

УДК 631.417.1:631.559

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.15>

ДЕПОНУВАННЯ ВУГЛЕЦЮ В ҐРУНТАХ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР: ОСНОВНІ КОНЦЕПЦІЇ

Гуцол Г.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища,

Навчально-науковий інститут агротехнологій та природокористування

Вінницького національного аграрного університету

Коваленко Н.В. – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього

середовища,

Навчально-науковий інститут агротехнологій та природокористування

Вінницького національного аграрного університету

У статті наведено аналіз літературних джерел щодо процесу депонування карбону у ґрунтах в умовах інтенсивного землеробства та його впливу на ступінь врожайності. Перетворення природних ландшафтів у агроландшафти порушує баланс обігу карбону та призводить до інтенсифікації його вивільнення в атмосферу з верхніх шарів ґрунту. За умов зміни підходів до організації ведення сільського господарства, процес депонування карбону у ґрунті може перейти зі статусу виклику (баланс акумуляції/вивільнення карбону є негативним) у статус одного з ключових факторів запобігання негативним проявам кліматичних змін (баланс акумуляції/вивільнення карбону є позитивним).

Описано основні позитивні наслідки поглинання та акумуляції вуглецю у верхніх шарах ґрунту. Зокрема, поглинання надлишкового карбону, утвореного людською діяльністю в інших галузях; підвищення врожайності та відновлення екосистемних функцій ґрунтів; зниження прояву негативних процесів у ґрунтах – ерозії, порушення водного балансу, зміни кислотного стану; забезпечення продовольчої безпеки для окремих регіонів та країн.

Також у статті проаналізовано три рівні врожайності сільськогосподарських культур і їх вплив на процеси депонування карбону. Потенційна врожайність певної культури є теоретичною та залежить від відсутності едафічних та кліматичних обмежень для росту, і базується на узагальнених фізіологічних процесах фотосинтезу. Досяжний рівень врожайності є близьким до потенційних рівнів, якщо вхідні ресурси високі та клімат сприятливий. Фактична врожайність враховує вплив більш мінливих та локалізованих факторів, таких як бур'яни, шкідники, хвороби та різні види забруднення.

Окремо охарактеризовано основні фактори, що впливають на здатність ґрунту поглинати, накопичувати та перетворювати карбон у органічну речовину ґрунту. Дані фактори наведені крізь призму рівнів врожайності та морфологічних характеристик ґрунтів.

Ключові слова: агроландшафт, депонування, карбон, органічна речовина ґрунту, рівні врожайності сільськогосподарських культур.

Hutsol H.V., Kovalenko N.V. The carbon deposition in soils and its impact on crop yield: basic concepts

The article provides an analysis of literary sources on the process of carbon deposition in soils under conditions of intensive agriculture and its impact on the degree of productivity. The transformation of natural landscapes into agricultural landscapes disrupts the balance of carbon circulation and leads to an intensification of its release into the atmosphere from the upper layers of the soil. Under the conditions of changing approaches to the organization of agricultural management, the process of carbon deposition in the soil may move from the status of a challenge (the balance of carbon accumulation/release is negative) to the status of one of the key factors in preventing negative manifestations of climate change (the balance of carbon accumulation/release is positive).

The main positive consequences of carbon absorption and accumulation in the upper layers of the soil are described. In particular, the absorption of excess carbon formed by human activity in other industries; increasing productivity and restoring ecosystem functions of soils; reducing the manifestation of negative processes in soils – erosion, water balance disturbance, changes in the acid state; ensuring food security for individual regions and countries.

The article also analyzes three levels of crop yields and their impact on carbon deposition processes. The potential yield of a particular crop is theoretical and depends on the absence of edaphic and climatic limitations for growth, and is based on generalized physiological processes of photosynthesis. The achievable yield level is close to potential levels if input resources are high and the climate is favorable. The actual yield takes into account the impact of more variable and localized factors, such as weeds, pests, diseases and various types of pollution.

The main factors that affect the ability of the soil to absorb, accumulate and convert carbon into soil organic matter are separately characterized. These factors are presented through the prism of yield levels and morphological characteristics of soils.

Key words: *agrolandscape, deposition, carbon, soil organic matter, crop yield levels.*

Постановка проблеми. Стрімке зростання CO₂ в атмосфері за останні десятиліття добре задокументовано, і зараз зростає занепокоєння, оскільки це призводить до змін клімату Землі через «посилений парниковий ефект». Як наслідок, існує зростаючий попит на зниження рівня CO₂ в атмосфері шляхом зменшення антропогенних викидів в атмосферу та видалення вуглецю з атмосфери шляхом секвестрації в біосфері. Вчені оцінюють [1, с. 147], що сільське господарство, засноване на рослинництві, займає 1,7 мільярда гектарів у всьому світі, із запасом карбону у ґрунті приблизно 170 Pg (пентаграм). За оцінками, окислення органічної речовини ґрунту в культивованих ґрунтах вносить в атмосферу приблизно 50 Pg карбону. Повернення втраченого вуглецю в ґрунті шляхом збільшення накопичення карбону у ґрунтах є очевидною можливістю депонування [2, с. 609].

Перетворення природних ландшафтів на землі сільськогосподарського призначення майже незмінно призводить до виснаження природних запасів вуглецю в ґрунті. Наприклад, оцінки середньої втрати органічного ґрунтового вуглецю у верхньому метровому шарі протягом 2–8 років після перетворення місцевої природної рослинності на сільське господарство коливаються від 15 до 40% [3, с. 128]. Наприклад, на початку 1980-х років зміни у землекористуванні, за оцінками, призвели до перенесення від 1 до 2 Pg карбону на рік із наземних екосистем в атмосферу. Від 15 до 17% цього карбону утворюється в результаті окислення органічної речовини ґрунту [4, с. 320]. Відростання рослинності після посіву або використання систем нульового обробітку ґрунту, а також використання глибоко вкорінених, швидко зростаючих видів дерев і трав може призвести до відновлення органічної речовини ґрунту до рівнів, що наближаються до, а часто й перевищують рівень карбону у ґрунтах лісових екосистем. У системах з помірним кліматом моделювання показує, що відновлення рівнів органічної речовини ґрунту майже до рівня передкультивацийного періоду може бути досягнуто шляхом поєднання скорочення обробітку ґрунту та більшого надходження органічної речовини в ґрунтову систему завдяки використанню покращеного управління [5, с. 465]. Оцінки здатності до поглинання карбону у сільськогосподарських ґрунтах у всьому світі складають приблизно 20–30 Pg карбону протягом наступних 50–100 років [6, с. 238].

У цій статті визначено деякі з основних питань, пов'язаних із поглинанням вуглецю в ґрунтах, шляхом прийняття термінології, розробленої в дослідженнях фізіології рослин і моделювання різних режимів врожайності та рекомендацій щодо відновлення втраченого карбону у ґрунтовій масі.

Актуальність теми. Загалом, депонування вуглецю в ґрунті означає захоплення та збереження шляхом зберігання атмосферного CO_2 у педосфері таким чином, щоб збільшити його середній час перебування та мінімізувати поглинання повторних викидів [7, с. 80]. Серед численних цілей поглинання карбону у ґрунті є: компенсація антропогенних викидів за рахунок спалювання вичерпаного палива, виробництва цементу та знищення лісів; зниження динаміки збільшення концентрації CO_2 в атмосфері; підвищення концентрації органічного карбону у ґрунті вище рівня 1,5–2,0%; відновлення якості ґрунту та його екосистемних функцій і послуг; покращення здатності до утримання води та поживних речовин; підвищення ефективності використання ресурсів у ґрунтах керованих екосистем; зменшення ризиків прискореної ерозії; створення кліматично розумних ґрунтів і агро-екосистеми; підвищення ефективності використання вхідних ресурсів і посилення властивостей ґрунту, що пригнічують хвороби; підвищення та підтримка агрономічної продуктивності, а також підвищення продовольчої та харчової безпеки [8, с. 351]. Через численні супутні переваги існує великий інтерес до визначення, концепцій, експериментальних підходів, процедур лабораторних аналізів і методів визначення рівня поглинання органічного карбону. У цьому контексті поглинання органічного карбону визначається як «процес перенесення CO_2 з атмосфери в ґрунт через рослинну масу, рослинні залишки та інші органічні речовини, які зберігаються та утримуються у ґрунті як частина ґрунтової органічної речовини (гумусу)» [7, с. 79]. Час утримання поглиненого вуглецю в ґрунті (верхніх шарах) може варіюватися від короткочасного (негайне вивільнення назад в атмосферу) до тривалого (тисячолітнього) зберігання.

Мета досліджень. Дослідження проводились на основі опрацювання та порівняння літературних (переважно іноземних) джерел з метою актуалізації даної тематики в українському контексті, в умовах екологічного забруднення та втрати значних площ сільськогосподарських угідь у зв'язку з воєнними діями з одного боку, та значної інтенсифікації ведення сільського господарства на незабруднених та неокупованих територіях в умовах активації кліматичних змін з іншого.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні агроекосистем можна виділити три рівні врожайності сільськогосподарських культур: потенційний, досяжний і фактичний [9, с. 201]. Потенційна врожайність певної культури теоретично можлива, коли немає едафічних або кліматичних обмежень для росту, і базується на узагальнених фізіологічних процесах фотосинтезу. Однак ця теоретична максимальна ціль не може бути досягнута в польових умовах, оскільки, окрім кліматичних обмежень, фактори навколишнього середовища (наприклад, недостатня кількість поживних речовин і води) обмежують продуктивність; на практиці сільське господарство лише до певної міри може досягати такого рівня врожайності. Таким чином, встановлюється рівень досяжної врожайності (який може бути дуже близьким до потенційних рівнів, якщо вхідні ресурси високі та клімат сприятливий). Однак усі культури, що ростуть у полі, також піддаються впливу факторів, що зменшують врожайність, таких як бур'яни, шкідники, хвороби та інші забруднення, що ще більше знижує врожайність від того, що можна було б досягти, до фактичного рівня. Якщо фактори зниження врожайності є неконтрольованими і, отже, стають серйозними, фактична врожайність може бути невеликою часткою потенційної врожайності. Різниця між потенційною та фактичною врожайністю називається «прогалиною врожайності» [10, с. 112].

Застосування понять «потенційний», «досяжний» і «фактичний» до опису процесу поглинання вуглецю в ґрунтах допоможе створити концептуальну основу

для обговорення питань управління ґрунтами. Рис. 1 (адаптовано з [9, с. 203]) схематично показує три «ситуації» поглинання вуглецю, нанесені на графік відносно рівня органічної речовини ґрунту. Органічній речовині ґрунту на осі x доволіно надається період напіврозпаду приблизно 10 років, щоб вказати, що свіжовиведений органічний матеріал не розглядається, хоча це може бути значним відразу після, наприклад, збирання врожаю, але має обмежену цінність поглинання через відносно швидке розкладання.

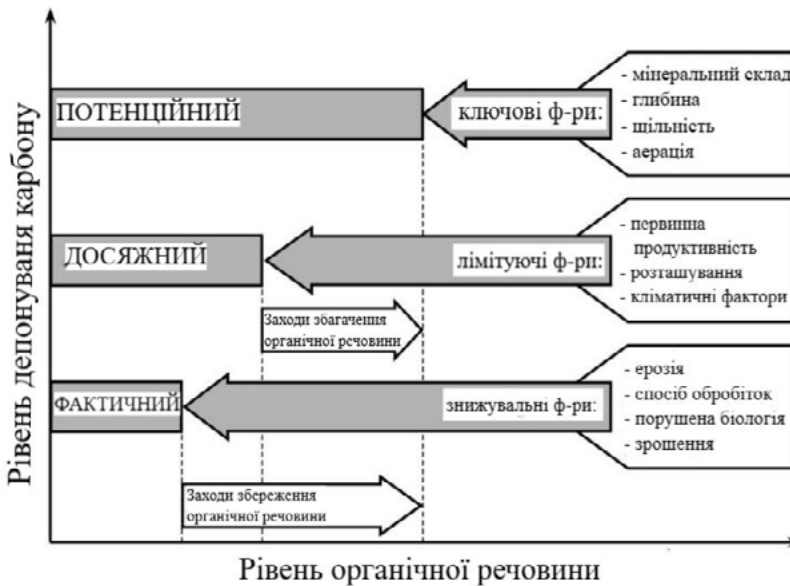


Рис. 1. Ступінь депонування карбону порівняно з рівнем органічного карбону в ґрунті

Три рівні врожайності сільськогосподарських культур та ступінь поглинання карбону, показані на осі y, прирівнюються до різних кількостей поглиненого вуглецю. «Потенційний» рівень визначається факторами, які встановлюють максимальну фізико-хімічну межу зберігання карбону. «Досяжний» рівень визначається факторами, які обмежують надходження вуглецю в ґрунтову систему. «Фактичний» встановлюється факторами, які зменшують накопичення вуглецю.

Відповідно до рівнів врожайності сільськогосподарських культур можна охарактеризувати фактори, що впливають на здатність ґрунту поглинати, накопичувати та перетворювати карбон у органічну речовину ґрунту:

потенційне депонування карбону у ґрунтах: ґрунти мають обмежену здатність поглинати вуглець [1, с. 158]. Ґрунти з дрібнішою структурою зазвичай мають вищий вміст органічної речовини ґрунту, ніж ґрунти з грубою структурою, якщо до них додається однакова кількість органічних речовин. Ключовим фактором, що сприяє стабільності вмісту органічної речовини ґрунту, є його поглинання частинками глини та мулу. Основне твердження полягає в тому, що загалом мінеральний ґрунт має максимальне зберігання органічної речовини ґрунту на одиницю об'єму, яке визначається вмістом глини та мулу (<20 мкм) [10, с. 113]. У дослідженні помірних і тропічних мінеральних ґрунтів для кількісної оцінки

зв'язку між текстурою ґрунту та органічною речовиною встановлено, що за умови досягнення верхньої межі для адсорбції органічних речовин глиною та мулом, додавання більшої кількості органічного матеріалу до ґрунту не призводить до збільшення поглинання вуглецю [11, с. 83]. Також спостерігався тісний зв'язок між часткою дрібних фракцій (<20 мкм) у ґрунті та органічної речовини, пов'язаної із цією фракцією у верхніх 10 см ґрунтового шару [11, с. 85]. Кількість органічної речовини у фракції >20 мкм не корелювала з текстурою, і культивування зменшило кількість органічної речовини у фракції >20 мкм більше, ніж у фракції <20 мкм, що вказує на те, що органічна речовина, пов'язана з частками <20 мкм, краще захищена від розкладання;

досяжний рівень депонування карбону у ґрунтах: даний рівень, по суті, обмежується кількістю вуглецю, що надходить у ґрунтову систему – чим більше речовин внаслідок процесу фотосинтезу надходить у ґрунт безпосередньо з кореневих систем, тим менше його доступно для видалення шляхом збирання врожаю, випасу худоби, пожежі тощо. Заходи зі збільшення надходження вуглецю (через, наприклад, збільшення чистої первинної врожайності шляхом удобрення), матиме тенденцію до збільшення досяжного рівня до потенційного рівня. Клімат також важливий і має як прямий, так і непрямий вплив. Швидкість розкладання зростає з температурою, тоді як вона зменшується з підвищенням анаеробних умов. Непрямий кліматичний вплив опосередковується через діяльність рослинності або ґрунтової фауни [10, с. 114];

фактичний рівень депонування карбону у ґрунтах: у цьому випадку мова йде про кількість вуглецю, який міститься у ґрунті у певний момент часу. Протягом кількох десятиліть було докладено значних зусиль для розробки методів визначення цього рівня, головним чином на зразках, зібраних і підготовлених для лабораторного аналізу. Деяко менше зусиль було витрачено на оцінку рівнів органічної речовини ґрунту в польових умовах. П'ять основних факторів встановлюють фактичний рівень депонування карбону (тобто знижують досяжний рівень) [12, с. 290]. По-перше, втрата ґрунтового матеріалу через ерозію зменшує вміст карбону у ґрунті, об'єм ґрунту та/або вміст глини. По-друге, посилене окислення, наприклад, обробкою ґрунту або підвищенням температури ґрунту через видалення рослинного покриву може швидко знизити рівень органічної речовини. По-третє, видалення органічних залишків зменшує надходження вуглецю. По-четверте, порушення біотичних процесів у ґрунті, відповідальних за розщеплення органічних надходжень, зменшить доступність фракцій органічної речовини, придатних для формування стабільних органо-мінеральних комплексів. По-п'яте, дренаж збільшує «дихання» ґрунту, що сприяє окисленню органічної речовини.

Висновки. Депонування органічного карбону у ґрунтах вже давно не є процесом, який слід досліджувати лише для оцінки екологічного стану ґрунту або його ролі в кліматичних змінах та кліматичній адаптації. Цей процес має розглядатися та враховуватися при організації ведення сільського господарства, побудові сівозмін, визначенню способів оранки та культивації, тощо. Людська діяльність, пов'язана з виведенням ґрунтового покриву з природних ландшафтів та перетворення їх на агроландшафти, є одним з визначних факторів пришвидшеного вивільнення вуглецю в атмосферу та, як наслідок, посилення парникового ефекту. Тому процеси накопичення, перетворення та фіксації карбону у ґрунтах мають бути на такому ж рівні дискусії, як, наприклад, використання засобів захисту рослин або способів підвищення врожайності. Власне, процес депонування є також способом підвищення врожайності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T., Hunt, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*. 2000. 48 (1), P. 147–163.
 2. Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1998. P. 609.
 3. Sanchez, P.A., Palm, C.A., Szott, L.T., Cuevas, E., Lal, R.. Organic input management in tropical agroecosystems. *University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii*. 1989. P. 125–152.
 4. Houghton, R.A., Hackler, J.L. The net flux of carbon from deforestation and degradation in South and Southeast Asia. *South and Southeast Asia as a Case Study*. Springer, New York. 1994. P. 301–327.
 5. Paustian, K., Elliott, E.T., Killian, K. Modeling soil carbon in relation to management and climate change in some agroecosystems in central North America. *CRC Press, Boca Raton, FL*. 1998. P. 459–471.
 6. Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van Noordwijk, M., Woomer, P.L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Mgmt. 13 (Suppl. 4)*. 1997. P. 230–244.
 7. Lal R., Negassa W., Lorenz K. Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2015, P. 79–86
 8. Olson K. R., Al-Kaisi M., Lal R., Lowery B. Experimental considerations, treatments and methods in determining soil organic carbon sequestration rates. *Soil Sci Soc Am J*. 2014, P. 348–360.
 9. Van Ittersum M. K., Rabbinge R. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input–output combinations. *Field Crops Res*. 1997. P. 197–208.
 10. Ingram J.S.I., Fernandes E.C.M. Agriculture, Ecosystems and Environment 87. 2001. P. 111–117.
 11. Hassink J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191. 1997. P. 77–87.
 12. Six J., Merckx R., Kimpe K., Paustian K., Elliott E.T. A re-evaluation of the enriched labile soil organic matter fraction. *Eur. J. Soil Sci*. 2000. 51 (2), P. 283–293.
-