

## ПАРАМЕТРИ ВМІСТУ ГУМУСУ В ЧОРНОЗЕМІ ЗВИЧАЙНОМУ ТА ПРОГНОЗ ЙОГО ЗМІН ЗАЛЕЖНО ВІД АГРОВИРОБНИЧОГО ВИКОРИСТАННЯ

**В. І. Чабан, В. Ю. Коваленко, С. П. Клявзо**, кандидати сільськогосподарських наук  
Інститут зернового господарства НААН України

*Наведено параметри вмісту гумусу в чорноземі звичайному залежно від типу та інтенсивності агровиробничого використання. Суттєве зниження його вмісту на ріллі, порівняно з перелогом, зумовлене порушенням речовинно-енергетичних процесів в системі ґрунт – рослина. Органо-мінеральна система удобрення ( $6,3 \text{ т/га} + \text{N}_{22}\text{P}_{25}\text{K}_{15}$ ) як складова гумусозбережних технологій в системі агротехнічних заходів забезпечує стан динамічної рівноваги при стабілізації вмісту гумусу на рівні 4,41%, що підтверджується відповідними розрахунками.*

**Ключові слова:** чорнозем, родючість, органічна речовина, баланс, прогноз.

Родючість ґрунту є інтегрованим показником взаємодії основних факторів ґрунтоутворення та комплексним оціночним критерієм його стану. Серед багатьох параметрів, які використовують для характеристики ґрунтового покриву, найважливішим є вміст органічної речовини, кількість і якість якої визначає фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні властивості ґрунту, рівень вологозабезпечення та мінеральне живлення рослин [1]. Інтенсивне використання ґрунтових ресурсів степової зони України у другій половині ХХ-го століття супроводжувалось зростанням деградаційних процесів, що зумовило зниження потенційної родючості та погіршення агрофізичних показників ґрунту. Фактичний вміст гумусу в чорноземах Степу становить 3,5% при оптимумі 4,3% [2], а еталоном для чорнозему звичайного є рівень 4,5% [3]. Критичним же для даного типу ґрунту вважається його вміст в межах 3,0–3,5% [3]. Тобто за вмістом гумусу основний ґрунтовий покрив зони наблизився до екологічно небезпечного стану, що ставить під загрозу виконання ним зазначених вище функцій. Для забезпечення екологічної рівноваги агроценозів, сучасний рівень родючості зональних ґрунтів потребує всебічної уваги і невідкладної реалізації заходів по її стабілізації та якісному поліпшенню. Ці питання можна вирішити на основі оцінки і прогнозу можливих змін гумусного стану ґрунту.

Вивчення направленості трансформації і динаміки органічної речовини ґрунтів Степу здійснювали на підставі узагальнення показників вмісту та запасів гумусу залежно від особливостей та інтенсивності їх сільськогосподарського використання. Для виконання поставленої мети залучали результати стаціонарного дослідження лабораторії родючості ґрунтів (Дослідне господарство „Дніпро” Інституту зернового господарства), де протягом тривалого часу (25 років) вивчали ефективність систематичного внесення добрив. Штучно створений агроценоз представляв 6-ти пільну сівозміну з наступним чергуванням культур: чорний пар, озима пшениця, озима пшениця, кукурудза на зерно, ячмінь, суданська трава. Природним еталоном умов цілини слугувала ділянка 55-річного перелогу, а інтенсивно оброблюваної ріллі – поряд розташоване поле. Знаходяться ці землі в межах землекористування Ерастівської дослідної станції Інституту зернового господарства.

За агроґрунтовим районуванням України [4] території дослідних станцій належать до провінції Степу північного Правобережно-Дніпровського. Ґрунтовий покрив – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий на лесі. Вміст гумусу становить 4,0–4,4%, загального азоту – 0,21–0,23%, фосфору – 0,11–0,13%, калію – 2,0–2,2%. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,5–6,9). Забезпеченість рухомими формами елементів живлення на рівні: мінерального азоту – 30,0–35, 5 мг/кг,  $\text{P}_2\text{O}_5$  і  $\text{K}_2\text{O}$  (за Чириковим) – 105–125 і 120–145 мг/кг відповідно. Клімат помірно континентальний з середньобаторічною температурою за рік 8,2–8,5 °С, сумою опадів – 510–514 мм.

Ґрунтові зразки відбирали по горизонтах профілю: у досліді – в заключному полі сівозміни, на ділянках перелогу і ріллі – в травні – червні. Попередню підготовку зразків до аналізу проводили згідно з ДСТУ ISO 11464:2001 [5]. В зразках визначали вміст органічної речовини за ДСТУ 4289:2004 [6]. Статистичну обробку експериментальних даних проводили

методом дисперсійного аналізу за Б. О. Доспеховим з використанням пакету програм Excel.

Відомо, що ґрунт як самостійне природне тіло і компонент екосистеми являє собою складну систему, де постійно триває обмін речовини та енергії з навколишнім середовищем, а вміст гумусу визначається інтенсивністю надходження органічної речовини та величиною її біологічних втрат внаслідок процесів мінералізації, ерозії тощо [7]. Це положення підтверджують отримані нами результати.

Співставлення аналітичних даних свідчить про суттєву різницю між вмістом і запасами органічної речовини залежно від типу утримання і використання ґрунту (табл. 1). Так, вміст гумусу в орному шарі перелогу класифікується як високий (6,41%), а ріллі – як середній (4,17%). На обох ділянках спостерігали характерне кількісне його зменшення по профілю. Однак абсолютні значення варіювали в досить широких межах. На ділянці перелогу вміст гумусу поступово знижувався – з 7,20% (0–10 см) до 1,26% (90–100 см), а на ріллі – відповідно з 4,20 до 1,10%. Найбільші відмінності за даним показником притаманні шару 0–20 см. Якщо вміст гумусу у ґрунті перелогу становить 6,41%, то на постійно оброблюваній ділянці він обмежувався лише 4,17%, або 65% від еталону, при 58% у шарі 0–10 см. Різниця в абсолютних показниках сягала 2,24%. Можна припустити, що втрати органічної речовини знаходились в межах 0,041% за рік. Суттєве підвищення вмісту гумусу забезпечувалось за рахунок горизонту 0–10 см у зв'язку зі значним надходженням рослинних решток і їх гуміфікацією. В даному випадку відмічені і найбільші втрати гумусу – 0,054%. Але вже у наступному шарі (10–20 см) обсяги втрат зменшуються вдвічі (0,027%), а в 20–40 см – знаходяться на рівні 0,016–0,009%. У нижніх горизонтах розбіжності щодо вмісту гумусу поступово зменшуються і коливаються від 0,14 до 0,51 %. Статистична обробка експериментальних даних свідчить, що для основного кореневмісного шару ґрунту (0–40 см) зміни щодо вмісту гумусу між двома ділянками достовірні, а глибше (40–100 см) – не суттєві і математично не доведені.

**1. Вміст і запаси гумусу в чорноземі звичайному залежно від способу сільськогосподарського використання (2001–2005 рр.)**

| Шар ґрунту,<br>см | Переліг | Рілля | НІР <sub>05</sub>                | Переліг | Рілля |
|-------------------|---------|-------|----------------------------------|---------|-------|
|                   | %       |       |                                  | т/га    |       |
| 0-10              | 7,20    | 4,20  | 0,46-1,17                        | 68      | 45    |
| 10-20             | 5,62    | 4,14  | 0,20-1,06                        | 72      | 48    |
| 20-30             | 4,84    | 3,94  | 0,37-0,60                        | 62      | 45    |
| 30-40             | 4,11    | 3,60  | 0,24-0,64                        | 50      | 44    |
| 40-50             | 3,41    | 3,07  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 44      | 40    |
| 50-60             | 2,89    | 2,45  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 39      | 33    |
| 60-70             | 2,22    | 1,97  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 31      | 28    |
| 70-80             | 1,83    | 1,65  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 26      | 23    |
| 80-90             | 1,51    | 1,37  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 21      | 19    |
| 90-100            | 1,24    | 1,10  | F <sub>ф</sub> < F <sub>05</sub> | 17      | 15    |
| 0-20              | 6,41    | 4,17  | -                                | 140     | 93    |
| 0-100             | -       | -     | -                                | 430     | 340   |

Відповідно до вмісту гумусу в ґрунті змінювались і його запаси (табл. 1). Встановлено, що при інтенсивному сільськогосподарському використанні ґрунту загальні втрати гумусу в орному шарі становили 47 т/га, а в метровому – 90 т/га. В даному випадку і за цим показником спостерігалось перегрупування ґрунтів за рівнем забезпечення. Згідно зі шкалою оцінки гумусного стану шару 0–20 см (Гришина Л. А., Орлов Д. С., 1978) ґрунт староорної ділянки має низький рівень (93 т/га), переліг – середній (140 т/га), а 0-100-сантиметровий шар відповідно середній (340 т/га) і високий (430 т/га). Отже, під впливом антропогенного навантаження основний показник потенційної родючості ґрунту зазнав значних змін. Вміст гумусу відносно еталону зменшився на 35%, а його запаси – на 21–34%.

Суттєва перевага ділянки перелогу за вмістом органічної речовини пояснюється тим, що за тривалий період (55 років) сформувався природний біогеоценоз, в якому домінує різнотравно-злакова рослинність, з відповідними взаємозв'язками між рослинами і ґрунтом. Це сприяло формуванню відносно рівноважної системи, здатної до саморегулювання

речовинно-енергетичних процесів, з перевищенням надходження органічної речовини над втратами при її розкладанні. І навпаки, в агроценозі стійкість системи рослина – ґрунт порушується внаслідок заміни природної рослинності сільськогосподарськими культурами з різкими змінами цих характеристик. При цьому функціонування агроєкосистеми супроводжується змінами режиму ґрунту – водного, повітряного та поживного, мобілізацією ґрунтових ресурсів, надходженням біофільних елементів з добривами, відчуженням товарної частини врожаю та зменшенням обсягів повернення речовин тощо і в кінцевому результаті проявляється від’ємна динаміка вмісту гумусу.

Про це переконливо свідчить порівняльна оцінка показників біологічної продуктивності та кругообігу речовин досліджуваних ділянок (табл. 2). Продукція надземної фітомаси у природному біогеоценозі значно поступалася агроценозу і становила тільки 72–56%. Чорнозем звичайний, при розгортанні зерно-парової сівозміни з 50% насиченням зерновими культурами суцільної сівби (озима пшениця, ячмінь), у варіанті без добрив забезпечив формування загальної фітомаси на рівні 59,4 ц/га, а при внесенні добрив – 74,8–76,3 ц/га, або в 1,4–1,8 раза більше. В той же час обсяги сформованої підземної фітомаси, при утриманні ґрунту як перелогу, досягають 114,0 ц/га, що у 3,6–4,1 раза перевищує агроєкосистему (27,6–32,6 ц/га). В цілому за рахунок формування значно меншого об’єму кореневих систем культурними рослинами їх загальна фітомаса поступається природному біогеоценозу (156,7 та 87,0–108,9 ц/га).

## **2. Біопродуктивність чорнозему звичайного залежно від типу утримання та використання, ц/га**

| Система удобрення                                                               | Фітомаса (середньорічний приріст) |          |        | Вихід з 1 га    |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------|-----------------|---------------------|
|                                                                                 | надземна                          | підземна | всього | кормові одиниці | перетравний протеїн |
| Біогеоценоз (переліг)                                                           |                                   |          |        |                 |                     |
| -                                                                               | 42,7                              | 114,0    | 156,7  | 17,9            | 2,4                 |
| Агроценоз (зерно-парова сівозміна)                                              |                                   |          |        |                 |                     |
| Без добрив                                                                      | 59,4                              | 27,6     | 87,0   | 38,9            | 3,1                 |
| Мінеральна (N <sub>22</sub> P <sub>25</sub> K <sub>15</sub> )                   | 74,8                              | 32,0     | 106,8  | 48,5            | 3,8                 |
| Органо-мінеральна (6,3 т/га + N <sub>22</sub> P <sub>25</sub> K <sub>15</sub> ) | 76,3                              | 32,6     | 108,9  | 49,6            | 3,9                 |

Також слід відзначити що існують певні відмінності між якістю біологічної маси, сформованої природним і культурним ценозами. Агроценоз за показниками виходу кормових одиниць і перетравного протеїну має суттєву перевагу. Продуктивність 1 га ріллі зерно-парової сівозміни за рахунок потенційної родючості ґрунту (варіант без добрив) становить 38,9 ц/га кормові одиниці і 3,1 ц/га перетравного протеїну, порівняно з 17,9 і 2,4 ц/га в умовах перелогу, що відповідно у 1,3–2,2 раза більше. Застосування мінеральної та органо-мінеральної системи удобрення сприяло підвищенню виходу кормових одиниць – у 2,7–2,8 раза та досягало рівня 48,5–49,6 ц/га, а перетравного протеїну було на 3,8–3,9 ц/га, або на 58–62% більше.

На підставі отриманих даних біологічного кругообігу надземної і підземної фітомаси біогеоценозу та показників інтенсивності мінералізації, для встановлення кількісної і якісної характеристик у процесі гумусоутворення органічної речовини нами проведені відповідні розрахунки (табл. 3). Отримані дані свідчать, що в разі стаціонарного стану, який властивий цілиним територіям, можливе річне надходження органічної речовини у ґрунт (за рахунок фітомаси і її участі в процесах гуміфікації) становить 2,14 т/га. При цьому необхідно відзначити, що майже 80% від її загальної кількості припадає на кореневі системи різнотравно-злакової рослинності.

**3. Надходження органічної речовини у ґрунт при утриманні чорнозему звичайного як перелогу, т/га**

| Фітомаса | Продуктивність | Обсяг надходження органічної речовини з урахуванням її гуміфікації | Можлива кількість органічної речовини для участі у процесі гумусоутворення |
|----------|----------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Надземна | 4,27           | 0,43                                                               | 2,14                                                                       |
| Підземна | 11,4           | 1,71                                                               |                                                                            |

В землеробстві основою для оцінки умов гумусонакопичення є балансові розрахунки. Вони дають можливість контролювати і прогнозувати зміни гумусного стану та регулювати процеси трансформації органічної речовини ґрунту. Результати розрахунків балансу гумусу для чорнозему звичайного за умов різної інтенсивності використання наведені у таблиці 4. При утриманні ґрунту як перелогу, надходження органічної речовини за рахунок рослинних і корневих решток, порівняно з агроценозом, знаходиться на дуже високому рівні (2,14 т/га) і майже вдвічі перевищує обсяги мінералізації. Це забезпечує формування позитивного балансу гумусу при компенсації його втрат 194 %.

При залученні таких ділянок до агровиробничого використання дана рівновага порушується і вміст гумусу у ґрунті знижується. Особливої інтенсивності цей процес набуває в перші роки після освоєння цілинних площ. Це пояснюється тим, що за умов поліпшення аерації швидкість розкладу органічної речовини ґрунту і детриту підвищується, а кількісне надходження рослинних решток не забезпечує підтримання бездефіцитного балансу гумусу. При тривалому сільськогосподарському використанні ґрунт знову набуває стану динамічної рівноваги, а вміст гумусу стабілізується на більш низькому рівні порівняно з цілинним аналогом. При цьому його вміст визначається кількістю органічної речовини, що надходить, та умовами і обсягами її мінералізації. Це підтверджують результати досліджень у стаціонарному досліді (табл. 4).

**4. Вміст і баланс гумусу залежно від типу утримання та інтенсивності використання чорнозему звичайного**

| Система удобрення                                                               | Вміст гумусу (0–20 см), % | Втрати гумусу на мінералізацію, т/га | Поповнення гумусу за рахунок рослинно-корневих решток і гною, т/га | Баланс гумусу, ± т/га | Компенсація втрат гумусу, % |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>Біогеоценоз (переліг)</b>                                                    |                           |                                      |                                                                    |                       |                             |
| -                                                                               | 6,41                      | 1,10                                 | 2,14                                                               | + 1,04                | 194                         |
| <b>Агроценоз (зерно-парова сівозмінна)</b>                                      |                           |                                      |                                                                    |                       |                             |
|                                                                                 | 4,26*                     | -                                    | -                                                                  | -                     | -                           |
| Без добрив                                                                      | 4,16**                    | 1,14                                 | 0,71                                                               | - 0,43                | 62                          |
| Мінеральна (N <sub>22</sub> P <sub>25</sub> K <sub>15</sub> )                   | 4,17                      | 1,14                                 | 0,88                                                               | - 0,26                | 77                          |
| Органо-мінеральна (6,3 т/га + N <sub>22</sub> P <sub>25</sub> K <sub>15</sub> ) | 4,41                      | 1,14                                 | 1,27                                                               | + 0,13                | 111                         |

\* Перед закладанням дослідів.

\*\* В кінці IV ротації сівозміни.

При співставленні даних щодо вмісту гумусу в орному шарі ґрунту перед закладанням дослідів (4,26%) і в неудобреному варіанті, після завершення четвертої ротації шестипільної сівозміни, відмічається його зниження (4,16%). У даному випадку баланс гумусу формується різко від'ємним (-0,433 т/га), а рівень компенсації його втрат за рахунок пожнивно-корневих решток становить 62%. Використання помірних доз мінеральних добрив (N<sub>22</sub>P<sub>25</sub>K<sub>15</sub>) майже не впливало на вміст гумусу (4,17%), що пояснюється суттєвим підвищенням продуктивності культур та відповідно збільшенням рівня використання елементів живлення з ґрунту. Але відносно початкового вмісту простежується тенденція до його зниження – на 0,09%. При цьому в 1,6 раза зменшується дефіцит балансу (-0,265 т/га) за рахунок додаткового надходження пожнивно-корневих решток, а компенсація втрат гумусу

становить 77%. Підвищення вмісту гумусу в ґрунті (4,41%) мало місце по органо-мінеральній системі удобрення при насиченні сівозмінної площі добривами в межах 6,3 т/га + N<sub>22</sub>P<sub>25</sub>K<sub>15</sub>. В даному випадку баланс гумусу був позитивний (0,129 т/га) при компенсації його втрат за рахунок надходження органічної речовини з гноєм та рослинно-кореновими залишками в межах 111%.

На основі результатів стаціонарного дослідження ми здійснили спробу щодо моделювання процесів мінералізації і гуміфікації органічної речовини ґрунту. У світовій практиці для прогнозу інтенсивності її мінералізації використовують кінетичні рівняння першого порядку [9]. Якщо припустити, що у ґрунті існує єдиний фонд гумусу  $C_0$ , то процес його мінералізації триває відповідно до кінетики першого порядку і описується рівнянням:

$$\ln (C_0 - C_t) = \ln C_0 - \beta t \quad (1)$$

де,  $C_0 - C_t$  – вміст потенційно мінералізованого гумусу в кінці інтервалу часу  $t$ ;  $\beta$  – константа швидкості мінералізації, тобто частка  $C_0$ , що мінералізується за одиницю часу (рік<sup>-1</sup>).

Знаючи  $C_t$  для шару 0–20 см і  $C_0 = 4,26\%$ , отримуємо  $\beta = 0,001$  рік<sup>-1</sup>. Тобто, можна припустити, що через 100 років вміст гумусу в варіанті без добрив (контроль) становитиме біля 3,8%.

Скористуємось для прогнозу вмісту гумусу при використанні органо-мінеральної системи удобрення нелінійним рівнянням миттєвого балансу, яке враховує не тільки процес мінералізації гумусу (витратна частина), а й гуміфікації поживно-коренових решток і органічних добрив (прибуткова частина). Воно має вигляд динамічного співвідношення:

$$\frac{dC}{dt} = \alpha C - \beta C^2 \quad (2)$$

де,  $\frac{dC}{dt}$  — вихідна концентрації у часі;  $\alpha$  – константа швидкості гуміфікації.

За нашими даними  $\alpha = 0,0044$  рік<sup>-1</sup>,  $\beta = 0,001$  рік<sup>-1</sup>. Вирішення рівняння (2) показує, що при  $t \rightarrow \infty$  вміст гумусу прямує до набуття постійного значення, яке дорівнює:  $C_t = \frac{\alpha}{\beta} = 4,4\%$ .

На основі отриманих експериментальних даних можна зробити наступні висновки:

1. Інтенсивне агровиробниче використання ґрунту призводить до суттєвих змін кількісних показників органічної речовини ґрунту. Вміст гумусу відносно перелугу знизився на 35% (з 6,41 до 4,17%), а його запаси – на 21–34%. Спостерігається перерозподіл рівня забезпечення чорнозему звичайного за даними параметрами. Це є наслідком незворотних змін порушення зрівноваженої системи речовинно-енергетичних процесів, які властиві ґрунту за умов утримання як перелугу, де надходження органічної речовини у 1,94 раза перевищує втрати при мінералізації.

2. У подальшому гумусний стан чорнозему звичайного залежатиме від наявності в системі агротехнічних заходів гумусозбережних технологій. Застосування органо-мінеральної системи удобрення (6,3 т/га + N<sub>22</sub>P<sub>25</sub>K<sub>15</sub>) сприяє надходженню необхідної кількості органічної речовини для формування позитивного балансу гумусу (0,129 т/га) і створенню умов для його збереження.

3. Прогнозування вмісту гумусу свідчить, що при рівні компенсації втрат органічної речовини 62% (контроль) простежуватиметься від’ємна динаміка його вмісту; через 100 років він досягне позначки 3,8%. В той же час органо-мінеральна система удобрення є складовою гумусозбережної технології і забезпечує його вміст на рівні 4,4 %.

### Бібліографічний список

1. Лактіонов М.І. Агрогрунтознавство / М.І. Лактіонов. – Харк. держ. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х.: Видавець А.І. Шуст, 2001. – 156 с.
2. 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.
3. Медведєв В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи / В.В. Медведєв. – Х.: ПФ Антикава, 2002. – 428 с.
4. Кисіль В.Д. Агрогрунтові райони степової чорноземної зони / В.Д. Кисіль // Агрохімія і

- грунтознавство. – 1969. – Вип. 12. – С. 109–142.
5. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:1994, IDT): ДСТУ ISO 11464:2001. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – IV, 13 с. – (Національний стандарт України).
  6. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. – [Чинний від 2005-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 13 с. – (Національний стандарт України).
  7. *Носко Б.С.* Антропогенна еволюція чорноземів / *Б.С. Носко*. – Х.: Вид-во. 13 типографія, 2006. – 239 с.
  8. *Николис Дж.* Динамика иерархических систем: Эволюционное представление / *Дж. Николис*; [предисл. Б. Б. Кадомцева, пер. с англ. Ю.А. Данилова]. – М.: Мир, 1986. – 488 с.