

УДК 631.417.2 + 631.454

## РОЗРАХУНКОВІ МОДЕЛІ БАЛАНСУ ГУМУСУ ЯК ПОКАЗНИКА АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Є. В. Скрильник, В. А. Гетманенко, А. М. Кутова

*e-mail: vg.issar@gmail.com*

Національний науковий центр “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”  
вул. Чайковська 4, м. Харків, 61024, Україна

*В сучасних умовах посиленої дегуміфікації ґрунтів України особливої актуальності набули дослідження та діагностика антропогенно-факторних змін гумусового стану ґрунтів. Оперативний розрахунок балансу гумусу і потреби в органічних добривах дозволяє доповнити, а за необхідності – замінити більш точний експериментальний метод.*

*Проведено аналіз різних розрахункових моделей балансу гумусу як показника ефективності та агроекологічної стабільності організації землекористування. Визначення балансу гумусу є інструментом для оцінки взаємодії між землекористуванням та органічною речовиною ґрунту. Розглянуто існуючі у світі методи розрахунку балансу гумусу і проведено їх порівняльний аналіз. З концептуальної точки зору, існуючі методи розрахунку балансу гумусу можуть бути розділені на екологічні та агрономічні. Екологічні методи розрахунку балансу гумусу враховують властивості ґрунту, особливості клімату, агротехнічні заходи та призначені для кількісного визначення змін вуглецю як індикатора рівня органічної речовини в орних ґрунтах. У свою чергу, агрономічні методи не чутливі до змін екологічних факторів, вони не можуть бути використані для кількісної оцінки вмісту органічної речовини ґрунту.*

*Визначено основні регулюючі фактори рівноважного балансу гумусу згідно з існуючими розрахунковими моделями в Україні та за кордоном та проведено їх порівняння. Запропоновані орієнтовні коефіцієнти гуміфікації для органічних добрив та рослинних залишків з урахуванням гранулометричного складу ґрунту. Доведено, що балансовий метод оцінки гумусового стану ґрунту повинен враховувати теоретично обґрунтований вміст гумусу. Збагачення ґрунтів гумусом без урахування оптимальних рівнів може призвести до економічно невиправданих витрат. Поєднання двох методів – балансового розрахунку та прямого визначення накопичення органічної речовини в ґрунтах може дати повну вихідну інформацію для прийняття управлінських рішень. Запропоновано диференційований підхід до розрахунку балансу гумусу залежно від масштабу (господарство, регіон, країна).*

**Ключові слова:** родючість ґрунту, баланс гумусу, розрахункові моделі, огляд.

### Постановка проблеми

Органічна речовина ґрунту (ОРГ) та її основна складова – гумус належать до найважливіших діагностичних ознак функціонування ґрунту та забезпечують стабільність ґрунтової системи, тому проблема оцінки і контролю гумусового стану має важливе науково-практичне значення для вдосконалення систем землеробства, які забезпечують отримання екологічно чистої продукції запланованого врожаю і охорону довкілля. З вмістом гумусу в ґрунті пов'язані такі властивості як структурність, ємність поглинання, буферність, водні та фізичні властивості. Гумус є важливим джерелом поживних речовин: у чорноземі в ньому знаходиться 98 % загального вмісту азоту та більше 50 % фосфору. Він визначає величину ферментативної активності, продукування вуглецевої кислоти у приземному шарі

атмосфери, є найбільшим джерелом накопичення сонячної енергії. Питання трансформації ОРГ, незважаючи на майже 300-річну історію вивчення, як і раніше залишаються метою сучасних міждисциплінарних пошукових розробок, предметом гострих наукових дискусій та джерелом нових гіпотез.

Процеси мінералізації та синтезу гумусних сполук відбуваються постійно, але їх інтенсивність не є однаковою [1]. У природних умовах баланс між процесами гуміфікації та мінералізації решток компонентів біоценозу урівноважений. Розмикання біологічного кругообігу речовин та порушення екологічної рівноваги в агроєкосистемах призводить до посиленої мінералізації гумусу, в той час як втрати не поповнюються відповідною кількістю свіжої органічної речовини. Наразі щорічні втрати гумусу в орних ґрунтах України становлять 0,6–0,7 т/га. За даними Т. В. Порудєєвої [2], вартісні збитки, завдані ґрунту

внаслідок втрати гумусу, у 39 разів перевищують річні економічні збитки від недоотримання продукції рослинництва.

В сучасних умовах особливої актуальності набули дослідження не просто загальної параметричної характеристики гумусового стану ґрунтів, але діагностики їх антропогенно-факторних змін. Оперативний розрахунок балансу гумусу і потреби в органічних добривах дозволяє доповнити, а за необхідності, замінити більш точний експериментальний метод.

#### Мета, завдання та методика досліджень

Мета досліджень – провести аналіз існуючих розрахункових моделей балансу гумусу як показника ефективності та агроекологічної стабільності організації землекористування. Достовірне визначення балансу гумусу в ґрунтах під впливом антропогенного навантаження надає вихідну інформацію для впровадження заходів для попередження негативних наслідків дегуміфікації.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання: визначити

концептуальні основи існуючих у світі розрахункових моделей балансу гумусу, провести їх порівняльний аналіз; визначити основні регулюючі фактори рівноважного балансу гумусу та їх параметри; обґрунтувати диференційований підхід до моделей балансу гумусу та комплекс вихідної інформації залежно від масштабу (господарство, регіон, країна).

Використані методи досліджень – системний аналіз, синтез, порівняльний метод.

#### Результати досліджень

Розрахунковий метод оцінки балансу гумусу дозволяє встановити приблизну потребу орних земель в органічних добривах для забезпечення бездефіцитного балансу і отримання запланованої врожайності сільськогосподарських культур. Балансовий метод оцінки гумусового стану ґрунтів не має високої точності, однак зручний за відсутності аналітичних даних.

З концептуальної точки зору, існуючі методи розрахунку балансу гумусу можуть бути розділені на екологічні та агрономічні [3].



Рис. 1. Класифікація методів розрахунку балансу гумусу у ґрунтах

Екологічні методи розрахунку балансу гумусу враховують властивості ґрунту, особливості клімату, агротехнічні заходи та призначені для кількісного визначення змін вуглецю як індикатора рівня органічної речовини в орних ґрунтах (Henin and Dupius, 1945; Janssen, 1984 та ін.). В свою чергу, агрономічні методи не чутливі до змін екологічних факторів, вони не можуть бути використані для кількісної оцінки вмісту органічної речовини ґрунту (Лыков, 1977; Asmus and Herrmann, 1977; Чесняк, 1987 та ін.).

Існує підхід до розрахунку балансу гумусу, що визначає мінералізацію за показниками витрати ґрунтового азоту на формування врожаю сільськогосподарських культур. Користуються нормативом: за вносу 60 кг азоту мінералізується одна тонна гумусу. Мінералізація гумусу також може розраховуватися множенням показників вносу ґрунтового азоту польовими культурами на коефіцієнт 20 (коефіцієнт переведення азоту в гумус). Однак, переконливо доведено, що баланс гумусу, розрахований на основі даних щодо азоту, не надає адекватної інформації, на відміну від балансового методу, що орієнтовано на баланс вуглецю.

Вихідними даними для розрахунку балансу гумусу за сівозміну є комплекс статистичних та агрономічних показників: вихід маси кореневих та пожнивних решток польових культур, коефіцієнти їх гуміфікації, мінералізація гумусу тощо (Чесняк, 1987; Diez and Krauss, 1992, Греков *et al.*, 2009 та інші).

Відомо, що маса пожнивних та кореневих решток, коефіцієнтів їх гуміфікації та мінералізації гумусу, значно варіюють від гідротермічних умов, гранулометричного складу ґрунту, культури та сорту, системи обробітку ґрунту тощо. Розроблені в ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» орієнтовні коефіцієнти гуміфікації для гною та торфу дорівнюють 30 %, для рослинних решток зернобобових культур, багаторічних трав і льону – 25 %, кукурудзи і інших силосних культур – 17 %, післязбиральних решток картоплі, буряків цукрових, овочів, проміжних сидеральних культур – 12 %, соломи – 15 %. Подані нормативи розроблені для ґрунтів важкого гранулометричного складу, внесення органічних добрив у рекомендованих дозах 30–40 т/га, загортання їх в орний шар 0–30 см, без додаткового внесення мінеральних добрив. Для середньосуглинкових ґрунтів подані нормативи

зменшуються на 10 %, легкосуглинкових – на 20 %, супіщаних – на 50 %, глинисто-піщаних – на 85 %.

Процес мінералізації гумусу залежить від низки факторів: генетичних особливостей ґрунту, кліматичних умов, інтенсивності обробітку ґрунту, структури посівних площ, рівня врожайності культур, застосування добрив тощо. Середньорічна інтенсивність мінералізації гумусу в орному шарі залежить від типу ґрунту, вмісту гумусу і внесених добрив. Так, в суглинистих ґрунтах щорічна мінералізація гумусу становить 1,5–1,6 %; супіщаних – 1,7–1,8; піщаних – 1,9–2,0; чорноземах – 0,4–0,5; сірих і світло-сірих ґрунтах – 0,8–1,0 %. Мінералізація під просапними культурами в 2–3 рази вище, ніж під культурами суцільної сівби. Втрати гумусу під паром досягають 2 т/га.

Методики розрахунку балансу гумусу, запропоновані Г. Я. Чесняком (1987) [4], С. А. Балюком та ін. (2011), [5] засновані на визначенні різниці між статтями надходження та втратами гумусу за однаковий проміжок часу, і розраховуються на основі даних щодо кількості органічних добрив і рослинних залишків, що надходять до ґрунту, з відповідними коефіцієнтами гуміфікації та середньорічних величин мінералізації гумусу.

Згідно з методом, запропонованим колективом авторів В. О. Грековим та ін. (2009), [6], стаття надходження органічних речовин, окрім органічних добрив, включає поживно-кореневі залишки відносно урожайності сільськогосподарських культур та коефіцієнтів гуміфікації, що адаптовані для ґрунтово-кліматичних зон України. Розмір мінералізації органічної речовини визначається на основі даних щодо вмісту гумусу в ґрунті, глибини орного шару та щільності складення ґрунту, із врахуванням коефіцієнту мінералізації гумусу відносно типу ґрунту та групи культур. Крім того, пропонується врахувати кліматичні умови мінералізації гумусу через індекс біологічної продуктивності. В окрему статтю втрати гумусу виділяється ерозія, що у числовому вигляді виражається істотними значеннями.

Згідно з методом розрахунку балансу гумусу VDLUFA (стандартний метод у Німеччині), [7] оцінюються стандартні значення «попиту» на гумусові еквіваленти, які розроблено для широко спектру сільськогосподарських культур, та враховують потенційне відтворення гумусу за

рахунок кореневих і поверхневих залишків сільськогосподарських культур, а також мінералізація гумусу, що супроводжує процес отримання основної продукції. Залежно від мети потреба в гумус-еквівалентах може приймати три кількісних значення (низький діапазон, середній та високий). Більш низькі значення вказують на надходження гумус-еквівалентів, що необхідне для підтримання функцій ґрунту. Середні значення враховують підвищену потребу в органічній речовині з метою сприяння підвищення родючості ґрунту. Верхні значення відповідають меліоративним цілям та таким системам землеробства, які мають високі вимоги до гумусового стану ґрунту, зокрема для органічного виробництва. Використовуючи верхні значення повинні бути дотримані вимоги щодо внесення мінерального азоту. Залежно від отриманих даних виділяються класифікаційні групи (табл. 1), для яких наведено відповідні рекомендації.

**Таблиця 1. Рекомендації щодо агротехнічних заходів залежно від класу балансу гумусу згідно з методом VDLUFA [7]**

Класи балансу гумусу	Рекомендації
А (дуже низький)	Зміна культур та/або збільшення внесення органічних добрив
В (низький)	Агротехнічні прийоми направлені на поступове відновлення балансу
С (бездефіцитний)	Немає
Д (високий)	Агротехнічні прийоми направлені на поступове відновлення балансу
Е (дуже високий)	Агротехнічні прийоми направлені на швидке відновлення балансу

Важливо підкреслити, що більшість агрономічних методів розрахунку гумусового балансу не враховують технологію обробітку ґрунту та емісійні втрати вуглецю з ґрунту. За узагальненими даними втрати гумусу від оранки становить 0,1 %, плоскорізного обробітку – 0,04, дискування – 0,08 % [8]. Ігнорується рівень внесення мінеральних добрив. В той же час, згідно з узагальненням [9] даних експериментів тривалістю від 2 до 56 років, проведених у 139 країнах світу, видно, що застосування азотних добрив у 79 % випадків сприяло збільшенню органічного вуглецю ( $C_{org}$ ). Кореневий опад

розкладання кореневих решток сільськогосподарських культур також не враховано, хоча він може досягати 50 % від маси коренів [10].

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Визначення балансу гумусу є інструментом для оцінки взаємодії між землекористуванням та органічною речовиною ґрунту. Аналіз існуючих методів розрахунку балансу гумусу показав, що основними регулюючими факторами рівноважного балансу гумусу, є структура посівів, рівень продуктивності культур, обробіток ґрунту та застосування рослинних решток та органічних добрив.

Для отримання найбільш обґрунтованої інформації щодо балансу гумусу у ґрунтах важливо впровадити диференційований підхід до балансових моделей залежно від масштабу (господарство, регіон, країна). Не слід враховувати втрати гумусу за рахунок ерозії для виробничих цілей, адже їх неможливо відновити за короткий проміжок часу, тим більше внесенням органічних добрив. Крім того, для рівня господарства значно легше врахувати відчуження рослинних решток для енергетичних потреб і тваринництва. Розраховуючи баланс гумусу для масштабів регіону також недоцільно враховувати в якості джерела гумусу увесь об'єм рослинних решток, за виключенням стебел кукурудзи на зерно та соняшнику, рослинна біомаса яких, у більшості випадків, залишається на полі повним обсягом. Балансова модель державного рівня, що відображає рівень агроєкологічної стабільності організації землекористування, повинна оцінити втрати гумусу за рахунок ерозії.

Балансовий метод оцінки гумусового стану ґрунту може призвести до невірних висновків, якщо не враховувати теоретично обґрунтованої оцінки ґрунту за вмістом гумусу (оптимальний вміст). Тільки поєднання двох методів – балансового розрахунку та прямого визначення накопичення органічної речовини вуглецю в ґрунтах може дати повну вихідну інформацію для прийняття управлінських рішень.

Головний принцип, який повинен бути покладений в основу оцінки гумусового стану ґрунтів і заходів щодо його регулювання, полягає в наступному: найбільш ефективний вплив гумусу на виробничі показники за

сільськогосподарського використання ґрунтів може бути досягнуто тільки за умов оптимального, для кожного типу ґрунту (зони), поєднання рівнів вмісту гумусу, його складу та інших показників гумусового стану. Збагачення ґрунтів гумусом без урахування оптимальних рівнів може призвести до економічно невиправданих витрат.

Перспективами подальших досліджень можуть виступати уточнення та оновлення нормативів виходу маси кореневих та пожнивних решток нових сільськогосподарських культур та їх сортів, коефіцієнтів гуміфікації органічних матеріалів, що надходять у ґрунт, з розширенням асортименту удобрювальних матеріалів, нормативи мінералізації гумусу за різного антропогенного навантаження; їх адаптація до різних ґрунтово-кліматичних умов.

### References

1. Lopushniak, V. I. (2014). Vplyv system udobrennia na vmist humusu v temno-siromu opidzolenomu grunti Zakhidnoho Lisostepu [Influence of fertilizer systems on the content of humus in the dark gray podzolized soils of the Western Forest-steppe]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 5–9 [in Ukrainian].
2. Porudieieva, T.V. (2009). Vartisnyi analiz balansu humusu v systemi ekolohichno bezpechnoho zemlekorystuvannia [Cost analysis of the balance of humus in the system of environmentally safe land use]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia*, 1, 124–129.
3. Brock, C., Franko, U., Oberholzer, H., Kuka, K., Leithold, G. & Kolbe, H. J. (2013). Humus balancing in Central Europe – concepts, state of the art, and perspectives. *Plant Nutr. Soil Sci.*, 176, 3–11.
4. Chesniak, H. Ia., Batsula, O. O. & Derevianko, R. H. (1987) Zabezpechennia bezdefitsytnoho balansu humusu v grunti [Maintenance of the deficit humus balance in the soil]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
5. Baliuk, S. A., Hrekov, V. O., Lisovyi, M. V. & Komarysta, A.V. (2011) Rozrakhunok balansu humusu i pozhyvnykh rehovyn u zemlerobstvi Ukrainy na riznykh rivniakh upravlinnia [Calculation of balance of humus and nutrients in agriculture of Ukraine at different levels of management]. Kharkiv: KP «Miska drukarnia» [in Ukrainian].

6. Hrekov, V. O. & Datsko, V. O. (2009). Rozrakhunok balansu humusu [Calculation of humus balance]. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*, 202–203 [in Ukrainian].

7. VDLUFA (2014). Humusbilanzierung. Standpunkt des VDLUFA. Retrieved from [https://www.humusbilanz.ch/download/VDLUFA\\_2014\\_Humusbilanzierung.pdf](https://www.humusbilanz.ch/download/VDLUFA_2014_Humusbilanzierung.pdf)

8. Futkaradze, D. A. (2010). Effektivnost polevykh sevooborotov v vosproizvodstve plodorodiya pochv [Efficiency of field crop rotations in reproduction of soil fertility]. *Gumus i pochvoobrazovaniye: sbornik nauchnykh trudov* (pp. 56–60). Sankt-Peterburg [in Russian].

9. Zinjakova, N. B. (2013). Aktivnoye organicheskoye veshchestvo v seroy lesnoy pochve pakhotnoy i zaleznykh zemel [Active organic matter in gray forest soil of arable and dependent lands]. *Agrokhimiya*, 9, 3–14 [in Russian].

10. Trepachev, E. P. (1999). Agrohimicheskie aspekty biologicheskogo azota v sovremennom zemledelii [Agrochemical aspects of biological nitrogen in modern agriculture]. Moscow: VIUA [in Russian].

### ESTIMATION MODELS OF HUMUS BALANCE AS AN INDICATOR OF AGROECOLOGICAL STABILITY OF LAND MANAGEMENT ORGANIZATION

**Ye. Skrylnyk, V. Hetmanenko, A. Kutova**  
*e-mail: vg.issar@gmail.com*

National Research Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Researches named after O. N. Sokolovsky",  
4, Chaikovska Str., Kharkiv, 61024, Ukraine

*In modern conditions of intensified dehumidification of soils in Ukraine, studies and diagnostics of anthropogenic changes of soil organic matter have become particularly relevant. The operative calculation of humus balance and a need of organic fertilizers allow to elaborate and, if necessary, to replace more precise experimental method.*

*The analysis of different estimation models of humus balance as an indicator of efficiency and agroecological stability of land use organization was carried out. The determination of humus balance is a tool for assessing the interaction between land use and organic matter in a soil. Conceptual positions of methods for calculating the humus balance all over the world were considered.*

*From a conceptual point of view, the existing methods for calculating the humus balance can be divided into ecological and agronomic. Ecological methods for calculating the humus balance take into account the soil properties, climatic features, agrotechnical measures and are intended to quantify changes in carbon as an indicator of the level of organic matter in arable soils. In turn, agronomic methods are not sensitive to changes in environmental factors, they can not be used to quantify the content of organic matter in the soil.*

*The main regulatory factors of the balance of humus were determined according to existing estimation models and their comparison was done. Approximate humification coefficients for organic fertilizers and plant residues are proposed taking into account the granulometric composition of the soil. It is proved that the balance method of estimation soil humus state have to take into account the theoretically justified content of humus. Soil enrichment with humus without taking into consideration an optimal level can lead to economically expenses. The combination of two methods – balance estimation and direct determination of the accumulation of organic matter in soils can give complete initial information for making management decisions. A differentiated approach to estimation humus balance depending on the scale (farm, region, country) was proposed.*

**Keywords:** soil fertility, humus balance, calculation models, review.

#### **РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ БАЛАНСА ГУМУСА КАК ПОКАЗАТЕЛЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Е. В. Скрильник, В. А. Гетманенко,  
А. М. Кутовая**

*e-mail:* vg.issar@gmail.com

Национальный научный центр "Институт  
почвоведения и агрохимии  
имени А. Н. Соколовского",

ул. Чайковская 4, г. Харьков, 61024, Украина

*В современных условиях усиленной дегумификации почв Украины особую актуальность приобрели исследования и диагностика антропогенно-факторных изменений гумусового состояния почв. Оперативный расчет баланса гумуса и потребности в органических удобрениях позволяет дополнить, а при необходимости –*

*заменить более точный экспериментальный метод.*

*Проведен анализ различных расчетных моделей баланса гумуса как показателя эффективности и агроэкологической стабильности организации землепользования. Определение баланса гумуса является инструментом для оценки взаимодействия между землепользованием и органическим веществом почвы. Рассмотрены существующие в мире методы расчета баланса гумуса и проведен их сравнительный анализ. С концептуальной точки зрения, существующие методы расчета баланса гумуса могут быть разделены на экологические и агрономические. Экологические методы расчета баланса гумуса учитывают свойства почвы, особенности климата, агротехнические мероприятия и предназначены для количественного определения изменений углерода как индикатора уровня органического вещества в пахотных почвах. В свою очередь, агрономические методы не чувствительны к изменениям экологических факторов, они не могут быть использованы для количественной оценки содержания органического веществ почвы.*

*Определены основные регулирующие факторы равновесного баланса гумуса согласно существующих расчетных моделей в Украине и за рубежом и проведено их сравнение. Предложено ориентировочные коэффициенты гумификации для органических удобрений и растительных остатков с учетом гранулометрического состава почвы. Доказано, что балансовый метод оценки гумусового состояния почвы должен учитывать теоретически обоснованное содержание гумуса. Обогащение почв гумусом без учета оптимальных уровней может привести к экономически неоправданных расходам. Сочетание двух методов – балансового расчета и прямого определения накопления органического вещества в почвах может дать полную исходную информацию для принятия управленческих решений. Предложен дифференцированный подход к расчету баланса гумуса в зависимости от масштаба (хозяйство, регион, страна).*

**Ключевые слова:** плодородие почвы, баланс гумуса, расчетные модели, обзор.