

Vasyl Popovych, doctor of Science (Engineering), docent

Lviv State University of Life Safety

Andriy Hapalo, post-graduate student

Lviv State University of Life Safety

DOI: 10.5604/01.3001.0014.5977

ТЕМПЕРАТУРНИЙ ВПЛИВ ЛАНДШАФТНИХ ПОЖЕЖ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ЕДАФОТОПУ

Анотація

В Україні лісові пожежі набувають значних обсягів та перетворюються на надзвичайні ситуації загальнодержавного значення. Внаслідок локалізації та ліквідації великих і особливо великих лісових пожеж, пожеж у природних екосистемах, залучається значна кількість особового складу та техніки. Знищуються практично усі компоненти довкілля – флора, фауна, ґрунти, забруднюються річки, водойми, повітря. Пожежі у природних екосистемах спричиняють потрапляння в атмосферу значної кількості легких продуктів горіння та небезпечних речовин і сполук.

Метою роботи є висвітлення результатів досліджень моніторингу довготривалого впливу лісових пожеж на один із найважливіших компонентів екосистеми – едафотоп. Для досягнення поставленої мети були сформовані такі основні завдання: провести аналіз наукових та літературних джерел щодо проблематики впливу лісових пожеж на едафотоп у вітчизняному та зарубіжному контекстах; дослідити модельне вогнище стосовно температурного та вологісного режимів; встановити температуру полум'я на різних ділянках модельного вогнища; встановити потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання на місці проведення експерименту.

Теплові режими Малого Полісся є достатніми для розвитку багатьох рослин. Вегетаційний період триває понад 200 днів, а період з активними температурами (понад +10°C) – 150–160 днів. Більше 100 днів у році мають середньодобову температуру понад +15°C (період інтенсивної вегетації). Відлиги, які понижують морозостійкість лісових та сільськогосподарських культур, затяжні весни у зв'язку з повільним таненням снігу гальмують швидкий прихід тепла.

Експериментальні дослідження з вивчення впливу ландшафтних пожеж на екологічний стан едафотопу здійснювалися на території Малого Полісся поблизу Рава-Руського лісництва в селі Лавриків Жовківського району Львівської області. Відбір проб ґрунтів для досліджень їхнього екологічного стану здійснювався із врахуванням давності

(за роками) горіння рослинності та лісової підстилки. Також було створено штучне модельне вогнище ландшафтної пожежі (низової, лісової) на відкритому просторі з дотриманням усіх вимог Правил пожежної безпеки в лісах України з метою фіксування температури та вологості ґрунту в зоні горіння, а також аналізу відібраних ґрунтових проб із ділянок горіння.

Встановлено, що температура полум'я під час горіння лучної рослинності в початковий момент часу становила $+66,7^{\circ}\text{C}$. У процесі горіння, через 20 секунд, температура полум'я сягнула $+352,5^{\circ}\text{C}$, максимальною температура полум'я була $+715,7^{\circ}\text{C}$ після вигорання всього горючого матеріалу (через 2,5 хв після початку досліду). Водночас, на глибині 5 см у початкових точках горіння температура едафотопу підвищується із $+7^{\circ}\text{C}$ до $+20 \pm 24^{\circ}\text{C}$. Яскраво вираженого діапазону зміни вологості на глибині 5 см не спостерігалось. Отримані результати є важливими з точки зору вивчення впливу підвищених температур на компоненти біосфери, а також відновлення девастрованих територій.

Ключові слова: ландшафтна пожежа, пожежа в природних екосистемах, лісова пожежа, пожежна небезпека, пожежна безпека

Прийнятий: 05.10.2020; Рецензованої: 02.12.2020; Затверджений: 04.12.2020

THERMAL EFFECT OF LANDSCAPE FIRE ON ECOLOGICAL CONDITION OF EDAPHOTOP

Abstract

In Ukraine forest fires are becoming more significant and transform in emergencies of national importance. Due to the localization and elimination of large and especially large forest fires, fires in natural ecosystems a significant number of personnel and equipment is involved. Almost all components of the environment are destroyed flora, fauna, soils; rivers, reservoirs, air are polluted. Fires in natural ecosystems cause a significant amount of volatile combustion products and hazardous substances and compounds enter the atmosphere.

The objective of the work is to highlight the results of research monitoring the long-term impact of forest fires on one of the most important components of the ecosystem – edaphotope. To achieve this goal, the following main tasks were formed: to analyze scientific and literary sources on the impact of forest fires on edaphotope in domestic and foreign contexts; to investigate the model hearth in relation to temperature and humidity regimes; set the flame temperature in different parts of the model hearth; set the power of the equivalent dose of photon ionizing radiation at the site of the experiment.

Thermal regimes of Male Polissya are sufficient for the development of plants. The growing season lasts more than 200 days, and the period with active temperatures (over + 10°C) – 150–160 days. More than 100 days a year have an average daily temperature is above + 15°C (period of intensive vegetation). Thaws, which reduce the frost resistance of forest and agricultural crops, and long springs due to the slow melting of snow inhibit the heat arrival.

Experimental studies of landscape fires impact on the ecological condition of the edaphotope were carried out in the territory of Maly Polissya near Rava-Rusky forestry in the village of Lavrykiv, Zhovkva district, Lviv region. Sampling of soils was carried out taking into account the age (by years) of burning vegetation and forest litter. Also, an artificial model of landscape fire body (grassland, forest) was created in the open space in compliance with all requirements of the Rules of fire safety in the forests of Ukraine in order to record soil temperature and humidity in the combustion zone, and to analyze the soil samples from combustion sites.

It was found that the flame temperature during the burning of meadow vegetation at the initial time was + 66.7°C. During the combustion process, after 20 seconds, the flame temperature reached + 352.5°C, the maximum flame temperature was + 715.7°C after burning all the combustible material (2.5 minutes after the start of the experiment). At the same time, at a depth of 5 cm at the initial burning points, the temperature of the edaphotope rises from + 7°C to +20 ± 24°C. A pronounced range of changes in humidity at a depth of 5 cm was not observed. The obtained results are important from the point of view of studying the influence of elevated temperatures on the components of the biosphere, as well as the restoration of devastated areas.

Keywords: landscape fire, fire in natural ecosystems, forest fire, fire danger, fire safety

Received: 05.10.2020; **Reviewed:** 02.12.2020; **Accepted:** 04.12.2020

Wpływ termiczny pożarów terenów zielonych na stan ekologiczny edafotopu

Abstrakt

Na Ukrainie pożary lasów stają się coraz bardziej poważne i przeradzają się w kataklizmy o skali narodowej. Ze względu na lokalizację i eliminację dużych i bardzo dużych pożarów lasów oraz pożarów w ekosystemach naturalnych konieczne jest angażowanie znacznej liczby personelu i dużych ilości sprzętu. Zniszczeniu ulegają prawie wszystkie elementy składowe środowiska – zanieczyszczenie obejmuje florę, faunę, glebę, rzeki, zbiorniki wodne oraz

powietrze. Pożary występujące w ekosystemach naturalnych powodują powstanie znacznych ilości lotnych produktów spalania i przeniknięcie do atmosfery substancji niebezpiecznych i ich związków.

Celem pracy jest podkreślenie wyników badań monitoringowych długotrwałego wpływu pożarów lasów na najważniejsze komponenty ekosystemu – edafotopu. W tym celu przeprowadzone zostały następujące główne zadania: analizowanie źródeł naukowych i danych uzyskanych z literatury dotyczących wpływu pożarów lasu na edafotop w kontekście narodowym i międzynarodowym; badanie modelowego pieca w nawiązaniu do warunków związanych z temperaturą i wilgotnością; ustalenie temperatury płomienia w różnych miejscach modelowego pieca; ustalenie siły równoważnej dawki promieniowania jonizującego na miejscu przeprowadzanego eksperymentu.

Warunki termiczne w Male Polissya są odpowiednie dla wzrostu roślin. Okres wegetacyjny trwa ponad 200 dni, a okres z aktywnymi temperaturami (ponad + 10°C) – 150–160 dni. Przez ponad 100 dni w roku przeciętna dzienna temperatura wynosi ponad + 15°C (okres intensywnej wegetacji). Roztopy zmniejszają odporność na mróz terenów leśnych i upraw rolnych, a długie wiosny wynikające z powolnego roztopiania się śniegu opóźniają pojawienie się ciepła.

Badania eksperymentalne wpływu pożarów terenów zielonych na stan ekologiczny edafotopu zostały przeprowadzone na terytorium Mały Polissya w pobliżu leśnictwa Rawa Ruska we wsi Lavrykiw, rejon żółkiewski, obwód lwowski. Pobieranie próbek gleby przeprowadzono, biorąc pod uwagę wiek (określony w latach) płonącej zieleni i ściółki leśnej. Dodatkowo opracowano sztuczny model pożaru zieleni (pastwiska, las) na otwartej przestrzeni zgodnie z wszystkimi wymaganiami zasad bezpieczeństwa pożarowego w przypadku pożarów lasu na Ukrainie w celu rejestrowania temperatury i wilgotności gleby w strefie spalania i analizowania próbek gleby z obszarów spalania.

Stwierdzono, że temperatura płomienia w trakcie spalania roślin pastwiskowych w okresie wstępnym wynosiła + 66.7°C. W czasie procesu spalania, po 20 sekundach, temperatura płomienia osiągnęła + 352.5°C, natomiast maksymalna temperatura płomienia wynosiła + 715.7°C po całkowitym spaleniu materiału palnego (2.5 minut po rozpoczęciu eksperymentu). Jednocześnie na głębokości 5 cm we wstępnych punktach spalania temperatura edafotopu wzrasta od + 7°C do + 20 ± 24°C. Nie zaobserwowano znacznej skali zmian wilgotności gleby na głębokości wynoszącej 5 cm. Uzyskane wyniki są istotne z punktu widzenia badania wpływów podwyższonych temperatur na poszczególne składniki biosfery, jak również na odnawianie zniszczonych terenów.

Słowa kluczowe: pożar terenów zielonych, pożar w ekosystemach naturalnych, pożar lasu, zagrożenie pożarowe, bezpieczeństwo pożarowe

Przyjęty: 05.10.2020; Zrecenzowany: 02.12.2020; Zatwierdzony: 04.12.2020

Вступ

Ландшафтні пожежі, які виникають внаслідок підпалів лучної рослинності та швидко поширюються в часі і просторі набувають значних площ й перетворюються у надзвичайні ситуації природного характеру різних рівнів. У відповідності до оперативної інформації про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7.00 год. 09.05.2020 р. – в Україні з початку року виникли 34 надзвичайні ситуації, де загинуло 410 людей та 13700 людей постраждало. Слід зазначити, що із загальної кількості надзвичайних ситуацій, які виникли із початку 2020 року – 19 відноситься до природного характеру [1]. Найбільші пожежі у природних екосистемах в квітні та травні 2020 року виникли на території Київської (зона безумовного (обов'язкового) відселення) та Житомирської областей. Станом на 7.00 год. 01.05.2020 р. пожежі у лісових масивах зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення були локалізовані. Для облаштування протипожежних розривів залучено важку інженерну техніку ДСНС. Інженерною технікою створено 1 тис. 59 км мінералізованих смуг. Підрозділами ДСНС надавалася допомога ДАЗВ у гасінні окремих осередків тління торф'яників в осередках пройдених вогнем. До гасіння залучено 203 чоловік та 65 одиниць техніки, з них від ДСНС 145 чоловік особового складу та 35 одиниць техніки [2]. Станом на 30.04.2020 р. авіатехнікою з початку гасіння пожеж у зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення здійснено 2 тис. 354 скиди – 5 тис. 378 т води [3]. Станом на 7.00 год. 01.05.2020 р. до гасіння пожеж на території Житомирської області залучено 587 чоловік та 92 одиниці техніки, з них від ДСНС 100 чоловік особового складу та 31 одиниця техніки [2]. Внаслідок локалізації та ліквідації великих і особливо великих лісових пожеж, пожеж у природних екосистемах залучається значна кількість особового складу та техніки. Знищуються практично усі компоненти довкілля – флора, фауна, ґрунти, забруднюються річки, водойми, повітря.

В Україні проводяться значні дослідження пожеж у природних екосистемах. У роботі автором [4] стверджується, що температурний режим горіння підстилки і вплив теплопровідності на ґрунт та кореневу систему вивчено недостатньо. Відомі поодинокі закордонні роботи з дослідження результатів горіння підстилки в натурних експериментах із підпалом лісових ділянок, експериментального дослідження низових пожеж, вивчення горіння мульчі та впливу її горіння на ґрунт у лабораторних умовах.

У статті [5] розглянуто інформаційну систему раннього виявлення епіцентрів лісових пожеж, яка дає можливість: автоматизувати процес обробки аерофотозображень та відеопотоків даних, отриманих з бортів сучасних безпілотних літальних апаратів, що дають змогу створити мобільні автоматизовані робочі місця фахівців з можливістю миттєвого оповіщення про пожежну небезпеку (з доступом через внутрішні мережі та мережі загального користування); підвищити ефективність протипожежного моніторингу лісових насаджень шляхом використання сучасних безпілотних літальних апаратів, обробки та виведення інформації в on-line режимі; розширити інформаційно-функціональні можливості сучасних безпілотних літальних апаратів [2].

Експериментально [6] встановлено, що при спалюванні рослинних решток відбувається зменшення чисельності тварин (педобіонтів) та мікроорганізмів, які беруть безпосередню участь у ґрунтоутворюючих процесах. Крім того, згубним наслідком спалювання рослинності є зменшення вмісту гумусу та забруднення повітря викидами, що разом із димом від згорання потрапляють в атмосферу. При горінні сухою температурою полум'я досягає $+300^{\circ}\text{C} \pm 400^{\circ}\text{C}$, при цьому поверхня ґрунту нагрівається близько до $+200^{\circ}\text{C} \pm 300^{\circ}\text{C}$ в залежності від його складу. Такий термічний вплив є короткостроковим, але достатнім для зменшення вмісту органічної речовини – гумусу та гибелі зооценозу. Листя, що тліє без доступу кисню виділяє бенз(а)пірен – речовину, що може бути причиною онкологічних захворювань. Крім того, залишки спаленого листя отруюють ґрунт, призводячи до зниження ферментативної активності верхнього шару. Біологічне різноманіття є невід'ємною складовою довкілля та основою існування людини. Будь-який вплив на нього призводить до порушення цілісності екосистеми. Однією з причин порушення рівноваги в екосистемі є явище сезонного спалювання сухої рослинності [6].

У роботі [7] досліджено розподіл обмінних, водорозчинних катіонів та їхній хімічний склад у темно-сірих опідзолених ґрунтах Малехівського пасма Пасмowego Побужжя в умовах їх постпірогенної трансформації. В процесі пожежі у досліджуваній ґрунт потрапляє зола рослинності, яка трансформується в розчинні форми. За цих умов виявлено депонування катіонів у підорному горизонті на глибині понад 30 см, а концентраційні їх зміни виражені в шарі 0–5 см. Показано зсув актуальної кислотності ґрунтів у нейтральну область та ущільнення ґрунту після пожежі рослинного покриву [7].

Авторами [8] проаналізовано причини цілеспрямованих підпалів сухої рослинності на Карпатських полонинах і їх наслідки на довкілля та здоров'я

місцевого населення. Встановлено, що впродовж останніх років часто відбувається інтенсивне випалювання сухої трави як на заповідних територіях гірських Карпат, так і на інших просторах України. Саме тому відповідні фахівці структурних підрозділів ДСНС України виявляють значну цікавість до ідеї створення загального інформаційно-технологічного простору в масштабах країни або групи країн, об'єднаних взаємними обов'язками у сфері прогнозування, виявлення та оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій природного характеру: повеней і паводків, лісових пожеж та пожеж на відкритих Карпатських полонинах, а також різних метеорологічних явищ [8].

У науковій статті [9] описано результати лабораторних досліджень пожежо-небезпечних властивостей найпоширеніших видів лісових горючих матеріалів. У лабораторії за стандартною методикою визначено температуру займання хвої сосни звичайної, листя дуба звичайного, граба звичайного та вільхи чорної (свіжозірваного і сухого) та сухих фрагментів надземної частини деяких трав'яних рослин і чагарників. Виявлено, що температура займання свіжозірваної хвої є нижчою, ніж сухої. Для листя дерев спостерігається зворотна залежність, а найнижчою є температура займання листя вільхи чорної. Температура займання досліджених сухих трав'яних рослин і чагарників перебуває у межах $+220 \pm 264^\circ\text{C}$. Визначено і температуру полум'я під час горіння лісових горючих матеріалів, яка для деревних рослин є найбільшою для хвої сосни звичайної, а найменшою – для листя вільхи чорної [9].

Зокрема, у роботі [10] описано результати досліджень пожежної небезпеки рослин наземного ярусу в лісах різних типів лісорослинних умов. Пожежну небезпеку рослин визначено за шкалою Мелехова (пожежонебезпечні, слабозаймісті та вогнестійкі), розширеною представниками, поширеними в лісах Малого Полісся. Під час польових досліджень пожежну небезпеку пробних ділянок оцінено за вологістю верхнього шару підстилки та діаметром її вигорання [10].

Дослідження [11] присвячені оцінці впливу віку деревостану на органічний вуглець ґрунту (SOC). Встановлено, що SOC зберігається головним чином в ґрунтах з розміром часток > 10 мм і 2–5 мм. Накопичення SOC під час заліснення відбувається переважно в макроагрегатах, які мають швидший повітрообмін, ніж мікроагрегати. Ґрунти зрілих та перезрілих лісів все ще мають високий рівень зберігання вуглецю, особливо у глибших шарах ґрунту (60–80 см, 80–100 см).

У роботі [12] відображено дослідження ґрунтів у післяпожежний період. На контрольній ділянці властивості ґрунту залишалися незмінними протягом 2 років

моніторингу, а мікробні параметри, постраждали від пожежі, відновлювались швидше на контрольній ділянці, ніж на відновлювальній ділянці. Відновлення рослин також показало деякі відмінності – за кількістю видів відмінностей на ділянках майже не спостерігалось, проте на дослідній ділянці кількість видів була вищою, аніж на контрольній.

Було вивчено вплив лісових пожеж та відновлювальних дій на вміст та структуру органічної речовини ґрунту в під сосною (*Pinus pinea*) з Національного парку Доняна (Південна Іспанія) [13]. Зразки відбирали із вигорілих ділянок до та після пожежної реставрації та порівняно з незгорілою ділянкою. Встановлено, що дії з управління ґрунтом після пожежі призводять до збільшення ароматичності, що відповідає накопиченню лігніну та поліциклічних ароматичних сполук. Це передбачає додаткові надходження обвугленої лігноцелюлозної біомаси, включаючи чорний вуглець, яка була включена в ґрунт під час реабілітаційних практик.

Наукова праця [14] відображає дослідження наслідків пожежі, яка сталася > 50 років тому в помірному тропічному лісі, яка спричинила повені в Плацик Андосол (Чилі). Встановлено, що викиди CO_2 із ґрунтів були вищими в незгорілому лісі, ніж у згорілому, і позитивно корелюють з температурою і негативно із вмістом ґрунтової води на обох ділянках. Обидві ділянки були поглиначами CH_4 (вище в незгорілому лісі), а потоки позитивно корелювали із вмістом ґрунтової води та негативно з температурою (сильніше відношення в згорілому лісі). Викиди N_2O були низькими на обох ділянках.

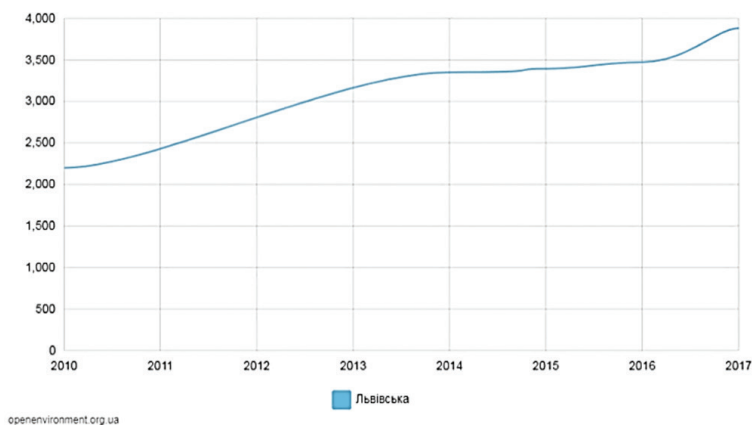
Таким чином, лісові пожежі та пожежі у природних екосистемах спричиняють потрапляння в атмосферу значної кількості летких продуктів горіння та небезпечних речовин і сполук.

Поряд із цим, у Львівській області з року в рік зростають викиди небезпечних речовин у довкілля, джерелами яких є промислові підприємства, транспорт та об'єкти інфраструктури. На рис. 1 зображено викиди небезпечних речовин на території Львівщини за період 2010–2017 років (оксид вуглецю, діоксид вуглецю, діоксид сірки, неметанові органічні сполуки).

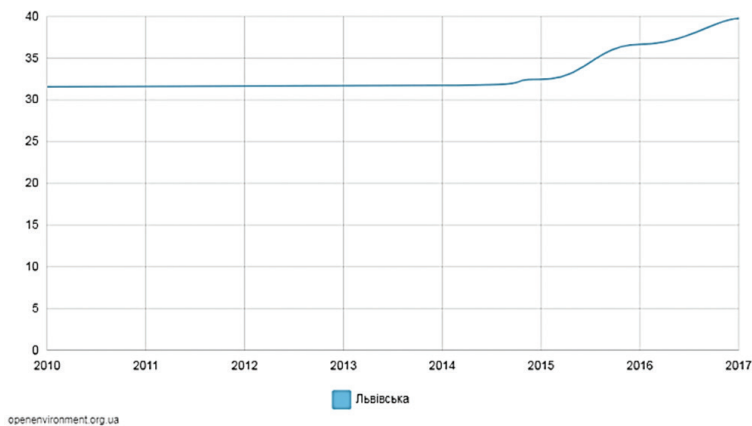
З огляду на вищенаведені результати експериментальних досліджень та статистичних даних можна зробити заключення, що особливості впливу ландшафтних пожеж на біоту і їх профілактика потребує більш глибоких досліджень.

Для досліджуваного регіону Малого Полісся попередніми дослідниками не встановлено температурні та вологісні режими поверхневого шару едафотопу

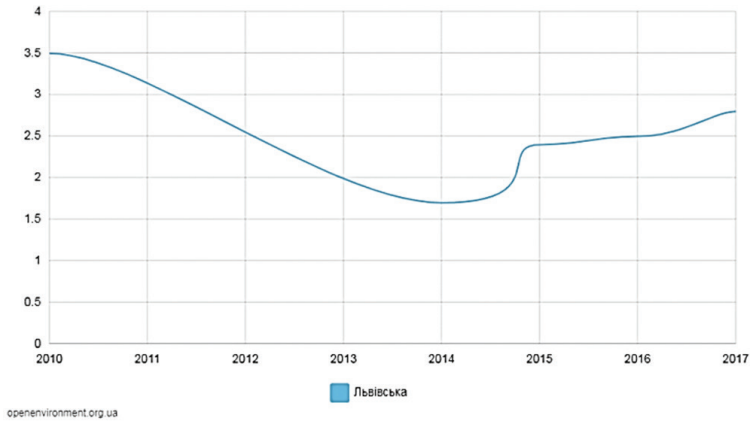
під час низових лісових пожеж. Також не вирішеними залишаються питання радіаційного фону в зоні низових лісових пожеж та при горінні лучної рослинності, що є важливим показником для визначення ступеня захисту пожежників.



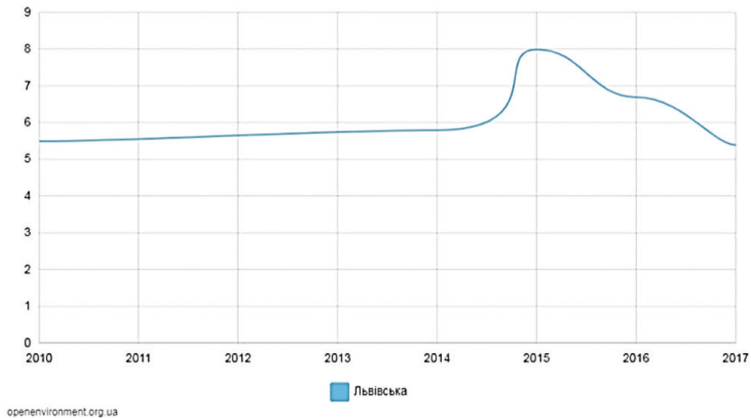
а) Викиди діоксиду вуглецю у Львівській області, тис. тон



б) Викиди діоксиду сірки у Львівській області, тис. тон



в) Викиди неметанових органічних сполук у Львівській області, тис. тон



г) Викиди оксиду вуглецю у Львівській області, тис. тон

Рисунок 1. Викиди небезпечних речовин на території Львівщини за період 2010–2017 років (за даними <http://www.openenvironment.org.ua>)

Методи досліджень. Метою роботи є висвітлення результатів досліджень моніторингу довготривалого впливу лісових пожеж на один із найважливіших компонентів екосистеми – едафотоп. Для досягнення поставленої мети були сформовані такі основні завдання: провести аналіз наукових та літературних джерел щодо проблематики впливу лісових пожеж на едафотоп у вітчизняному та зарубіжному контекстах; дослідити модельне вогнище стосовно температурного

та вологісного режимів; встановити температуру полум'я на різних ділянках модельного вогнища; встановити потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання на місці проведення експерименту.

Експериментальні дослідження з вивчення впливу ландшафтних пожеж на екологічний стан едафотопу здійснювалися на території Малеого Полісся поблизу Рава-Руського лісництва в селі Лавриків Жовківського району Львівської області.

Було створено штучне модельне вогнище ландшафтної пожежі (низової, лісової) на відкритому просторі з дотриманням усіх вимог Правил пожежної безпеки в лісах України [15] з метою фіксування температури та вологості ґрунту в зоні горіння, а також аналізу відібраних ґрунтових проб із ділянок горіння.

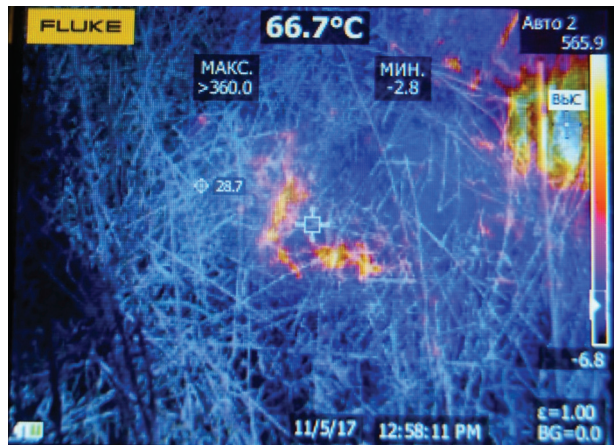
Під час проведення експерименту було використано наступні прилади: вольтметр «МГ-44», рН метр та контактний пірометр «КС-300В», безконтактний пірометр GM1150A, тепловізор «Fluke», екотестер довкілля «Soeks».

Дослідження проводилися під час пожежонебезпечного періоду в травні 2017 року. Температура довкілля становила $+22^{\circ}\text{C}$, вітер – східний зі швидкістю 2,5 м/с. Угіддя – водонасичена рілля.

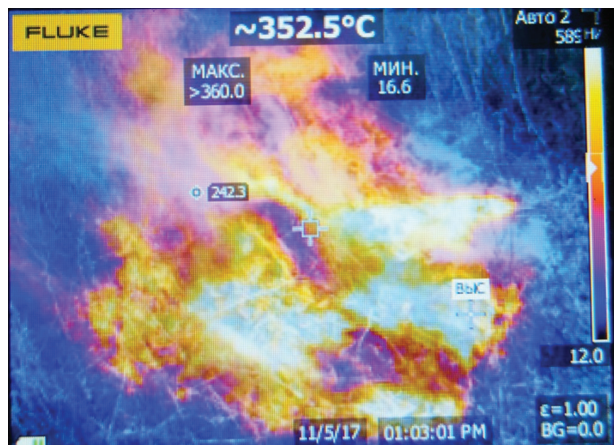
Зазначимо, що теплові режими Малеого Полісся є достатніми для розвитку багатьох рослин. Вегетаційний період триває понад 200 днів [16], а період з активними температурами (понад $+10^{\circ}\text{C}$) – 150-160 днів. Більше 100 днів у році мають середньодобову температуру понад $+15^{\circ}\text{C}$ (період інтенсивної вегетації). Відлиги, які понижують морозостійкість лісових та сільськогосподарських культур, затяжні весни у зв'язку з повільним таненням снігу гальмують швидкий прихід тепла [16]. Сонячна радіація є одним із основних чинників формування клімату. Річний прихід сумарної сонячної радіації складає $92,7 \text{ ккал/см}^2$. Тому, клімат помірно-континентальний з м'якою зимою, не жарким літом, затяжними зимою і осінню. Переважаючими вітрами є західні і південно-західні. При надходженні арктичного повітря взимку і на початку весни спостерігаються найбільш низькі температури, коли впродовж доби пониження температури може становити -20°C і більше. Середньорічна температура повітря складає $+7,0^{\circ}\text{C} \pm 7,5^{\circ}\text{C}$. Ґрунт промерзає в середньому на 20–25 см, в окремі роки не промерзає. Середня висота снігового покриву становить 12-14 см.

Дані температурних режимів та опадів є важливими з точки зору моніторингу пожежонебезпечного періоду в регіоні. Зазначимо, що проведення подібного типу експерименту на території досліджуваного регіону у наукових та літературних джерелах нами не виявлено.

Результати та обговорення. Під час контрольованого підпалу лучної рослинності спостерігалось, що температура полум'я в початковий момент часу досягла значення $+66,7^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Надалі у процесі горіння, через 20 секунд, температура полум'я сягнула $+352,5^{\circ}\text{C}$. Максимальною температура полум'я була $+715,7^{\circ}\text{C}$ після вигорання всього горючого матеріалу через 2,5 хв після початку дослідів (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2. Моніторинг модельного вогнища: а) в початковий момент часу; б) під час проходження фронту пожежі

Фіксація температури ґрунту та вологості контрольованого підпалу (модельного вогнища) проводилася у 8-ми точках: 1 – місце підпалу і подальше джерело горіння; 2 – через 0,75 м від джерела горіння на схід (фронт); 3 – через 1,5 м від джерела горіння на схід (фронт); 4 – через 2 м від джерела горіння на схід (фронт); 5 – через 0,75 м від джерела горіння на північ (лівий фланг); 6 – через 1,5 м від джерела горіння на південь (правий фланг); 7 – 0,75 м від джерела горіння на захід (тил); 8 – 1,5 м від джерела горіння на захід (тил).

Встановлено, що найбільші значення температури ґрунту на глибині 5 см від поверхні горіння були в точках 1 та 2 (рисунок 3).

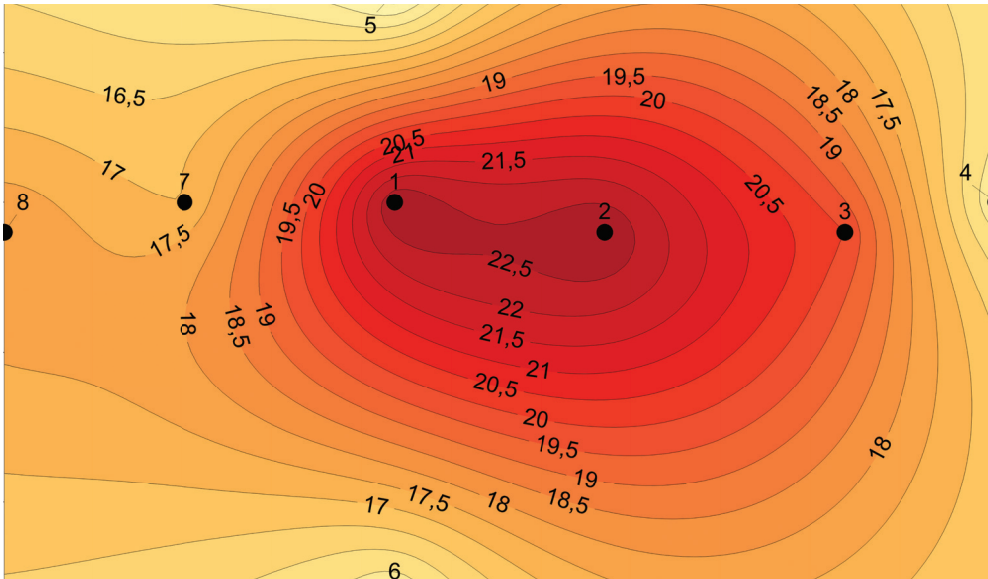


Рисунок 3. Температура ґрунту на глибині 5 см від поверхні горіння, °С

Моніторинг температури субстрату під час лучних пожеж з точки зору після-пожежного фітомеліоративного відновлення порушених територій є важливими. Фізико-хімічні властивості мінералізованого шару, який зазнав температурного впливу лучних пожеж, змінюються з точки зору зниження врожайності та згоряння поживних речовин. У нашому випадку (водонасичена рілля) під час проходження фронту пожежі на глибині 5 см у точках 1, 2, 3 температура підвищується до $+20 \pm 24^{\circ}\text{C}$. Такий температурний режим не є критичним для подальшого формування фітомеліоративного вкриття, проте, деякі представники біоти є чутливими до такого різкого збільшення температури субстрату.

Зауважимо, що для фітомеліоративного відновлення згаріщ необхідно використовувати рослинність із високими показниками жаростійкості. У зв'язку із горимістю та високою чутливістю до радіації, не рекомендується використовувати хвойні види для відновлення порушених земель. Важливою складовою заходів відновлення порушених територій вогнем є вологість субстрату, яка впливає на життєвість лісових рослин. Також вологість має вплив на комплексний показник пожежної небезпеки в лісі.

Досліджено, що вологість субстрату модельного вогнища в зоні джерела горіння на глибині 5 см є найнижчою та становила 97,9% у точці 1. Загалом, виміряні значення вологості субстрату коливаються в межах 97,0-99,5%. Така ситуація пов'язана перш за все із тим, що досліджувана ділянка знаходиться в низовині та характеризується високим ступенем вологості.

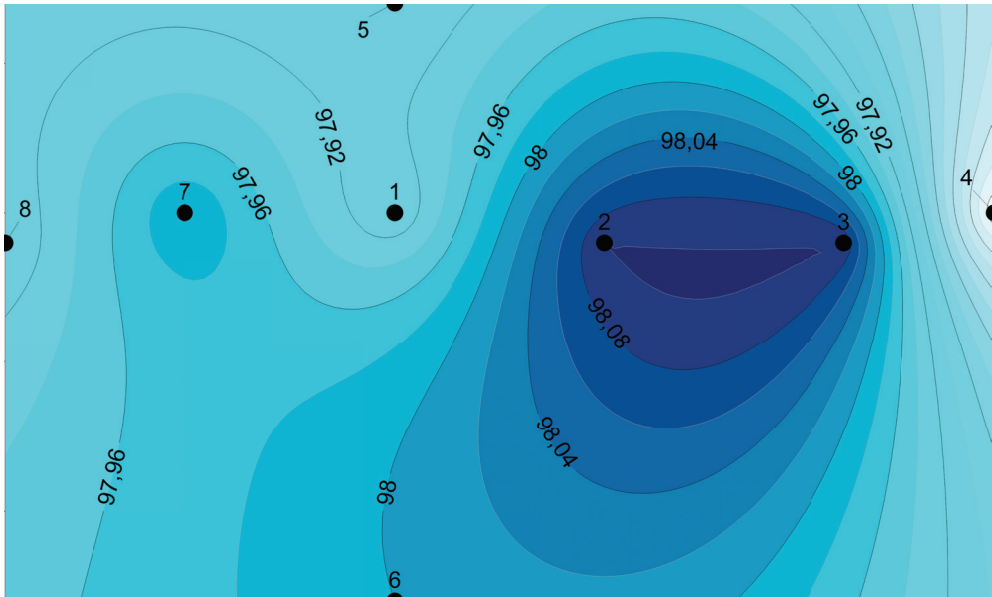


Рисунок 4. Вологість ґрунту на глибині 5 см від поверхні горіння, %

Потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання на місці проведення експерименту становила 0,11 мкЗв/год. та не перевищувала гранично-допустимі концентрації (0,3 мкЗв/год.).

Висновки. Моніторинг температури субстрату під час лучних пожеж з точки зору післяпожежного фітомеліоративного відновлення порушених територій

є важливими. Фізико-хімічні властивості мінералізованого шару, який зазнав температурного впливу лучних пожеж, змінюються з точки зору зниження врожайності та згоряння поживних речовин.

Ландшафтні пожежі спричиняють значне техногенне навантаження на всі компоненти біосфери. Під час проведення досліджень на території Малого Полісся встановлено, що температура полум'я під час горіння лучної рослинності в початковий момент часу становила $+66,7^{\circ}\text{C}$. У процесі горіння, через 20 секунд, температура полум'я сягнула $+352,5^{\circ}\text{C}$, максимальною температурою полум'я була $+715,7^{\circ}\text{C}$ після вигорання всього горючого матеріалу (через 2,5 хв після початку досліджу). Водночас, на глибині 5 см у початкових точках горіння температура едафотопу підвищується із $+7^{\circ}\text{C}$ до $+20 \pm 24^{\circ}\text{C}$. Яскраво вираженого діапазону зміни вологості на глибині 5 см не спостерігалося.

Отримані результати досліджень у подальшому можуть стати основою для проведення аналізу впливу низових лісових пожеж на міграцію важких металів, вигорання мінеральних речовин у едафічних горизонтах, впливу пірогенного чинника на фітомеліоративне відновлення територій, а також створення проти-пожежних розривів для профілактики лісових пожеж у межах досліджуваного регіону.

Література / Refences:

- [1] Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Оперативна інформація про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7 годин 9 травня 2020 року. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-dobu/108188.html>
- [2] Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Оперативна інформація про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7 годин 1 травня 2020 року. Електронний ресурс. Режим доступу <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-dobu/107971.html>
- [3] Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Оперативна інформація про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7 годин 30 квітня 2020 року.

- Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-dobu/107923.html>
- [4] Ворон В.П., Ткач О.М., Сидоренко С.Г. (2014), Тенденції у післяпожежному розвитку сосняків Рівненщини. Лісівництво і агролісомеліорація. 125. 181–187.
- [5] Гусак О.М. (2017), Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж. Вісник ЛДУ БЖД. 15. 33–38.
- [6] Симканич О.І., Делеган-Кокайко С.В., Глух О.С., Мірутенко В.В., Сухарев С.М. (2016), Вивчення впливу спалювання сухої рослинності на хімічні та біологічні показники ґрунту. Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія). 2 (36).
- [7] Бонішко О.С. (2016), Депонування та розподіл катіонів у темно-сірих опідзолених ґрунтах Малехівського пасма в умовах їх деградації. Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 21, 2.
- [8] Грицюк М.Ю., Лозинський О.І. (2011), Використання геоінформаційних технологій для виявлення підпалів сухої рослинності на карпатських полонинах. Вісник ЛДУ БЖД. 5.
- [9] Кузик А.Д. (2014), Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів. Науковий вісник НЛТУ України. 24.4. 214–218.
- [10] Кузик А.Д. (2014), Рослини наземного ярусу як фактор пожежної небезпеки лісових насаджень різних типів лісорослинних умов. Науковий вісник НЛТУ України. 24.7. Екологія та довкілля. 109–111.
- [11] Bai Y., Zhou Y., He H. (2020), Effects of rehabilitation through afforestation on soil aggregate stability and aggregate-associated carbon after forest fires in subtropical China. *Geoderma*. 376. 114548. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114548>
- [12] García-Orenes F., Arcenegui V., Chrenková K., Mataix-Solera J., Moltó J., Jara-Navarro A.B., Torres M.P. (2017), Effects of salvage logging on soil properties and vegetation recovery in a fire-affected Mediterranean forest: a two year monitoring research. *Science of the Total Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.090>
- [13] Jiménez-Morillo N.T., Almendros G., De la Rosa J.M., Jordán A., Zavala L.M., Granged A.J.P., González-Pérez J.A. (2020), Effect of a wildfire and of post-fire restoration actions in the organic matter structure in soil fractions. *Science of the Total Environment*. 728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138715>
- [14] Perez-Quezada J.F., Urrutiaa P., Olivares-Rojas J., Mejjide A., Sánchez-Cañete E.P., Gaxiola A. (2020), Long term effects of fire on the soil greenhouse gas balance

of an old-growth temperate rainforest. Science of the Total Environment. 755.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142442>

- [15] Правила пожежної безпеки в лісах України», затверджені Наказом ДК Лісового господарства України від 27.12.2004, №278.
- [16] Гончар М.Т. (1983), Лесные фитоценозы: повышение продуктивности и охрана (на материалах исследований в лесах равнинной части запада Украины). Львов : Вид-во «Вища шк.», Изд-во при Львов. ун-те. 168.

Попович Василь Васильович – начальник навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, доцент. У 2006 році закінчив Львівський державний університет безпеки життєдіяльності за спеціальністю «Пожежна безпека». У 2011 році захистив кандидатську дисертацію за спеціальністю «Лісові культури та фітомеліорація». У 2017 році захистив докторську дисертацію за спеціальністю «Екологічна безпека». Є автором понад 180 публікацій у галузі пожежної безпеки, цивільного захисту та екологічної безпеки. Наукові праці відображені в наукових профілях Scopus, Wef of Science, Google Scholar.

ORCID: 0000-0003-2857-0147

Гапало Андрій Ігорович – ад'юнкт Львівського державного університету безпеки життєдіяльності вечірньої форми навчання. У 2013 році закінчив Львівський державний університет безпеки життєдіяльності за спеціальністю «Транспортні технології». Є автором 5 публікацій у сфері лісових пожеж та пожеж у природних екологічних системах.

ORCID: 0000-0003-3543-4987