

## ВИБІР МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ГУМУСНОГО СТАНУ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА АГРОЕКОСИСТЕМ

**Г. А. Голуб**, д.т.н., Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**С. м. Кухарець**, д.т.н., Житомирський національний агроекологічний університет

*Наведені результати моделювання стабілізації гумусного стану ґрунту. Отримано модель зміни вмісту гумусу в ґрунті. Представлена модель динаміки вмісту гумусу в родючому прошарку ґрунту є адекватною та дозволяє виконувати розрахунки вмісту гумусу в ґрунтах.*

**Ключові слова:** гумус, вуглець, ґрунт, агроекосистема, модель.

**Постановка проблеми.** Родючість ґрунту є інтегрованим показником взаємодії основних факторів ґрунтоутворення та комплексним оціночним критерієм його стану. Зручним і опера-

тивним критерієм стану ґрунту є вміст в ньому гумусу [1, 2]. Якщо при функціонуванні агроекосистеми вміст гумусу підвищується, то можна говорити про збільшення рівня продуктивності

системи. Якщо вміст гумусу в процесі функціонування агроєкосистеми не змінюється, система не змінює свій рівень продуктивності, а якщо вміст гумусу знижується, система працює із зниженням рівня продуктивності.

В останні роки в зв'язку з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва в умовах широкого використання мінеральних добрив, помітна тенденція зменшення вмісту гумусу у ґрунті. Щоб уникнути цієї негативної тенденції, необхідно, з наукової точки зору формалізувати динаміку процесів мінералізації та гуміфікації гумусу.

**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 агроєкосистем.

**Мета досліджень.** Проаналізувати існуючі моделі для оцінки гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем 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  $t$ .

$$\frac{dH}{dt} = -k_H H t; \quad (1)$$

де  $H$  – вміст гумусу в родючому шарі ґрунту, %;  $t$  – час, роки;  $k_H$  – коефіцієнт пропорційності за гумусом і часом.

Перепишемо рівняння (1) у вигляді:

$$\frac{dH}{H} = -k_H t dt; \quad \text{та розв'яжемо його:}$$

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

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

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

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

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  $k_H$  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  $H = 3,01\%$ :

$$k_H = \frac{2}{T^2 - T_0^2} \ln \frac{H_0}{H};$$

$$k_H = \frac{2}{2013^2 - 1882^2} \ln \frac{4,17}{3,01} = 1,2778 \cdot 10^{-6}$$

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  $H$ .

$$\frac{dH}{dt} = -k_H H; \quad (3)$$

де  $k_H$  – коефіцієнт пропорційності за гумусом.

Перепишемо рівняння (3) у вигляді:

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

$$\ln H - \ln H_0 = -k_H (T - T_0);$$

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

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

Визначимо коефіцієнт пропорційності на основі вищенаведених даних:

$$k_H = \frac{1}{T - T_0} \ln \frac{H_0}{H};$$

$$k_H = \frac{1}{2013 - 1882} \ln \frac{4,17}{3,01} = 2,4884 \cdot 10^{-3}$$

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  $t$ .

$$\frac{dH}{dt} = -k_t t; \quad (5)$$

де  $k_{Ht}$  – коефіцієнт пропорційності за часом.

Перепишемо рівняння (5) у вигляді:

$$dH = -k_t t dt; \text{ і розв'яжемо його:}$$

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

Також, на основі вищенаведених даних,

визначимо відповідний коефіцієнт пропорційності:

$$k_t = 2 \frac{H_0 - H}{T^2 - T_0^2};$$

$$k_t = 2 \frac{4,17 - 3,01}{2013^2 - 1882^2} = 4,5468 \cdot 10^{-6}$$

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.

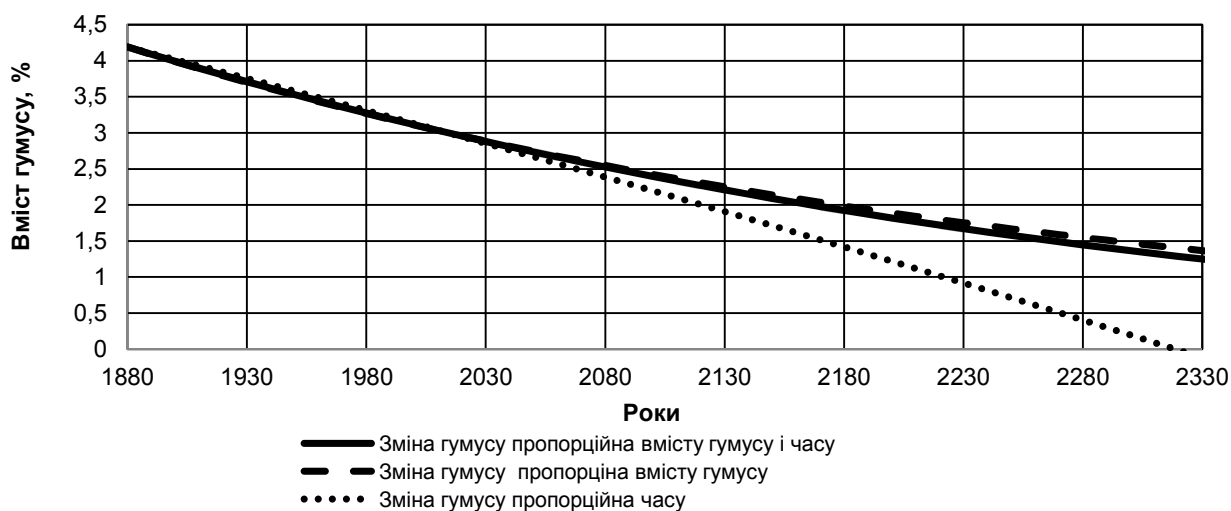


Рис. 1. Моделі зміни вмісту гумусу в родючому шарі ґрунту

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:

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

де  $X$  – вміст гумусу в ґрунті, т/га;  $\Pi$  –

щорічне надходження органічної речовини в ґрунт, т/га рік;  $k_{\text{зум}}$  – коефіцієнт гуміфікації органічної речовини, що надходить в ґрунт, відн.

од.;  $k_{\text{мін}}$  – коефіцієнт щорічної мінералізації гумусу в ґрунті, відн. од./рік.

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

$$\frac{dX}{k_{\text{зум}} \Pi - k_{\text{мін}} X} = dt; -\frac{1}{k_{\text{мін}}} \ln \frac{k_{\text{зум}} \Pi - k_{\text{мін}} X}{k_{\text{зум}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0} = t;$$

$$\frac{k_{\text{зум}} \Pi - k_{\text{мін}} X}{k_{\text{зум}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0} = \exp(-k_{\text{мін}} t);$$

$$k_{\text{мін}} \Pi - k_{\text{мін}} X = (k_{\text{мін}} \Pi - k_{\text{мін}} X_0) \exp(-k_{\text{мін}} t);$$

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

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

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. Шичули [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.

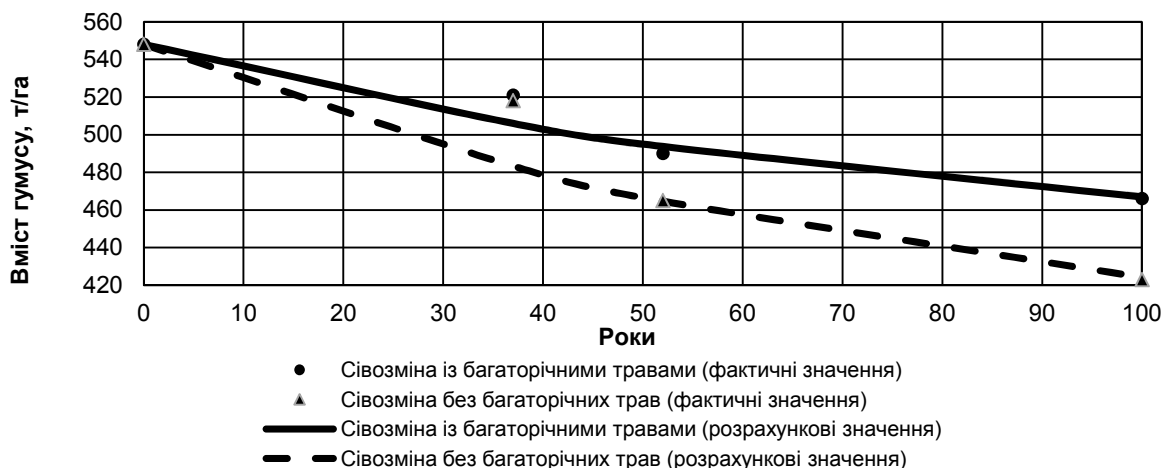


Рис. 2. Порівняння фактичних і розрахункових значень зміни вмісту гумусу

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) відбувається 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.

Таблиця

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

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 $\Pi$ , 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 установленому 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

### Список використаної літератури:

1. Голуб Г.А. Моделирование 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. Шидула М.К. Вирощування екологічно безпечної продукції рослинництва в ґрунтозахисному землеробстві // Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві / За ред. проф. М.К. Шидули. – 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.: Штрих, 2001. – 100 с.
4. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи / В.В. Медведев. – Х.: ПФ Антикава, 2002. – 428 с.
5. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія / М.К. Шидула, С.С. Антонець, А.Д. Балаєв, та ін.; за ред. М.К. Шидули. – К.: Оранта, 2000. – 389 с.
6. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві: монографія / М.К. Шидула, С.С. Антонець, В.О. Андрієнко та ін.; за ред. М.К. Шидули. – К.: Оранта, 1998. – 680 с.
7. Шидула М.К. Біохімічний механізм відтворення гумусу і саморегуляції ґрунтової родючості / М.К. Шидула, Д.О. Мельничук, Н.М. Рідей, С.П. Роговський // Відтворення родючості ґрунтів в ґрунтозахисному землеробстві / За ред. проф. М.К. Шидули. – 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.

### **Голуб Г.А., Кухарець С.М. Выбор модели для оценки гумусного состояния почвенной среды агроэкосистем**

Приведены результаты моделирования стабилизации гумусного состояния почвы. Получена модель изменения содержания гумуса в почве. Представленная модель динамики содержания гумуса в плодородном слое почвы является адекватной и позволяет выполнять расчеты содержания гумуса в почвах.

**Ключевые слова:** гумус, углерод, почву, агроэкосистема, модель.

### **Golub G., Kukharets S. The selection model for evaluation humus soil environment agroecosystems**

**Formulation of the problem.** In recent years a marked tendency to reduce the humus content in the soil. To avoid this trend should formalize the dynamics of mineralization and humification humus.

Modeling humus can be made by analyzing the dynamics of flows and stocks of carbon in soil humus and organic residues and fertilizers.

However, studies conducted not paid sufficient attention to the choice of models to assess humus soil environment agroecosystems.

**The purpose of research.** Analyze existing models to assess humus soil environment agroecosystems. To prove an adequate model of the humus content in the soil.

**Results.** To analyze changes in humus soil conditions can be used three models of the dynamics of humus content, change the content of humus is inversely proportional to the humus content and time; change of humus content is inversely proportional to the humus content; change of humus content is inversely proportional to the time.

The results of modeling humus soil stabilization. Are obtained model changes humus content in the soil.

**Conclusion.** The stabilization of humus content in the soil (without application of organic substances) will take place at the level of 1.1% or absent.

The model of the dynamics of humus content in the fertile layer of soil is adequate and allows to calculate the humus content in the soil.

**Keywords:** humus, carbon, soil agroecosystem model.

Дата надходження до редакції: 23.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.