

УДК 630.43:630.561.24

**В. П. ВОРОН¹, В. Г. БОРИСЕНКО², І. О. БАРАБАШ²
В. К. МУНТЯН², О. М. ТКАЧ³, С. Г. СИДОРЕНКО¹, Є. Є. МЕЛЬНИК^{1*}**

ВПЛИВ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЛІСОВІ ҐРУНТИ

1. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

2. Національний університет цивільного захисту України

3. Рівненське обласне управління лісового та мисливського господарства

Одним із видів розповсюдження тепла під час низових пожеж є теплове випромінювання. Об'єктом дослідження були лісові ґрунти, моноліти яких піддавали тепловому випромінюванню на спеціально створеній установці, яка дає можливість у лабораторних умовах фіксувати розповсюдження в них теплових потоків. Виявлено особливості ходу цих процесів у типових для соснових і дубових лісів ґрунтах. Найвищу температуру визначено на поверхні ґрунту. За зростання глибини температура падала. Найбільш відчутне її зниження визначено в шарі від 0 до 4 см. Різниця між температурою на поверхні та на глибині 10 см для дернових слаборозвинених ґрунтів може становити 240–300 °С, для сірих лісових ґрунтів – 260–400 °С. Зафіксовано зростання температури глибинних шарів ґрунту навіть після припинення нагрівання. Нагрівання сухих піщаних дернових слаборозвинених ґрунтів углиб профілю відбувалося сильніше, ніж вологих. Піщані ґрунти прогрівалися сильніше і на більшу глибину, ніж суглинисті.

Ключові слова: низові пожежі, сосняки, ґрунт, теплове випромінювання, параметри горіння.

Вступ. Пожежі є одним із найбільш небезпечних для лісів України чинників, що завдають катастрофічних збитків. За період 2003–2015 рр. в Україні сталося 44,6 тис. лісових пожеж, при цьому площа пошкоджених лісів становила 69,9 тис. га, а загальна вартість заподіяних збитків – 455 млн грн (Statystychnyy zbirnyk 2017).

Лісові пожежі порушують рівновагу між окремими компонентами лісових екосистем (Sapozhnykov 1976). Найповніше вивчено вплив пожеж на деревостани (Girs 1982, Usenya 2002, Valendyk & Kosov 2008, Voron et al. 2016b, 2017, Sydorenko 2017), але водночас питанням впливу теплового випромінювання пожеж на ґрунт приділено мало уваги. Тому важливим є оцінювання як теплових режимів дії пожеж на поверхневий шар ґрунту, так і розповсюдження теплових потоків у верхніх шарах ґрунту з метою прогнозування змін фізико-хімічних властивостей ґрунту, водного балансу й життєдіяльності кореневої системи рослин і мікроорганізмів.

Загальні теплофізичні процеси під час пожежі є добре відомими (Konev 1977, Grishyn 1994, Kosov 2006). Дія температури понад 56 °С призводила до всихання хвої та пагонів через добу після термічного впливу, а побуріння пагонів поточного й минулих років і бруньок відзначали через 5 днів після нагріву до 52 °С (Girs 1982). Дерева, ушкоджені дією температури понад 60 °С, упродовж двох років заселялися стовбуровими шкідниками й відмирили (Furyayev & Furyayev 2008). Хоча відомо (Girs 1982), що термальне пошкодження тканин кореневих систем є смертельним для рослин, але сам механізм цього пошкодження вивчений недостатньо.

Температура горіння під час низової пожежі залежить від наявності, складу та стану надґрунтового покриву, запасу та вологості підстилки (Levchenko et al. 2015). Під впливом вогню відбувається часткове або повне згоряння підстилки. Попередніми дослідженнями встановлено, що температура горіння підстилки зі свіжого бору в повітряно-сухому стані сягає 295 °С, а в абсолютно сухому стані – 655 °С (Voron et al. 2016a). Температура горіння нижнього шару підстилки *N* коливається від 200 до 350 °С. Це підтверджується даними Sackett та Naase (1992), які встановили, що під час горіння надґрунтового покриву з відмерлої рослинності й мохів температура поверхні ґрунту може сягати 200–300 °С, а за горіння значних об'ємів лісових горючих матеріалів (ЛГМ) – навіть 500–850 °С (DeBano 2000). Однак у нижніх горизонтах зареєстровано значно нижчі температури. Так, L. DeBano на глибині 5 см зафіксував температуру близько 150 °С, а на глибині 20–30 см її підвищення

* © В. П. Ворон, В. Г. Борисенко, І. О. Барабаш, В. К. Мунтян, О. М. Ткач, С. Г. Сидоренко, Є. Є. Мельник, 2018.

не відбувалося (DeVano 2000). За даними W. Roberts (1965), під час горіння значних запасів ЛГМ температура ґрунту на глибині 10 см перевищувала 250 °С, а на глибині 22 см – 100 °С. Таким чином, вивчення характеру та ступеня дії лісових пожеж на ґрунти вже давно привертає увагу й має важливе значення для вивчення механізму пошкодження дерев під час пожеж. У цій роботі наведено результати досліджень температурного впливу на лісові ґрунти.

Мета дослідження – визначити параметри та динаміку температурного режиму лісових ґрунтів під впливом теплового випромінювання пожеж.

Матеріали й методи. Об'єктом дослідження були дернові слаборозвинені ґрунти: піщаний ґрунт із чистого соснового насадження і сірий лісовий ґрунт із дубового насадження. Методологію досліджень розроблено В. П. Вороном, В. Г. Борисенком і В. К. Мунтяном. На її основі в лабораторії кафедри фізико-математичних дисциплін НУЦЗУ В. К. Мунтяном, В. Г. Борисенком і І. В. Барабашом створено установку, яка дає змогу фіксувати розповсюдження теплових потоків у лісових ґрунтах.

До складу установки (рис. 1) входять: камера 1, що виготовлена із пористої вогнестійкої цегли, в яку встановлюють моноліт ґрунту; над камерою розміщено джерело регульованого теплового випромінювання 2, головним елементом якого є десять галогенових ламп потужністю 1,5 кВт кожна; вимірювальний комплекс 3. Для вимірювання температури в моноліт встановлювали та фіксували термометри, які через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) з'єднували з комп'ютером. Сигнал від АЦП оброблявся програмою *OWEN Process Manager*, а результати вимірювань упродовж експерименту контролювали візуально та фіксували в табличному й графічному виглядах. Одержані результати в табличному вигляді обробляли програмою *MS Excel*. Під час моделювання режиму нагрівання ґрунту враховували температуру горіння нижнього шару підстилки, яку було виявлено попередніми дослідженнями і яка коливалася від 200 до 350 °С (Voron et al. 2016a).

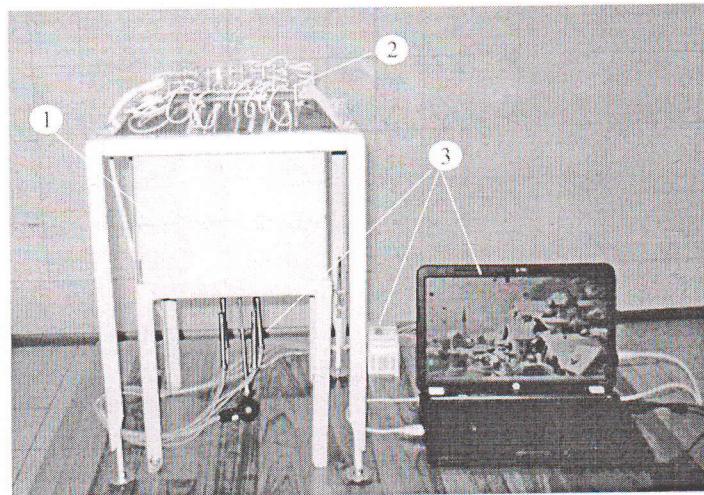


Рис. 1 – Установка для дослідження впливу теплових потоків:
1– камера; 2 – джерело теплового випромінювання; 3–вимірювальний комплекс

Моноліти ґрунтів відібрано в типових для сосни (В₂ДС) та дуба (D₂КлД) типах лісу Лівобережного Лісостепу. Моноліти для дослідження відбирали спеціальним контейнером розміром 15 × 15 × 25 см (рис. 2). Загалом проведено 4 експерименти: по два ґрунтові моноліти відібрано в сосновому (дернові слаборозвинені піщані ґрунти) та в дубовому (сірий лісовий ґрунти) насадженнях. Для кожного типу ґрунту досліджували два варіанти: вологий і сухий.



Рис. 2 – Контейнер для ґрунтових монолітів

Під час відбору монолітів брали до уваги погодні умови за 10-денний період перед відбором кожного зі зразків. Необхідні показники отримано на основі архіву погоди на метеостанції Харківського аеропорту (Архів погоди 2018). Особливу увагу приділено кількості опадів за весь досліджуваний період та в різні періоди до відбору. На основі метеоданих для оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди розраховано комплексний показник пожежної небезпеки (ПН) В. Г. Нестерова (Nesterov 1949). Встановлено клас пожежної небезпеки (КПН) за загальноукраїнською шкалою.

Показник пожежної небезпеки (ПН) визначається для поточної доби на основі даних за попередню добу за формулою (1):

$$\text{ПН}_n = k \times \text{ПН}_{n-1} + t(t - \tau), \quad (1)$$

де ПН_n – показник пожежної небезпеки для поточної доби, бали;

ПН_{n-1} – показник пожежної небезпеки за попередній день, бали;

t – температура, °С і τ – точка роси, °С, визначені о 12 годині дня;

k – коефіцієнт, який враховує опади попередньої доби.

За величиною показника виділено такі КПН:

I клас (до 300 балів) – пожежна небезпека відсутня;

II клас (від 301 до 1000 балів) – мала пожежна небезпека;

III клас (від 1001 до 4000 балів) – середня пожежна небезпека;

IV клас (від 4001 до 10000 балів) – висока пожежна небезпека;

V клас (понад 10000 балів) – надзвичайна пожежна небезпека.

Зважаючи на значну кількість дат (від 500 до 836) у вибірках, сформованих для кожного варіанту дослідження, було використано параметричну статистику (Атраментова & Утевська 2007). Для виявлення статистичної значущості впливу глибини заміру на відмінності у швидкості

теплопровідності ґрунту використано параметричний дисперсійний аналіз (ANOVA), найменшу суттєву різницю (Honestly Significant Difference (HSD) було розраховано за методом Тьюкі (Tukey HSD test), адже групи були рівновеликими. Силу впливу фактора було визначено методом Снедекора (h^2). (Atramentova & Utevska 2007).

Результати та обговорення. Дернові слабorozвинені піщані ґрунти. Експеримент з першим монолітом було проведено 22 червня 2016 року. На момент відбору моноліту зафіксовано високу пожежну небезпеку за Нестеровим (ПН 6524 – IV КПН), але вологість ґрунту моноліту була високою, оскільки за період з 11 по 20 червня випало 67 мм опадів.

Температура ґрунту до початку нагріву дорівнювала 25°C. Перший моноліт нагрівали впродовж 30 хвилин. Залежність температури ґрунту від часу нагрівання подано на рис. 3. Температура зростала до моменту припинення нагрівання, а далі почала стрімко падати. Максимальна температура на поверхні ґрунту досягла 304°C. Подібну тенденцію зміни температури виявили й на інших глибинах, але діапазон температур був значно нижчим.

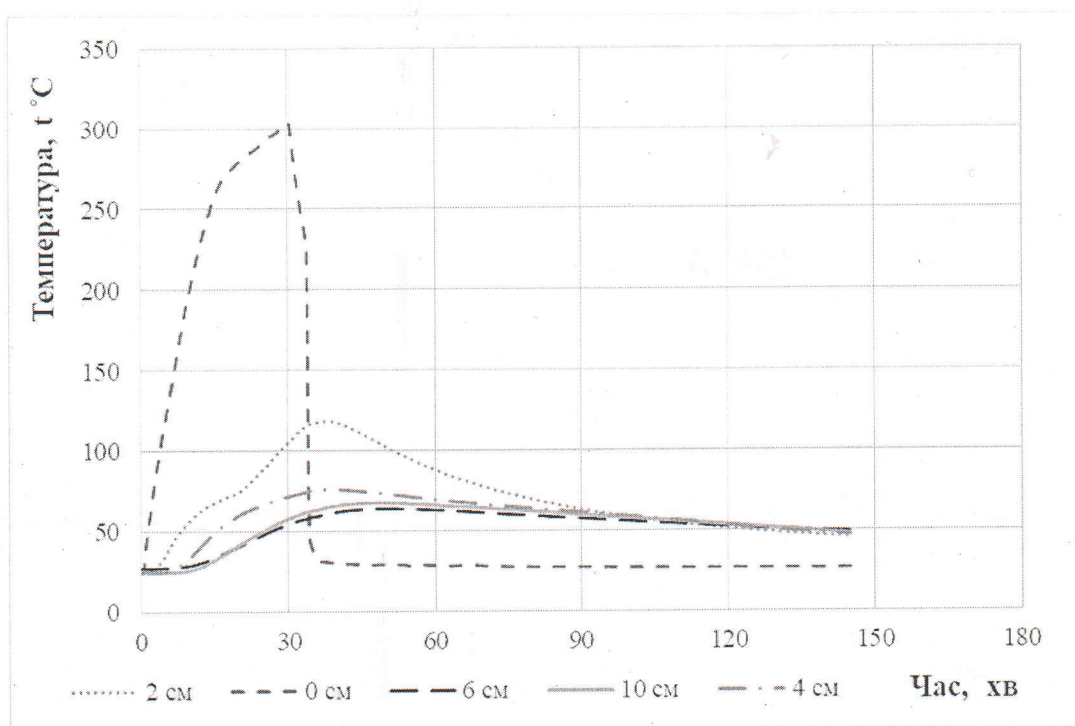


Рис. 3 – Залежність температури вологого піщаного ґрунту від часу нагрівання на різних глибинах

Так, на глибині 2 см він досяг максимуму в 118°C на 37-й хвилині, на глибині 4 см – 76°C на 38-й хвилині, на глибині 6 см – 67°C на 46-й, а на глибині 10 см – максимум в 64°C визначено на 50-й хвилині. Отже, у міру заглиблення в ґрунт температура знижувалася. Різниця між максимальними температурами на глибині 2 см і поверхнею ґрунтового моноліту становила 141°C, на глибині 10 см – 171°C. Після припинення нагрівання температура на поверхні ґрунту почала різко падати, а в нижніх шарах профілю вона й надалі зростає: на глибині 2 і 4 см – ще 7–8 хвилин, на глибині 6 см – 16, на глибині 10 см – 20 хвилин. Суттєвість відмінностей змін температури ґрунту на різних глибинах було доведено статистично ($F_f = 28,64$; $p = 0,01$). Сила впливу фактора за Снедекором $h^2 = 0,87$ свідчить, що розходження у швидкості нагрівання вологого піщаного ґрунту визначалися глибиною заміру на 87%. Для того, щоб з'ясувати, середні яких груп дисперсійного комплексу розрізняються, застосовано тест Тьюкі (Tukey HSD). Виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно різнилися групи 0 см та 4, 6, 10 см. Групи 0 см та 2 см достовірно не відрізнялися. Групи 4, 6 та 10 см між собою достовірно також не різнилися. Тобто середні температури ґрунту на глибині понад 4 см не розрізнялися, статистично

значущі відмінності виявлено лише під час порівняння температури ґрунту на незначній глибині в 0–2 см з даними із глибших шарів ґрунту, що вказує на слабку теплопровідність вологого піщаного ґрунту.

Експеримент із другим монолітом дернового слабозвиненого піщаного ґрунту проведено 8 серпня 2016 року. Погодні умови на момент відбору моноліту були значно посушливішими, тому в цей день зафіксовано високий рівень комплексного показника пожежної небезпеки (ПН 7833 – IV КПН), а вологість повітря становила лише 42 %. За період з 20 липня по 1 серпня випало лише 5 мм опадів. Температура ґрунту до початку нагріву дорівнювала 26°C. Моноліт нагрівали впродовж 30 хвилин. Залежність температури ґрунту від часу нагрівання подано на рис. 4. Максимальна температура на поверхні ґрунту становила 375°C. Після припинення нагріву вона трималась ще 25 хвилин, а далі почала швидко падати. Максимальну температуру в 314°C на глибині 2 см зафіксовано на 50-й хвилині, на глибині 4 см максимум у 185°C зареєстровано на 70-й хвилині, на глибині 6 см – 120°C на 90-й, на глибині 10 см виявлено максимум 67°C на 120-й хвилині з моменту початку експерименту.

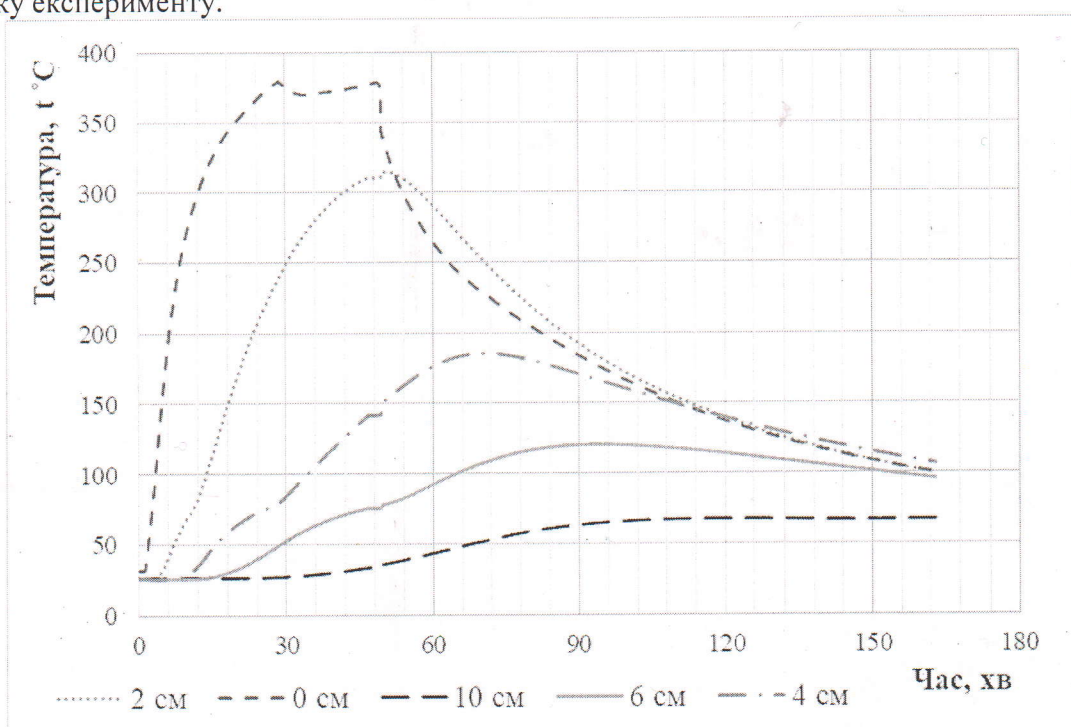


Рис. 4 – Залежність температури сухого піщаного ґрунту від часу нагрівання на різних глибинах

Суттєвість відмінностей змін температури ґрунту на різних глибинах сухого піщаного ґрунту було доведено статистично ($F_f = 745,9$; $p = 0,01$). Сила впливу фактора за Снедекором $h^2 = 0,99$ свідчить, що розходження у швидкості нагрівання сухого піщаного ґрунту визначалися глибиною заміру на 99 %. Тестом Тьюкі (Tukey HSD) виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ усі групи достовірно розрізнялися, тобто середні температури ґрунту на всіх глибинах впродовж експерименту різнилися, і такі відмінності були статистично значущими. Це вказує на сильнішу теплопровідність сухого піщаного ґрунту, якщо порівняти з вологим.

В обох випадках після припинення нагрівання впродовж 2 годин відбувалося поширення тепла вглиб профілю. Однак процеси теплообміну у порівнянні з першим монолітом були тривалішими й характеризувалися вищою температурою. Зокрема, хоча різниця між температурою на глибині 10 см і поверхнею ґрунту перевищувала 300°C, усе ж було досягнуто температури 67°C, яка є летальною для тканин камбію корневих систем.

Сірі лісові ґрунти. Експеримент із першим монолітом із сірим лісовим ґрунтом було проведено 4 липня 2016 року. Період до відбору монолітів відзначався сильними зливами, з 20.06 по 01.07 випало 96 мм опадів.

Температура ґрунту до початку нагріву становила 24°C. Моноліт нагрівали впродовж 40 хвилин. Залежність температури ґрунту від часу нагрівання наведено на рис. 5. Температура на поверхні ґрунту досягла максимуму в 302°C. Після припинення нагріву температура на поверхні ґрунту через 30 хвилин знизилася до 150°C, а ще через годину становила 60°C. Практично синхронно нагрівався ґрунт на глибині 1 см, але максимум температури становив 280°C.

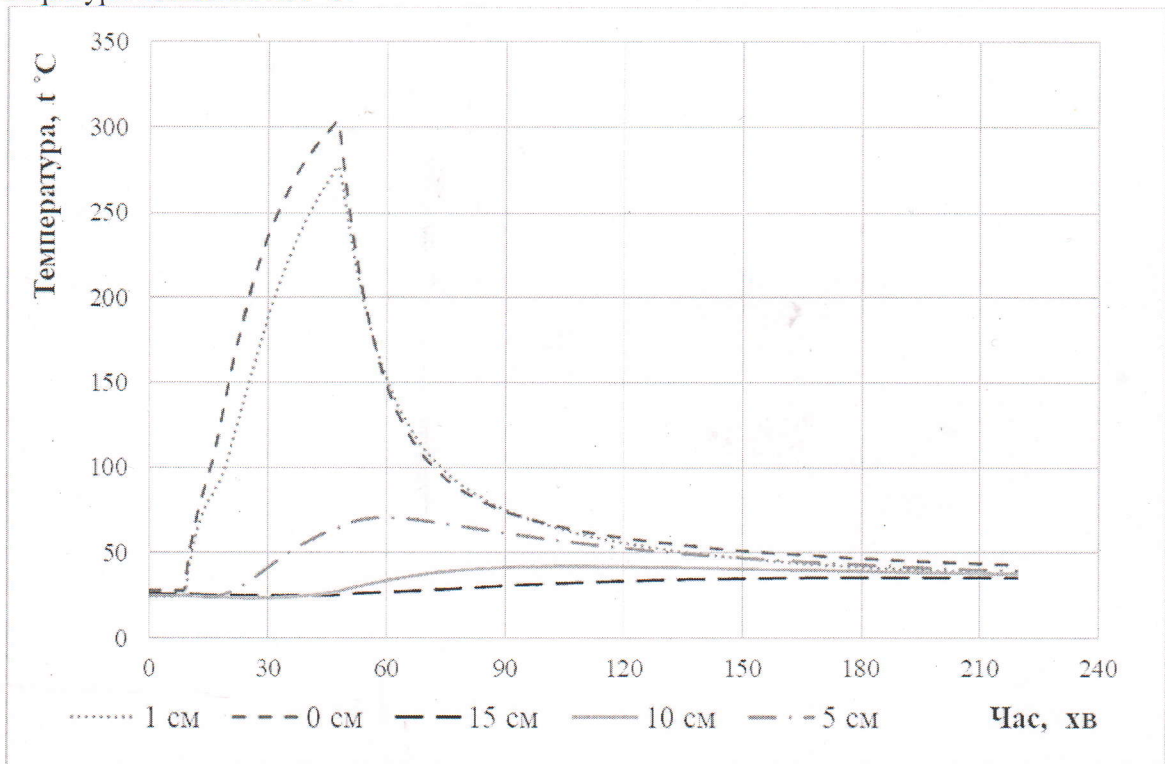


Рис. 5 – Залежність температури вологого сірого лісового ґрунту від часу нагрівання на різних глибинах

Зовсім інакше змінювалася температура на більшій глибині моноліту. Так, на глибині 5 см температура досягла максимуму 70°C після 53 хвилин від початку нагрівання (на 15-й хвилині після вимкнення нагріву), на глибині 10 см максимум в 42°C зафіксовано лише через півтори години (через годину після вимкнення джерела нагрівання), на глибині 15 см максимум в 40°C спостерігали через дві години 40 хвилин (через дві години після вимкнення джерела нагрівання).

Відмінності зміни температури на різних глибинах вологого сірого лісового ґрунту були статистично достовірними ($F_f = 984,2$; $p = 0,01$; $h^2 = 0,99$). Тестом Тьюкі (Tukey HSD) виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно попарно різнилися групи «поверхня ґрунту», 2 см та 10 см; групи 4 та 6 см достовірно не різнилися між собою.

Експеримент з другим монолітом сірих лісових ґрунтів проведено 22 вересня 2016 року. Комплексний показник ПН в цей час становив 10223, тобто клас пожежної небезпеки був найвищим – V. За період з 1 по 20 вересня випало лише 4 мм опадів.

Температура ґрунту до початку нагріву становила 17°C. Залежність температури ґрунту від часу нагрівання подано на рис. 6. Максимум температури на поверхні ґрунту – 450°C – було зафіксовано через півтори години нагрівання. Після припинення нагрівання температура почала стрімко знижуватися і на 2-й годині від початку експерименту становила 150°C, а ще через 30 хвилин – 100°C.

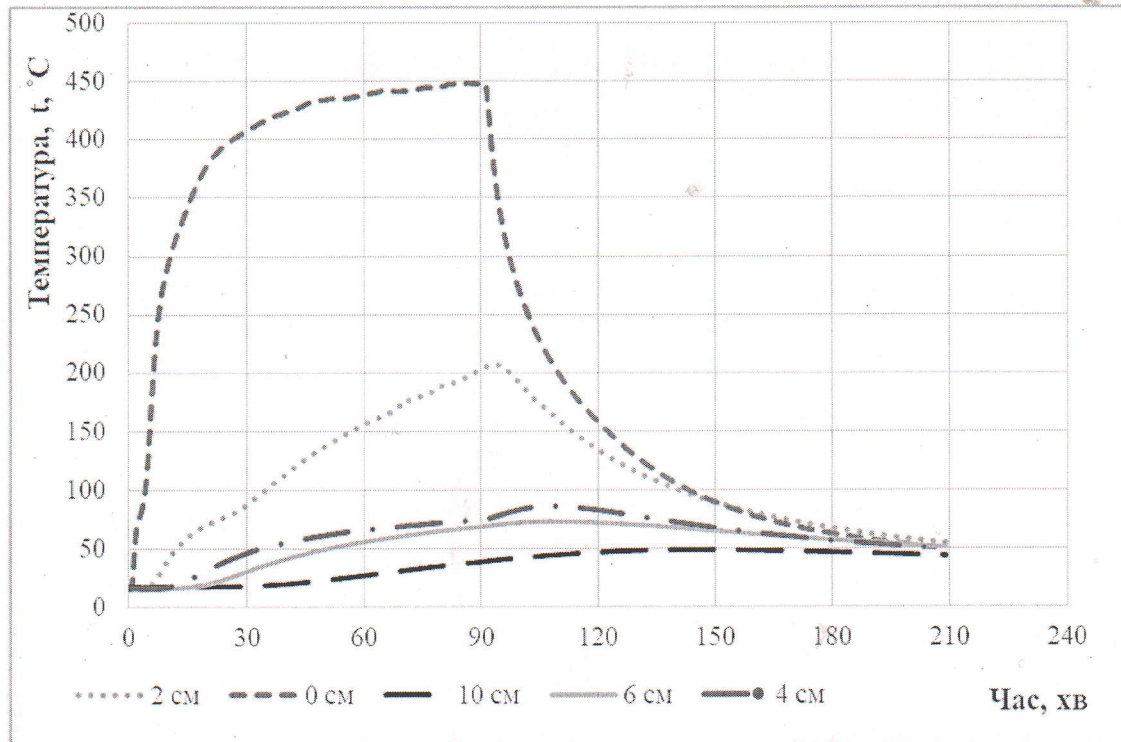


Рис. 6 – Залежність температури сухого сірого лісового ґрунту від часу нагрівання на різних глибинах

Зростання температури на глибині 2 см розпочалося через 5 хвилин від початку нагріву й тривало півтори години, досягнувши максимуму в 200°C. Зниження почалося практично відразу після припинення нагрівання. Майже синхронно відбувалося зростання температури на глибині 4 і 6 см. Максимум 80°C було зафіксовано через 1 годину і 50 хвилин, тобто через 10 хвилин після припинення нагрівання. Що стосується глибини 10 см, то зростання температури розпочалося на 20-й хвилині від початку нагрівання і тривало впродовж усього періоду експерименту, досягнувши рівня 50°C.

Відмінності зміни температури на різних глибинах сухого сірого лісового ґрунту були статистично достовірними ($F_f = 364,5$; $p = 0,01$; $h^2 = 0,98$). Тестом Тьюкі (Tukey HSD) виявлено, що на рівні значущості $p = 0,05$ достовірно різнилися групи «поверхня ґрунту», 2 см та 4 см; групи 6 та 10 см достовірно не розрізнялися між собою.

Слід відзначити особливість температурного режиму ґрунтів, яка була найбільш помітною на глибинах 10–15 см. Так, з початком нагрівання впродовж нетривалого часу відбувалося невелике охолодження глибинних шарів (рис. 7). Очевидно, цей ефект зумовлений випаровуванням під дією тепла, що призводить до невеликого охолодження глибинних шарів. З проникненням тепла вглиб температура відновлюється до початкової, а потім починається нагрівання глибинного шару із запізненням відносно часу початку нагріву. Приклад цього ефекту для сірого лісового ґрунту можна спостерігати на рис. 5 для глибини 10 см, де відбувалось охолодження на 1,5°C відносно початкової температури, а збільшення температури відносно початкової розпочалося лише через 40 хвилин після початку нагрівання поверхні.

Для цього ж ґрунту на глибині 15 см відбувалось охолодження на 1,2°C, а збільшення температури відносно початкової розпочалося лише через 51 хвилину після початку нагрівання поверхні. Ефект охолодження є менш помітним на піщаних ґрунтах. Певно, цей процес має місце завжди, але його внесок в теплопередачу в різних умовах відрізняється, і його слід оцінювати за передаванням тепла за рахунок теплопровідності.

Залежно від типу ґрунту всі варіанти можна розподілити на групи: вологі й сухі. При цьому температури у вологому варіанті були значно нижчими. Так, у сухому варіанті в

піщаних дернових слаборозвинених ґрунтах температура поверхні ґрунту була на 70°C вищою, ніж у вологому (378°C проти 304°C). Але ще більшою була ця різниця в сірих лісових ґрунтах – 200°C.

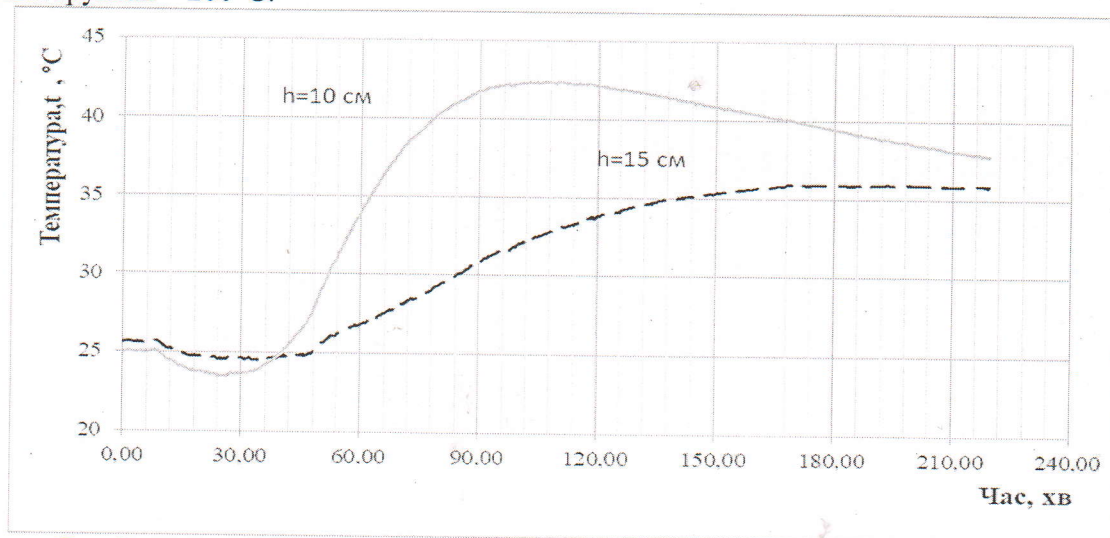


Рис. 7 – Залежність температури ґрунту від часу нагрівання на глибині 10 см та 15 см для сірого лісового ґрунту

Нагрівання сухих дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів углиб профілю відбувається сильніше, ніж вологих. Так, якщо в сухих ґрунтах на глибині 4 см температура сягала 186°C, то у вологих лише 76°C, аналогічно на глибині 6 см температура в сухих ґрунтах була 120°C проти 67°C у вологих. У сірих лісових ґрунтах ця тенденція була не так чітко виражена.

Висновки.

1. Нагрівання ґрунтів має виразно поверхневий характер. Найвищу температуру відзначено на поверхні ґрунту. У міру заглиблення температура знижувалася. Найбільше відчутне її зниження відбувалося в шарі від 0 до 4 см. Різниця між температурою на поверхні та на глибині 10 см становило для дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів 240–300°C, для сірих лісових ґрунтів – 260–400°C.

2. Зростання температур у глибині монолітів відбувалося з певним запізненням. Температура зростала навіть після припинення нагрівання.

3. Нагрівання сухих дернових слаборозвинених піщаних ґрунтів униз по профілю відбувається сильніше, ніж вологих.

4. Піщані ґрунти прогрівалися сильніше й глибше, ніж суглинисті. У піщаних ґрунтах на глибині 10 см температура становила 63–67°C, у суглинистих – 42–49°C. Тобто рівень нагріву в першому випадку був летальним, а в другому – лімітувальним.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Arkhi v pogody v Kharkove (aeroport) [Weather Archive, Kharkiv airport]. 2018. [Electronic resource]. Rp5.ua. Available from: <https://tinyurl.com/ya6o96nl> (last accessed date 10.01.2018) (in Ukrainian).

Atramentova, L. O. and Utevska, O. M. 2007. Porivnyannya hrup i analiz zvyazku [Group comparison and relations analysis]. Kharkiv, Ranok Publishing House, 176 p. (in Ukrainian).

DeBano, L. F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wild land environments: a review. *Journal of Hydrology*, 231–232: 195–206.

Furyayev, V. V. and Furyayev, E. A. 2008. Piroekologicheskie svoystva sosny obyknovЕННОI v Srednei Sibiri [Pyroecological properties of Scots pine in Central Siberia]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous of boreal zone], XXV(1–2): 103–108 (in Russian).

Girs, G. I. 1982. Fiziologiya oslablennogo dereva [Physiology of the weakened tree]. Novosibirsk, Nauka, 256 p. (in Russian).

- Grishyn, A. M. 1994. Teplofizika lesnykh pozharov [Thermophysics of forest fires]. Tomsk, Tomsk State University Publishing House, 207 p. (in Russian).
- Konev, E. V. 1977. Fizicheskie osnovy goreniya rastitelnykh materialov [Physical basis of combustion of plant materials]. Novosibirsk, Nauka, 239 p. (in Russian).
- Kosov, I. V. 2006. Ustoychivost khvoynykh porod k vozdeystviyu lesnykh pozharov [The resistance of coniferous species to the effects of forest fires]. Avtoref. diss. na soisk. uchen. stepeni kand. s.-kh. nauk [Extended abstract of PhD dissertation]. Krasnoyarsk, 22 p. (in Russian).
- Levchenko, V. V., Borsuk, O. A., Borsuk, A. A. 2015. Lisovi horiuchi materialy [Forest fire fuels]. Kyiv, NUBIP, 237 p. (in Russian).
- Nesterov, V. H. 1949. Gorimost lesa i metody yeyo opredeleniya [Forest fires risk and methods of its determination]. Moscow, Goslesbumizdat, 76 p. (in Russian).
- Roberts, W. B. 1965. Soil temperatures under a pile of burning logs. *Aus. For. Res.*, 1: 21–25.
- Sackett, S. S. and Haase, S. M. 1992. Measuring soil and tree temperatures during prescribed fires with thermocouple probes. *Gen. Tech. Rep. PSW 131*. Albany, CA, Pacific South west Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 15 p.
- Sapozhnikov, A. P. 1976. Rol ognya v formirovaniy lesnykh pochv [The role of fire in the formation of forest soils] *Ekologiya [Ecology]*, 1: 43–46 (in Russian).
- Statystychniy zbirnyk "Ukraina u tsyfrakh" (2009–2015). [Ukraine in numbers: Statistical Yearbook 2004–2015]. 2017. [Electronic resource]. Available from: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_ukr_zb.htm (in Ukrainian).
- Sydorenko, S. H. 2017. Postpirohennyi rozvytok sosniakiv Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Postpyrogenic growth of Scots pine stands in the Left-bank Forest-Steppe of Ukraine]. Avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. s.-h. nauk [Extended abstract of PhD dissertation]. Kharkiv, 22 p. (in Ukrainian).
- Usenya, V. V. 2002. Lesnye pozhary, posledstviya i borba s nimi [Forest fires, the effects and control]. *For. Inst. NASB, Gomel*, 206 p. (in Russian).
- Valendyk, E. N. and Kosov, I. V. 2008. Teplovoe izluchenie lesnykh pozharov i vozmozhnoe vozdeystvie ego na drevostoy [Thermal radiation of forest fires and its possible impact on a stand]. *Khvoynye borealnoy zony [Coniferous of boreal zone]*, XXV(1–2): 88–92 (in Russian).
- Voron, V. P., Borysenko, V. G., Tkach, O. M., Muntian, V. K., Barabash, I. O. 2016a. Parametry horinnya pidstylky sosnovykh lisiv Ukrayinskoho Polissya [Burning parameters of litter from Ukrainian Polissya pine forests]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioryatsiya [Forestry and Forest Melioration]*, 129: 130–138 (in Ukrainian).
- Voron V. P., Tkach O. M., Sydorenko S. H. 2016b. Osoblyvosti poshkodzhennya pozhezhamy lisiv u Polissi [Features of forest damage after wildfires in Polissya]. *Naukovi pratsi Lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrainy [Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*, 14: 38–44 (in Ukrainian).
- Voron V. P., Tkach O. M., Sydorenko S. H. 2017. Osobennosti pyrogenogo povrezhdeniya sosnyakov Polesya v zasushlyvye gody [Features of pine forests pyrogenic damage in arid years in Polissya]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: Sbornik nauchnykh trudov IL NAN Belarusi [Problems of forest science and forestry: Collection of scientific works of the National Academy of Sciences of Belarus (NASB)]*, 77: 413–424 (in Russian).

Voron V. P., Borysenko V. H., Barabash I. O., Muntian V. K., Tkach O. M., Sydorenko S. H., Melnyk Ye. Ye.
INFLUENCE OF THERMAL RADIATION ON FOREST SOILS

Forest fires are a powerful environmental factor that breaks the balance between the individual components of forest ecosystems. Thermal radiation is one type of the heat distribution during surface fires in forests. The objects of the study were forest soils, the monoliths of which were radiated with heat in specially created laboratory equipment. The facility allows detecting heat flux distribution in soils under laboratory conditions. The peculiarities of the processes for the typical soils for pine and oak stands were revealed. The highest temperature was observed on the surface of the soil. As the depth increased the temperature dropped. The most noticeable decrease was observed in a surface layer from 0 to 4 cm. The difference between the temperatures on the surface and at a depth of 10 cm could be 240–300°C for sandy soils and 260–400°C for gray forest soils. The temperature of deep soil layers increased even after stopping the heat radiation. The heating of dry sandy soils deep in to the profile occurs more strongly than in the moist sample. The sandy soil was found to warm deeper and more intensively as compared to loamy soils.

К е у w o r d s : surface fires, pine forests, soil, thermal radiation, combustion properties.

Ворон В. П., Борисенко В. Г., Барабаш И. А., Мунтян В. К., Ткач О. М., Сидоренко С. Г., Мельник Е. Е.
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЛЕСНЫЕ ПОЧВЫ

Одним из видов распространения тепла во время низовых пожаров является тепловое излучение. Объектом исследования были лесные почвы, монолиты которых подвергали тепловому излучению на специально созданной установке, которая позволяет в лабораторных условиях фиксировать распространение в них тепловых потоков. Выявлены особенности хода этих процессов в типичных для сосновых и дубовых лесов типах почвы. Наивысшая температура отмечена на поверхности почвы. По мере возрастания глубины температура падала. Наиболее ошутимое ее снижение наблюдалось в слое от 0 до 4 см. Разница между

температурами на поверхності и на глибині 10 см для дернових слаборозвитих ґрунтів може складати 240–300 °С, для сірих лісних ґрунтів – 260–400 °С. Зафіксовано зростання температури глибинних шарів ґрунту навіть після припинення нагріву. Нагрів сухих пісчастих дернових слаборозвитих ґрунтів вглиб профілю відбувався сильніше, ніж вологих. Пісчасті ґрунти прогрівалися сильніше и на більшу глибину, ніж суглинністі.

Ключевые слова: низовые пожары, сосняки, почва, тепловое излучение, параметры горения.

E-mail: voron@uriffm.org.ua; loki_888@i.ua

Одержано редколлегією: 19.01.2018