«МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ, присвячена 100-річчю від дня народження Миколи Ілліча Лактіонова»
19–20 лютого 2026 року, Харків

ОРГАНІЧНА ЧАСТИНА ҐРУНТУ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Моделювання температурно зумовлених змін запасів органічного вуглецю дерново-підзолистих ґрунтів Полісся методами генетичного програмування

Доповідач - Трофименко Петро Іванович
доктор сільськогосподарських наук, професор
Кафедра лісового господарства та агротехнологій Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

- ***РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ КВАДРАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ***
- ***ТРЕНДОВИЙ АНАЛІЗ БАГАТОРІЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ РЯДІВ***
- ***СЕЗОННА КЛІМАТИЧНА ДЕКОМПОЗИЦІЯ З ОБЧИСЛЕННЯМ ТЕМПЕРАТУРНИХ ІНДЕКСІВ***
- ***ПРОГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВМІСТУ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ҐРУНТУ (C) НА ОСНОВІ ТЕМПЕРАТУРНИХ СЦЕНАРІЇВ***
- ***ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЕЙ ЗА СТАТИСТИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ (R^2, MAE, 95% CI)***
- ***ПОРІВНЯЛЬНИЙ ВАРІАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ***
- ***МЕТОДИ ГЕНЕТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ (реалізовані в середовищі Python)***
- ***ГРАФОАНАЛІТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ДИНАМІКИ C ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ТРЕНДІВ***

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТУ НА МОНІТОРИНГОВІЙ ДІЛЯНЦІ № 7

Характеристика дерново-підзолистого супіщаного глейового грунта на лесовидних відкладах:

- азоту 68,4
- фосфору 130
- калію 70
- гумусу 1,26%
- pH 5.8

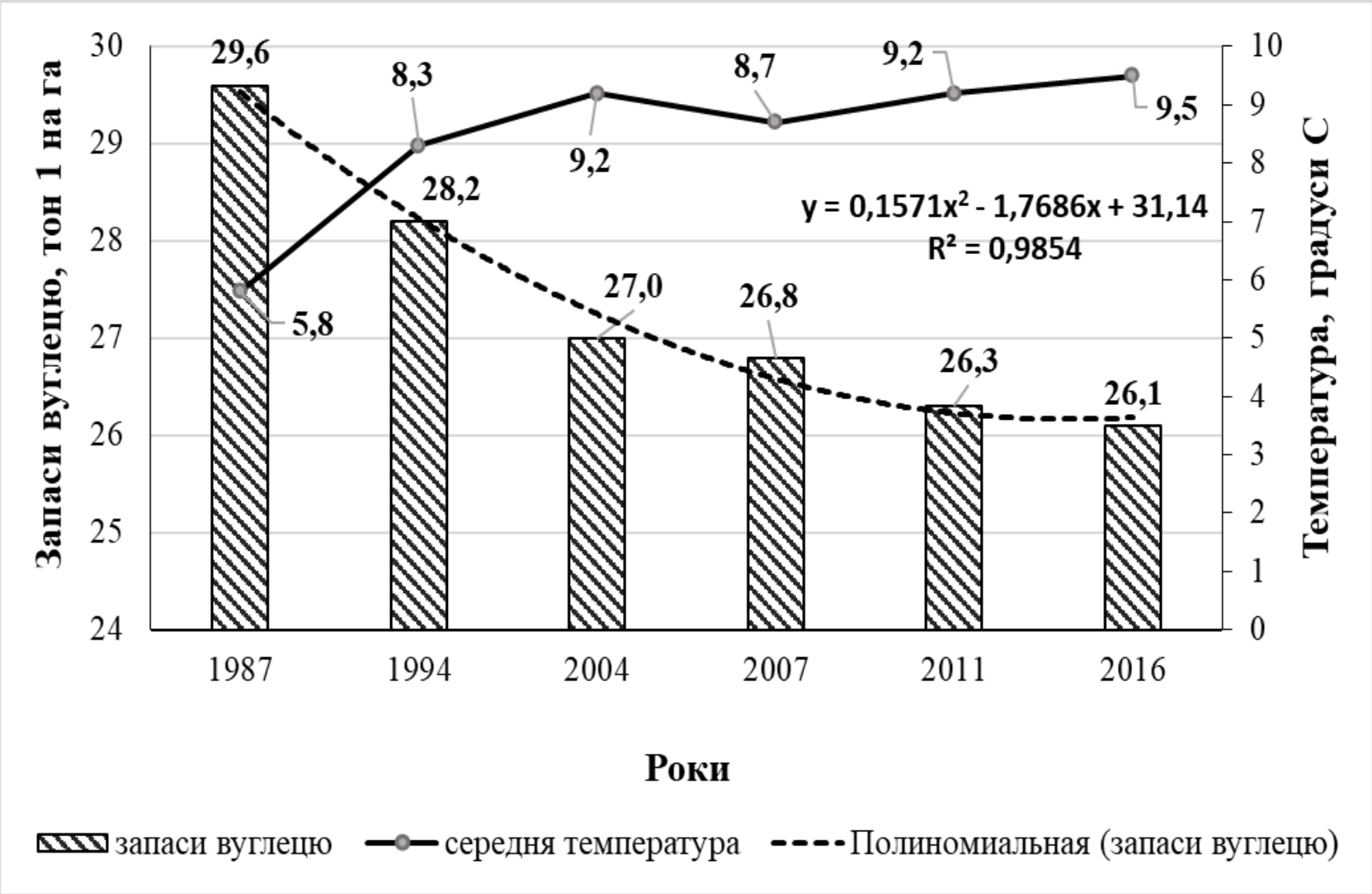


Рис. Динаміка запасів органічного вуглецю в орному шарі дерново-підзолистих ґрунтів Центрального Полісся за 30-річний період використання, т/га (Трофименко, П. І., Паламарчук, Р. П., Вишневський, Ф. О., Трофименко, Н. В., & Борисов, Ф.І., 2018)

ПРИЙНЯТІ УМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ

Температура повітря в запропонованій моделі виступає як домінуючий фактор, що зумовлює величину Сорг.

У загальному вигляді це можна записати як:

$$\left[\frac{dC_{\text{орг}}}{dt} = f\big(T(t), X(t)\big)\right]$$

де T(t)- температурний режим у часі, а X (t)- сукупність інших чинників (вологість, агротехнічне навантаження, властивості ґрунту).

Для аналізу «температурної чутливості» до зміни запасів Сорг використано правило ланцюга диференціювання:

$$\left[\frac{dC_{\text{орг}}}{dt} = \frac{dC_{\text{орг}}}{dT} \cdot \frac{dT}{dt}\right]$$

У цьому виразі величина $\frac{dC_{\text{орг}}}{dt}$ виражає температурну чутливість органічного вуглецю ґрунту, тоді як $\frac{dC_{\text{орг}}}{dT}$ відображає характер та швидкість кліматичних змін.

МОДЕЛІ ТА ФОРМУЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запаси органічного вуглецю С:

$$\boldsymbol{C_{\text{орг}} = 0,1 \cdot H \cdot \rho \cdot (0,58 \cdot G)}$$

Загальна формула GT-функції для температурно зумовлених втрат $\boldsymbol{C_{\text{org}}}$:

$$\boldsymbol{GT(T) = -\frac{dCorg}{dT}}$$

GT-функція для квадратичної моделі $\boldsymbol{C_{\text{org}}}$ (T):

$$\mathbf{GT(T) = -(b + 2cT)}$$

GT-функція для **GP-моделі C (T_{ann})**:

$$\mathbf{GT(T) = 0.42918 \cdot T - 2.33307}$$

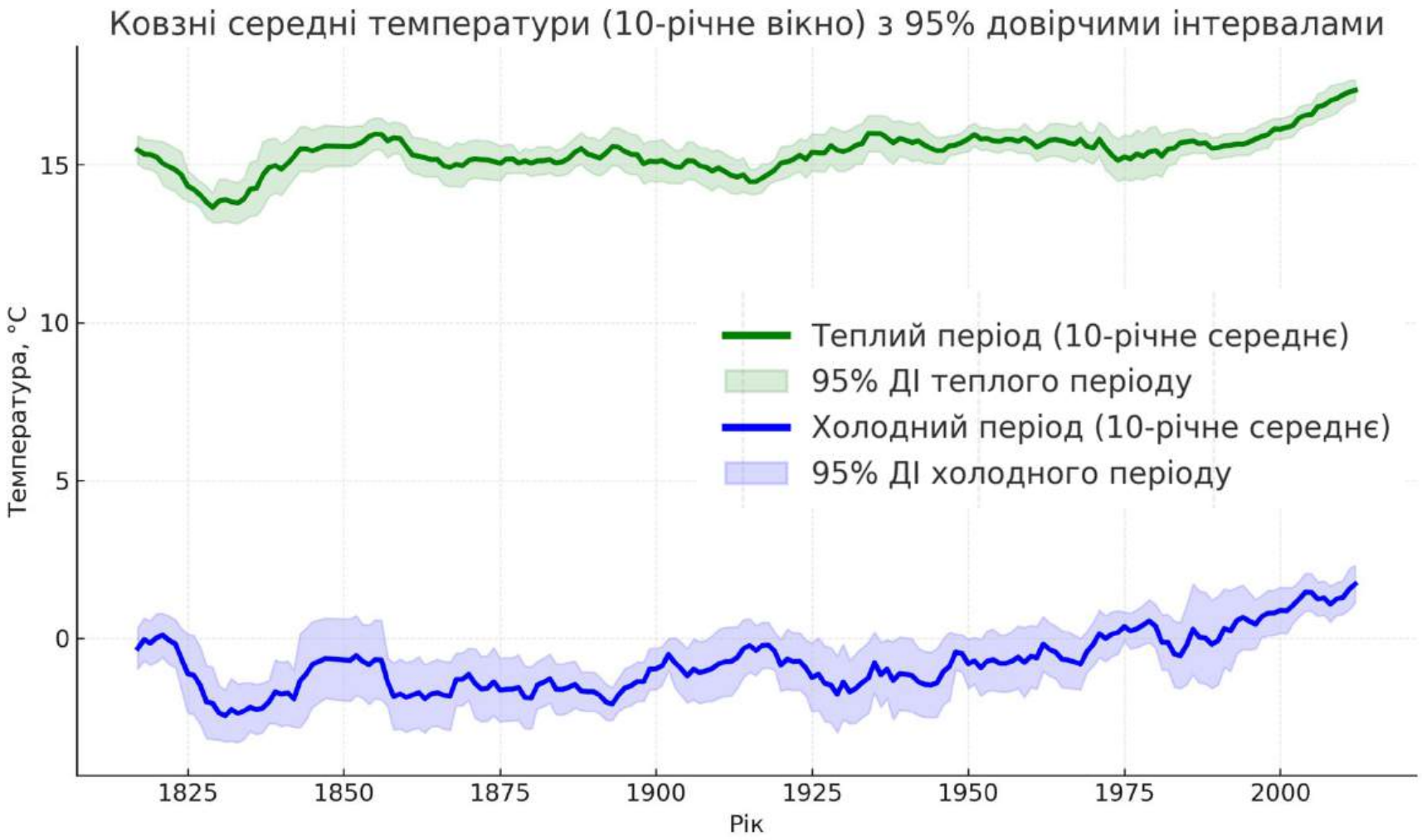
РОЗРАХУНОК ВТРАТ ЗА РАХУНОК ТЕМПЕРАТУРИ, 1987-2016

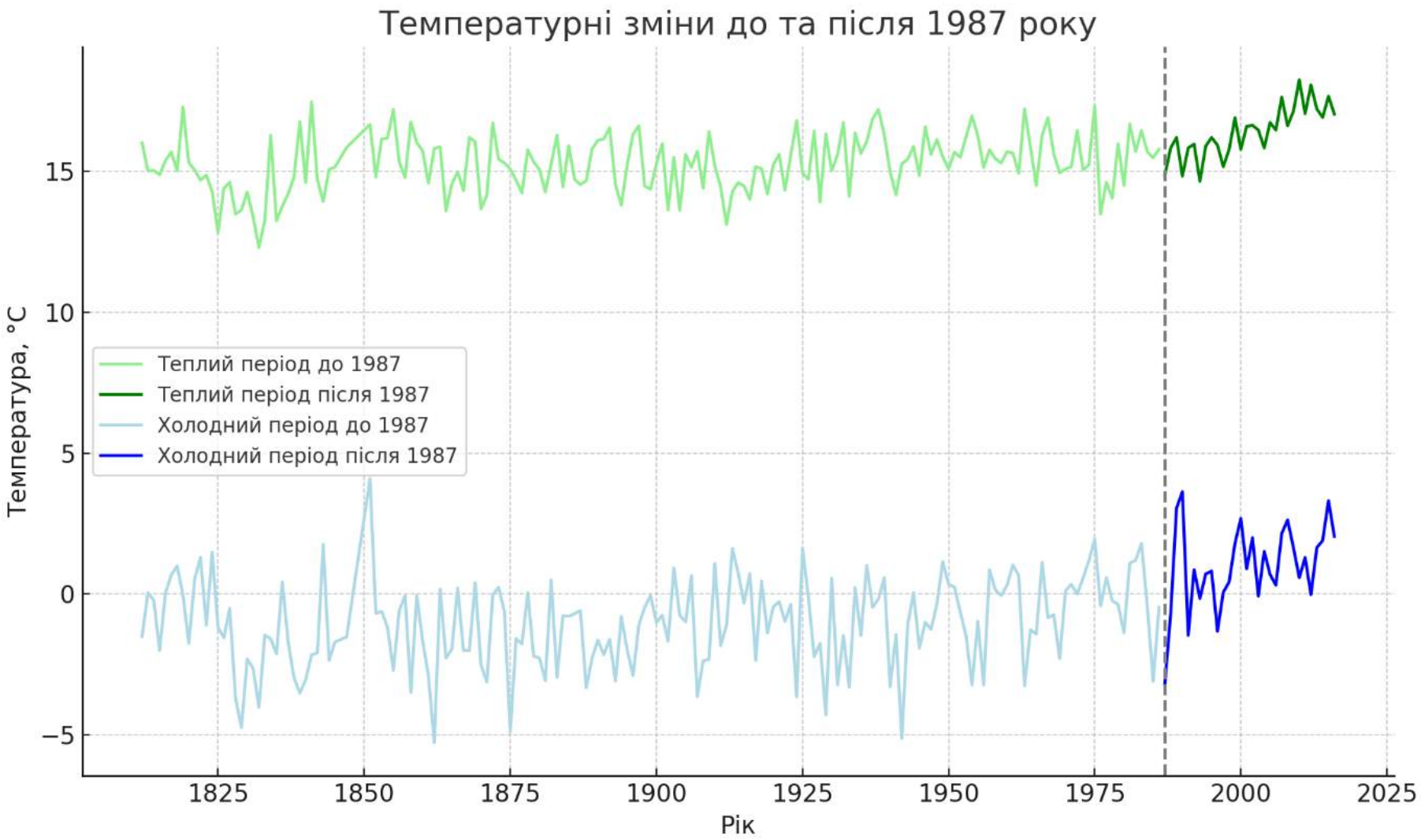
$$\Delta C_{\text{temp}}(t) = a_0 + a_1\,(t - 2000) + a_2\,(t - 2000)^{+} a_3\,(t - 2000)^3$$

$$\Delta C_\{"\{temp\}\}(t = \vdash 1(c_\{0\} + c_\{1\} T_\{"\{mean\}\}(t) \dashv 1) - \vdash 1(b_\{0\} + b_\{1\}(t - 2000) + b_\{2\}(t - 2000)\hat{}\{2\} \dashv 1)]$$

ІНТЕГРАЛЬНА ЗВЕДЕНА ТАБЛИЦЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗМІН

Показник	Δ (1816–1850 → 1987–2016)	1987–2016
Тренд теплого періоду, °C/10 р.	**+0,079**	**+0,826**
p-value	**$3{,}6 \times 10^{-10}$**	**$1{,}1 \times 10^{-7}$**
R^2	**0,18**	**0,64**
Ст. похибка (SE)	**0,010**	**0,12**
95% CI	**[0,059 ; 0,099]**	**[0,58 ; 1,07]**
Тренд холодного періоду, °C/10 р.	+0,123	+0,707
p-value	**$4{,}27 \times 10^{-9}$**	**0,0339**
R^2	0,16	0,15
Ст. похибка (SE)	0,015	0,28
95% CI	[0,094 ; 0,152]	[0,05 ; 1,36]
Середня T теплого періоду (1816–1850 / 1987–2016)	**14,70 → 16,41**	**16,41**
Δ теплого періоду	***+1,71 °C***	—
Середня T холодного періоду (1816–1850 / 1987–2016)	**-1,36 → 0,99**	**0,99**
Δ холодного періоду	***+2,35 °C***	—
Сезон потепління	Холодний	Теплий


Ковзні середні температури (10-річне вікно) з 95% довірчими інтервалами
Температура, °C
15
10
5
0
1825
1850
1875
1900
1925
1950
1975
2000
Рік
Теплий період (10-річне середнє)
95% ДІ теплого періоду
Холодний період (10-річне середнє)
95% ДІ холодного періоду


Температурні зміни до та після 1987 року
Температура, °C
Рік
15
10
5
0
−5
1825
1850
1875
1900
1925
1950
1975
2000
2025
Теплий період до 1987
Теплий період після 1987
Холодний період до 1987
Холодний період після 1987

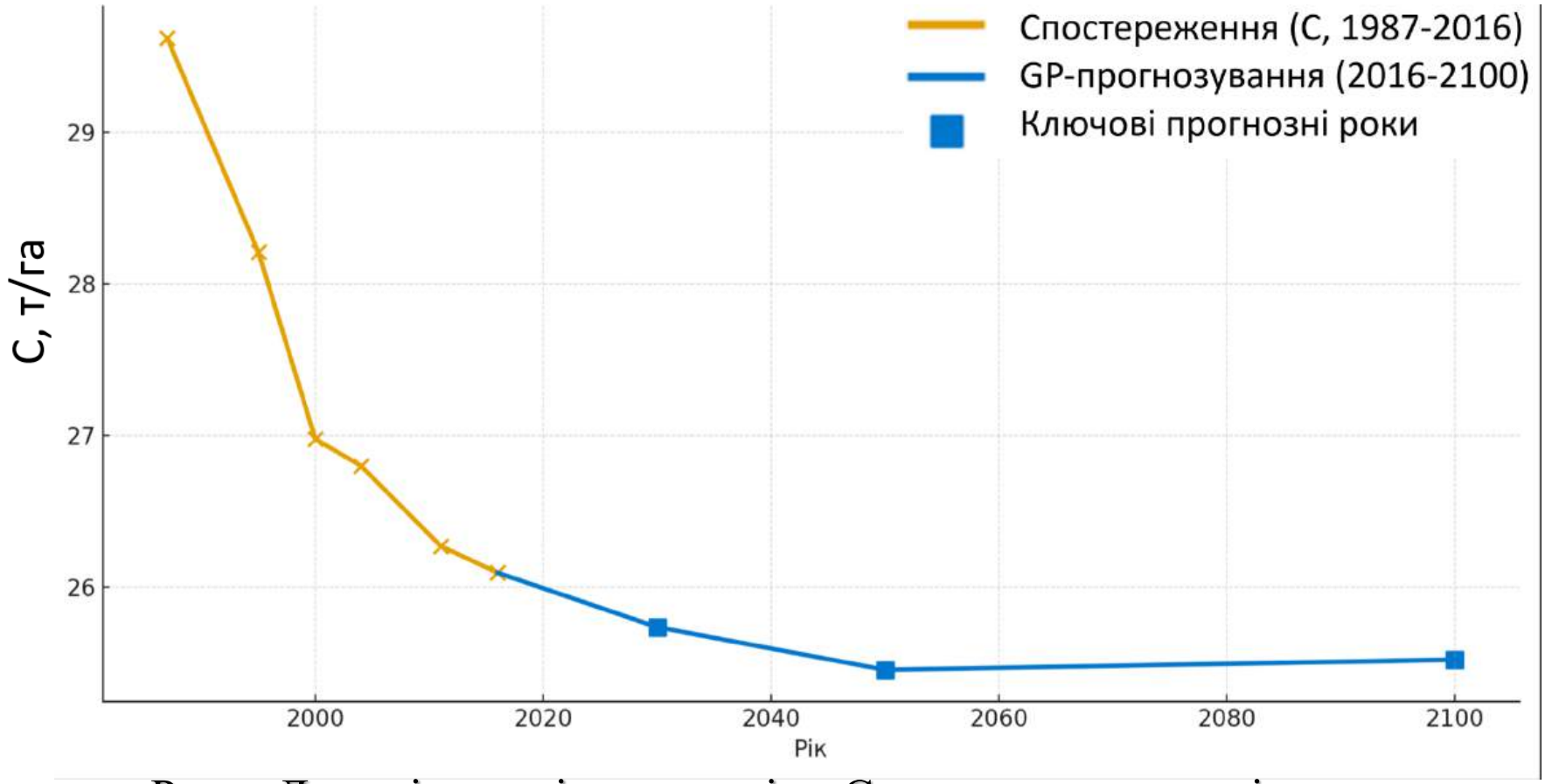


Рис. Динаміка зміни запасів Сорг у дерново-підзолистому супіщаному глейовому грунті на лесовидних відкладах (еквівалент С) з урахуванням впливу температури повітря, 1987 – 2100

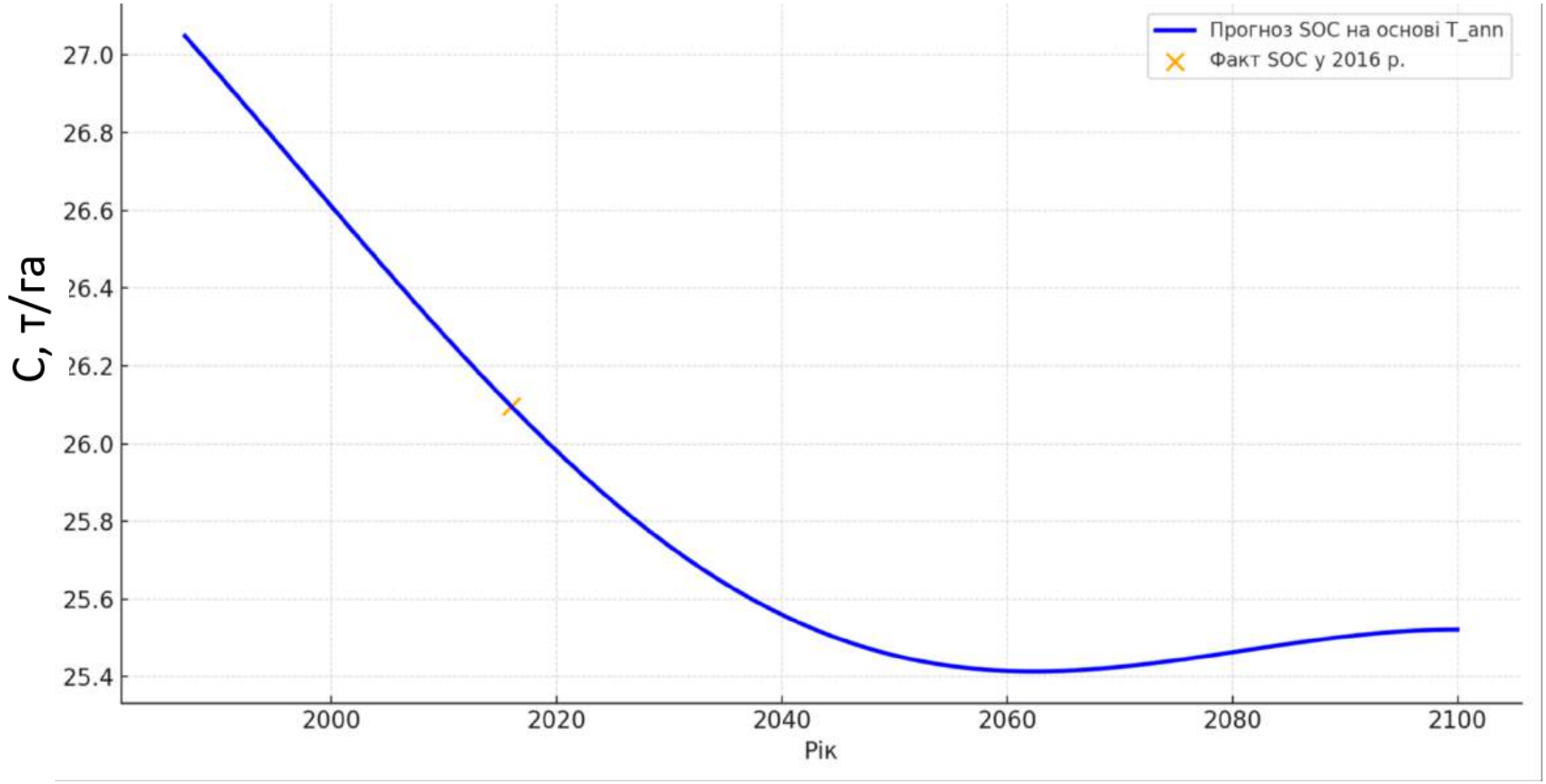


Рис. Динаміка зміни запасів Сорг у дерново-підзолистому супіщаному глейовому грунті на лесовидних відкладах (еквівалент С) з урахуванням впливу температури повітря, 1987 – 2100 (вирівняний)

Прогнозні значення температурних індексів

Рік	T_ann (°C)	T_warm (°C)	T_cold (°C)
2016*	**8,98**	16,65	0,91
2030	**9,21**	16,33	1,04
2050	**9,38**	16,51	1,05
2100	**9,34**	16,90	0,81

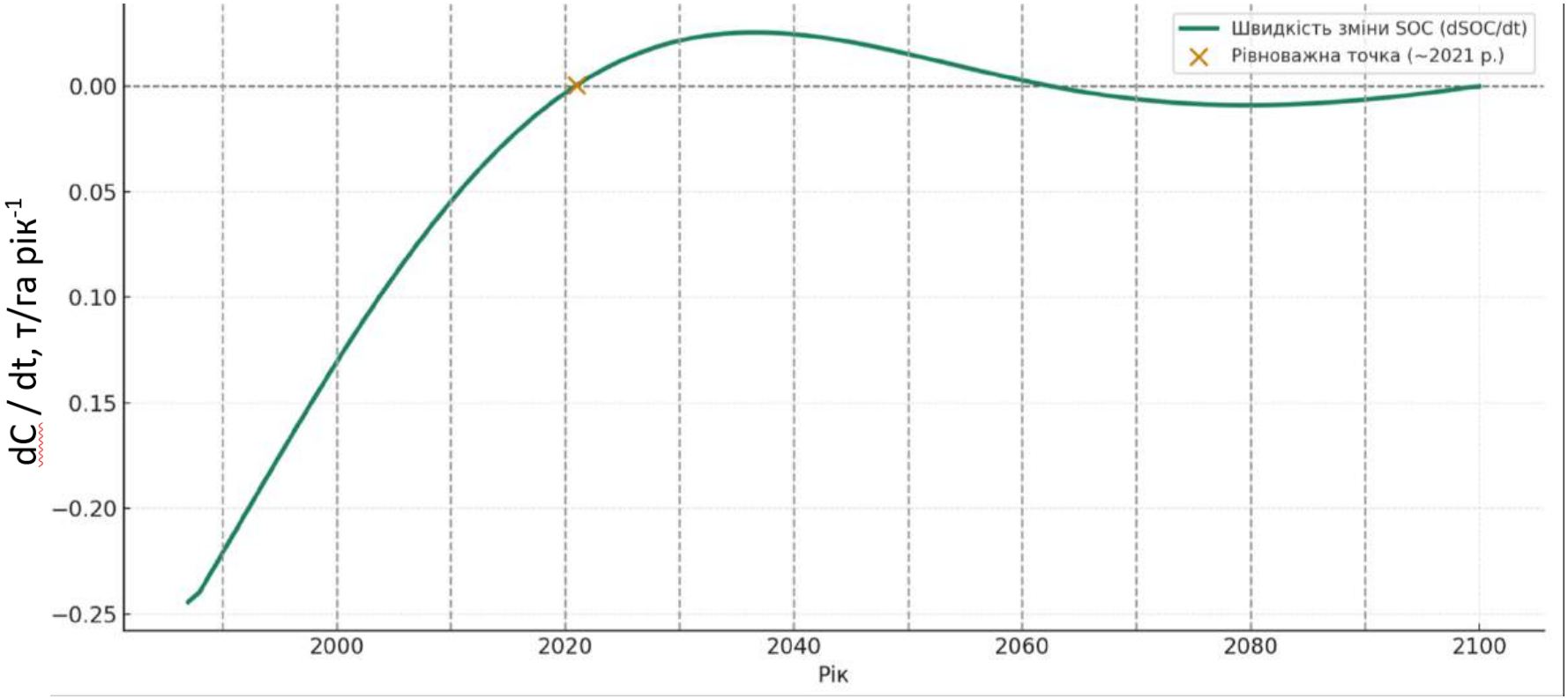
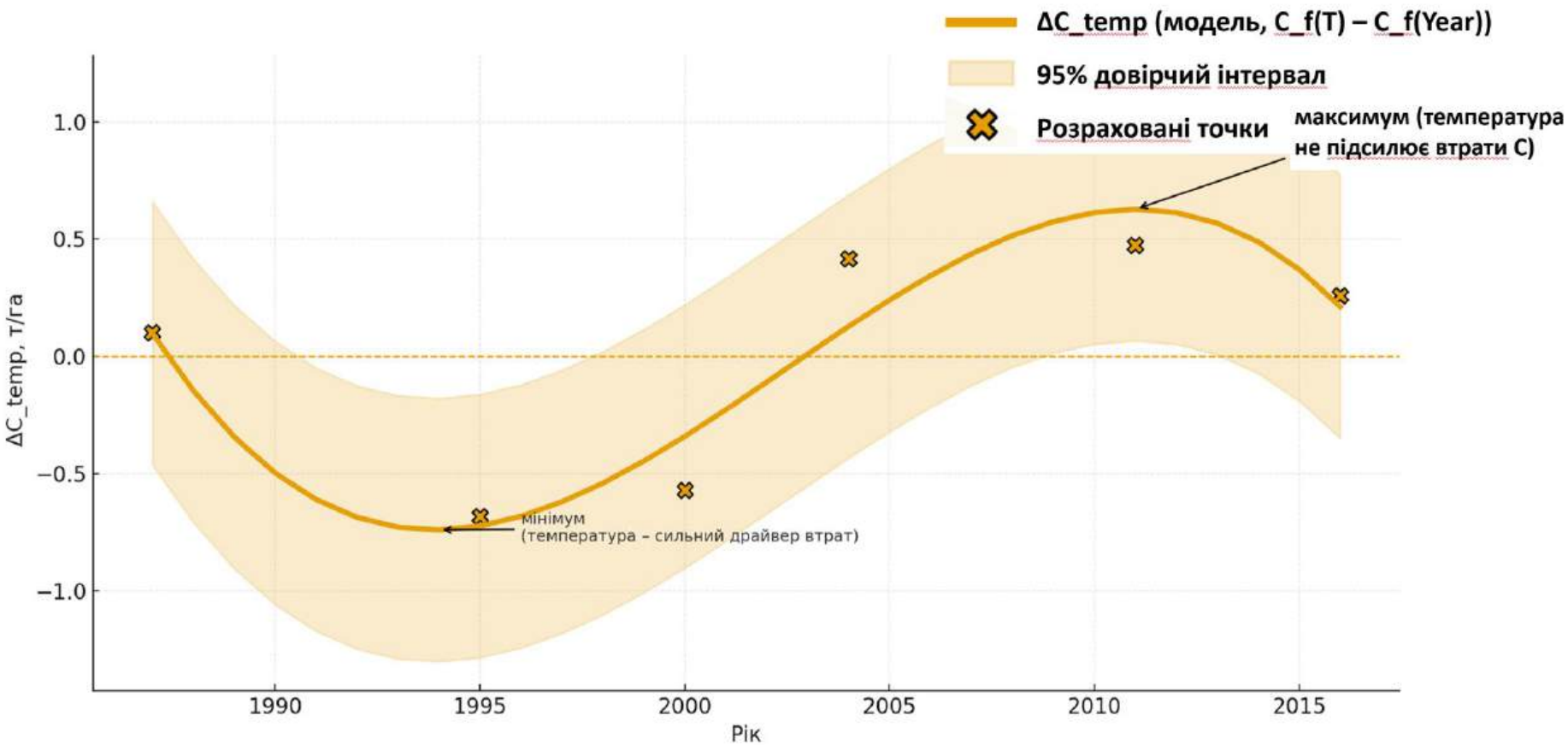


Рис. Швидкість зміни запасів С (0-20 см) у дерново-підзолистому супіщаному глейовому грунті на лесовидних відкладах

Десятирічні середні темпи втрат С (1990–2099)

Період	dCорг/dt, т/га·рік
1990–1999	–0.1799
2000–2009	–0.0948
2010–2019	–0.0294
2020–2029	+0.0099
2030–2039	+0.0242
2040–2049	+0.0209
2050–2059	+0.0094
2060–2069	–0.0018
2070–2079	–0.0081
2080–2089	–0.0083
2090–2099	–0.0038

За умови існуючого рівня агронавантажень перебування грунту у стані бзизькому до квазірівноважного, зокрема відносно запасів і втрат Сорг ***очікується у 2058 ± 3 роки***



Щорічна зміна C (ΔC) за рахунок температурного впливу

** Цифри на цьому графіку **не є абсолютними втратами** або приростами C, а відображають відносний температурний ефект у межах моделі, відносно багаторічного середнього (фонового) рівня температурного впливу, оціненого на інтервалі 30 років*

Внесок температури у зміну запасів органічного вуглецю (ΔCtemp) відносно тренду дегуміфікації, 1987–2016 рр.

Рік	Зміна запасів Сорг за рахунок температури, (ΔC_temp)	Характер температурного впливу
1987	***+0.102***	***внесок температури менший, ніж внесок загального тренду втрати органічного вуглецю***
1995	**−0.682**	**температура прискорює втрати С**
2000	**−0.571**	
2004	***+0.417***	***внесок температури менший, ніж внесок загального тренду втрати органічного вуглецю***
2011	***+0.474***	
2016	***+0.260***	

Усі значення ΔC_{temp} мають **відносний характер і відображають відхилення температурного внеску у зміну запасів органічного вуглецю ґрунту від загального тренду дегуміфікації з «опорним роком» – 2000 рік*

ВИСНОВКИ

1. Дерново-підзолистий супіщаний глейовий грунт на лесовидних відкладах *демонструє класичну кліматично обумовлену дегуміфікаційну траєкторію, характерну для супіщаних дерново-підзолистих ґрунтів*.

За 1987–2016 рр. втрачено ~3.53 т/га **C –11.9%** відносно початкового рівня.

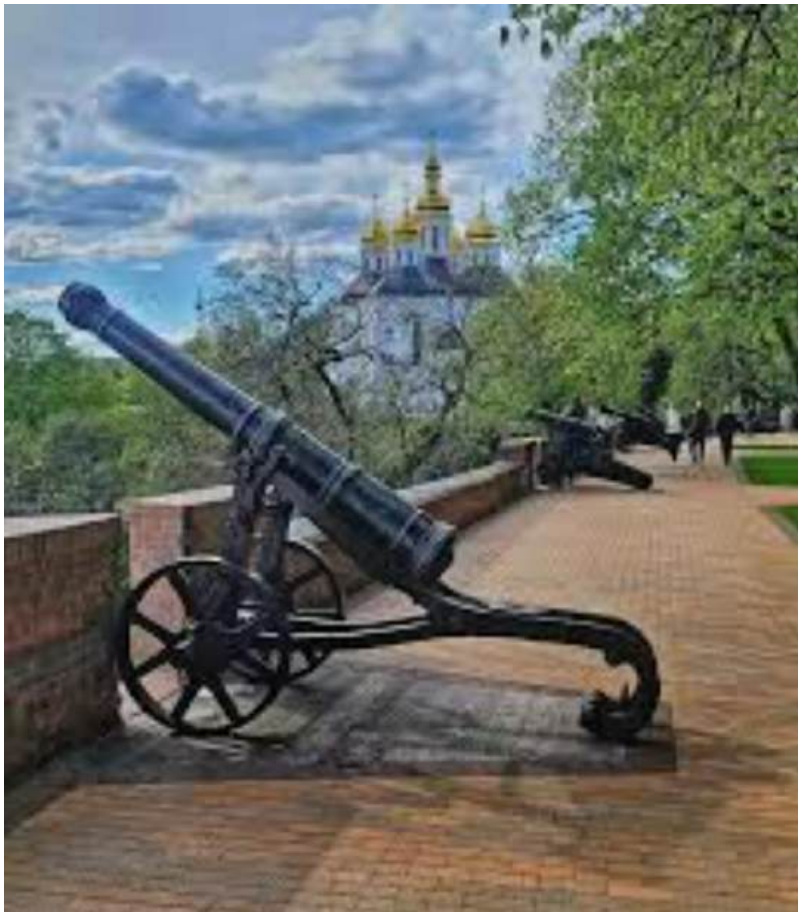
Результати моделювання на основі **GP** засвідчують, що зміна температури повітря пояснює майже ***90% міжрічної варіації C***, що дозволяє вважати клімат одним з головних чинників дегуміфікації поряд з іншими чинниками.

Температурний тренд + циклічність дозволили визначити наближення ґрунту *до нової рівноважної точки приблизно у 2060р*. із запасами **C** близько 25.5 т/га.

ВИСНОВКИ

2. Модель тренду С без температури (квадратична апроксимація 1987–2016 рр.) показує, що швидкість втрати органічного вуглецю швидко зменшується і практично прямує до нуля вже у межах 2015–2020 рр. ***Це відповідає уявленню, що за відсутності додаткового кліматичного впливу система наближається до квазірівноважного стану в найближчі роки (умовно — до 2030 року).***

3. Модель С з урахуванням кліматичного тренду демонструє, що за умов тривалого підвищення *середньорічної температури дегуміфікація продовжується впродовж усього прогнозного періоду*, хоча середній темп втрат невеликий (~0.009 т/га·рік за моделлю). ***Це узгоджується з висновком, що новий рівноважний стан формуватиметься пізніше — у другій половині століття (близько 2060 року) за різкого посилення температурного тренду в останні 30 років.***



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

ПРОШУ ДО ЗАПИТАНЬ