

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України*²*Житомирський національний агроекологічний університет*

Постановка проблеми. Родючість ґрунту є інтегрованим показником взаємодії основних факторів ґрунтоутворення та комплексним оціночним критерієм його стану. Зручним і оперативним критерієм стану ґрунту є вміст в ньому гумусу [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Інтенсивне використання ґрунтових ресурсів України призвело до зниження потенційної родючості та погіршення агрофізичних показників ґрунту. Так, фактичний вміст гумусу в чорноземах становить 3,5% при оптимальному рівні 4,3% [3]. Критичним же для даного типу ґрунту вважається його вміст в межах 3,0...3,5% [4].

Згідно із дослідженнями [5, 6, 7] моделювання гумусного стану можна провести на основі аналізу динаміки потоків та запасів вуглецю гумусу в ґрунті та органічного вуглецю негумусної природи (органічних решток та органічних добрив). Проте у проведених дослідженнях не приділено достатньої уваги вибору моделі для оцінки гумусного стану ґрунтового середовища агроекосистем.

Мета досліджень. Проаналізувати існуючі моделі для оцінки гумусного стану ґрунтового середовища агроекосистем та обґрунтувати адекватну модель динаміки вмісту гумусу в ґрунтах.

Результати досліджень. Для аналізу зміни гумусового стану ґрунтів протягом певного періоду часу можна використати, в залежності від прийнятих допущень, три моделі динаміки вмісту гумусу: зміна вмісту гумусу обернено пропорційна вмісту гумусу і часу; зміна вмісту гумусу обернено пропорційна вмісту гумусу; зміна вмісту гумусу обернено пропорційна часу.

Перша модель побудована на допущенні, що зміна вмісту гумусу dH/dt обернено пропорційна вмісту гумусу H і часу t .

$$\frac{dH}{dt} = -k_{Ht}Ht; \quad (1)$$

де H – вміст гумусу в родючому шарі ґрунту, %; t – час, роки; k_{Ht} – коефіцієнт пропорційності за гумусом і часом.

Перепишемо рівняння (1) у вигляді:

$$\frac{dH}{H} = -k_{Ht}tdt; \text{ та розв'яжемо його:}$$

$$\ln H - \ln H_0 = -\frac{k_{Ht}}{2}(T^2 - T_0^2); \quad \ln \frac{H}{H_0} = -\frac{k_{Ht}}{2}(T^2 - T_0^2);$$

$$\frac{H}{H_0} = \exp\left[-\frac{k_{Ht}}{2}(T^2 - T_0^2)\right]; \quad H = H_0 \exp\left[-\frac{k_{Ht}}{2}(T^2 - T_0^2)\right],$$

де H_0, H – початковий та кінцевий вміст гумусу в родючому шарі ґрунту, %; T_0, T – початковий та кінцевий час контролю вмісту гумусу, роки.

Визначимо коефіцієнт пропорційності k_{Ht} на основі даних [5], які говорять про те, що з $T_0 = 1882$ року по $T = 2013$ рік, вміст гумусу зменшився з $H_0 = 4,17\%$ до $H = 3,01\%$:

$$k_{Ht} = \frac{2}{T^2 - T_0^2} \ln \frac{H_0}{H}; \quad k_{Ht} = \frac{2}{2013^2 - 1882^2} \ln \frac{4,17}{3,01} = 1,2778 \cdot 10^{-6}.$$

Тоді:

$$H = 4,17 \exp\left[-\frac{1,2778 \cdot 10^{-6}}{2}(T^2 - 1882^2)\right]. \quad (2)$$

Друга модель побудована на допущенні, що зміна вмісту гумусу dH/dt обернено пропорційна вмісту гумусу H . де k_H – коефіцієнт пропорційності за гумусом.

Перепишемо рівняння (3) у вигляді:

$$\frac{dH}{dt} = -k_H H; \quad (3) \quad \frac{dH}{dt} = -k_H dt; \quad \text{та розв'яжемо його:}$$

$$\ln H - \ln H_0 = -k_H (T - T_0); \quad \ln \frac{H}{H_0} = -k_H (T - T_0); \quad \frac{H}{H_0} = \exp[-k_H (T - T_0)];$$

$$H = H_0 \exp[-k_H (T - T_0)].$$

Визначимо коефіцієнт пропорційності на основі вищенаведених даних:

$$k_H = \frac{1}{T - T_0} \ln \frac{H_0}{H}; \quad k_H = \frac{1}{2013 - 1882} \ln \frac{4,17}{3,01} = 2,4884 \cdot 10^{-3}.$$

Тоді:

$$H = 4,17 \exp[-2,4884 \cdot 10^{-3} (T - 1882)]. \quad (4)$$

Третя модель побудована на допущенні, що зміна вмісту гумусу dH/dt обернено пропорційна часу t . де k_{Ht} – коефіцієнт пропорційності за часом.

Перепишемо рівняння (5) у вигляді:

$$\frac{dH}{dt} = -k_t t; \quad (5) \quad dH = -k_t t dt; \quad \text{і розв'яжемо його:}$$

$$H - H_0 = -\frac{k_t}{2}(T^2 - T_0^2); \quad H = H_0 - \frac{k_t}{2}(T^2 - T_0^2).$$

Також, на основі вищенаведених даних, визначимо відповідний коефіцієнт пропорційності:

$$k_t = 2 \frac{H_0 - H}{T^2 - T_0^2}; \quad k_t = 2 \frac{4,17 - 3,01}{2013^2 - 1882^2} = 4,5468 \cdot 10^{-6}.$$

Тоді:

$$H = 4,17 - \frac{4,5468 \cdot 10^{-6}}{2}(T^2 - 1882^2). \quad (6)$$

Залежності (2, 4, 6) у графічній формі представлені на рис. 1.

На основі аналізу даного графіка можна стверджувати, що вміст гумусу знизився в останні роки до 3% (згідно всіх трьох представлених моделей), що відповідає реальному гумусному стану ґрунтового середовища і є критичною величиною [3, 4]. А самостабілізація (без внесення органічних речовин) відбудеться на рівні 1,1 % (згідно моделей, які передбачають обернено пропорційну залежність між зміною вмісту гумусу і вмістом гумусу та часом, а також зміною вмісту гумусу і вмістом гумусу), або взагалі відсутня (згідно моделі, яка передбачає обернено пропорційну залежність між зміною вмісту гумусу і часом).

На основі [1] є підстави вважати, що модель, яка передбачає обернено

пропорційну залежність між зміною вмісту гумусу і вмістом гумусу є найбільш реальною, оскільки більшість природних процесів описуються експоненціальними залежностями. Врахувавши надходження органічної речовини в ґрунт, диференціальне рівняння, що описує зміну гумусу можна записати наступним чином:

$$\frac{dX}{dt} = k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X; \quad (7)$$

де X – вміст гумусу в ґрунті, т/га; Π – щорічне надходження органічної речовини в ґрунт, т/га рік; $k_{\text{гум}}$ – коефіцієнт гуміфікації органічної речовини, що надходить в ґрунт, відн. од.; $k_{\text{мін}}$ – коефіцієнт щорічної мінералізації гумусу в ґрунті, відн. од./рік.

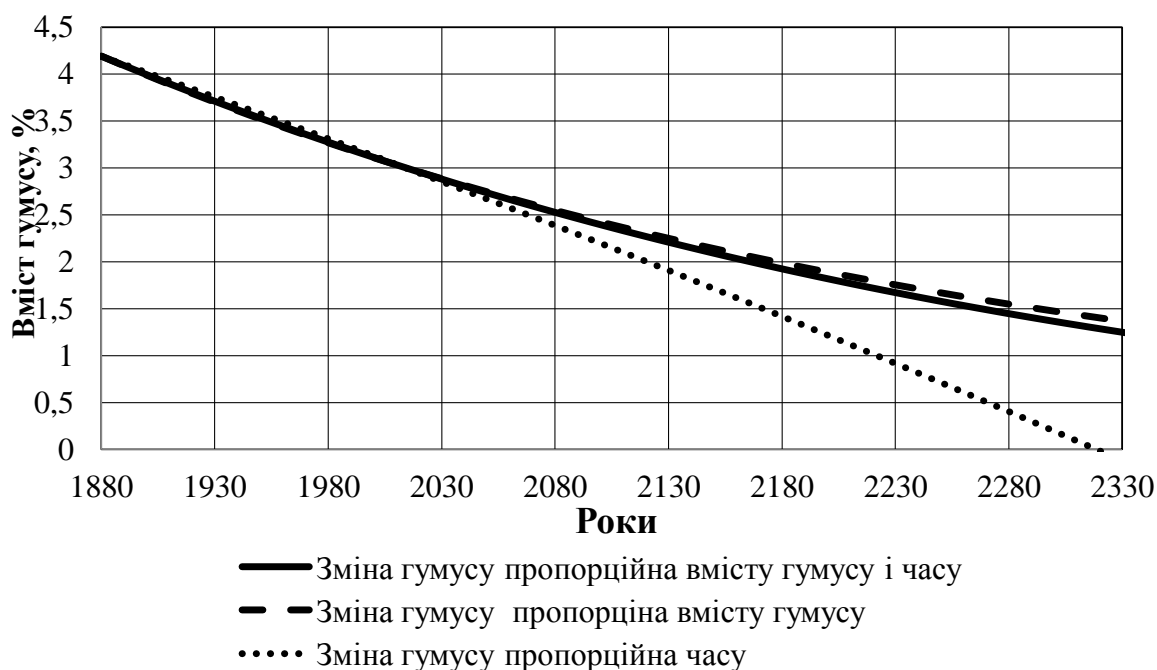


Рис. 1. Моделі зміни вмісту гумусу в родючому шарі ґрунту

Загальний розв'язок диференційного рівняння (7) матиме вигляд:

$$\frac{dX}{k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X} = dt; \quad -\frac{1}{k_{\text{мін}}} \ln \frac{k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X}{k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0} = t; \quad \frac{k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X}{k_{\text{гум}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0} = \exp(-k_{\text{мін}} t);$$

$$k_{\text{мін}} \Pi - k_{\text{мін}} X = (k_{\text{мін}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0) \exp(-k_{\text{мін}} t); \quad X = \frac{k_{\text{гум}} \Pi}{k_{\text{мін}}} + \left(-\frac{k_{\text{гум}} \Pi}{k_{\text{мін}}} + X_0 \right) \exp(-k_{\text{мін}} t);$$

$$X = \frac{k_{\text{гум}} \Pi}{k_{\text{мін}}} [1 - \exp(-k_{\text{мін}} t)] + X_0 \exp(-k_{\text{мін}} t). \quad (8)$$

При $t=0$ вміст гумусу становить $X_t = X_0$, а при $t=\infty$ вміст гумусу становить:

$$X_t = \frac{k_{\text{зум}}}{k_{\text{мін}}} \Pi. \quad (9)$$

Перевірку моделі динаміки зміни гумусу виконаємо за даними Г.Я. Чесняка та М.К. Шикучи [5, 7, 8, 9] для сівозміни із багаторічними травами (див. табл.) та без багаторічних трав.

Кількість органічної речовини, яку необхідно вносити в ґрунт для компенсації втрат гумусу, можна знайти із виразу:

$$k_{\text{мін}} X_t \leq k_{\text{зум}} \Pi. \quad (10)$$

Згідно даних таблиці побудовано порівняльні графіки (рис. 2), на основі яких можна стверджувати, що представлена модель динаміки вмісту гумусу в родючому прошарку ґрунту є адекватною та дозволяє виконувати відповідні розрахунки.

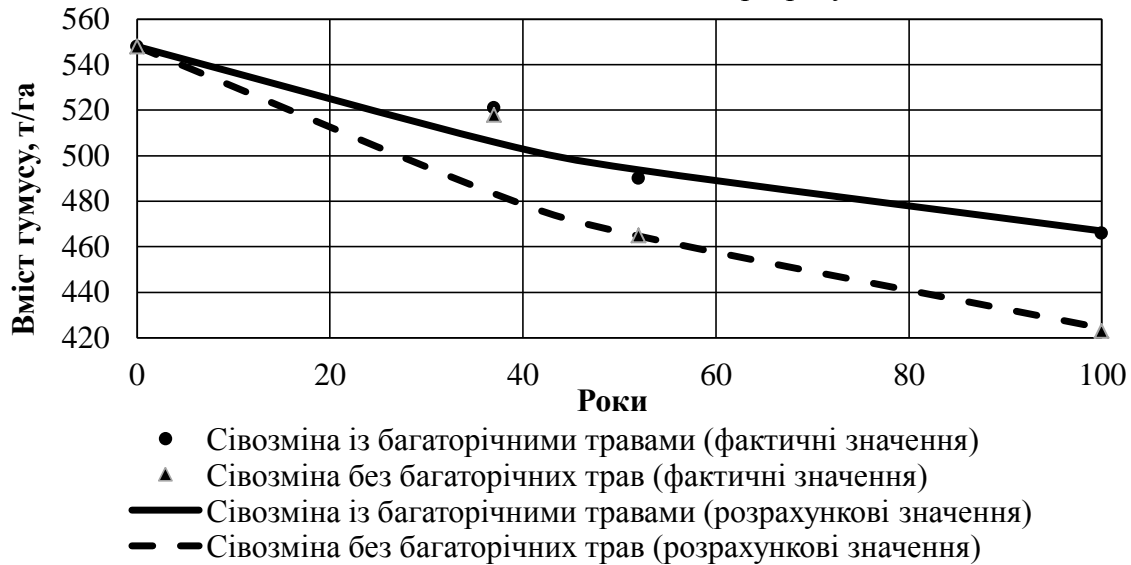


Рис. 2. Порівняння фактичних і розрахованих значень зміни вмісту гумусу

Таблиця Результати перевірки математичної моделі, що описує зміну вмісту гумусу за даними польового стаціонарного дослідження на чорноземі типовому Михайлівської цілини (прошарок ґрунту до 1м)

Час від початку розорювання цілини, років	Запаси гумусу в ґрунті (за даними Чесняка Г.Я.), т/га	
	сівозміна з багаторічними травами	сівозміна без багаторічних трав
0	548	548
37	521	518
52	490	465
100	466	423
Додаткові вихідні дані		
Щорічне надходження органічної речовини в ґрунт Π , т/га	26,9	24,1
Коефіцієнт гуміфікації органічної речовини $k_{\text{зум}}$, відн. од.	0,20	0,20
Коефіцієнт щорічної мінералізації гумусу в ґрунті $k_{\text{мін}}$, відн. од.	0,0124	0,0128
Початковий вміст гумусу в ґрунті X_0 , т/га	548	
Вміст гумусу в ґрунті в усталеному режимі X_t , т/га	433,9	376,6
Час від початку розорювання цілини, років	Розраховано згідно запропонованої моделі, т/га	
	сівозміна з багаторічними травами	сівозміна без багаторічних трав
0	548	548
37	506	483
52	494	465
100	467	424

Відхилення розрахункових значень вмісту гумусу від фактичних оцінювалося індексом детермінації (квадрат кореляційного відношення), який становив для сівозміни із багаторічними травами 0,938, а для сівозміни без багаторічних трав – 0,87.

Висновки. Самостабілізація вмісту гумусу у ґрунті (без внесення органічних речовин) відбудеться на рівні 1,1 % (згідно моделей, які передбачають обернено пропорційну залежність між зміною вмісту гумусу і вмістом гумусу та часом, а також зміною вмісту гумусу і

вмістом гумусу), або взагалі відсутня (згідно моделі, яка передбачає обернено пропорційну залежність між зміною вмісту гумусу і часом). Представлена модель динаміки вмісту гумусу в родючому прошарку ґрунту є адекватною та дозволяє виконувати розрахунки вмісту гумусу в ґрунтах. Наближення розрахункових значень вмісту гумусу від фактичних значень, оцінене індексом детермінації, становить для сівозміни із багаторічними травами 0,938, а для сівозміни без багаторічних трав – 0,87.

Список літератури

1. Голуб Г.А. Моделювання гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистеми / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 2. – С. 20-27.
2. Шикуча М.К. Вирощування екологічно безпечної продукції рослинництва в ґрунтозахисному землеробстві // Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві / За ред. проф. М.К. Шикучи. – К.: Оранта, 1998. – С. 453-459.
3. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства / За ред. В.В. Медведєва, М.В. Лісового. – Х.: Штріх, 2001. – 100 с.
4. Медведєв В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи / В.В. Медведєв. – Х.: ПФ Антикава, 2002. – 428 с.
5. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія / М.К. Шикуча, С.С. Антонєць, А.Д. Балаєв, та ін.; за ред. М.К. Шикучи. – К.: Оранта, 2000. – 389 с.
6. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві: монографія / М.К. Шикуча, С.С. Антонєць, В.О. Андрієнко та ін.; за ред. М.К. Шикучи. – К.: Оранта, 1998. – 680 с.
7. Шикуча М.К. Біохімічний механізм відтворення гумусу і саморегуляції ґрунтової родючості / М.К. Шикуча, Д.О. Мельничук, Н.М. Рідей, С.П. Роговський // Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві / За ред. проф. М.К. Шикучи. – К.: Оранта, 1998. – С. 453-459.
8. Родючість ґрунтів: моніторинг та управління / В. В. Медведєв, Г.Я. Чесняк, Т.М. Лактіонова та ін.; За ред. В.В. Медведєва. – К.: Урожай, 1992. – 248 с.
9. Як зберегти і підвищити родючість чорноземів / За ред. Б.С. Носка, Г.Я. Чесняка. – К.: Урожай, 1984 – 200 с.