

## The effect of artificial forest plantations on the thermophysical properties of chernozems

V. A. Gorban

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

### Article info

Received 15.01.2019

Received in revised form  
22.01.2019

Accepted 01.02.2019

Oles Honchar Dnipro  
National University,  
Gagarin Ave., 72, Dnipro,  
49010, Ukraine.  
Tel.: +38-050-362-45-90  
E-mail: vad01@ua.fm

**Gorban, V. A. (2019). The effect of artificial forest plantations on the thermophysical properties of chernozems. *Ecology and Noospherology*, 30(1), 33–38. doi:10.15421/031906**

As a result of a study of the effect of artificial forest plantations formed by *Robinia pseudoacacia* L. and *Quercus robur* L., on the thermophysical features of the chernozems of the Komissarovsk reserve (Pyatykhatsky district, Dnepropetrovsk region, Ukraine), it was found that the stand of robinia reduced air temperature by 4, 5 °C, oak – by 9.4 °C in comparison with the open area. The maximum temperature of the soil surface is found in ordinary chernozem. The effect of robinia plantation manifested itself in the form of a decrease in the temperature of the soil surface by 5.4 °C, and the oak surface by 8.0 °C. The maximum soil temperature at a depth of 50 cm is also found in ordinary chernozem. At the same depth, the soil under robinia plantation turned out to be 7.6 °C, under oak – 6.9 °C colder. According to the average temperature of the 50-centimeter layer of all the studied soils, ordinary chernozem is distinguished, the soils under the plantations almost do not differ according to this indicator. The smallest difference between the air temperature and the average temperature of the soil layer 0–50 cm was in the soil under oak plantation, the largest – in the soil under robinia plantation. The smallest difference between the temperature of the soil surface and at a depth of 50 cm was found in the soil under oak plantation, and the greatest difference in the soil under robinia plantations. Based on the analysis of the results obtained, an assumption was made about the thermal features of the upper horizons, which fall within the interval of 0–50 cm, of each of the three studied soils. The soil under robinia plantation is characterized by maximum values of thermal diffusivity, and ordinary chernozem – minimal. The soil under the oak plantation occupies an intermediate value for this indicator. Ordinary chernozem is characterized by maximum values of heat capacity, slightly smaller values are characteristic of soil for robinia plantations. The minimum values of heat capacity are characteristic of oak plantation soil. The soil under robinia plantation is sharply distinguished by the maximum values of thermal conductivity compared to ordinary chernozem and the soil under oak planting. The actual study of thermophysical properties confirmed the correctness of the assumption in only one of the three indicators for each of the studied soils. This indicates a significant limitation of predicting the thermophysical indicators of soils, based only on measuring their temperature. The influence of robinia plantation on the thermal physical properties of ordinary chernozems is manifested in an increase in their thermal diffusivity and thermal conductivity, as well as in a certain decrease in heat capacity. The influence of oak stands is characterized by an increase in thermal diffusivity and heat capacity, as well as a decrease in thermal conductivity of ordinary chernozem.

**Keywords:** temperature thermal diffusivity; heat capacity; thermal conductivity; *Robinia pseudoacacia* L.; *Quercus robur* L.

## Вплив штучних лісових насаджень на теплофізичні властивості чорноземів звичайних

В. А. Горбань

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

У результаті дослідження впливу штучних лісових насаджень, сформованих *Robinia pseudoacacia* L. та *Quercus robur* L., на теплофізичні особливості чорноземів звичайних Комісарівського заказника (П'ятихатський р-н Дніпропетровської обл.,

Україна) було встановлено, що деревостан робінієвого насадження зменшив температуру повітря на 4,5 °С, дубового – на 9,4 °С порівняно з відкритою місцевістю. Максимальну температуру поверхні ґрунту виявлено в чорноземі звичайному. Вплив робінієвого насадження проявився у вигляді зменшення температури поверхні ґрунту на 5,4 °С, дубового – на 8,0 °С. Максимальна температура ґрунту на глибині 50 см також виявлена в чорноземі звичайному. На такій самій глибині ґрунт під робінієвим насадженням виявився на 7,6 °С, під дубовим – на 6,9 °С холоднішим. За середньою температурою 50-сантиметрового шару серед усіх досліджуваних ґрунтів виділяється чорнозем звичайний, ґрунти під насадженнями за цим показником майже не відрізняються. Найменша різниця між температурою повітря та середньою температурою шару ґрунту 0–50 см виявилася в ґрунті під дубовим насадженням, найбільша – у ґрунті під робінієвим насадженням. Найменшу різницю між температурою поверхні ґрунту та на глибині 50 см виявлено в ґрунті під дубовим насадженням, а найбільшу – у ґрунті під робінієвим насадженням. На основі аналізу отриманих результатів було зроблено припущення щодо термічних особливостей верхніх горизонтів, які входять до інтервалу глибин 0–50 см, кожного з трьох досліджуваних ґрунтів. Фактичне дослідження теплофізичних властивостей підтвердило правильність припущення лише щодо одного з трьох показників для кожного з досліджуваних ґрунтів. Це свідчить про значну обмеженість прогнозування теплофізичних показників ґрунтів, які базуються лише на вимірюванні їх температури. Вплив робінієвого насадження на теплофізичні властивості чорноземів звичайних проявляється в збільшенні їх теплопровідності та теплоємності, а також деякому зменшенні теплоємності. Вплив дубового насадження характеризується зростанням теплопровідності та теплоємності, а також зниженням теплопровідності чорноземів звичайних.

*Ключові слова:* температура; теплопровідність; теплоємність; теплопровідність; *Robinia pseudoacacia* L.; *Quercus robur* L.

## Вступ

ґрунт як специфічний фізичний об'єкт характеризується рядом своєрідних теплофізичних властивостей. Відповідно до робіт А. Ф. Вадюніної та З. О. Корчагіної (Vadyunina, Korchagina, 1986), Ю. А. Созіна (Sozin, 1990), Ochsner et al. (2001), В. А. Горбаня (Gorban, 2006), В. А. Горбаня та А. А. Горбаня (Gorban V., Gorban A., 2007) до основних теплофізичних властивостей можна віднести теплоємність, теплопровідність та теплопроводність.

Для розуміння деяких особливостей теплових властивостей ґрунту наводимо їх визначення (за: Vadyunina, Korchagina, 1986). Об'ємна питома теплоємність – це кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання 1 м<sup>3</sup> сухого ґрунту на 1 °С. Теплопровідність – здатність ґрунту поглинати і проводити тепло в напрямку, протилежному термічному градієнту, тобто від гарячих шарів до холодних. Кількість теплової енергії, що передається через шар ґрунту, пропорційна градієнту температури і коефіцієнту теплопровідності. Теплопровідність – здатність ґрунту вирівнювати свою температуру при наявності різниці нагріву в даній та прилеглий точках.

Відомо, що теплові властивості ґрунту досліджують для визначення змін температури ґрунту в процесі поглинання тепла діяльною поверхнею та її перерозподілу в активному шарі ґрунту (Макарова, 1987). При надходженні однакової кількості тепла зміна температури ґрунту визначається її теплоємністю, а інтенсивність внутрішньоґрунтового перенесення тепла – теплопровідністю. Теплопровідність відображає швидкість вирівнювання температур ґрунту. Ця швидкість визначається як теплопровідністю, так і теплоємністю ґрунту. Показника тільки однієї теплопровідності недостатньо для визначення швидкості нагрівання або охолодження ґрунту, оскільки в однакових зовнішніх умовах при близьких величинах теплопровідності більш теплоємні ґрунти будуть повільніше нагріватися і повільніше холонути. При вивченні температурного режиму ґрунту зручно використовувати показник теплопровідності, оскільки саме цей параметр характеризує «поширення» вимірюваної величини – температури. Однак для аналізу механізмів явищ, що відбуваються, доводиться звертатися до понять теплопровідності і теплоємності (Теогії ..., 2007). При дослідженні теплових властивостей ґрунту необхідно пам'ятати, що вони залежать від ряду інших характеристик ґрунту, таких як вміст органічних речовин, складання, механічний склад, вологість ґрунту і т. д. (Dimo, 1972; Ochsner et al., 2001; Abu-Hamdeh, 2003; Lukyashchenko, Arkhangel'skaya, 2018).

Метою роботи є встановлення особливостей впливу штучних лісонасаджень на теплофізичні властивості чорноземів звичайних.

## Об'єкти та методи досліджень

Для реалізації поставленої мети було закладено 3 пробні площі на території Комісарівського заказника, який розташований у межах П'ятихатського району Дніпропетровської області. Заказник розташований на південний захід від села Новоукраїнка і на північ від села Лозуватка. Комісарівський заказник знаходиться на території П'ятихатського лісництва (Верхньодніпровський держлісгосп, Дніпропетровське обласне управління лісового та мисливського господарства). Заказник розташований у верхів'ях балок Довжик та Тетяниної (ліві притоки р. Лозуватки) і на вододільному просторі між ними. На кожній пробній площі було закладено по ґрунтовому розрізу.

Перша пробна ділянка закладена на ділянці агроценозу, ґрунтовой покрив якого під час відбору ґрунтових зразків був вільний від рослинного покриву.

*Макроморфологічна характеристика ґрунтового профілю*

Нор 0–10 см Перегнійно-аккумулятивний, орний, темно-сірий, сухий, грудкуватий, суглинковий, пухкий, корененасичений, у верхній частині заорані залишки трав'янистої рослинності. Перехід поступовий за кількістю коренів та щільністю.

Н1 10–23 см Гумусовий, темно-сірий, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, більш щільний, ніж попередній, корененасиченість менша, ніж у попередньому. Перехід поступовий за щільністю та забарвленням.

Н2 23–35 см Гумусовий, темно-сірий, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, більш щільний за попередній, корені практично відсутні. Перехід різкий за щільністю та забарвленням.

НРк 35–81 см Перехідний, сірий з палевим відтінком, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, щільний. Перехід поступовий за забарвленням. Закипання з 72 см.

Рк 81–150 см ґрунтоутворююча порода – лесоподібний суглинок палевого кольору з включенням білозірки.

ґрунт – чорнозем звичайний середньовилугований середньогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Друга пробна ділянка закладена в насадженні *Robinia pseudoacacia* L.

*Макроморфологічна характеристика ґрунтового профілю*

Н1 0–10 см Перегнійно-аккумулятивний, темно-сірий, сухий, дрібногрудкуватий, суглинковий, пухкий, багато коренів деревної рослинності. Перехід поступовий за кількістю коренів та щільністю.

Н2 10–38 см Гумусовий, темно-сірий, сухий, грудкуватий, суглинковий, більш щільний, ніж попередній, коренів менше, однак вони товстіші, ніж у попередньому. Перехід поступовий за забарвленням.

Нр 38–57 см Перехідний, сірий, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, щільний, зустрічаються окремі корені. Перехід різкий за забарвленням.

Phk 57–78 см Світло-сірий з палевим відтінком, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, щільний, зустрічаються окремі товсті корені. Перехід поступовий за забарвленням. Закипання з 66 см.

Рк 78–150 см Грунтоутворююча порода – лесоподібний суглинок палевого кольору з включенням білозірки.

Грунт – чорнозем звичайний лісопокрощений середньовилугований середньогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Третя пробна ділянка закладена в насадженні *Quercus robur* L.

#### Макроморфологічна характеристика ґрунтового профілю

Н1 0–12 см Перегнійно-аккумулятивний, темно-сірий, сухий, дрібногрудкуватий, суглинковий, пухкий, багато дрібних коренів трав'янистої рослинності. Перехід поступовий за кількістю коренів, щільністю та забарвленням.

Н2 12–44 см Гумусовий, темно-сірий, сухий, грудкуватий, суглинковий, більш щільний, ніж попередній. Перехід поступовий за забарвленням.

Нр 44–65 см Перехідний, сірий, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, щільний, зустрічаються окремі корені. Перехід різкий за забарвленням.

Phk 65–87 см Світло-сірий з палевим відтінком, сухуватий, грудкуватий, суглинковий, щільний. Перехід поступовий за забарвленням. Закипання з 75 см.

Рк 87–150 см Грунтоутворююча порода – лесоподібний суглинок палевого кольору з включенням білозірки.

Грунт – чорнозем звичайний лісопокрощений середньовилугований середньогумусовий середньосуглинковий на лесоподібних суглинках.

Вимірювання температури повітря виконували за допомогою цифрового анемометру-термометру-вологіміру Starmeter (ST8021).

Визначення температури ґрунту (на поверхні ґрунту (0 см) та глибинах 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 та 50 см) виконували за допомогою набору температурних датчиків. Десять датчиків поміщали в попередньо підготовлену буром свердловину глибиною приблизно 52 см. Термодатчики за допомогою спеціально розробленого А. А. Горбанем додатку через Bluetooth поєднувалися зі смартфоном, передаючи йому цифрову інформацію щодо вимірної температури ґрунту.

Встановлення теплофізичних властивостей ґрунтів (температуропровідність, теплоємність та теплопровідність) виконували методом імпульсного нагрівання (Vadyunina, Korchagina, 1986; Sozin, 1990), який найчастіше використовується для таких досліджень (Bristow et al., 1994; Abu-Hamdeh, Reeder, 2000; Vachmann et al., 2001). Дослідження виконували з використанням установки та програмного забезпечення, розроблених В. А. Горбанем та А. А. Горбанем (Gorban V., Gorban A., 2007).

## Результати та їх обговорення

Польові виміри температури ґрунту (шар 0–50 см) в літній період 2018 р. дали змогу отримати результати, які наведено на рис. 1. У результаті додаткового вимірювання температури повітря було отримано та розраховано ряд показників, які представлені в табл. 1. Аналіз представлених даних виявив, що найбільша температура повітря характерна для відкритої місцевості. Деревостан робінієвого насадження зменшив температуру повітря на 4,5 °С, дубового – на 9,4 °С порівняно з відкритою місцевістю.

Максимальну температуру поверхні ґрунту також цілком закономірно виявлено в чорноземах звичайних. Вплив робінієвого насадження проявився у вигляді зменшення температури поверхні ґрунту на 5,4 °С, дубового – на 8,0 °С. Отримані результати повністю узгоджуються з даними, які свідчать про найбільшу середовищеперетворюючу роль у степових умовах деревних порід, що формують тінюву світлову структуру (Belgard, 1971; Hrytsan, 2000; Travleyev, Belova, 2008;

Ivanko, 2016). Максимальна температура ґрунту на глибині 50 см також виявлена в чорноземі звичайному. На такій самій глибині ґрунт під робінієвим насадженням виявився на 7,6 °С, під дубовим – на 6,9 °С холоднішим. За середньою температурою 50-сантиметрового шару серед усіх досліджуваних ґрунтів виділяється чорнозем звичайний, ґрунти під насадженнями за цим показником майже не відрізняються. Найменша різниця між температурою повітря та середньою температурою шару ґрунту 0–50 см виявилася в ґрунтах під дубовим насадженням, найбільша – у ґрунтах під робінієвим насадженням.

**Таблиця 1**

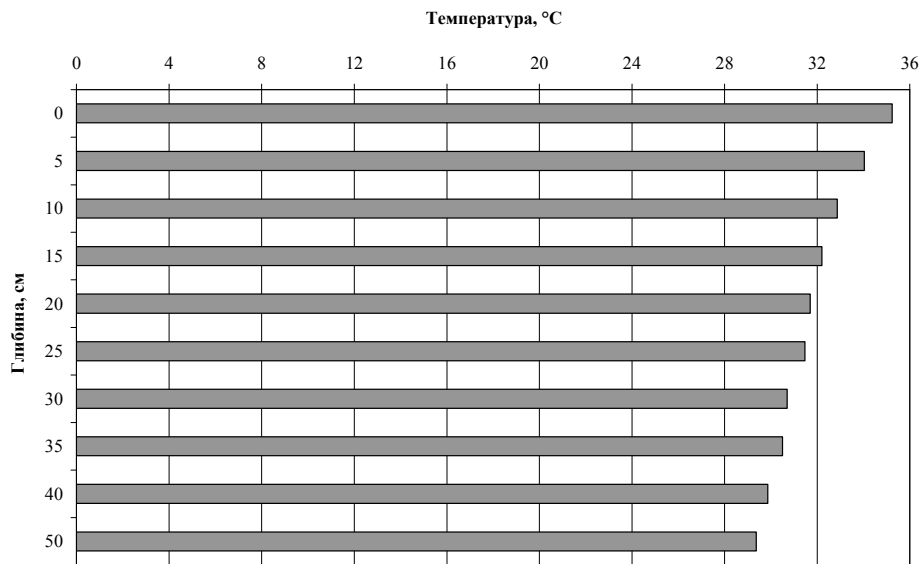
Температурні показники повітря та досліджуваних ґрунтів (29.08.2018 р.)

Пробна площа 1 – зональний чорнозем звичайний	Пробна площа 2 – чорнозем звичайний лісопокрощений під насадженням <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Пробна площа 3 – чорнозем звичайний лісопокрощений під насадженням <i>Quercus robur</i> L.
Температура повітря, °С		
36,8	32,3	27,4
Температура поверхні ґрунту, °С		
35,2	29,8	27,2
Температура ґрунту на глибині 50 см, °С		
29,4	21,8	22,5
Середня температура шару ґрунту 0–50 см, °С		
31,8	24,6	24,8
Різниця між температурою повітря та середньою температурою ґрунту, °С		
5,0	7,7	2,6
Різниця між температурою поверхні ґрунту та на глибині 50 см		
5,8	8,0	4,7

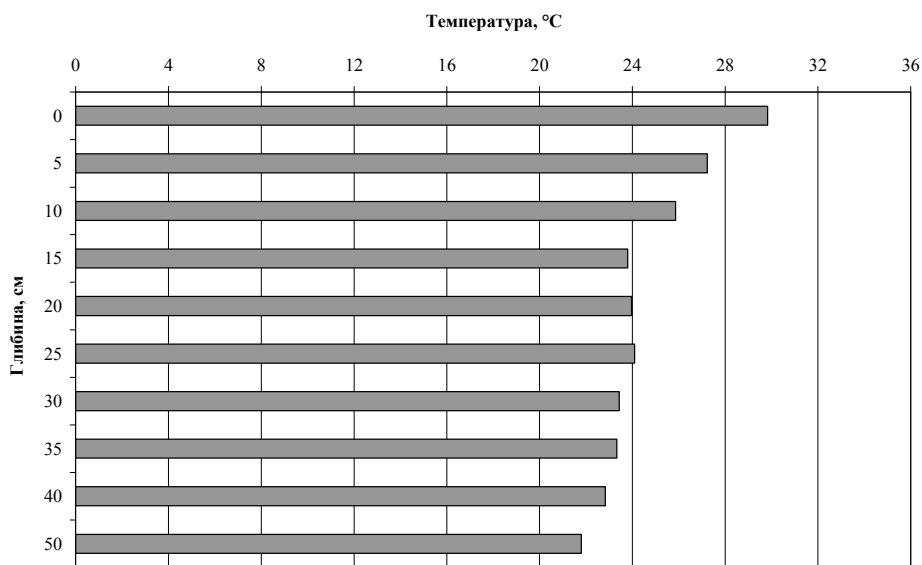
Одним з найбільш важливих температурних показників, який у значній мірі відображає особливості теплофізичних властивостей гумусово-аккумулятивних та перехідних генетичних горизонтів ґрунтів, є різниця між температурою поверхні ґрунту та на глибині 50 см. За цим показником найменша різниця виявлена в ґрунті під дубовим насадженням, а найбільша – у ґрунті під робінієвим насадженням. Ураховуючи визначення теплофізичних властивостей ґрунтів, які наведено вище, отримані результати дають змогу зробити такі припущення щодо термічних особливостей верхніх горизонтів досліджуваних ґрунтів, які входять до інтервалу глибин 0–50 см. Для ґрунту під робінієвим насадженням повинні бути притаманні, внаслідок найбільшої різниці температур, найбільші значення теплоємності та відносно невеликі значення температуропровідності та теплоємності. Ґрунт під дубовим насадженням повинен характеризуватися, внаслідок мінімальної різниці температур, мінімальними значеннями теплоємності та збільшеними величинами температуропровідності та теплопровідності. Чорнозем звичайний повинен відрізнятися відносно середніми показниками досліджуваних теплофізичних властивостей.

Для перевірки зроблених припущень було виконано визначення теплофізичних властивостей досліджуваних ґрунтів, результати якого наведено в табл. 2.

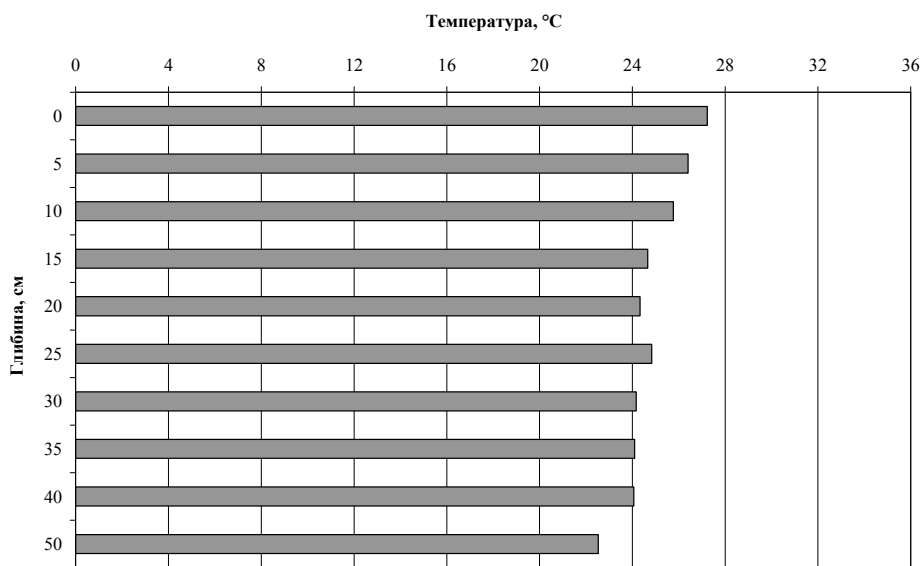
Розрахунок середніх значень визначених теплофізичних властивостей за всім ґрунтовим профілем взагалі та окремо для перших трьох генетичних горизонтів кожного з досліджуваних ґрунтів виявив, що ґрунт під робінієвим насадженням характеризується максимальними величинами температуропровідності (середнє значення за трьома горизонтами –  $7,356 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с, за ґрунтовим профілем –



*a*



*б*



*в*

**Рис. 1.** Температурні показники досліджуваних ґрунтів на глибині від 0 до 50 см:  
*a* – чорноземи звичайні; *б* – ґрунти під робінієвим насадженням;  
*в* – ґрунти під дубовим насадженням

Таблиця 2

Теплофізичні властивості досліджуваних ґрунтів

Генетичний горизонт	Температуропровідність, $10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	Теплоємність, $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	Теплопровідність, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$
Пробна площа 1 – зональний чорнозем звичайний			
Нор	5,859±0,512	1,416±0,071	0,805±0,085
Н <sub>1</sub>	6,063±0,384	1,357±0,077	0,798±0,057
Н <sub>2</sub>	6,698±0,164	1,364±0,024	0,879±0,027
НРк	6,462±0,163	1,299±0,009	0,811±0,019
Рк	6,456±0,272	1,306±0,026	0,815±0,029
Пробна площа 2 – чорнозем звичайний лісопокращений під насадженням <i>Robinia pseudoacacia</i> L.			
Н <sub>1</sub>	7,222±0,536	1,342±0,067	0,933±0,065
Н <sub>2</sub>	7,519±0,611	1,338±0,056	0,969±0,112
Нр	7,328±0,311	1,404±0,080	0,980±0,040
Phk	7,333±0,244	1,384±0,012	0,969±0,019
Рк	7,300±0,603	1,391±0,026	0,974±0,049
Пробна площа 3 – чорнозем звичайний лісопокращений під насадженням <i>Quercus robur</i> L.			
Н <sub>1</sub>	6,840±0,324	1,208±0,028	0,792±0,028
Н <sub>2</sub>	6,737±0,285	1,236±0,021	0,801±0,037
Нр	6,739±0,587	1,263±0,048	0,815±0,041
Phk	6,810±0,117	1,245±0,045	0,818±0,020
Рк	6,834±0,281	1,253±0,029	0,808±0,031

$7,340 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ), а чорнозем звичайний – мінімальними (середнє значення за трьома горизонтами –  $6,207 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ , за ґрунтовим профілем –  $6,308 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ). Ґрунт під дубовим насадженням займає проміжне значення за цим показником.

Чорнозем звичайний відрізняється максимальними величинами теплоємності (середнє значення за трьома горизонтами – 1,379  $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , за ґрунтовим профілем – 1,348  $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ), дещо менші величини характерні для ґрунту під робінієвим насадженням. Мінімальні значення теплоємності характерні для ґрунту дубового насадження (середнє значення за трьома горизонтами – 1,236  $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ , за ґрунтовим профілем – 1,241  $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ).

Ґрунт під робінієвим насадженням різко відрізняється максимальними значеннями теплопровідності (середнє значення за трьома горизонтами – 0,961  $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$ , за ґрунтовим профілем – 0,965  $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$ ) порівняно з чорноземом звичайним та ґрунтом під насадженням дубу.

Порівняння отриманих фактичних результатів зі зробленими припущеннями показало дуже малий відсоток збігів – для кожного ґрунту з трьох прогнозованих показників теплофізичних властивостей ґрунтів відносно порівнювальним з фактичними результатами виявився лише один.

## Висновки

У результаті виконаних досліджень було встановлено, що деревостан робінієвого насадження зменшив температуру повітря на 4,5 °С, дубового – на 9,4 °С порівняно з відкритою місцевістю. Максимальну температуру поверхні ґрунту виявлено в чорноземі звичайному. Вплив робінієвого насадження проявився у вигляді зменшення температури поверхні ґрунту на 5,4 °С, дубового – на 8,0 °С. Максимальна температура ґрунту на глибині 50 см також виявлена в чорноземі звичайному. На такій самій глибині ґрунт під робінієвим насадженням виявився на 7,6 °С, під дубовим – на 6,9 °С холоднішим. За середньою температурою 50-сантиметрового шару серед усіх досліджуваних ґрунтів виділяється чорнозем звичайний, ґрунти під насадженнями за цим показником майже не відрізняються. Найменша різниця між температурою повітря та середньою температурою шару ґрунту 0–50 см виявилася в ґрунті під дубовим насадженням, найбільша – у ґрунті під робінієвим насадженням. Найменшу різницю між температурою поверхні ґрунту та на глибині 50 см виявлено в ґрунті під дубовим насадженням, а найбільшу – у ґрунті під робінієвим насадженням.

На основі аналізу отриманих результатів було зроблено припущення щодо термічних особливостей верхніх горизонтів, які входять до інтервалу глибин 0–50 см, кожного з трьох досліджуваних ґрунтів. Фактичне дослідження теплофізичних властивостей підтвердило правильність припущення лише щодо одного з трьох показників для кожного з досліджуваних ґрунтів. Це свідчить про значну обмеженість прогнозування теплофізичних показників ґрунтів, які базуються лише на вимірюванні їх температури.

Вплив робінієвого насадження на теплофізичні властивості чорноземів звичайних проявляється в збільшенні їх температуропровідності та теплопровідності, а також зменшенні теплоємності. Вплив дубового насадження характеризується зростанням температуропровідності та теплоємності, а також зниженням теплопровідності чорноземів звичайних.

## References

- Abu-Hamdeh, N. H. (2003). Thermal properties of soils as affected by density and water content. *Biosystems Engineering*, 86(1), 97–102. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00112-0.
- Abu-Hamdeh, N. H., Reeder, R. C. (2000). Soil thermal conductivity: Effects of density, moisture, salt concentration, and organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1285–1290. DOI: 10.2136/sssaj2000.6441285x.
- Bachmann, J., Horton, R., Ren, T., Van Der Ploeg, R. R. (2001). Comparison of the thermal properties of four wettable and four water-repellent soils. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6), 1675–1679. DOI: 10.2136/sssaj2001.1675.
- Belgard, A. L. (1971). *Stepnoe lesovedenie [Steppe forestry]*. Forestry industry, Moscow (in Russian).
- Bristow, K. L., Kluitenberg, G. J., Horton, R. (1994). Measurement of soil thermal properties with a dual-probe heat-pulse technique. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1288–1294. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050002x.
- Dimo, V. N. (1972). *Тепловий режим ґрунтів СРСР [Thermal regime of the USSR soils]*. Kolos, Moscow (in Russian).
- Gorban, V. A. (2006). *Fizychnyy stan ґрунтів yak ekolohichnyy faktor [Soils physical condition as ecological factor]*. *Ґрунтознавство*, 7(3-4), 102–111 (in Ukrainian).
- Gorban, V. A., Gorban, A. A. (2007). *Issledovanie teplofizicheskikh svoystv pochvy metodom impulsnogo nagreva [Investigation of the thermalphysic soil properties with the help of an impulse heating method]*. *Ґрунтознавство*, 8(3-4), 95–99 (in Russian).

- Hrytsan, Yu. I. (2000). Ekologichni osnovy peretvoryuyuchoho vplyvu lisovoyi roslynnosti na stepove seredovyshe [Ecological bases of the transformative influence of forest vegetation on the steppe environment]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian)
- Ivanko, I. A. (2016). Ekologichna rol svitlovoyi struktury u formuvanni shtuchnykh lisovykh nasadzen u stepoviy zoni Ukrayiny [Ecological role of light structure in the formation of artificial forest plantations in the steppe zone of Ukraine]. Bioheotsenologichni doslidzhennya lisiv stepovoyi zony Ukrayiny. Svidler A. L., Dnipro. 155–171 (in Ukrainian).
- Lukyashchenko, K. I., Arkhangelskaya, T. A. (2018). Modelirovaniye temperaturoprovodnosti pochv razlichnogo granulometricheskogo sostava [Modeling the thermal diffusivity of soils of different grain size distribution]. Eurasian Soil Science, 2, 179–186 (in Russian). DOI: 10.7868/S0032180X18020053.
- Makarova, G. P. (1987). O vliyaniy vlazhnosti na teplofizicheskiye svoystva temno-serykh lesnykh erodirovannykh pochv [On the effect of humidity on the thermophysical properties of dark gray forest eroded soils] Erodirovannyye pochvy i effektivnost pochvozashchitnykh meropriyatiy. Moscow, 65–70 (in Russian).
- Ochsner, T. E., Horton, R., Ren, T. (2001). A new perspective on soil thermal properties. Soil Science Society of America Journal, 65(6), 1641–1647. DOI: 10.2136/sssaj2001.1641.
- Sozin, Yu. A. (1990). Opredeleniye teplofizicheskikh svoystv pochvy metodom impul'snogo nagreva [Determination of the thermophysical properties of the soil by the method of pulsed heating]. Antropogennyye vozdeystviya na lesnyye ekosistemy stepnoy zony. Dnepropetrovsk, 95–101 (in Russian).
- Teorii i metody fiziki pochv (2007) [Theories and techniques of soil physics]. Ed. E. V. Shein, L. O. Karpachevskij. Moscow (in Russian).
- Travleyev, A. P., Belova, N. A. (2008). Les kak faktor pochvoobrazovaniya [Forest as a factor in soil formation]. Gruntoznavstvo, 9(3-4), 6–26 (in Russian).
- Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A. (1986). Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).