

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУ ЗМІН ВМІСТУ ГУМУСУ В ҐРУНТІ ТА ЙОГО ВЕРИФІКАЦІЯ

Л. Р. Петренко, кандидати сільськогосподарських наук

Ю.П. Манько, доктор сільськогосподарських наук

О. А. Цюк, кандидат сільськогосподарських наук

Створено математичну модель гумусонакопичення з урахуванням запропонованого раніше коефіцієнту гуміфікації органічних решток до трансформації особливостей чорноземів типових малогумусних.

Гумус, коефіцієнт гуміфікації, математична модель.

Одним із основних показників родючості ґрунту є вміст у ньому органічної речовини та її найбільш цінного складника – гумусу. Значення гумусу насамперед полягає в тому, що він бере активну участь у колообігу зольних елементів, є запасним фондом вмісту азоту, а також інших макро- та мікроелементів. Із запасами гумусу тісно пов'язані агрофізичні, фізико-хімічні, біологічні та агрохімічні властивості ґрунту, його водний, тепловий та повітряний режими, а також від нього залежить продуктивність сільськогосподарських культур [2].

Уміст гумусу має вагомe значення для різних рівнів інтенсивності ведення землеробства. Наразі для України характерне екстенсивне землеробство, за якого в ґрунтах зменшується його вміст і погіршується якість. Це пов'язане з існуючою нині структурою посівних площ, рівнем застосування органічних і мінеральних добрив та пожнивних решток сільськогосподарських культур, який не забезпечує достатнього надходження органічної речовини в ґрунт і відтворення гумусу, адже в ґрунтах постійно відбуваються два протилежних процеси – мінералізація та синтез, а від того, який із них переважає, й залежить їх гумусний стан. Питання гумусного стану ґрунтів нерозривно пов'язане не лише з моніторингом їх поживного режиму, а й з екологічним статусом ґрунтів та їх біосферними функціями [5]. Так, методичне забезпечення прогнозування гумусного стану ґрунтів є актуальним як для екологічного та ґрунтового моніторингу, так і для їх раціонального використання.

Багаторічні дослідження, проведені в різних ґрунтово-кліматичних зонах України, засвідчують, що на тлі фактичних технологій у землеробстві відбувається суттєве зменшення вмісту гумусу в ґрунтах, складається його від'ємний баланс, що призводить до зниження їх ефективної родючості. У результаті цих досліджень запропоновані математичні моделі оцінювання вмісту гумусу в ґрунті [1]. Проте в більшості з них лише наводяться абсолютні показники його вмісту та змін залежно від агротехнічних заходів без передбачення цих змін. У сучасних умовах ведення землеробства важливим є прогнозування змін вмісту гумусу на основі математичного моделювання залежно від рівня його екологізації.

Мета дослідження – удосконалити методики прогнозування гумусного стану чорнозему типового шляхом коригування прогнозних математичних моделей, верифікувати прогноз в умовах екологізації землеробства.

Ґрунт є динамічною відкритою системою, для збереження якої система землеробства мусить забезпечувати насамперед бездефіцитний баланс гумусу в сівозміні – необхідну умову високого рівня потенційної й ефективної родючості та продуктивності ріллі, тому для об'єктивної оцінки ефективності екологізації землеробства дуже важливим є прогнозування гумусного стану ґрунту, що можливо якщо виділити основні чинники залежності цього стану й на їх основі скласти прогнозну математичну модель.

Матеріали і методи дослідження. Модель, що пропонується, відрізняє простота зв'язку між запасами карбону гумусу в певному шарі ґрунту та щорічними надходженнями його у складі органічних решток і добрив. Математичною основою моделі є система диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= K_{г2}y - K_1x, \\ \frac{dy}{dt} &= \Pi - K_3y,\end{aligned}\tag{1}$$

де x – запас вуглецю гумусу (т/га) в шарі 0–40 см;

y – вміст у ґрунті органічного вуглецю негумусової природи (органічних решток, гною тощо), т/га;

t – час, років;

$K_{г}$ – коефіцієнт гуміфікації карбону органічних решток, гною та інших джерел вуглецю, що надходить у ґрунт. Для пожнивних решток пропонуємо розрахувати $K_{г}$ з коефіцієнтів гуміфікації $K_{гум}$. Г. Я. Чесняка [7] помножила їх на коефіцієнт 1,45, який є часткою від ділення вмісту вуглецю в гумусі (58 %), на вміст його в пожнивних рештках (40 %). На нашу думку, для маси сидеральних культур треба взяти $K_{г}$ величиною 0,05, тобто удвічі менше ніж для картоплиння й гички. Величину $K_{г}$ вуглецю гною 0,3 у свій час запропонував О.М. Ликов, вказавши вміст вуглецю в добриві 9 %. [3]. Знаючи $K_{г}$ для будь-яких рослинних решток і гною, розраховують середньозважений показник $K_{гс}$ за масою органічного вуглецю, що надходить з ними в ґрунт. Наприклад, за внесення 12 т/га гною з ним у ґрунт надходить 1,08 т вуглецю (12 т/га * 0,09 = 1,08 т/га). Якщо загальна кількість решток становить, наприклад 6 т/га соломи, то з ними надійде в ґрунт 2,4 т/га органічного вуглецю (6*0,4=2,4 т/га). Якщо $K_{г}$ для соломи 0,2, то величина $K_{гс}$ становить 0,23 ($K_{гс}=0,2*2,4+0,3*1,08/2,4+1,08=0,23$);

Π – маса (т/га) органічного карбону негумусової природи, що в середньому щорічно надходить у ґрунт у складі органічних решток, гною та інших форм органіки. Ми спрощено приймаємо вміст вуглецю в рештках за 40 %, а вміст його в гною за 9 %;

K_1 – коефіцієнт середньорічних втрат вуглецю гумусу (т/га). Очевидно, це найменш точний параметр у моделі. Відомі запропоновані величини середньорічної мінералізації гумусу в ґрунті під сільськогосподарськими культурами й у полі чистого пару (Г. Я. Чесняк). Для їх уточнення ми пропонуємо зменшити ці величини в 1,24 раз. Величини K_1 є часткою від ділення уточнених втрат вуглецю під час мінералізації гумусу, т/га на запас карбону гумусу на початку спостережень (X_0), т/га;

K_2 – коефіцієнт щорічної мінералізації в ґрунті органічного вуглецю негумусової природи, є вираженням маси мінералізованого гумусу до початкової його маси;

K_3 – коефіцієнт щорічної трансформації органічного вуглецю негумусової природи, рівний сумі $K_3 = K_r + K_2$.

Якщо рештки й гній повністю трансформуються в гумус, тобто немає накопичення в ґрунті нетрансформованих решток у тривалому часі (ротація сівоzmіни), то величина $K_3=1$ [1].

Для моніторингу запасів гумусу в певному шарі ґрунту нами використана прогнозна математична модель [3,6]:

$$B_t = 1,724 \left[\left(X_0 - \frac{K_r \Pi}{K_1 K_3} \right) e^{-10 \cdot K_1} + \frac{K_2 \Pi}{K_1 K_3} \right], \quad (2)$$

де B_t – запас гумусу у визначеному шарі через t років після початку спостережень, т/га;

X_0 – запас карбону гумусу в цьому шарі на початку спостережень (т/га). Щоб його знайти, треба запас гумусу на початку спостережень поділити на 1,724 (коефіцієнт Ван-Бемелена, розрахований за умови вмісту вуглецю в гумусі 58 % ($100/58=1,724$);

1,724 – коефіцієнт перерахунку запасів карбону гумусу в умовний гумус із вмістом 58 % карбону;

K_r – коефіцієнт гуміфікації карбону органічних решток і гною, визначений за методикою Л.Р. Петренка [9]:

$$K_r = \frac{(X_t - X_0 e^{-K_1 t}) K_1 K_3}{\Pi \times (1 - e^{-K_1 t})}; \quad (3)$$

$K_1 = 0,01$ (за нашими розрахунками);

$K_3=1$;

$e = 2,71828$ (основа натурального логарифму);

$e^{-K_1 t} = 0,9048$ (за величини $t = 10$ років);

X_t – вміст карбону гумусу в досліджуваному шарі ґрунту через t років, т/га.

Об'єктом досліджень стали моделі системи землеробства в стаціонарному двофакторному досліді кафедри землеробства НУБіП України, який тривав десять років (2002–2011 рр.), на чорноземі типовому малогумусному Агрономічної дослідної станції в умовах Правобережного Лісостепу України. Схема досліді об'єднує три варіанти системи землеробства різного рівня екологізації, визначеного його за індексом (I_e = відношення суми внесених мінеральних добрив на гектар ріллі, кг д.р. до суми внесених органічних добрив на гектар ріллі сівоzmіни, т/га): промислове ($I_e=300/12=25$), екологічне ($I_e=150/24=6,2$) та біологічне ($I_e=0/24=0$). Другим фактором у досліді стали чотири варіанти основного обробітку ґрунту в зерно-просапній сівоzmіні: 1 – диференційований (контроль); 2 – плоскорізний; 3 – полицево-безполицевий; 4 – поверхневий.

Предметом проведеного дослідження стала верифікація запропонованих моделей прогнозу й моніторингу змін гумусного стану ґрунту, здійснена за експериментальними даними запасів карбону гумусу в 1968, 1986 та 2003–2009 роках, маси пожнивних кореневих решток сільськогосподарських культур, визначених коефіцієнтів гуміфікації органічної речовини.

Результати дослідження та їх аналіз. Верифікація методичної спроможності запропонованих моделей проведена за визначенням параметрів гумусного стану ґрунту в досліді, що наведені нижче.

1. *Застосування прогносної моделі [9], для розрахунку коефіцієнта гуміфікації карбону гумусу K_r за експериментальними даними у варіантах*

дослідю. Для цього розрахунку спочатку визначили фактичні запаси карбону гумусу в ґрунті на початку й у кінці спостереження (табл. 1).

1. Фактичні запаси карбону гумусу залежно від систем землеробства в шарі ґрунту 0–40 см, (X), т/га

Система основного обробітку ґрунту	Система землеробства					
	промислова (контроль)		екологічна		біологічна	
	X ₀	X _t	X ₀	X _t	X ₀	X _t
Диференційований (контроль)	101,6	103,5	103,4	105,6	101,6	103,6
Плоскорізний	100,8	104,0	104,0	104,5	102,8	102,6
Полицево-безполицевий	102,3	103,2	102,7	106,3	102,9	103,5
Поверхневий	102,4	103,7	103,9	105,7	104,2	105,1

Примітка. X₀ – вміст карбону на початку дослідю, 2002 р. X_t – вміст карбону через 10 років, 2012 р.

Для прикладу визначимо величину цього показника K_r у варіанті промислового землеробства з диференційованим обробітком ґрунту в сівозміні за даними таблиці 1:

$$K_r = \frac{(103,5 - 101,6 * 0,9048) * 0,01}{4,46 * (1 - 0,9048)} = \frac{0,1157232}{0,424592} = 0,27.$$

У таблиці 2 подано результати аналогічних розрахунків для решти варіантів дослідю.

2. Вплив досліджуваних факторів на коефіцієнт гуміфікації вуглецю органічних решток і гною (K_r)

Система основного обробітку ґрунту	Система землеробства			Середнє за системами обробітку
	промислова (контроль)	екологічна	біологічна	
Диференційований (контроль)	0,27	0,21	0,24	0,24
Плоскорізний	0,31	0,19	0,21	0,237
Полицево-безполицевий	0,24	0,23	0,21	0,227
Поверхневий	0,28	0,22	0,24	0,247
Середнє за системами землеробства	0,275	0,212	0,225	0,238

Розрахунки дали змогу виявити, що величина K_r, коливаючись в межах 0,23–0,24, не залежить від систем обробітку ґрунту, а, навпаки, системи землеробства справили помітний вплив на процес гуміфікації органічного вуглецю. Істотною перевагою позначена величина гуміфікації за екологічної системи землеробства.

2. *Прогноз запасу гумусу в часі.* Розрахунок очікуваного запасу гумусу в ґрунті через певний період здійснюють за допомогою прогнозного рівняння (2). Для прикладу зробимо прогноз очікуваного запасу гумусу через десять років за експериментальними даними стаціонарного дослідю. Аргументами для розрахунку запасу гумусу через десять років у варіанті промислового землеробства й диференційованого обробітку ґрунту виявилися: B₀ (початковий запас гумусу в 0–40 см) = 175,2 т/га; B₀/1,724 (початковий вміст у

ґрунті карбону гумусу) = 101,6 т/га; $K_r = 0,27$; $K_1 = 0,01$; $\Pi = 4,46$ т/га. Через десять років за прогнозом очікується такий вміст гумусу:

$$B_{10} = 1,724 \left[\left(101,6 - \frac{0,27 * 4,46}{0,01} \right) e^{-10} + \frac{0,27 * 4,46}{0,01} \right] = 1,724 * 103,4 = 178,28 \approx 178,3 \text{ т/га}.$$

Експериментальні дослідження виявили величину цього запасу 178,4 т/га, адекватну прогнозованій величині (коефіцієнт адекватності $K_a = 1$). В іншому прикладі для полицево-безполіцевого обробітку ґрунту за екологічної системи землеробства величини аргументів становили: $B_0 = 177,1$ т/га; $X_0 = \frac{177,1}{1,724} = 102,7$ т/га; $K_r = 0,23$; $\Pi = 6,06$ т/га. У цьому варіанті через десять років очікували 183,1 т/га гумусу в 0–40 см шарі ґрунту:

$$B_{10} = 1,724 \left[\left(102,7 - \frac{0,23 * 6,06}{0,01} \right) e^{-10} + \frac{0,23 * 6,06}{0,01} \right] = 1,724 * 106,2 = 183,1 \text{ т/га}.$$

3. Справджування прогнозу змін карбону гумусу в 0–40 см шарі ґрунту через десять років від початку спостережень, (2012 р.), т/га

Система основного обробітку ґрунту	Система землеробства					
	промислова (контроль)		екологічна		біологічна	
	фактичний	розрахований	фактичний	розрахований	фактичний	розрахований
Диференційований (контроль)	103,5	103,8	105,6	107,3	103,6	103,5
Плоскорізний	104,0	102,6	104,5	107,0	102,6	104,0
Поліцево-безполіцевий	103,2	104,9	106,3	106,7	103,5	105,0
Поверхневий	103,7	103,7	105,7	106,7	105,1	105,0
Середнє за системами землеробства	103,6	103,8	105,5	106,9	103,7	104,4
Справджуваність	0,99		0,99		0,99	

Визначена величина теж вказує на адекватність з експериментальною (183,2 т/га). Справджування прогнозу гумусного стану ґрунту за даними змін вмісту карбону гумусу в 0–40 см ґрунту через десять років показана в таблиці 3. Аналіз таблиці 3 засвідчує високе справджування прогнозу (0,99).

3. Розв'язування прогнозного рівняння [9] відносно коефіцієнта середньорічних втрат вуглецю гумусу K_1 .

За наявності досить точних значень K_r , а також Π , виникає доцільність визначення показника середньорічних втрат карбону гумусу в частках одиниці від його запасів (K_1) з допомогою основного прогнозного рівняння математичної моделі:

$$X_t = \left(X_0 - \frac{K_r \Pi}{K_1 K_3} \right) e^{-K_1 t} + \frac{K_r \Pi}{K_1 K_3}.$$

Це рівняння не може бути алгебраїчно розв'язане відносно K_1 . Разом з тим воно відносно легко розв'язується числовими методами знаходження коренів трансцендентних рівнянь, зокрема методом послідовних наближень Ньютона. Цей метод послідовних наближень дозволяє, маючи первинну оцінку істинної величини, підвищити її точність. Процес наближень триває доти, доки не буде отримана потрібна точність. Споглядальний аналіз наведеного вище рівняння показує наявність оберненого зв'язку між X_t і K_1 . Розглянемо,

наприклад, варіант плоскорізного обробітку ґрунту екологічної системи землеробства.

$$X_0=104 \text{ т/га}; X_{10}=104,5 \text{ т/га}.$$

Наші орієнтовні розрахунки показали, що за $K_1=0,01$, $X_{10}=107 \text{ т/га}$ треба взяти більшу величину K_1 , щоб отримати істинний (отриманий у підсумку експерименту) результат. Нехай $K_1=0,012$, то

$$X_{10} = \left(104 - \frac{0,24 \cdot 5,64}{0,012} \right) e^{-0,12} + \frac{0,24 \cdot 5,64}{0,012} = 105 \text{ т/га}.$$

Розраховане таким чином число ближче до істинного значення (104,5 т/га), ніж 107 т/га. За величини $K_1=0,013$, $X_{10}=104 \text{ т/га}$. Отже, істинну величину K_1 потрібно шукати між 0,012 та 0,013.

Безперечним залишається факт, що викладена математична модель [8], буде тим точніше описувати динаміку запасів гумусу в ґрунті, чим точніші (більше відповідають дійсності) параметри, які входять до неї, хоча зрозуміло, що отримувати їх експериментально дуже нелегко. Не будь-який математично-статистичний опис системи є її моделлю, вона мусить бути більш універсальним відображенням структури й функцій системи, більш чи менш адекватним реальній дійсності, але це відображення структури й функцій повинне давати змогу отримувати нову або додаткову інформацію про зміни, які відбуваються в системі під дією зовнішніх чи внутрішніх факторів.

4. Застосування прогностичного рівняння для визначення кількості органічного вуглецю (Π), який щорічно треба вносити в ґрунт для забезпечення у ньому конкретних запасів гумусу. Для цього застосовують прогностичне рівняння:

$$\frac{K_r \Pi}{K_1 K_3} = X_\infty,$$

де X_∞ – запас карбону гумусу (т/га), який потрібно утримувати в певному шарі:

$$\Pi = \frac{X_\infty \times K_1 \times K_3}{K_{21}}.$$

Наприклад, за полицево-безполіцевого основного обробітку ґрунту екологічної системи землеробства потрібно підтримувати запас гумусу 183,2 т/га у шарі 0–40 см, що відповідає вмісту карбону $X_\infty = \frac{183,2}{1,724} = 106,3 \text{ т/га}$.

Тоді норма щорічного внесення вуглецю органічних добрив становить

$$\Pi = \frac{106,3 \times 0,01 \times 1}{0,23} = 4,6 \text{ т/га}.$$

4. Кінетика вмісту ґрунтового гумусу в шарі 0–30 см у стаціонарному досліді

Роки спостережень	Період після початку спостережень, років	Вміст гумусу, (х)		Відхилення прогнозу від фактичних даних +/- %
		фактичний	розрахований за прогностичним рівнянням	
1968	0	5,14	5,14	0,00
1986	18	4,55	4,53	-0,02
2003	35	4,00	4,02	+0,02
2009	41	3,86	3,86	0,00

Внесення 12 тонн гною на гектар сівозмінної площі дадуть лише 1,08 т/га органічного карбону, решту повинні забезпечити органічні рештки $4,6 - 1,08 = 3,52$ т/га. Приблизний вміст вуглецю в рештках 40 %. Отже, решток повинно бути $\frac{3,52}{40} \times 100 = 8,8 \text{ т/га}$.

5. Моніторинг фактичного й прогнозного вмісту гумусу в ґрунті

Дослідження [10, 4, 6] показали, що багато деградаційних процесів (кислотність, обмінні катіони, буферна ємність тощо) у чорноземах мають кінетику першого порядку й описуються диференціальним рівнянням радіоактивного розподілу:

$$\frac{dx}{dt} = -kx; \frac{dx}{dt} = -kdt; \ln x = -kt + \ln C; \ln x - \ln C = -kt; X = Ce^{-kt}; t = 0; x = x_0; x_0 = c.$$

Загальне прогнозне рівняння, яке було розв'язане за експериментальними даними, отриманими в умовах для Агрономічної дослідної станції НУБіП України, має такий вигляд:

$$Xt = X_0 e^{-kt}; t = 41 \text{ рік}; X = 3,86; X_0 = 5,14; 3,86 = 5,14 e^{-41k}.$$

Звідси $K = 6,985 \times 10^{-3}$.

Конкретне прогнозне рівняння – $Xt = 5,14 e^{-6,985 \times 10^{-3} t}$;

$$K_r = \frac{0,4 \times 1,48 \times \overline{K_{\text{гум}}} \times \overline{M_{\text{решт}}} + 0,30 \times 0,09 \overline{H_{\text{гн}}}}{0,4 \times \overline{M_{\text{решт}}} + 0,09 \overline{H_{\text{гн}}}} = \frac{0,58 \times \overline{K_{\text{гум}}} \times \overline{M_{\text{решт}}} + 0,027 \overline{H_{\text{гн}}}}{0,4 \overline{M_{\text{решт}}} + 0,09 \overline{H_{\text{гн}}}},$$

де $\overline{K_{\text{гум}}}$ – середня величина $K_{\text{гум}}$ Чесняка Г.Я. для сівозміни;

$\overline{M_{\text{решт}}}$ – маса всіх органічних решток у середньому в сівозміні на 1 га за рік, т;

$\overline{H_{\text{гн}}}$ – середньорічна норма підстилкового гною на 1 га сівозміни за рік, т;

Для розрахунків даних наведених у таблиці 4 використані такі аргументи:

0,4 – вміст вуглецю в рослинних рештках (40 %);

1,48 – коефіцієнт відповідності вмісту вуглецю в гумусі до його вмісту в рослинних рештках (58 %:40 %); 0,30= K_r для вуглецю гною за Ликовим; 0,09 – вміст вуглецю у гної, %.

$$P = 0,4 \times \overline{M_{\text{решт}}} + 0,09 \times \overline{H_{\text{гн}}}.$$

K_1 – розраховують середню величину щорічної мінералізації карбону гумусу, зменшивши показник Чесняка Г. А., $K_{\text{мінер}}$ у 1,724 разів: $K_{\text{мінер}}/1,724$.

Далі застосовуємо $(K_{\text{мінер}}/1,724)$ для визначення K_1 :

$$K_1 = \frac{K_{\text{мінер}}}{1,724 \times X_0}; X_0 = \frac{B_0}{1,724} \text{ т/га}; K_1 = \frac{K_{\text{мінер}}}{1,724 \times X_0} = \frac{K_{\text{мінер}}}{B_0}.$$

Якщо за прогнозним рівнянням розраховують запас вуглецю гумусу, то в нього підставляють величину $K_1 = \frac{K_{\text{мінер}}}{1,724 \times X_0}$, а якщо воно розраховується за

програмою запасу гумусу, то $K_1 = \frac{K_{\text{мінер}}}{B_0}$.

Прогнозне рівняння [6], записане для запасів гумусу, а не його вуглецю, має вираз:

$$Bt = 1,724 \left[\left(\frac{B_0}{1,724} - \frac{K_r P}{K_1} \right) e^{-K_1 t} + \frac{K_r P}{K_1} \right], \text{ т/га},$$

$$B_t = 1,724 \left[\left(\frac{B_0}{1,724} - \frac{0,58 \bar{K}_{\text{гум}} \times \bar{M}_{\text{решт}} + 0,027 \bar{H}_{\text{гн}}}{\bar{K}_{\text{мінер}}} \right) \times \right. \\ \left. \times \exp \left(-t \times \frac{\bar{K}_{\text{мінер}}}{B_0} \right) + \frac{(0,58 \bar{K}_{\text{гум}} \times \bar{M}_{\text{решт}} + 0,027 \bar{H}_{\text{гн}})}{\bar{K}_{\text{мінер}}} \right], m / га.$$

Наведена в таблиці 4 інформація свідчить про високу адекватність фактичних показників вмісту гумусу в ґрунті прогнозним.

$$B_t = 1,724 \left\{ \left[\frac{B_0}{1,724} - \frac{(0,58 \bar{K}_{\text{гум}} \cdot \bar{M}_{\text{решт}} + 0,027 \bar{H}_{\text{гн}})(0,4 \bar{M}_{\text{решт}} + 0,09 \bar{H}_{\text{гн}}) B_0}{(0,4 \bar{M}_{\text{решт}} + 0,09 \bar{H}_{\text{гн}}) \bar{K}_{\text{мінер}}} \right] \cdot \exp \left(-\frac{t \cdot \bar{K}_{\text{мінер}}}{B_0} \right) + \right\} \left\{ + \frac{(0,58 \bar{K}_{\text{гум}}}{\bar{K}_{\text{мінер}}} \right\}$$

Висновки. Таким чином, здійснено розрахунок для визначення маси утворених поживно-коренових решток за врожайністю основної продукції в чорноземних ґрунтах, які дають більш достовірні результати порівняно з рівняннями Г. Я. Чесняка, тому вони можуть бути рекомендовані для практичного застосування. Нами було виявлено математичну залежність динаміки запасів карбону гумусу в часі у вигляді системи диференціальних рівнянь, де врахований внесок трансформації органічних решток у процеси гумусонакопичення. На її основі створена математична модель гумусонакопичення у вигляді лінійної залежності й рекомендована для практичного використання під час прогнозування та управління процесами гумусонакопичення в орних чорноземах типових. Проведена верифікація запропонованої моделі засвідчила високе справджування прогнозних розрахунків гумусного стану ґрунту.

Список літератури

1. Балаєв А.Д. Концептуальні моделі гумусного стану чорноземів / А. Д. Балаєв, Л. Р. Петренко // Вісник аграрної науки. – 1999. – № 4. – С. 10–14.
2. Веремеєнко С. І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України / С. І. Веремеєнко. – Луцьк : Надстир'я, 1997. – 314 с.
3. Лыков А. М. Воспроизводство органического вещества почвы в современных системах земледелия / А. М. Лыков // Земледелие. – 1988. – № 9. – С. 20–22. (3/15)
4. Охорона ґрунтів : підруч. / [М. К. Шикуча, О. Ф. Гнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик]. – Київ : Знання, 2001. – С. 133–156.
5. Полупан М. І. Класифікація ґрунтів України / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко; за ред. М. І. Полупана. – К. : Аграрна наука, 2005. – 300 с.
6. Практикум з ґрунтознавства: навч. посіб. / [О. Ф. Гнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик, С. В. Вітвіцький]. – Київ : НАУ, 2002. – С. 134–151.
7. Чесняк Г. Я. Расчет баланса гумуса в почве и доз внесения органических удобрений для его бездефицитного содержания / Г. Я. Чесняк, М. М. Зинченко, Ю. И. Серауров // Совершенствование агрохимического обслуживания колхоза и совхозов. – К. : Урожай, 1988. – 144 с. (4/27)
8. Шикуча М. К. Математична модель прогнозування балансу гумусу при переході до біологічного землеробства / М. К. Шикуча, Л. Р. Петренко // Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. – Київ : НАУ, 2000. – С. 127–137.
9. Petrenko L. Simple Mathematical Model to Predict SOC Dynamics / L. Petrenko // New Advances in Research & Management of World Mollisols. International Symposium on soil Quality & Management of World Mollisols. – Harbin, 2010. – 108 p.

10. Petrenko L. R. A Method for Long – Tern Prediction of Degradation Processes in Chernozems / L. R. Petrenko, E. E. Gorodetska, T. A. Turova // Youth & Ecology International Conference. – Moldova, Kishnev. – 1991. – Volume One. – P. 104–107.

Создана математическая модель гумусонакопления с учетом предложенного ранее коэффициентов гумификации органических остатков к трансформации особенностей черноземов типичных малогумусных.

Гумус, коэффициент гумификации, математическая модель.

The mathematical model of humus accumulation in view previously proposed coefficients of humification of organic residues in the transformation of the typical features of low-humus chernozems.

Humus, humification ratio, the mathematical model.