Вишедубичанське ЛГ"	Тарасівське	47	18	0,7	А2	10 Сз	1	4	1 А	59	26	23	0,7	1 А	340	2	1	3,70	0,22		1,70	2,84387	0,61	4,01	8,76	7,21	1,30	0,43	14,37	12,77	15,67	27,14	16,472
27	ДП "Макарівський ЛГ"	Макарівське	20	13	0,9	А2	10 Сзк	1	4	1 А	60	26	23	0,7	1 А	340	2	1	2,30	0,15	1,21	9,82	3,74333	0,55	3,94	6,21	4,92	3,92	0,24	11,51	10,15	15,43	21,66	12,4543
28	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Димарське	58	29	1,8	А2	10 Сзк	1	4	1 А	62	24	23	0,75	1 А	360	2	1	2,48	0,16	2,12	1,20	3,37707	0,49	4,10	7,13	6,02	4,01		12,36	11,23	16,37	23,59	13,7131
29	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Оливське	52	37	0,9	А2	10 Сзк	1	4	1 А	62	24	22	0,7	1 А	320	2	1	2,51	0,18	2,21	1,30	3,60304	0,60	4,15	7,96	6,51	4,02		13,23	12,11	17,25	25,34	14,6218
30	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Поліське	72	4	2,5	А2	10 Сз	1	4	1	63	24	21	0,8	1	340	2	1	2,60	0,21	2,11	1,41	3,55306	0,51	4,46	8,41	7,02	4,65	0,45	13,68	12,87	18,33	26,55	15,4718
31	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Поліське	72	42	2,9	А2	10 Сз	1	4	2	63	24	18	0,7	2	240	2	1	2,06	0,20	2,02	4,30	3,19595	0,53	3,52	7,51	5,20	2,75	0,55	10,98	11,03	13,73	22,01	13,0871
32	ДП "СЛП" Київоблагр-оліс"	Сидоровецьке	53	16	0,4	А2	10 Сз	1	5	1 А	64	28	25	0,65	1 А	350	2	1	2,70	0,23	2,20	1,45	3,2212	0,42	3,62	7,62	5,30	2,95		11,64	11,24	14,59	22,88	13,942

Додаток В

Пробні площі за методикою та програмним забезпечення FIREMON («Fire Monitoring and Inventory System»): розроблено за участі U.S. Forest Service, Missoula Fire Sciences Laboratory у співпраці з U.S. Geological Survey, National Park Service на кошти Joint Fire Science Program

Проба	Кватал	Виділ	ТЛУ	Вік	№ трансекти	Схил %	1-год	10-год	100-год	Глибина підстилки 1 (10м), см	Проективне покриття підстилки 1, %	Глибина підстилки 2 (20м),см	Проективне покриття підстилки 2, %
1	8	20	С2	15	1	0	14	2	0	2,3	100	2,5	100
					2	0	15	3	1	2,4	100	1,8	100
					3	0	7	2	0	1,9	100	2,4	100
					4	0	17	0	0	2,1	100	2,2	100
2	41	2	С2	15	1	0	15	1	0	1,5	100	1,3	100
					2	0	16	0	0	2,1	100	1,2	100
					3	0	14	2	0	1,8	100	1,9	100
					4	0	7	0	0	1,4	100	1,4	100
3	94	16	С2	30	1	0	21	19	2	2,5	100	2,7	100
					2	0	24	21	6	2,7	100	2,9	100
					3	0	19	15	4	2,1	100	3,2	100
					4	0	17	9	3	2,6	100	3,1	100
4	183	16	С2	45	1	0	15	14	9	9,7	100	9,4	100
					2	0	16	21	8	8,4	100	7,1	100
					3	0	21	14	7	7,4	100	6,9	100
					4	0	17	19	5	6,4	100	6,4	100
5	202	18	С2	60	1	0	5	4	9	5,4	100	5,6	100
					2	0	4	14	16	4,5	100	4,8	100
					3	0	9	14	10	5,8	100	5,9	100
					4	0	10	12	5	5,7	100	5,7	100
6	82	9	С2	80	1	0	5	14	9	6,5	100	7,7	100
					2	0	6	25	14	7,1	100	8,7	100
					3	0	8	21	10	7,4	100	8,1	100
					4	0	2	14	15	6,5	100	7,8	100
7	3	7	В2	15	1	0	12	3	1	2,5	100	2,4	100
					2	0	9	1	0	2,6	100	2,5	100
					3	0	7	2	1	1,9	100	2,4	100
					4	0	5	0	0	2,5	100	2,3	100
8	3	12	В2	15	1	0	9	1	0	2,1	100	2,3	100
					2	0	5	0	0	2,4	100	2,3	100
					3	0	6	0	0	2	100	2	100
					4	0	4	0	0	1,9	100	1,7	100
9	90	14	В2	23	1	0	12	2	1	2,4	100	3,1	100
					2	0	8	1	0	2,7	100	2,9	100
					3	0	6	5	0	2,6	100	2,4	100
					4	0	7	1	0	2,3	100	2,6	100
10	114	3	В2	43	1	0	9	20	4	4,5	100	5,7	100
					2	0	10	14	6	4,9	100	5,6	100
					3	0	11	7	5	4,9	100	5,4	100
					4	0	4	6	9	5	100	5,5	100
11	118	7	В2	50	1	0	6	15	2	3	100	2,5	100
					2	0	7	5	4	2,9	100	2,6	100
					3	0	4	7	0	3,1	100	2,8	100
					4	0	12	8	2	2,8	100	2,9	100
12	117	8	В2	60	1	0	9	4	2	5,7	100	5,4	100
					2	0	7	3	5	5,8	100	5,5	100
					3	0	4	5	4	6,1	100	6,1	100
					4	0	2	4	3	5,7	100	5,4	100
13	119	1	В2	70	1	0	4	2	8	6,4	100	6,3	100
					2	0	2	8	9	5,9	100	5,5	100
					3	0	4	7	4	6,5	100	6	100
					4	0	5	6	7	6,4	100	6,5	100
14	119	3	В2	75	1	0	4	8	8	7,8	100	7,9	100
					2	0	2	7	7	8	100	8,2	100
					3	0	1	6	4	8,1	100	8,4	100
					4	0	0	5	2	7,9	100	8,3	100
15	117	3	В2	80	1	0	2	6	9	6,5	100	6,5	100
					2	0	1	7	10	6,3	100	6,2	100
					3	0	4	14	11	6,1	100	6,4	100
					4	0	3	12	14	5,9	100	5,8	100
16	88	25	В2	85	1	0	2	4	12	4,7	100	5,4	100
					2	0	3	6	11	4,9	100	5,4	100
					3	0	1	8	3	5,2	100	5,7	100
					4	0	3	6	4	5,6	100	5,6	100
17	90	10	В2	90	1	0	3	6	17	8,6	100	8,3	100
					2	0	4	8	14	8,7	100	8,7	100
					3	0	6	12	12	8,9	100	8,7	100
					4	0	2	14	9	8,5	100	8,7	100
НІр05	0	0	0	0,21	0	0	0,24	0,22	0,27	0,21	0,21	0,22	0,21

Продовж. додатку В

Проба	Кватал	Виділ	ТЛУ	Вік	№ трансекти	Схил, %	1-год	10-год	100-год	Глибина підстилки 1 (10м), см	Проективне покриття підстилки 1, %	Глибина підстилки 2 (20м),см	Проективне покриття підстилки 2, %
18	47	22	A2	32	1	0	8	3	2	3,9	100	2,5	100
					2	0	9	2	0	4,5	100	4,6	100
					3	0	16	2	1	3,2	100	3,2	100
					4	0	5	6	0	4,1	100	4,2	100
19	54	9	A2	37	1	0	15	5	2	6,7	100	6,7	100
					2	0	12	4	3	6,7	100	6,9	100
					3	0	10	6	1	7,9	100	7,2	100
					4	0	9	4	0	8,5	100	8,1	100
20	47	3	A2	38	1	0	9	3	4	5,5	100	5,3	100
					2	0	13	5	2	4,2	100	5,1	100
					3	0	14	4	4	4,6	100	5,3	100
					4	0	4	3	1	5,1	100	5,4	100
21	47	15	A2	46	1	0	5	2	2	6,7	100	5	100
					2	0	4	6	5	5,8	100	5,2	100
					3	0	6	4	4	6,9	100	8,1	100
					4	0	9	8	3	6,7	100	7,1	100
22	65	14	A2	46	1	0	4	8	6	5,7	100	6,9	100
					2	0	7	7	3	5,4	100	6,9	100
					3	0	10	6	0	5,8	100	6,8	100
					4	0	9	4	1	5,9	100	6,4	100
23	13	2	A2	47	1	0	9	5	4	7,5	100	7,2	100
					2	0	5	6	1	6,9	100	7,1	100
					3	0	4	4	0	6,2	100	7,4	100
					4	0	12	2	2	7,1	100	7,2	100
24	60	14	A2	49	1	0	4	6	4	6,3	100	7,6	100
					2	0	5	5	3	7,5	100	8,1	100
					3	0	3	2	6	6,4	100	9,2	100
					4	0	4	4	5	8,5	100	8,3	100
25	47	18	A2	59	1	0	1	6	7	7,3	100	5,3	100
					2	0	3	7	2	6,2	100	7,6	100
					3	0	4	8	1	7,9	100	7,4	100
					4	0	5	5	0	7,1	100	7,2	100
26	20	13	A2	60	1	0	1	2	4	3,2	100	3,2	100
					2	0	0	1	6	2,4	100	3,6	100
					3	0	4	5	4	3,1	100	2,5	100
					4	0	5	2	2	3,5	100	4	100
27	58	29	A2	62	1	0	2	3	8	4,3	100	4,2	100
					2	0	1	4	4	5,6	100	4,8	100
					3	0	0	6	7	6,2	100	5,3	100
					4	0	3	4	4	5,8	100	4,2	100
28	52	37	A2	62	1	0	2	4	5	5,7	100	5,8	100
					2	0	3	3	6	6,2	100	5,1	100
					3	0	7	2	7	4,5	100	6,3	100
					4	0	3	4	9	5,1	100	5,3	100
29	72	4	A2	63	1	0	4	5	6	5,8	100	5,4	100
					2	0	6	7	5	6,1	100	7,3	100
					3	0	8	8	4	7,2	100	6,7	100
					4	0	4	4	4	5,9	100	6,4	100
30	72	42	A2	63	1	0	3	7	3	5,7	100	5,1	100
					2	0	5	8	6	6,2	100	5,9	100
					3	0	8	9	4	7,7	100	7,1	100
					4	0	9	8	6	4,5	100	5,2	100
31	53	16	A2	64	1	0	0	9	7	7,4	100	7,1	100
					2	0	5	4	8	9,2	100	9,1	100
					3	0	1	6	9	9,2	100	9,2	100
					4	0	2	8	8	9,7	100	8,4	100
32	13	14	A2	68	1	0	0	10	7	9,8	100	9,9	100
					2	0	3	12	5	8,9	100	9,3	100
					3	0	1	9	6	8,7	100	8,9	100
					4	0	0	10	7	8,9	100	9,3	100
НІР05	**0**	**0**	**0**	**0,36**	**0**	**0**	**0,42**	**0,35**	**0,34**	**0,32**	**0,21**	**0,25**	**0,21**

Додаток Г

Статистичний аналіз дослідних даних

Correlations (1ГуржійStatistica) Marked correlations are significant at p < ,05000 N=32 (Casewise deletion of missing data)												
10hr	1hr	L	H	F	L+F+H	II група (F+H) Підстилка	Запас I групи	Шишки	мох	жнп т/га	Запас I і II групи	Запас наземних ЛГМ
0,063304	0,181636	0,020524	0,408786	0,525211	0,65823	0,683044	0,26687	0,01659	0,477132	-0,00734	0,655992	0,664959
-0,139729	-0,195069	0,018628	-0,033664	-0,132003	-0,104107	-0,112111	-0,338483	-0,268945	-0,315699	0,137522	-0,221117	-0,262119
0,156528	0,256227	-0,064836	0,345321	0,476645	0,561243	0,597754	0,344618	0,145058	0,4787	-0,170209	0,622542	0,658322
0,25596	0,390936	-0,142475	0,366729	0,448103	0,547842	0,598248	0,467365	0,234749	0,607992	-0,214035	0,664115	0,721939
0,249876	0,360432	-0,167714	0,371414	0,404413	0,52085	0,574787	0,432448	0,241714	0,548132	-0,197119	0,636244	0,697128
-0,336479	-0,15198	0,364496	-0,089026	-0,22412	-0,143608	-0,217826	-0,350934	-0,351822	-0,523166	-0,182405	-0,279968	-0,40768
0,363445	0,510128	-0,309117	0,261994	0,305615	0,345579	0,418258	0,586929	0,469595	0,593085	-0,229771	0,572837	0,682734
-0,4553	-0,35252	1	-0,171708	0,465871	0,317825	0,145179	-0,219597	-0,468638	-0,340537	0,158937	0,077199	-0,091348
-0,138697	-0,281377	0,158937	-0,258642	-0,076372	-0,231372	-0,271077	-0,180192	-0,143195	-0,099744	1	-0,319016	-0,309215
0,120118	0,19498	-0,252709	-0,006845	0,175566	0,055083	0,104603	0,352275	0,442332	0,2622	-0,137138	0,232768	0,36774
1	0,443285	-0,4553	-0,155291	0,015066	-0,200587	-0,124413	0,442604	0,508913	0,331646	-0,138697	0,065023	0,283412
0,443285	1	-0,35252	0,192757	0,072964	0,140284	0,212124	0,815054	0,688769	0,463362	-0,281377	0,540867	0,623977
-0,155291	0,192757	-0,171708	1	-0,128614	0,718007	0,781268	-0,086706	-0,307116	0,183759	-0,258642	0,608739	0,515641
0,015066	0,072964	0,465871	-0,128614	1	0,580158	0,518529	0,357955	0,164949	0,237035	-0,076372	0,608185	0,574218
0,508913	0,688769	-0,468638	-0,307116	0,164949	-0,238012	-0,160979	0,873512	1	0,534375	-0,143195	0,227532	0,411121
0,331646	0,463362	-0,340537	0,183759	0,237035	0,233954	0,307636	0,741451	0,534375	1	-0,099744	0,477336	0,653499
-0,124413	0,212124	0,145179	0,781268	0,518529	0,984246	1	0,150545	-0,160979	0,307636	-0,271077	0,907673	0,806022
0,442604	0,815054	-0,219597	-0,086706	0,357955	0,105026	0,150545	1	0,873512	0,741451	-0,180192	0,53145	0,681814
0,065023	0,540867	0,077199	0,608739	0,608185	0,88362	0,907673	0,53145	0,227532	0,477336	-0,319016	1	0,956624
-0,200587	0,140284	0,317825	0,718007	0,580158	1	0,984246	0,105026	-0,238012	0,233954	-0,231372	0,88362	0,756089
0,283412	0,623977	-0,091348	0,515641	0,574218	0,756089	0,806022	0,681814	0,411121	0,653499	-0,309215	0,956624	1

ДОДАТОК Д

Розроблений програмний код головного модуля програми «Прогнозування пожежної небезпеки в лісах Українина DIGITAL-платформі»

1. Клас Weather

```
/**
У цьому класі Weather визначена приватна змінна ApiKey для зберігання API-ключа,
який використовується для доступу до погодного сервісу.
*/
class Weather
{
string ApiKey;//API-ключ
/**
Конструктор класу Weather.
@param Key API-ключ для доступу до погодного сервісу
*/
public Weather(string Key)
{
    ApiKey = Key;
}

/**
Метод для отримання погодних даних за даними координатами.
@param lat Широта
@param lng Довгота
@return Об'єкт WeatherResponse з отриманими погодними даними
Цей метод отримує погодні дані за заданими координатами широти (lat) та довготи (lng).
Він використовує API веб-сервісу OpenWeatherMap для отримання погодних даних.
*/
public WeatherResponse GetLatLng(string lat, string lng)
{
    // Формування URL з використанням широти, довготи та API-ключа
    string url =
$"http://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?lat={lat}&lon={lng}&units=metric&appid={ApiKey}";
    // Створення HttpWebRequest для виконання запиту до веб-сервісу
    HttpWebRequest httpWebRequest =
(HttpWebRequest)WebRequest.Create(url);
    // Отримання відповіді від веб-сервісу
    HttpWebResponse httpWebResponse =
(HttpWebResponse)httpWebRequest.GetResponse();
    string response;
    // Зчитування відповіді в форматі JSON
    using (StreamReader streamReader = new
StreamReader(httpWebResponse.GetResponseStream()))
    {
        response = streamReader.ReadToEnd();
    }
    // Парсинг JSON-відповіді із використанням моделі WeatherResponse
    return JsonConvert.DeserializeObject<WeatherResponse>(response);
}
/**
```

Асинхронний метод для отримання погодних даних за заданими координатами.

Продовж. додатку Д

```
@param lat Широта
@param lng Довгота
@return Об'єкт WeatherResponse з отриманими погодними даними
Цей асинхронний метод GetLatLngAsync використовується для отримання погодних даних за заданими
координатами широти (lat) та довготи (lng). Він виконує асинхронний запит до API веб-сервісу
OpenWeatherMap і повертає об'єкт WeatherResponse.
*/
public async Task<WeatherResponse> GetLatLngAsync(string lat, string lng)
{
    // Формування URL з використанням широти, довготи та API-ключа
    string url = $"http://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?lat={lat}&lon={lng}&units=metric&appid={ApiKey}";
    // Створення HttpWebRequest для виконання асинхронного запиту до веб-сервісу
    HttpWebRequest httpWebRequest = (HttpWebRequest)WebRequest.Create(url);
    try
    {
        // Очікування асинхронної відповіді від веб-сервісу
        HttpWebResponse httpResponse = (HttpWebResponse)(await httpWebRequest.GetResponseAsync());
        string response;
        using (Stream responseStream = httpResponse.GetResponseStream())
        {
            // Зчитування відповіді в форматі JSON
            response = new StreamReader(responseStream).ReadToEnd();
        }
        // Парсинг JSON-відповіді із використанням моделі WeatherResponse
        return JsonConvert.DeserializeObject<WeatherResponse>(response);
    }
    catch (Exception ex)
    {
        // Виняток сталася під час виконання запиту, виключення перехоплюється і перекидається далі
        throw new Exception(ex.Message);
    }
}
```

2. Клас WindInfo

```
/**
 Клас WindInfo представляє інформацію про вітер.
 У цьому класі WindInfo визначаються властивості для представлення інформації про вітер.
*/
public class WindInfo
{
public float Speed { get; set; }// Швидкість вітру в метрах за секунду
public int Deg { get; set; }//Кут напрямку вітру в градусах
}
```

Продовж. додатку Д

3. Клас TemperatureInfo

```
/**
Клас TemperatureInfo представляє інформацію про температуру та вологість.
У цьому класі TemperatureInfo визначаються властивості для представлення інформації
про температуру та вологість.
*/
public class TemperatureInfo
{
public float Temp { get; set; } // Температура в градусах Цельсія
public float Humidity { get; set; } // Вологість у відсотках
}
```

4. Клас WeatherResponse

```
/**
Клас WeatherResponse представляє відповідь про погоду.
Включає інформацію про температуру, вологість, вітер та назву місця.
У цьому класі WeatherResponse визначаються властивості для представлення відповіді про погоду.

*/
public class WeatherResponse
{
  public TemperatureInfo Main { get; set; } // Інформація про температуру та вологість
  public WindInfo Wind { get; set; } // Інформація про вітер
  public string Name { get; set; } // Назва місця
}
```

5. Клас MarkerComparer

```
/**
  *         Клас         MarkerComparer         реалізує         інтерфейс IEqualityComparer<GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker> і використовується для порівняння маркерів на карті.
  */
    public              class               MarkerComparer              : IEqualityComparer<GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker>
    {
        public     bool     Equals(GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker     x, GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker y)
        {
            if (object.ReferenceEquals(x, y))
                return true;
            if (x is null || y is null)
                return false;
            return x.Position == y.Position;
        }

        public int GetHashCode(GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker obj)
        {
```

```
            if (obj is null)
                return 0;
            return obj.Position.GetHashCode();
```

Продовж. додатку Д

```
        }
    }
```

У цьому класі MarkerComparer реалізовано інтерфейс IEqualityComparer<GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker>, який дозволяє порівнювати маркери на карті.
- Метод Equals порівнює два маркери на рівність.Він повертає true, якщо об'єкти `x` та `y` є однаковими, або якщо обидва об'єкти є null. В іншому випадку, порівнюється поле Position маркерів.
- Метод GetHashCode повертає хеш-код маркера. Якщо об'єкт `obj` є null, повертається 0. В іншому випадку, повертається хеш-код поля Position маркера.

6. Клас Form1, який визначає головну форму програми

```
/**
* Частковий клас Form1, який визначає головну форму програми.
*/
    public partial class Form1 : Form
    {
        // Оверлей для маркерів на карті
        GMap.NET.WindowsForms.GMapOverlay markers = new
GMap.NET.WindowsForms.GMapOverlay("markers");

        // Об'єкт для доступу до бази даних
        BD bd;

        // Об'єкт для отримання погодних даних
        Weather weather;

        // Ім'я файлу бази даних
        readonly string dbFileName = "Marks.db3";

        // Ліміт часу в секундах
        double LimitSeconds = 60;

        // Кінцева точка часового обмеження
        DateTime end;

        // Таймер для автоматичного оновлення погодних даних
        readonly Timer ServiceTimer = new Timer();

        /**
         * Повертає залишилися час до кінця обмеження виконання.
         * @return Об'єкт TimeSpan, який представляє залишилися час
         */
        private TimeSpan TimeLeft()
        {
            return end - DateTime.Now;
        }

        /**
```

```
         * Обробник події тика таймера ServiceTimer.
         */
        private void tServiceTimer_Tick(object sender, EventArgs e)
        {
```

Продовж. додатку Д

```
            toolStripStatusRefresh.Text                                    =
TimeLeft().ToString("hh\\:mm\\:ss");

            if (TimeLeft() >= TimeSpan.Zero) return;

            toolStripStatusRefresh.Text = @"00:00:00";
            ServiceTimer.Stop();

            try
            {
                RefrechWeatherAsync();
                end = DateTime.Now.AddSeconds(LimitSeconds);
                ServiceTimer.Start();
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Error:    "    +    ex.Message,    "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            }
        }


У цьому частковому класі Form1 визначені різні поля, методи та обробники
подій для головної форми програми.

- Поле `markers` представляє оверлей для маркерів на карті.
- Поле `bd` представляє об'єкт для доступу до бази даних.
- Поле `weather` представляє об'єкт для отримання погодних даних.
- Поле `dbFileName` містить ім'я файлу бази даних.
- Поле `LimitSeconds` визначає ліміт часу в секундах.
- Поле `end` представляє кінцеву точку часового обмеження.
- Поле `ServiceTimer` є таймером для автоматичного оновлення погодних
даних.

- Метод `TimeLeft` повертає залишений час до кінця обмеження виконання.
- Метод `tServiceTimer_Tick`


   1) Конструктор класу Form1.

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            end = DateTime.Now.AddSeconds(LimitSeconds);
            toolStripStatusRefresh.Text = "00:00:00";
            ServiceTimer.Tick += tServiceTimer_Tick;
            ServiceTimer.Stop();
            ServiceTimer.Interval = 1000;
        }
//
//У конструкторі класу Form1 виконуються наступні дії:
```

```
//Викликається метод InitializeComponent() для ініціалізації компонентів форми.
//Встановлюється кінцева точка часового обмеження (end) на основі поточного часу та ліміту в секундах.
```

Продовж. додатку Д

```
//Встановлюється текст для toolStripStatusRefresh, який показує залишений час оновлення як "00:00:00".
//Додається обробник події tServiceTimer_Tick до події Tick таймера ServiceTimer.
//Зупиняється таймер ServiceTimer.
//Встановлюється інтервал таймера ServiceTimer на 1000 мілісекунд (1 секунда).
```

2) Метод BtCreate виконує створення таблиць і вставку даних в базу даних.

```
/**
        Метод BtCreate виконує створення таблиць і вставку даних в базу даних.
        */
        public void BtCreate()
        {
            try
            {
                // Створення файлу бази даних SQLite
                SQLiteConnection.CreateFile(dbFileName);
                //Створення таблиці Configuration
                string quary = "CREATE TABLE Configuration (" +
                    "id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT," +
                    " apikey TEXT," +
                    " count_requests INTEGER DEFAULT (0)," +
                    " max_count_requests INTEGER DEFAULT (0), " +
                    " timeRefresh INTEGER DEFAULT (3600)" +
                    ")";
                // Вставка даних в таблицю Configuration
                bd.ExecuteNotQuery(quary);

                string ApiKey = "45d592e054542c68faae95e466 5c6";
                quary              =              "INSERT              INTO Configuration(apikey,count_requests,max_count_requests)" +
                    $" VALUES('{ApiKey}',0,10)";
                bd.ExecuteNotQuery(quary);

                // Створення таблиці Markers
                quary = "CREATE TABLE Markers (" +
                    "id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT," +
                    " PointLat REAL," +
                    " PointLng REAL)";
                bd.ExecuteNotQuery(quary);

            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("CREATE TABLE Error: " + ex.Message);
            }
        }
```

```
/*
У методі BtCreate виконуються наступні дії:
– Створюється файл бази даних SQLite з назвою dbFileName.
```

Продовж. додатку Д

```
– Виконується SQL-запит для створення таблиці Configuration з відповідними
  полями.
– Виконується SQL-запит для вставки даних в таблицю Configuration,
  включаючи API-ключ (apiKey), початкове значення лічильника запитів
  (count_requests) і максимальну кількість запитів (max_count_requests).
– Виконується SQL-запит для створення таблиці Markers з полями PointLat і
  PointLng для зберігання координат маркерів.
– У разі виникнення помилки під час виконання SQL-запитів виводиться
  повідомлення про помилку у вікні MessageBox.
       */
```

3) Метод Form1_Load виконується при завантаженні форми Form1.

```
/**

Метод Form1_Load виконується при завантаженні форми Form1.
*/
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                bd = new BD(dbFileName);
      // Перевірка наявності файлу бази даних, якщо не існує – викликати
метод BtCreate()
                if (!File.Exists(dbFileName))
                    BtCreate();

                // Отримання API-ключа з таблиці Configuration у базі даних
                string   key   =   bd.GetOneStringQuery("SELECT   *   FROM
Configuration", 1);
                weather = new Weather(key);

                // Отримання ліміту часу оновлення з таблиці Configuration
у базі даних
                LimitSeconds    =    bd.GetOneIntQuery("SELECT    *    FROM
Configuration", 4);

                // Налаштування компонента GMap
                gMapControl1.Bearing = 0;
                gMapControl1.CanDragMap = true;
                gMapControl1.DragButton = MouseButtons.Left;
                gMapControl1.GrayScaleMode = true;
                gMapControl1.MarkersEnabled = true;
                gMapControl1.MaxZoom = 18;
                gMapControl1.MinZoom = 5;
                gMapControl1.MouseWheelZoomType                          =
GMap.NET.MouseWheelZoomType.MousePositionAndCenter;
                gMapControl1.NegativeMode = false;
```

```
                gMapControl1.PolygonsEnabled = true;
                gMapControl1.RoutesEnabled = true;
                gMapControl1.ShowTileGridLines = false;
                gMapControl1.Zoom = 5.99;
                gMapControl1.Dock = DockStyle.Fill;
```

Продовж. додатку Д

```
                gMapControl1.MapProvider                                    =
GMap.NET.MapProviders.GMapProviders.GoogleMap;
                GMap.NET.GMaps.Instance.Mode                                =
GMap.NET.AccessMode.ServerOnly;
                GMap.NET.MapProviders.GMapProvider.WebProxy                 =
System.Net.WebRequest.GetSystemWebProxy();
                GMap.NET.MapProviders.GMapProvider.WebProxy.Credentials  =
System.Net.CredentialCache.DefaultCredentials;

                gMapControl1.Position = new GMap.NET.PointLatLng(49, 31);
                gMapControl1.ShowCenter = false;

                markers.Markers.Clear();
                gMapControl1.Overlays.Add(markers);
                gMapControl1.Overlays.Clear();

                showrequests();
                Setmarkers();

            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Error:"    +    ex.Message,    "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            }
}
```

У методі Form1_Load виконуються наступні дії:
Створюється об'єкт класу BD з параметром dbFileName для роботи з базою даних.
Перевіряється наявність файлу бази даних. Якщо файл не існує, викликається метод BtCreate() для створення таблиць та вставки даних.
Отримується API-ключ з таблиці Configuration у базі даних та створюється об'єкт класу Weather з отриманим ключем.
Отримується ліміт часу оновлення з таблиці Configuration у базі даних.
Налаштовуються компоненти GMap, включаючи відображення карти, режим маркерів, приближення, позицію, тощо.
Очищаються маркери та оверлеї на карті.
Викликаються методи showrequests() і Setmarkers() для відображення запитів та маркерів на карті.
У разі виникнення помилки під час виконання будь-якого з кроків, виводиться повідомлення про помилку у вікні MessageBox.

4) Метод AddMarkerBD додає маркер до бази даних з заданими координатами Lat і Lng.

```
/**
Метод AddMarkerBD додає маркер до бази даних з заданими координатами Lat і
Lng.
@param Lat Широта маркера.
```

```
@param Lng Довгота маркера.
*/
        private void AddMarkerBD(double Lat, double Lng)
        {
```

Продовж. додатку Д

```
            // Формується запит для перевірки наявності маркера з такими
координатами в базі даних
            string query = $"SELECT ID FROM Markers WHERE PointLat =
{Lat.ToString(CultureInfo.InvariantCulture).Replace(',',     '.')}     AND
PointLng = {Lng.ToString().Replace(',', '.')} ";
            int idmarker = bd.FindIdQuery(query);

            // Якщо маркер не знайдено в базі даних, виконується його
додавання
            if (idmarker < 0)
            {
                query = "INSERT INTO Markers(PointLat, PointLng) " +
                $"VALUES({Lat.ToString().Replace(',',               '.')},
{Lng.ToString().Replace(',', '.')})";
                bd.ExecuteNotQuery(query);
            }
        }
```

5) Асинхронний метод Setmarkers встановлює маркери на карті з координат, зчитаних з бази даних..

1.

```
private async void Setmarkers() {
            try
            {
                string quary = $"SELECT *  FROM Markers";
                // string quary = $"SELECT *   FROM Markers order by
PointLng";
                List<PointD> list = bd.GetListQuery(quary);
                if (!(list is null))
                {
                    toolStripProgressBar.Maximum = list.Count;
                    toolStripProgressBar.Value = 0;
                    toolStripProgressBar.Visible = true;
                }
                foreach (var item in list)
                {
                    double lat = item.X;
                    double lng = item.Y;
                    // Отримання погодних даних за заданими координатами
                    WeatherResponse      weatherResponse      =      await
weather.GetLatLngAsync(lat.ToString(CultureInfo.InvariantCulture),
lng.ToString(CultureInfo.InvariantCulture));
                    newrequests();
                    // Додавання нового маркера на карту з відповідним
кольором в залежності від вологості
                    NewMarker(lat,                                      lng,
RefreshColorMarker(weatherResponse.Main.Humidity));
                    // Встановлення тексту підказки для маркера з погодними
даними
```

```
SetToolTipTextAsync(lat.ToString(CultureInfo.InvariantCulture),
lng.ToString(CultureInfo.InvariantCulture),        markers.Markers.Last(),
weatherResponse);
                    toolStripProgressBar.Value++;
                }
                gMapControl1.Refresh();
```

Продовж. додатку Д

```
                end = DateTime.Now.AddSeconds(LimitSeconds);
                ServiceTimer.Start();
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Error:"     +     ex.Message,     "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            }
            // if (!(toolStripProgressBar is null))
            toolStripProgressBar.Visible = false;
        }
```

У методі Setmarkers виконуються наступні дії:

- Виконується запит до бази даних для отримання списку координат маркерів.
- Якщо список не є порожнім, встановлюється максимальне значення прогрес-бару та відображається на екрані.
- Для кожної пари координат у списку:
- Отримується погодна інформація за допомогою асинхронного методу GetLatLngAsync з використанням об'єкта weather.
- Виконується оновлення лічильника запитів за допомогою методу newrequests().
- Додається новий маркер на карту з відповідним кольором, що залежить від вологості, за допомогою методу NewMarker().
- Встановлюється текст підказки для маркера з погодними даними за допомогою методу SetToolTipTextAsync().
- Оновлюється значення прогрес-бару.
- Виконується оновлення карті за допомогою методу Refresh() та встановлюється час завершення оновлення та запуск таймера

6) Метод DelMarkerBD видаляє маркер з бази даних за заданими координатами.

```
private void DelMarkerBD(double Lat, double Lng)
        {
            string quary = $"DELETE FROM Markers  WHERE " +
                $"PointLat ={Lat.ToString().Replace(',', '.')}  AND " +
                $"PointLng = {Lng.ToString().Replace(',', '.')}";
            bd.ExecuteNotQuery(quary);
        }
```

У методі DelMarkerBD виконується SQL-запит до бази даних для видалення маркера з таблиці Markers за заданими координатами.

7) Метод NewMarker створює новий маркер на карті і додає його до колекції маркерів.

```
/**
Параметри:
Lat: широта маркера
Lng: довгота маркера
```

```
Mtype (опціонально): тип маркера (зелений за замовчуванням)
*/
private void NewMarker(double Lat, double Lng, GMarkerGoogleType Mtype =
GMarkerGoogleType.green)
        {
            GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker marker = new
GMap.NET.WindowsForms.Markers.GMarkerGoogle(
```

Продовж. додатку Д

```
                                new GMap.NET.PointLatLng(Lat, Lng),
Mtype);

            if (!markers.Markers.Contains(marker, new MarkerComparer()))
            {
                markers.Markers.Add(marker);
                AddMarkerBD(Lat, Lng);
                gMapControl1.Overlays.Clear();
                gMapControl1.Overlays.Add(markers);
            }
        }
```

У методі NewMarker створюється новий маркер з використанням заданих координат Lat (широта) і Lng (довгота) на карті. Маркер додається до колекції маркерів, а також записується в базу даних за допомогою методу AddMarkerBD. Потім оновлюються шари на карті, щоб відобразити новий маркер. За замовчуванням маркер має зелений тип, але його можна змінити, передаючи параметр Mtype з відповідним значенням типу маркера.

8) Метод showrequests оновлює значення лічильника запитів у рядку стану.

```
    /**
    Метод showrequests оновлює значення лічильника запитів у рядку стану.
    Він отримує кількість запитів з бази даних і встановлює відповідне
значення у рядку стану.
    */
private void showrequests()
        {
            int c = bd.GetOneIntQuery($"SELECT * FROM Configuration", 2);
            toolStripStatusRequests.Text = "Requests=" + c;
        }
```

Метод showrequests отримує кількість запитів з бази даних і встановлює значення у рядку стану для відображення кількості запитів.

9) Метод newrequests оновлює значення лічильника запитів після нового запиту.

```
    /**
    Метод newrequests оновлює значення лічильника запитів після нового
запиту.
    Він збільшує значення лічильника на 1 у базі даних і оновлює
відображення у рядку стану.
    */
private void newrequests()
        {
```

```
            string quary = $"UPDATE Configuration  SET count_requests =
count_requests+1 WHERE id = '1'";
            bd.ExecuteNotQuery(quary);
            showrequests();
        }
```

Метод newrequests збільшує значення лічильника запитів на 1 в базі даних після нового запиту. Потім він оновлює відображення кількості запитів у рядку стану шляхом виклику методу showrequests.

Продовж. додатку Д

10) Метод RefreshColorMarker визначає тип маркера на основі вологості.

```
    /**
    Він приймає значення вологості (параметр Humidity) і повертає
відповідний тип маркера GMarkerGoogleType.
    Тип маркера визначається залежно від вологості за наступними
критеріями:
  – Якщо вологість менше 50, тип маркера – червоний
    (GMarkerGoogleType.red).
  – Якщо вологість менше 60, тип маркера – помаранчевий
    (GMarkerGoogleType.orange).
  – Якщо вологість менше 70, тип маркера – жовтий
    (GMarkerGoogleType.yellow).
  – Якщо вологість менше 80, тип маркера – зелений
    (GMarkerGoogleType.green).
  – Якщо вологість більше або дорівнює 80, тип маркера – синій
    (GMarkerGoogleType.blue).
    Повертається відповідний тип маркера.
    */
private GMarkerGoogleType RefreshColorMarker(float Humidity = 0)
        {

            GMarkerGoogleType type;
            if (Humidity < 50f)
                type = GMarkerGoogleType.red;
            else if (Humidity < 60f)
                type = GMarkerGoogleType.orange;
            else if (Humidity < 70f)
                type = GMarkerGoogleType.yellow;
            else if (Humidity < 80f)
                type = GMarkerGoogleType.green;
            else
                type = GMarkerGoogleType.blue;
            return type;
            }
```

11) Метод ProbabilityMarker визначає ймовірність наявності маркера на основі вологості.

Він приймає значення вологості (параметр Humidity) і повертає відповідну ймовірність у відсотках.
Ймовірність обчислюється залежно від вологості за наступними критеріями:
Якщо вологість менше 50, ймовірність – 95 – (вологість / 50) * 5.

```
Якщо вологість менше 60, ймовірність - 90 - ((вологість - 50) / (60 - 50))
* (90 - 70).
Якщо вологість менше 70, ймовірність - 70 - ((вологість - 60) / (70 - 60))
* (70 - 40).
Якщо вологість менше 80, ймовірність - 40 - ((вологість - 70) / (80 - 70))
* (40 - 20).
Якщо вологість більше або дорівнює 80, ймовірність - 20 - ((вологість - 80)
/ (100 - 80)) * (20 - 5).
Повертається відповідна ймовірність у відсотках.
    */
```

Продовж. додатку Д

```
private double ProbabilityMarker(float Humidity = 0)
        {
            double Probability;
            if (Humidity < 50)
                Probability = 95 - Humidity / 50 * 5;
            else if (Humidity < 60)
                Probability = 90 - (Humidity - 50) / (60 - 50) * (90 - 70);
            else if (Humidity < 70)
                Probability = 70 - (Humidity - 60) / (70 - 60) * (70 - 40);
            else if (Humidity < 80)
                Probability = 40 - (Humidity - 70) / (80 - 70) * (40 - 20);
            else
                Probability = 20 - (Humidity - 80) / (100 - 80) * (20 - 5);
            return Probability;
            }


/**
```

12) Метод SetToolTipTextAsync встановлює текст підказки для маркера на основі погодової відповіді.

```
SetToolTipTextAsync отримує рядки lat і lng, об'єкт маркера item і об'єкт
weatherResponse, що містить дані погоди.
Якщо об'єкт weatherResponse є нульовим, метод припиняє виконання.
В іншому випадку створюється текст підказки, який містить наступну
інформацію про погоду:
  - Ймовірність опадів: ймовірність розраховується за допомогою методу
    ProbabilityMarker і відображається в відсотках.
  - Температура: відображається у градусах Цельсія.
  - Вологість: відображається у відсотках.
  - Швидкість вітру: відображається у метрах за секунду.
  - Напрям вітру: відображається у градусах.
Остаточний текст підказки встановлюється для маркера item, а також
визначається його вигляд.
    */

private void SetToolTipTextAsync(string lat, string lng, GMapMarker item,
WeatherResponse weatherResponse)
        {
            if (weatherResponse is null) return;
            string text = $" {Environment.NewLine}" +
```

```
                $"{"Ймовірність:",-
14}{ProbabilityMarker(weatherResponse.Main.Humidity),10:F2}      %"      +
Environment.NewLine +
                $"{"Температура:",-13}{weatherResponse.Main.Temp,10:F2}
°C" + Environment.NewLine +
                $"{"Вологість:",-18}{weatherResponse.Main.Humidity,10:F0}
%" + Environment.NewLine +
                $"{"Вітер:",-21}{weatherResponse.Wind.Speed,10:F2} м/с" +
Environment.NewLine +
```

Продовж. додатку Д

```
                $"{"Напрям вітру:",-17}{weatherResponse.Wind.Deg,7} °" +
Environment.NewLine;
            //  MessageBox.Show(text);
            item.ToolTipMode                                              =
GMap.NET.WindowsForms.MarkerTooltipMode.OnMouseOver;
            item.ToolTipText = text;
            item.ToolTip.Fill = Brushes.White;//фон
            item.ToolTip.Foreground = Brushes.Black;//текст
            item.ToolTip.Stroke = Pens.Blue; //рамка
            }
```

13) Метод RefrechWeatherAsync оновлює погодинні дані для всіх маркерів на карті.

Він спочатку отримує кількість маркерів.
Якщо кількість більше нуля, встановлюється значення прогрес-бара та відображається.
Далі проходиться по кожному маркеру і отримується погодинна відповідь для відповідних координат.
Після отримання відповіді оновлюється маркер з новим кольором і текстом підказки.
Остаточно прогрес-бар ховається.
У випадку виникнення помилки виводиться повідомлення про помилку.

```
  private async void RefrechWeatherAsync()
        {
            int count = markers.Markers.Count;
            try
            {
                if (count > 0)
                {
                    toolStripProgressBar.Maximum = count;
                    toolStripProgressBar.Value = 0;
                    toolStripProgressBar.Visible = true;
                }
                for (int i = 0; i < count; i++)
                {

                    var item = markers.Markers[i];
                    string lat = item.Position.Lat.ToString().Replace(',',
'.');
                    string lng = item.Position.Lng.ToString().Replace(',',
'.');
                    WeatherResponse      weatherResponse      =      await
weather.GetLatLngAsync(lat.Replace(',', '.'), lng.Replace(',', '.'));
```

```
                    newrequests();
                    string text = $" {Environment.NewLine}" +
                       $"{"Ймовірність:",-
14}{ProbabilityMarker(weatherResponse.Main.Humidity),10:F2}      %"      +
Environment.NewLine +
                       $"{"Температура:",-
13}{weatherResponse.Main.Temp,10:F2} °C" + Environment.NewLine +
                       $"{"Вологість:",-
18}{weatherResponse.Main.Humidity,10:F0} %" + Environment.NewLine +
```

Продовж. додатку Д

```
                       $"{"Вітер:",-21}{weatherResponse.Wind.Speed,10:F2}
м/с" + Environment.NewLine +
                       $"{"Напрям                                  вітру:",-
17}{weatherResponse.Wind.Deg,7} °" + Environment.NewLine;
                    markers.Markers[i] = new GMarkerGoogle(
                        new PointLatLng(
                            item.Position.Lat,
                            item.Position.Lng),

RefreshColorMarker(weatherResponse.Main.Humidity));
                    markers.Markers[i].ToolTipMode                      =
GMap.NET.WindowsForms.MarkerTooltipMode.OnMouseOver;
                    markers.Markers[i].ToolTipText = text;
                    markers.Markers[i].ToolTip.Fill = Brushes.White;//фон
                    markers.Markers[i].ToolTip.Foreground               =
Brushes.Black;//текст
                    markers.Markers[i].ToolTip.Stroke = Pens.Blue; //рамка
                }
                toolStripProgressBar.Visible = false;
            }
            catch (Exception ex)
            {
                MessageBox.Show("Error:"    +    ex.Message,    "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
            }
             }
```

14) Обробник події MouseMove для елемента GMapControl1.

```
/**
При переміщенні миші над контролом встановлюються координати латитуди і
довготи в текстові поля статусного рядка.
Параметр sender є посиланням на об'єкт GMap.NET.WindowsForms.GMapControl,
який викликав подію.
Параметр e містить дані про подію MouseMove, включаючи координати X та Y
миші.
За допомогою методу FromLocalToLatLng конвертується позиція миші (e.X, e.Y)
у географічні координати латитуди і довготи.
Отримані координати форматуються та встановлюються у текстові поля
статусного рядка з відповідними мітками.
Знак коми замінюється на крапку.
*/
        private void GMapControl1_MouseMove(object sender, MouseEventArgs
e)
        {
if (sender is GMap.NET.WindowsForms.GMapControl Gm)
```

```
{
toolStripStatuslat.Text           =          $"{Gm.FromLocalToLatLng(e.X,
e.Y).Lat,10:F6}".Replace(',', '.');
toolStripStatuslng.Text           =          $"{Gm.FromLocalToLatLng(e.X,
e.Y).Lng,10:F6}".Replace(',', '.');
}
}
```

Продовж. додатку Д

15) Обробник події MouseDoubleClick для елемента GMapControl1.

```
/**
При подвійному клацанні лівою кнопкою миші над контролом перевіряється, чи
необхідно створити новий маркер.
Якщо користувач підтверджує створення маркера, виконуються наступні дії:
   – Отримуються географічні координати латитуди і довготи з позиції миші
     (e.X, e.Y) за допомогою методу FromLocalToLatLng.
   – Запитується погодова інформація за отримані координати.
   – Збільшується лічильник запитів.
   – Створюється новий маркер з використанням отриманих координат та
     відповідного типу маркера, залежно від вологості погоди.
   – Встановлюється текстова підказка для маркера з погодовою інформацією.
   – Оновлюється відображення маркерів на карті.
   – У випадку виникнення помилки відображається повідомлення про помилку.
Параметр sender є посиланням на об'єкт GMap.NET.WindowsForms.GMapControl,
який викликав подію.
Параметр e містить дані про подію MouseDoubleClick, включаючи координати X
та Y миші і кнопку миші, що була натиснута.
Перевіряється, чи була натиснута ліва кнопка миші, і виконуються дії, якщо
це так.
*/
        private async void GMapControl1_MouseDoubleClick(object sender,
MouseEventArgs e)
        {
            if (e.Button == MouseButtons.Left && sender is
GMap.NET.WindowsForms.GMapControl Gm)
            {
                if (MessageBox.Show("Створити маркер?", "Новий маркер",
MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) == DialogResult.Yes)
                {
                    try
                    {
                        double lat = Gm.FromLocalToLatLng(e.X, e.Y).Lat;
                        double lng = Gm.FromLocalToLatLng(e.X, e.Y).Lng;
                        WeatherResponse weatherResponse = await
weather.GetLatLngAsync(lat.ToString(), lng.ToString());
                        newrequests();
                        NewMarker(lat, lng,
RefreshColorMarker(weatherResponse.Main.Humidity));
                        SetToolTipTextAsync(lat.ToString(),
lng.ToString(), markers.Markers.Last(), weatherResponse);
                        gMapControl1.Refresh();
                    }
                    catch (Exception ex)
                    {
```

```
                        MessageBox.Show("Error:" + ex.Message, "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
                    }

                }
            }

        }
```

Продовж. додатку Д

16) Обробник події OnMarkerClick для елемента GMapControl1.

```
/**
При клацанні правою кнопкою миші на маркері перевіряється, чи необхідно
видалити маркер.
Якщо користувач підтверджує видалення маркера, виконуються наступні дії:
Викликається метод DelMarkerBD для видалення маркера з бази даних за його
географічними координатами.
Маркер видаляється з колекції markers.Markers.
Оновлюється відображення маркерів на карті.
Параметр item містить об'єкт GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker, який був
клацнутий користувачем.
Параметр e містить дані про подію MouseClick, включаючи кнопку миші, що
була натиснута.
Перевіряється, чи була натиснута права кнопка миші, і виконуються дії, якщо
це так.
*/
private void GMapControl1_OnMarkerClick(GMap.NET.WindowsForms.GMapMarker
item, MouseEventArgs e)
{
if (e.Button == MouseButtons.Right && markers.Markers.Contains(item)){
      if (MessageBox.Show("Видалити маркер?", "Видалення",
      MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) ==
      DialogResult.Yes){
            DelMarkerBD(item.Position.Lat, item.Position.Lng);
            markers.Markers.Remove(item);
            gMapControl1.Refresh();
            }
    }
}
```

17) Обробник події Tick для таймера Timer1.

```
/**
При кожному виклику таймера виконується оновлення погоди для всіх маркерів
на карті.
Викликається асинхронний метод RefrechWeatherAsync, який оновлює погодові
дані для кожного маркера.
Якщо виникає помилка, виводиться повідомлення про помилку.
Параметр sender містить об'єкт, який спричинив подію. У даному випадку -
таймер Timer1.
Параметр e містить дані про подію EventArgs.
*/
private void Timer1_Tick(object sender, EventArgs e){
try{
      RefrechWeatherAsync();
      }
      catch (Exception ex){
            MessageBox.Show("Error:" + ex.Message, "Error",
      MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);
```

```
        }
    }
```

ДОДАТОК Е

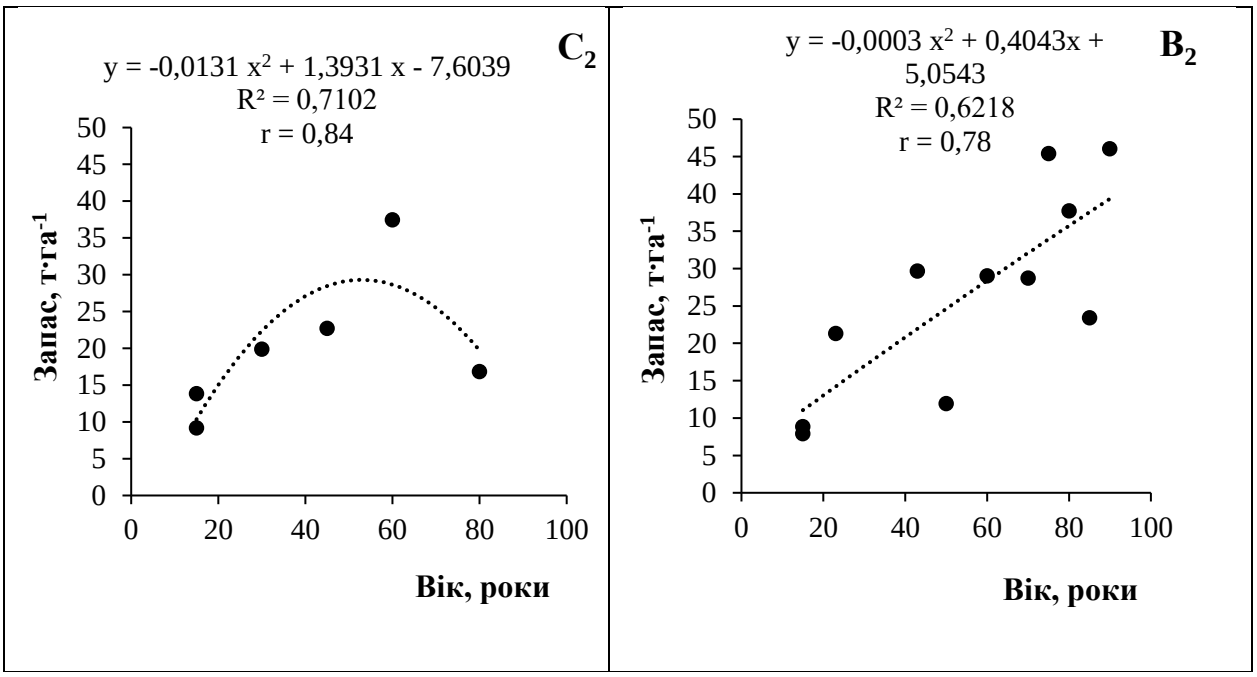
Кореляційний аналіз достовірності досліджень ЛГМ

Запас 100 год залежить від запасу насадження (0,4), стану насадження (0,6). 10 год залежить від запасу насадження (0,4), стану насадження (0,6). 1 год стан 0,7 середній діаметр 0,39, висота 0,41, запас 0,52.

Запас опадового шару (L) обернено залежить від повноти (–0,49), але не залежить від віку насаджень. Натомість запаси F і H шарів збільшуються з віком (0,55), і залежать від середнього діаметра, висоти і запасу насадження (0,59, 0,46 та 0,42 відповідно), та обернено пропорційно до повноти (–0,38).

Наземні ЛГМ залежать від віку (0,69), діаметру (0,72), висоти (0,7), запасу (0,71), та обернено пропорційно до повноти (–0,71).

Зі збільшенням трофності ТЛУ від бору до сугруду зменшуються обсяги деревної ламані: 100 год (–0,37); 10 год (–0,43); 1год (0,54). Обсяги шишок у складі опаду є більшими в умовах бору та зменшуються зі збільшенням трофності (–0,81), також зі збільшенням трофності зменшується запас бріофлори (мохів) та опадового шару підстилки, яка в умовах сугруду швидше розкладається.



Продовж. додатку Е

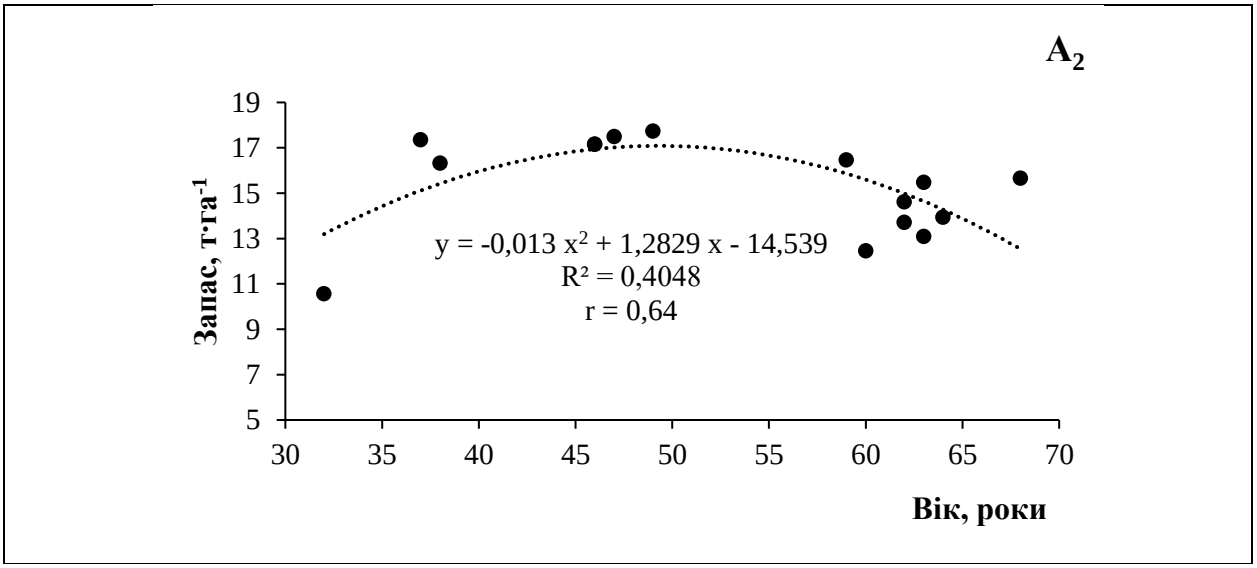


Рис. 4.10. Зміна запасу підстилки (L+F+H) у різних лісорослинних умовах

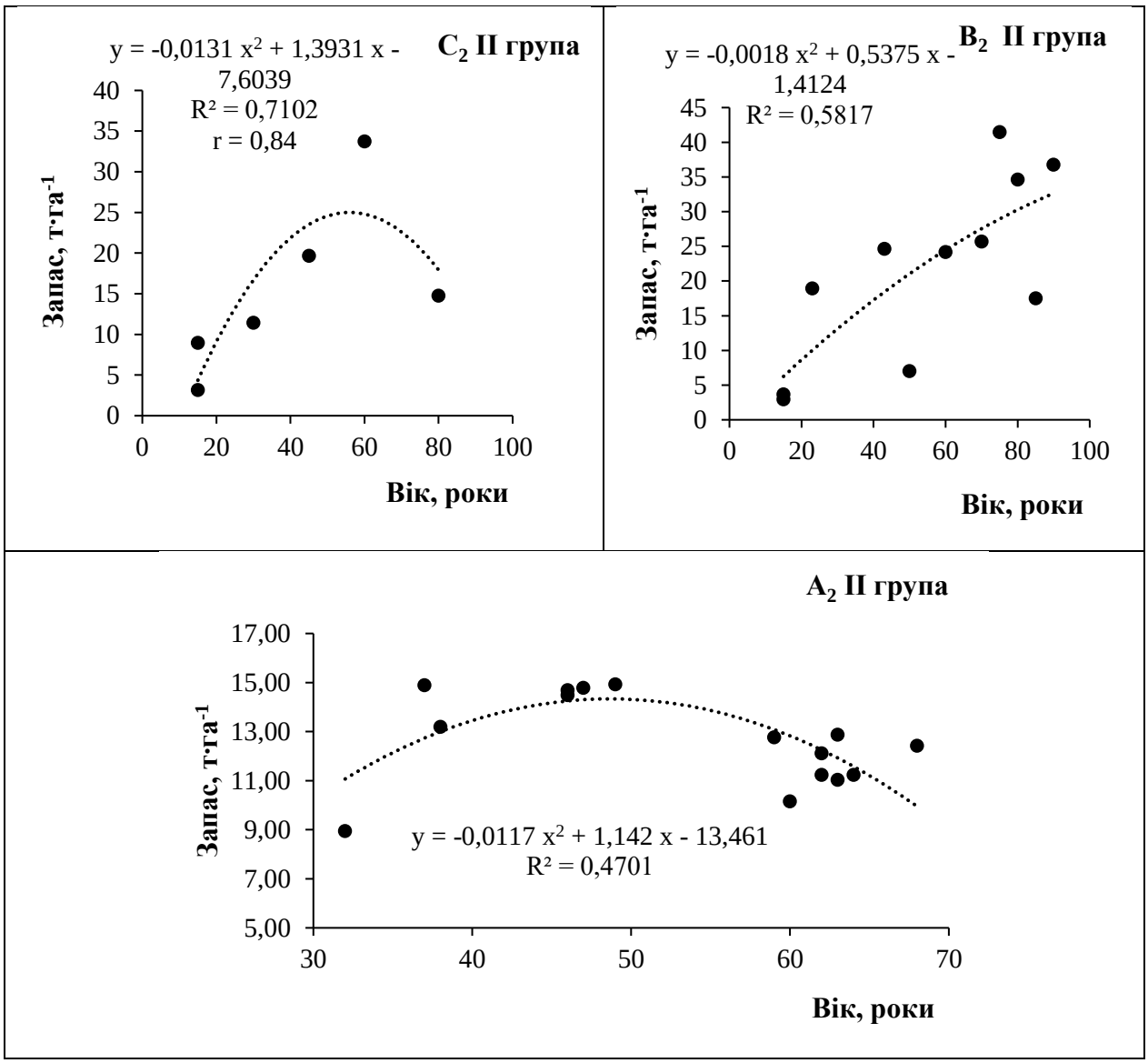
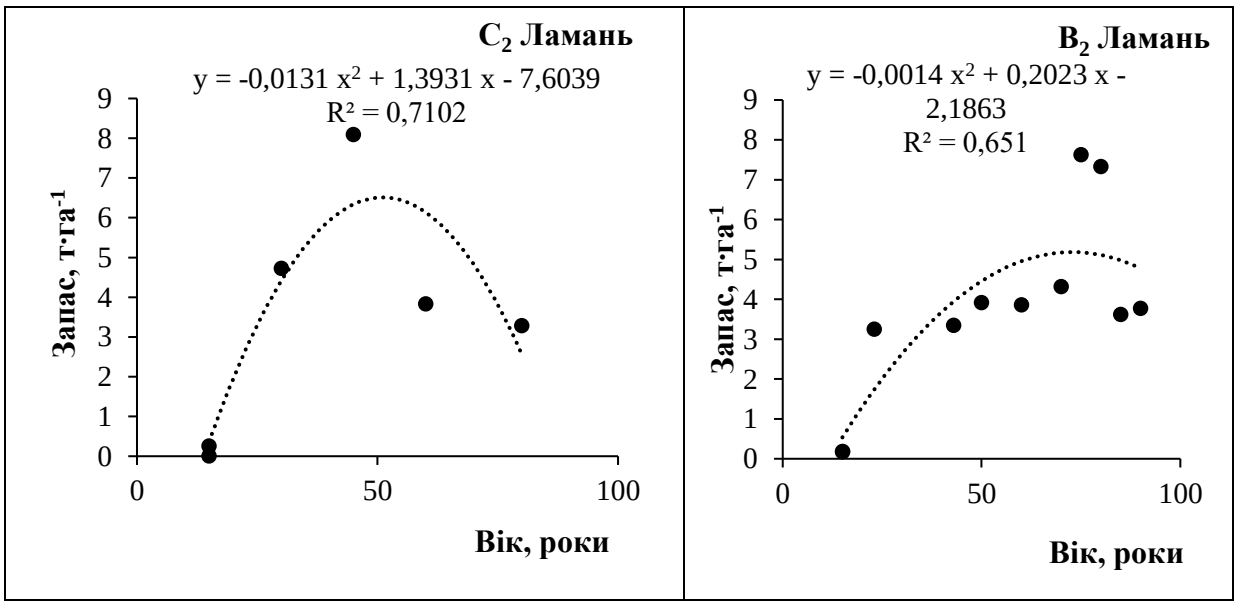


Рис. 4.11. Зміна запасу ЛГМ (II група) у різних лісорослинних умовах

Продовж. додатку Е



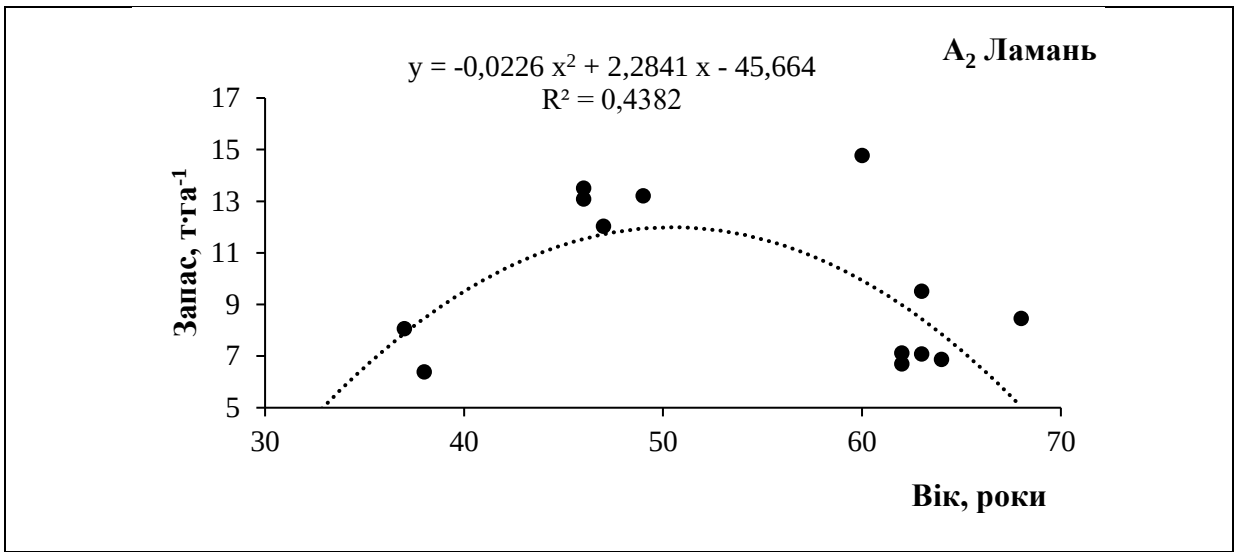
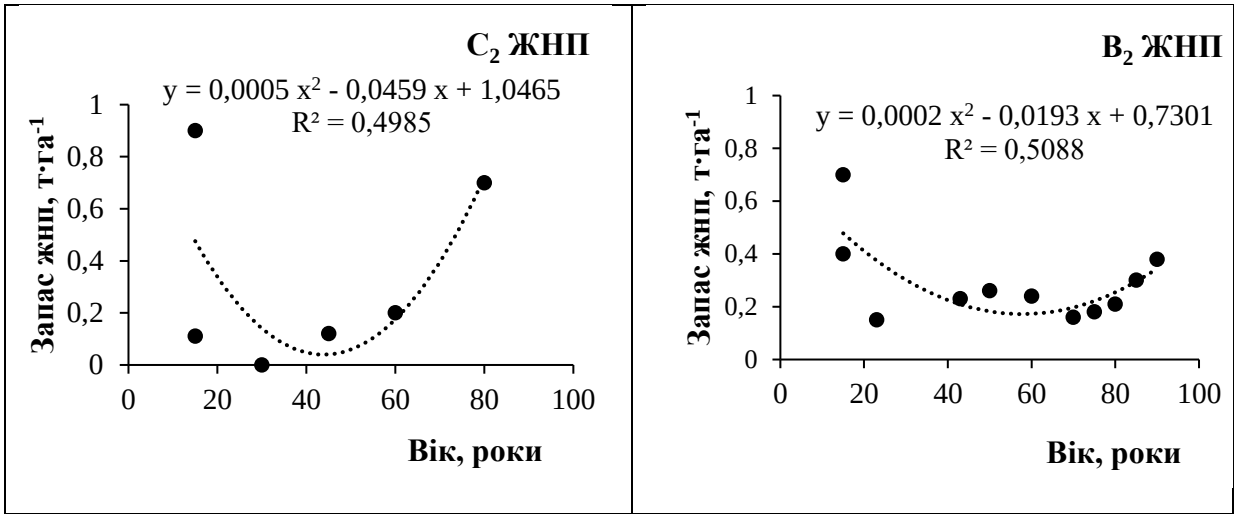


Рис. 4.12 Зміна запасу ламані у різних лісорослинних умовах



Продовж. додатку Е

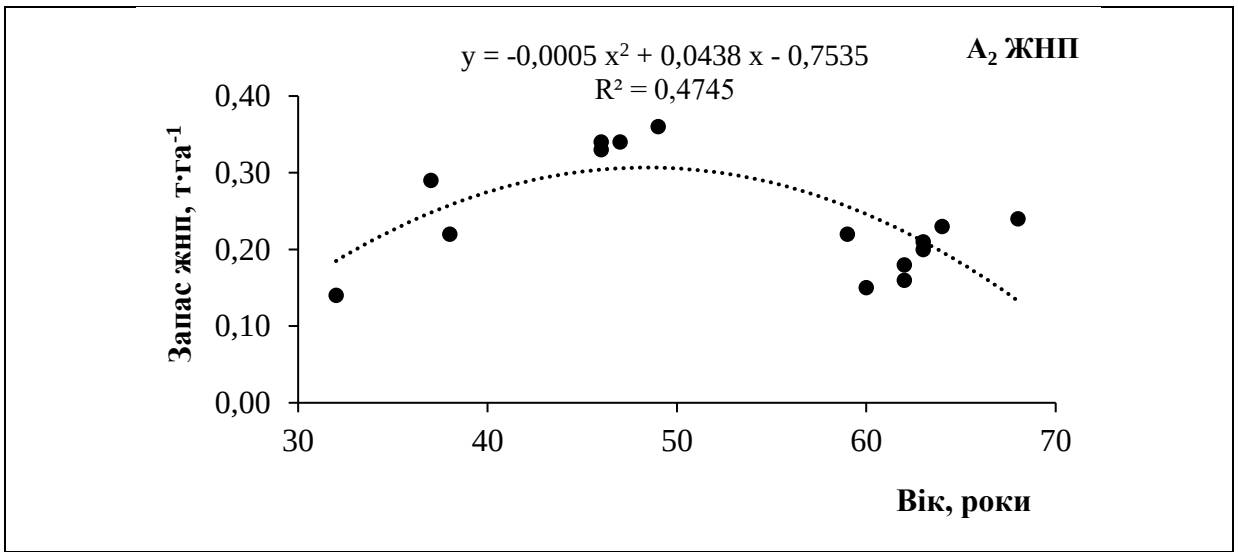


Рис. 4.13. Зміна запасу ЖНП у різних лісорослинних умовах

ДОДАТОК Є

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Погоджено
Проректор з навчальної і виховної роботи
Кваша С. М.
(підпис) (Прізвище, ініціали)
«02» березня 2021 р.

Затверджую
Перший проректор НУБіП України
Ібатуллін І. І.
(підпис) (Прізвище, ініціали)
«02» березня 2021 р.
М.П.

А К Т
про впровадження/використання результатів докторської дисертаційної роботи у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему: Горимість, лісові горючі матеріали та прогноз пожеж Київського Полісся, що представлена на здобуття ступеня доктора філософських наук за спеціальністю 205 «Лісове господарство» виконаної Гуржієм Романом Віталійовичем
ПІБ здобувача
впроваджено у навчальну програму при викладанні дисциплін: «Охорона лісів від пожеж» та «Лісова пірологія»
назва дисципліни
Використовуються розроблені моделі оцінювання запасів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) за таксаційними характеристиками з урахуванням лісорослинних умов Київського Полісся.
(необхідно конкретизувати, які результати дисертаційної роботи і яким чином (способом) використані
«Охорона лісів від пожеж» та «Лісова пірологія».
при викладанні дисциплін(и)
на кафедрі: лісівництва
назва дисципліни
у підготовці фахівців ОС «Магістр» за спеціальністю 205 – «Лісове господарство»
назва спеціальності
у Національному університеті біоресурсів і природокористування України
назва ВНЗ

Директор ННІ лісового і садово-паркового господарства д. с.-г.н., проф. Лакида П. І.

Заступник директора з навчальної та виховної роботи к. с.-г. н., доц. Свинчук В. А.

Завідувач кафедри лісівництва к. с.-г. н., доц. Пузріна Н. В.

Продовж. додатку Є

Погоджено

Перший проректор
НУБіП України

_____ **Ібатуллін І. І.**
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2021р.

М.П.

Затверджую

Начальник Київського обласного
та по м. Києву управління лісового
та мисливського господарства

_____ **Бойко О. Л.**
(підпис) (ПІБ)

«15» липня 2021р.

М.П.

А К Т

про впровадження/використання результатів
докторської дисертаційної роботи
у виробництво

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему:

Горимість, лісові горючі матеріали та прогноз пожеж Київського Полісся
назва теми

що представлена на здобуття ступеня доктора філософських наук за спеціальністю 205 – «лісове господарство»

виконаної Гуржієм Романом Віталійовичем
(ПІБ здобувача)

впроваджені у Київське та по м. Києву обласне управління лісового та мисливського господарства
назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних результатів 1. Модель оцінювання запасів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) за таксаційними характеристиками з урахуванням лісорослинних умов Київського Полісся. 2. Інноваційна розроблена програма: «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі»
(методика, рекомендації, пропозиції, модель, експериментальні дані тощо)

2. Новизна отриманих результатів Авторське свідоцтво № 95983 на розробку додатку «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі»
(патенти, авторські свідоцтва тощо)

3. Практичне впровадження/використання результатів Будуть реалізовані у
(місце впровадження/застосування)

Продовж. додатку Є

роботі Київського та по м. Києву обласного управління лісового та мисливського Господарства при оцінці запасів лісових горючих матеріалів та моніторингу Лісових пожеж.

4. Значущість отриманих результатів отримані результати використовуються у моніторингу пожежної небезпеки згідно розробленою здобувачем інноваційною програмою «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі» та впливають на оперативне реагування по локалізації лісових пожеж що зменшує економічні збитки від лісових пожеж та екологічні наслідки від їх.

(економічний, соціальний, науково-технічний ефект)

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

(назва, № держреєстрації)

Від Національного університету біоресурсів і природокористування України	**Від організації**
Начальник науково-дослідної частини	Перший заступник начальника Київського та по м. Києву обласного управління лісового та мисливського господарства
(підпис) **Отченашко В. В.** (ПІБ)	(підпис) **Гузенко Р. В.** (ПІБ)
«15» лютого 2021 р.	«15» лютого 2021 р.

Директор НДІ

(підпис) **Василишин Р. Д.** (ПІБ)

«15» лютого 2021 р.

Здобувач

(підпис) **Гуржій Р. В.** (ПІБ)

«15» лютого 2021 р.

Продовж. додатку Є

Погоджено

Перший проректор
НУБіП України

Ібатуллін І. І.
(ПІБ)

(підпис)

«02» 2021р.

М.П.

Затверджую

Директор ДП «СЛП
«Київоблагроліс»

Борисенко А. М.
(ПІБ)

(підпис)

«02» 2021р.

М.П.

А К Т

про впровадження/використання результатів
докторської дисертаційної роботи
у виробництво

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему:

Горимість, лісові горючі матеріали та прогноз пожеж Київського Полісся
назва теми

що представлена на здобуття ступеня доктора філософських наук за спеціальністю 205 – «лісове господарство»

виконаної Гуржієм Романом Віталійовичем
(ПІБ здобувача)

впроваджені у Державне підприємство «Спеціалізоване лісогосподарське підприємство «Київоблагроліс»
назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних результатів 1. Модель оцінювання запасів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) за таксаційними характеристиками з урахуванням лісорослинних умов Київського Полісся. 2. Інноваційна розроблена програма: «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі»
(методика, рекомендації, пропозиції, модель, експериментальні дані тощо)

2. Новизна отриманих результатів Авторське свідоцтво № 95983 на розробку додатку «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі»
(патенти, авторські свідоцтва тощо)

3. Практичне впровадження/використання результатів Будуть реалізовані у
(місце впровадження/застосування)

Продовж. додатку Є

роботі ДП «Спеціалізованого лісогосподарського підприємства «Київоблагроліс» при оцінці запасів лісових горючих матеріалів та моніторингу лісових пожеж.

4. Значущість отриманих результатів отримані результати використовуються у моніторингу пожежної небезпеки згідно розробленою здобувачем інноваційною програмою «Прогнозування стану пожежної небезпеки в лісах України на Digital платформі» та впливають на оперативне реагування по локалізації лісових пожеж, що зменшує економічні збитки від лісових пожеж та екологічні наслідки від їх.

(економічний, соціальний, науково-технічний ефект)

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

(назва, № держреєстрації)

Від Національного університету біоресурсів і природокористування України	**Від організації**
Начальник науково-дослідної частини	Головний лісничий ДП «СЛП «Київоблагроліс»
(підпис) **Отченашко В. В.** (ПІБ)	(підпис) **Приходько В. П.** (ПІБ)
«02» Березня 2021 р.	«02» Березня 2021 р.

Директор НДІ
(підпис) **Василишин Р. Д.** (ПІБ)
«02» Березня 2021 р.

Здобувач
(підпис) **Гуржій Р. В.** (ПІБ)
«02» Березня 2021 р.