

УДК 631.47

С. І. Веремєнко, Н. В. Ковбасюк, О. А. Фурманець

*Національний університет водного господарства та природокористування***ДОБОВИЙ ХІД ТЕМПЕРАТУРИ ТЕМНО-СІРОГО ҐРУНТУ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ В ПЕРІОД АКТИВНОГО ПРОГРІВАННЯ**

*Досліджено закономірності добового ходу температури темно-сірого легкосуглинкового ґрунту на ділянках різного рельєфу в період весняного наростання температур. Проведено статистичний аналіз та описані математичні моделі зміни температури ґрунту з глибиною та її залежності від часу доби.*

*Ключові слова: температура ґрунту, термічний режим, добова динаміка температур.*

**Стан проблеми.** Знання ґрунтового клімату завжди було необхідним для вивчення умов становлення, функціонування та мінливості ґрунтів, особливо в умовах посиленого антропогенного навантаження [3, 6]. Багато авторів розглядають ґрунтовий клімат як один із основних параметрів природного середовища, оскільки він є проміжною ланкою між кліматом атмосфери та процесами, що відбуваються в ґрунті [1].

Температура ґрунту та її добовий хід є важливими показниками, що впливають на ґрунтові процеси та формування ґрунтового клімату [3].

Характер розподілу температури ґрунту в орному шарі важливий для життя рослин та ґрунтової фауни, при цьому найбільші коливання температури та вологості спостерігаються саме в приповерхневому кореневмісному шарі [4, 5].

Протягом доби температура повітря змінюється слідом за температурою земної поверхні [5]. Ріст температури ґрунту починається вранці, після сходу сонця, температури повітря з невеликим запізненням, о 13–14 годині температура ґрунту починає знижуватися, орієнтовно через годину вона зрівнюється з температурою повітря, після чого продовжує спадати, викликаючи також і спад температури повітря. Таким чином, мінімум у добовому ході температури ґрунту припадає на час перед сходом сонця, максимум – на 14–15 годин [8].

Достатньо чітко добовий хід можна простежити лише в умовах ясної погоди, хмарність спотворює динаміку добового ходу, зміщує терміни настання пікових фаз, зменшує амплітуду, може зміщувати напрям теплообміну в системі ґрунт-приземний шар повітря.

**Об'єкт та методи досліджень.** Дослідження були виконані на дослідному полі НУВГП, на території Рівненської області (Західний Лісостеп України), досліджуваний тип ґрунту – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий (відповідно до ГОСТ 25100-95).

Температура ґрунту вимірювалася за допомогою ртутних термометрів, що встановлювалися на глибині 5, 10, 20, 30, 40, 50 см, точність вимірювань 0,1°C. Статистична обробка даних виконувалася з використанням програмного комплексу Statgraphics Centurion.

Мета полягала в дослідженні динаміки добового ходу температури досліджуваного ґрунту в умовах різного рельєфу.

**Результати досліджень.** Протягом доби температура ґрунту змінюється в широких межах, амплітуда її добових коливань залежить від температури повітря, пори року, рельєфу, характеру підстилаючої поверхні та багатьох інших факторів. Разом з тим, динаміка добового ходу, особливо в період прогрівання, може служити своєрідною моделлю для проявлення тенденцій та закономірностей річного ходу температур та загальних термічних умов досліджуваного ґрунту.

Дослідження було проведене 25 квітня 2011 року, середня добова температура повітря – 15,2°C, максимальна – 22,0°C, мінімальна – 5,1°C. Часткова хмарність, відносна вологість повітря 31 %, вітер 10–12 м/с, опади відсутні, бездощовий період на момент початку експерименту – 11 діб. Час сходу сонця – 5:48, заходу – 20:08, тривалість дня 14 годин 20 хвилин.

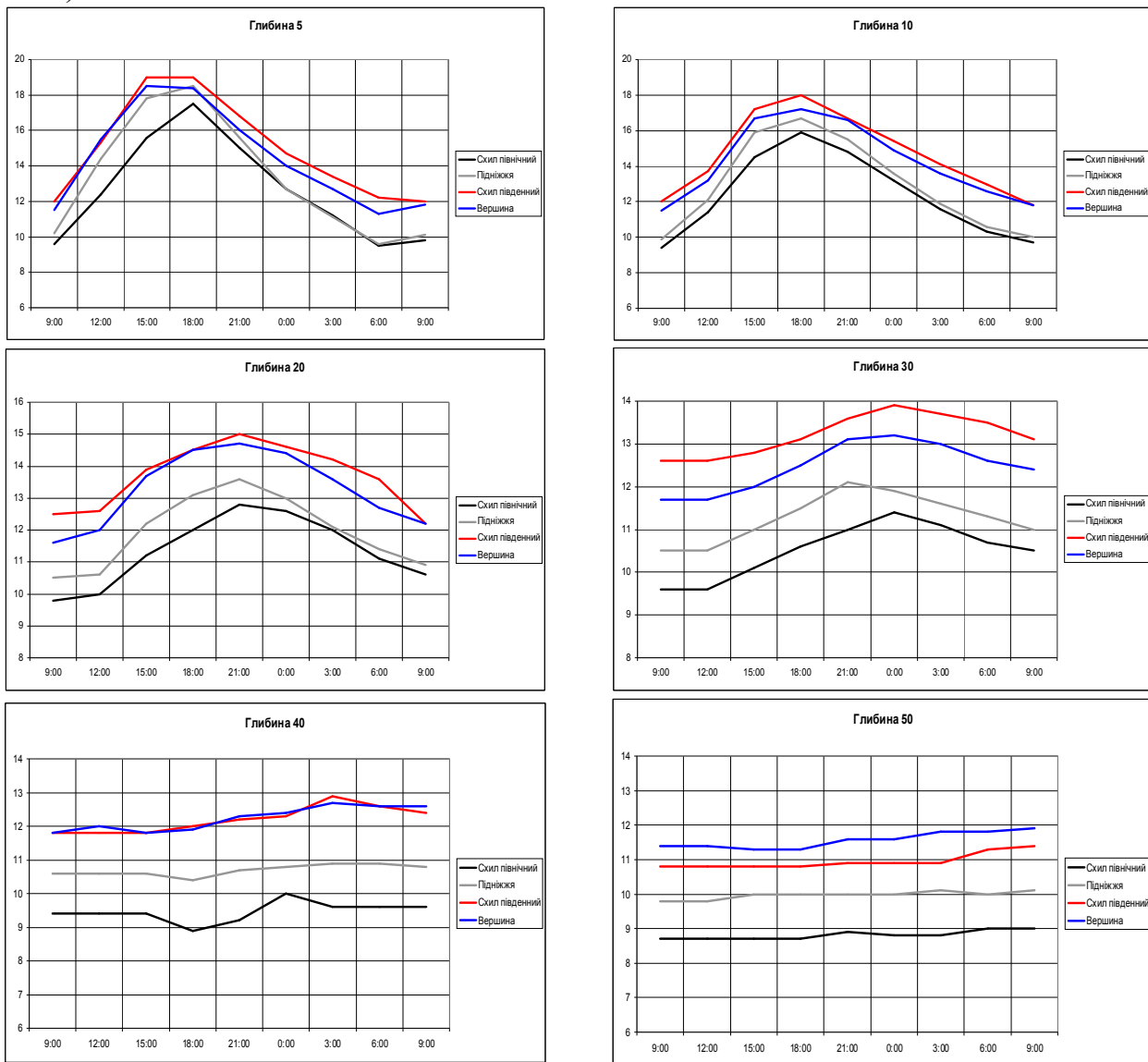
Дослідження добового ходу температури ґрунту засвідчили, що денні коливання температури проникають до глибини 50 см. Весь добовий цикл можна розподілити на стадії, активне прогрівання поверхні, що починається орієнтовно через годину після сходу сонця і припиняється за годину-півтори до його заходу, змінюється поступовим охолодженням, мінімум температури досягається перед світанком (табл. 1).

Добова амплітуда температур на глибині 5 см для рівнинної ділянки складає близько 7°C, з глибиною спадає.

### 1. Добовий хід температури темно-сірого опідзоленого ґрунту, 25.04.2011

Експозиція	Глиб., см	Час доби								
		9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	24:00	3:00	6:00	9:00
Схил північний	5	9,6	12,4	15,6	17,5	15,0	12,7	11,2	9,5	9,8
	10	9,4	11,4	14,5	15,9	14,8	13,2	11,6	10,3	9,7
	20	9,8	10,0	11,2	12,0	12,8	12,6	12,0	11,1	10,6
	30	9,6	9,6	10,1	10,6	11,0	11,4	11,1	10,7	10,5
	40	9,4	9,4	9,4	8,9	9,2	10,0	9,6	9,6	9,6
	50	8,7	8,7	8,7	8,7	8,9	8,8	8,8	9,0	9,0
Підніжжя	5	10,2	14,4	17,8	18,5	15,6	12,7	11,1	9,6	10,1
	10	9,9	12,1	15,9	16,7	15,5	13,6	11,9	10,6	10,0
	20	10,5	10,6	12,2	13,1	13,6	13,0	12,1	11,4	10,9
	30	10,5	10,5	11,0	11,5	12,1	11,9	11,6	11,3	11,0
	40	10,6	10,6	10,6	10,4	10,7	10,8	10,9	10,9	10,8
	50	9,8	9,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,0	10,1
Схил південний	5	12,-	15,3	19,0	19,0	16,8	14,7	13,4	12,2	12,0
	10	12,-	13,7	17,2	18,0	16,7	15,4	14,1	13,0	11,8
	20	12,5	12,6	13,9	14,5	15,0	14,6	14,2	13,6	12,2
	30	12,6	12,6	12,8	13,1	13,6	13,9	13,7	13,5	13,1
	40	11,8	11,8	11,8	12,0	12,2	12,3	12,9	12,6	12,4
	50	10,8	10,8	10,8	10,8	10,9	10,9	10,9	11,3	11,4
Вершина	5	11,5	15,5	18,5	18,4	16,0	14,0	12,7	11,3	11,8
	10	11,5	13,2	16,7	17,2	16,6	14,9	13,6	12,6	11,8
	20	11,6	12,0	13,7	14,5	14,7	14,4	13,6	12,7	12,2
	30	11,7	11,7	12,0	12,5	13,1	13,2	13,0	12,6	12,4
	40	11,8	12,-	11,8	11,9	12,3	12,4	12,7	12,6	12,6
	50	11,4	11,4	11,3	11,3	11,6	11,6	11,8	11,8	11,9

Слід зазначити, що динаміка добового ходу температури ґрунту рівнинної ділянки на різних глибинах суттєво відмінна. Так, на глибині 5 см поступове прогрівання починається майже відразу після сходу сонця, суттєво пришвидшується після 9:00 години і максимум досягається вже в 14:00–15:00, після чого починається спочатку більш різкий, потім поступовий спад температури до самого світанку, коли досягається температурний мінімум, після якого знову починається поступове підвищення температури. На 10-сантиметровій глибині переломи ходу температури зміщені у бік запізнення, так фаза прогрівання стартує після 9:00, пришвидшується після 12:00 і уповільнено продовжується до 18:00–19:00, після чого настає фаза повільного охолодження (рис. 1).



**Рис. 1. Добовий хід температури ґрунту на різній глибині**

Амплітуда складає близько 3,0 градусів. Схожу динаміку має 20 см шар, з тією відмінністю, що температурний максимум настає ще пізніше, після заходу сонця – близько 21:00, таким чином різке охолодження приповерхневого шару ґрунту в цей час зумовлене не лише тепловим обміном з атмосферою, а й теплообміном з більш глибокими шарами ґрунту. На глибині 30 см максимум температур спостерігається близько півночі, на 40 см – в 3:00, при добовій

амплітуді близько 1,5 градуса.

На глибині 50 см зміна температури протягом доби все ще помітна, однак вона змазується за рахунок загального процесу прогрівання ґрунту, оскільки квітень 2011 р. в цілому характеризувався як період активного наростання температур. Тим не менше в загальній добовій динаміці можна виділити період охолодження, який припадає на час 15:00–18:00, тобто на пік прогрівання поверхні.

Разом з тим помітні також відмінності у добовій динаміці температур на рівнинній ділянці та схилах різної експозиції.

Так, загалом суттєво краще прогрівався південний схил. Верхні шари прогрівалися співзакономірно з рівнинною ділянкою, однак піки температурних максимумів вищі на 0,5–0,7 градуси, і фаза охолодження значно затримана, тому якщо у стадії прогрівання температури майже однакові на рівнинній ділянці і південному схилі, то протягом усієї фази охолодження зберігається різниця приблизно рівна різниці температурних піків. Крім того, температурний мінімум також спостерігається пізніше, тобто фаза охолодження триває довше. Середні значення добових температур вищі порівняно зі схиловою ділянкою в середньому на 0,3–0,4°C. Глибші горизонти показують схожу динаміку.

Протилежну картину можна спостерігати для схилу північної експозиції. Так протягом доби північний схил був холоднішим від вершини на 1,0–2,0 градуси. Добова динаміка загалом повторює динаміку рівнинної ділянки, однак період прогрівання триває дещо довше, завдяки чому в період максимальної добової температури різниця абсолютних значень відносно рівнини мінімальна, і навпаки – у період температурного мінімуму різниця температур максимальна.

Ділянка підніжжя схилу займає проміжне значення між рівнинною ділянкою та північним схилом, при цьому за температурними значеннями вона більш близька до схилу, однак за добовою динамікою їх ходу більше прямує до рівнини.

Для кращого розуміння закономірностей добового ходу температури ґрунту на різних глибинах було застосовано метод математичного моделювання.

Для рівнинної ділянки ми провели регресійний аналіз для періодів прогрівання, охолодження, температурного максимуму та мінімуму (табл. 2).

## 2. Результати регресійного аналізу зміни температури ґрунту з глибиною

Період	Тип функції	Вигляд функції	Коеф. кореляції	Коефіцієнт детермінації	Станд. похибка	Абсол. похибка
Прогрівання	Обернена X	$Y=11,0703+21,894/x$	99,14 %	98,28	0,2243	0,1443
Максимум	Мультиплікаційна	$Y=\exp(3,30279 - 0,228274*\ln(x))$	99,08 %	98,17 %	0,0307	0,0202
Охолодження	Обернена Y	$Y=1/(0,0571402 + 0,000592068+x)$	98,42 %	96,88 %	0,0021	0,0014
Мінімум	Обернено-квадратична	$Y=1/(0,0756832 + 0,00000366607*x^2)$	63,33	40,11	0,0048	0,0035

Дані табл. 2 свідчать, що прості регресійні моделі дозволяють з високою ймовірністю описати зміну температури ґрунту з глибиною в період прогрівання, коли має місце чіткий градієнт температур і тепловий потік спрямований у бік ґрунту, однак не дозволяє змоделювати розподілення тепла в період низьких

добових температур, оскільки в цей час тепловий потік розподіляється частково в бік теплового випромінювання з поверхні ґрунту, частково в бік міграції у глибші горизонти, де, як зазначалось вище, в цей час все ще проходить нагрівання.

Ураховуючи недоліки попереднього регресійного аналізу, ми здійснили спробу підібрати інший тип моделі для останнього випадку.

Найкращі результати показала поліноміальна залежність другого порядку виду:

$$Y = 11,5203 + 0,173329 * X - 0,00358154 * X^2,$$

коефіцієнт кореляції для якої складає 98,88 %; коефіцієнт детермінації – 98,13 %.

Застосування аналогічної методики дозволило побудувати поліноміальну модель другого порядку для випадку максимальних добових температур з коефіцієнтом кореляції 99,23 %, при детермінації 98,73 %, що краще попередньої регресійної моделі для цього ж випадку. Загальний вигляд функції:

$$Y = 20,4085 - 0,422314 * X + 0,00488822 * X^2.$$

Аналогічно було проведено регресійний аналіз для встановлення можливості опису залежності між температурою ґрунту та часом доби (табл. 3).

### 3. Аналіз залежності температури поверхневого шару ґрунту від часу доби

Порядок функції	Загальний вигляд	Коефіцієнт детермінації	Стандартна похибка	Абсолютна похибка
2	$Y = 7,72973 + 1,20113 * X - 0,0379599 * X^2$	69, 89%	1,8355	1,2434
3	$Y = 14,9381 - 1,3945 * X + 0,185527 * X^2 - 0,00542017 * X^3$	91,44%	1,1298	0,6023
4	$Y = 22,2409 - 4,94497 * X + 0,693481 * X^2 - 0,0331203 * X^3 + 0,000508554 * X^4$	98,13%	0,6462	0,3054
5	$Y = 13,8592 + 0,388681 * X - 0,435217 * X^2 + 0,0695399 * X^3 - 0,00365964 * X^4 + 0,0000620865 * X^5$	99,87%	0,2388	0,0684
6	$Y = 1,13333 + 9,66109 * X - 2,84433 * X^2 + 0,363507 * X^3 - 0,0219675 * X^4 + 0,000625776 * X^5 - 0,00000680428 * X^6$	100%	0,0	0,0

Функція другого порядку в цьому випадку показала також низьке значення коефіцієнта детермінації, майже на рівні простої мультиплікаційної функції, однак при збільшенні порядку цей показник вдалося суттєво підвищити, так уже поліном третього порядку показав детермінацію вище 90 %, функціональна залежність 5-го порядку дозволила описати залежність з імовірністю 99,87 %.

Однак дана функціональна модель описує лише частковий випадок добового ходу температури ґрунту за наявної середньодобової температури. Для побудови більш узагальненої моделі спершу була побудована гістограма відхилень температури ґрунту від середньодобової.

Далі базуючись на даних температурних відхилень та результатах попереднього регресійного аналізу, побудована функціональна залежність температури ґрунту від часу доби при заданому параметрі середньої добової температури ґрунту в досліджуваній точці. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що наступний поліном 5-го порядку відповідає поставленій умові з достатньо високим ступенем імовірності (99,20 %):

$$Y = T - 2,45 + 1,80195 * X - 0,778364 * X^2 + 0,103068 * X^3 - 0,00507101 * X^4 + 0,0000834916 * X^5,$$

де  $T$  – середньодобова температура ґрунту.

Оскільки залежність між температурою приземного шару повітря і температурою поверхневого шару ґрунту лінійна, і для випадку досліджуваного типу ґрунту має вигляд  $y = 1,103x - 1,253$ , то зазначену функціональну залежність можна виразити у формі:

$$Y = 1,103 * t - 3,703 + 1,80195 * X - 0,778364 * X^2 + 0,103068 * X^3 - 0,00507101 * X^4 + 0,0000834916 * X^5,$$

де  $t$  – середньодобова температура приземного шару повітря, °С.

Отже, дослідження добового ходу температури темно-сірого легкосуглинкового ґрунту засвідчили, що денні коливання температури проникають до глибини 50 см.

Разом з тим помітні також відмінності у добовій динаміці температур на рівнинній ділянці та схилах різної експозиції.

Підбір функції для опису залежності температури ґрунту від часу доби засвідчив, що поліноміальні моделі різного порядку дозволяють описати згадану залежність з високим ступенем імовірності. Користуючись установленою лінійною залежністю між температурою повітря і ґрунту також вдалося віднайти функціональну залежність температури ґрунту залежно від часу доби, базуючись на відомому значенні середньодобової температури повітря.

**Бібліографічний список:** 1. Григорьев Г. Н. Термический режим природных и пахотных темно-серых лесных почв Белгородской области / Г. Н. Григорьев, С. Г. Степина // Научные ведомости Белгород. гос. ун-та. – Белгород, 2008. – № 3(43). – С. 203–208. 2. Дадыкин В. П. Температура почвы как один из факторов, определяющих эффективность удобрений / В. П. Дадыкин // Почвоведение. – М., 1951. 3. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР / Димо В. Н. – М., 1972. 4. Дюкарев Е. А. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы / Е. А. Дюкарев // Вестник Томск. гос. ун-та. – Томск, 2012. – № 365. – С. 201–205. 5. Природные режимы средней тайги Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – 302 с. 6. Роде А. А. Генезис почв и современные процессы почвообразования / Роде А. А. – М.: Наука, 1978. – 256 с. 7. Роде А. А. Почвенная влага / А. А. Роде. – М., Изд-во АН СССР, 1952. 8. Хромов С. П. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М.: Наука, 2006. – 582 с.

**С. И. Веремеенко, Н. В. Ковбасюк, О. А. Фурманец**

### **СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕМНО-СЕРОЙ ПОЧВЫ ЗАПАДНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ В ПЕРИОД АКТИВНОГО ПРОГРЕВАНИЯ**

*Исследованы закономерности суточного хода температуры темно-серой легкосуглинистой почвы на участках различного рельефа в период весеннего роста температур. Проведен статистический анализ и описаны математические модели изменения температуры почвы с глубиной и ее зависимости от времени суток.*

*Ключевые слова: температура почвы, термический режим, суточная динамика температур.*

**S. Veremeyenko, N. Kovbasyk, O. Furmanets**

### **DIURNAL TEMPERATURE VARIATION OF DARK GRAY SOIL OF WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE DURING THE ACTIVE HEATING PERIOD**

*Patterns of diurnal temperatures of dark gray soils in the areas with different relief during the spring temperature growth are investigated. Performed statistical analysis and described mathematical models of soil temperature changes with depth and its dependence from the time.*

*Keywords: soil temperature, thermal regime, the daily temperature dynamics.*