

І.М.ШПАКІВСЬКА, О.Г.МАРИСКЕВИЧ

Інститут екології Карпат НАН України
79026 Львів, вул.Козельницька, 4

**МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ У ҐРУНТАХ
ЕКОСИСТЕМ ЧОРНОГОРИ (СХІДНІ КАРПАТИ)**

ключові слова: екосистема, ґрунт, органічний вуглець, мінералізація, біотична активність, Східні Карпати

key words: ecosystem, soil, organic carbon, mineralization, biotic activity, Western Carpathians

I.M.SHPAKIVSKA, O.G.MARYSKEVYCH

**SOIL ORGANIC CARBON MINERALIZATION IN THE ECOSYSTEMS
OF THE CHORNOGORA (WESTERN CARPATHIANS)**

Institute of ecology of the Carpathians
Kozelnytska St., 4, Lviv 79026

Peculiarity of spatial distribution and temporal dynamic of soil organic carbon mineralization by carbon dioxide production in main type of the timberline ecosystems of the Chornogora (Western Carpathian) was established. It was showed in comparison with other parameters of soil biotic activity (actual and potential enzymatic activity, biomass of soil biota), that value of annual efflux of soil carbon dioxide adequate reflected carbon mineralization process in the investigated ecosystems.

Аналіз процесів трансформації основних елементів-органогенів ґрунтовою біотою є одним із шляхів пізнання особливостей функціонування ґрунту [12]. Серед них важливе місце посідає вуглець, який відіграє особливу роль у живій матерії як за вмістом (36-90%), так і за здатністю утворювати стійкі органічні та органі-мінеральні сполуки, що значною мірою забезпечують реалізацію інтегральної екосистемної функції ґрунту — його родючості. Нагромадження в ґрунтах органічної речовини визначається співвідношенням процесів надходження органічного опаду, його мінералізації до простих неорганічних сполук та акумуляції у вигляді стійких до розкладу гумусових речовин. Потік вуглекислого газу з поверхні ґрунту — один з основних компонентів балансу вуглецю наземних екосистем.. Величина цього потоку є інтегральним показником мінералізації органічної речовини, оскільки вуглекислий газ є кінцевим продуктом мінералізації вуглецьвмісних сполук в аеробних та анаеробних умовах. Оцінка інтенсивності його потоку та

вкладу факторів, які зумовлюють часову й просторову мінливості цієї величини є основою для розуміння динаміки екосистем і можливостей прогнозу імовірних наслідків впливу на цей процес окремих екологічних чинників, зокрема, кліматичних трендів.

Метою дослідження було вивчення просторової та часової варіабельності потоку вуглекислоти з 0-20 см шару ґрунтового профілю відмін бурих кислих ґрунтів і порівняння цієї величини з іншими показниками трансформації органічної речовини в ґрунтах, зокрема, актуальної і потенційної біотичної активності та мікробної біомаси.

Об'єкти були локалізованими в Чорногорі (українська частина Східних Карпат) на верхній межі лісу та включали бурі лісові ґрунти під смерековими лісами й дернові буроземи, які сформувалися під вторинним чагарничковим (чорничники) та лучним (червонокостричники, біловусники та щавельники) угрупованнями. Окрім цього, вибрані об'єкти репрезентують стадії вторинної відновної сукцесії природних смерекових лісів, які на досліджуваній території були зведені в кінці XVIII ст. Унаслідок заповідання масиву Чорногора після створення у 1980 р. Карпатського національного природного парку, тут сформувалася дигресивно-демутаційна система угруповань бореального комплексу рослинності [7]. У межах досліджуваної території на площі 100 га (висоти 1300-1500 м н.р.м.) серед первинних екосистем найбільша частка припадає на смеречину чорницеvu, серед вторинних — на трав'яні екосистеми червонокостричника різнотравного й біловусника типового (Табл. 1), що й зумовило вибір саме цих екосистем для досліджень.

Інтенсивність потоку вуглекислого газу (CO₂) з 0-20 см шару ґрунту визначали в польових умовах методом макрореспірометрії [4] з використанням 0,1М розчину КОН як абсорбента вуглекислоти. Розрахунки проводили за формулою:

$$CO_2 = \frac{(a-b) \cdot 44 \cdot n[(1-d/D) \cdot 100-B \cdot d]^2}{S_n \cdot t}$$

- де: CO₂ - г м⁻² 24 год⁻¹
 (a-b) - різниця в кількості кислоти, використаної на титрування луґу в контрольному та дослідному вимірюваннях, мл
 44 - кількість CO₂, еквівалентна 1 мл 1н кислоти, мг
 n - нормальність кислоти
 d - щільність будови, г· см⁻³
 D - щільність твердої фази, г· см⁻³
 B - вологість досліджуваного шару, %
 S_n - площа перерізу патрубку, см²
 t - час експозиції, год

аустрийський (Rimnicul alpin)	леткоустинковий (A ₀ , A _Ф AB, BC)	3,9	2,3	2,9	101,4
----------------------------------	---	-----	-----	-----	-------

Застосування цього методу дає можливість ураховувати фізичні властивості ґрунту й одночасного вимірювати загальний потік вуглекислого газу в різних екосистемах, який включає такі складові, як кореневе дихання, дихання мікроорганізмів і виділення вуглекислоти в процесі біохімічних реакцій під час розкладу органічних сполук.

Активність ферментів дегідрогенази й целюлази вивчали в 0-10 см шарі повітряно-сухих зразків ґрунту за загальноприйнятими методиками [14], мікробну біомасу визначали методом регідратації [2].

Мінералізація органічних сполук вуглецю в першу чергу визначається гідротермічним режимом регіону й тривалістю вегетаційного періоду [9]. Для верхньої межі лісу в Чорногорі властиві низькі середньорічні температури повітря — $+3,3^{\circ}\text{C}$ і поверхні ґрунту — $+2,7^{\circ}\text{C}$ та надмірна зволоженість клімату з коефіцієнтом зволоження 3,5. Період біологічної активності на цій території становить 83 дні, а загальної вегетації — 165 днів [16]. Такі умови за М.Коновою [5] відповідають низькій мікробіологічній активності та зумовлюють повільні темпи мінералізації органічної речовини.

Істотний вплив на діяльність ґрунтової біоти як основного агента трансформації органічної речовини мають фізико-хімічні властивості підстилок та ґрунтів, особливо їх кислотність. Основна маса бактерій майже повністю припиняє свій розвиток за значень рН менших від 4,5-5,0. Чутливими до кислотності є також актиноміцети, амоніфікуючі та олігонітрофільні бактерії й окремі представники безхребетних — дощові черви та енхитреїди. Проте, у кислих ґрунтах, до яких належать досліджувані буроземи з рН 3,9-4,4, за винятком дернового бурозему під щавельниками (рН 5,7), зростає роль таких мінералізаторів як мікроміцети, для яких кисле середовище (рН 1,5-3,0) не є інгібуючим, та безхребетні — ногохвістки і кліщі. У зв'язку з цим мікрофлора буроземів представлена, переважно, грибами, причому співвідношення бактерій:гриби — 1:70 [3]. Це зумовлює повільні темпи мінералізації органічної речовини, накопичення нерозкладених рослинних решток і формування потужного горизонту підстилки в досліджуваних екосистемах [5].

Швидкість мінералізації вуглецьвмісних сполук визначається їх реакційною здатністю, що зумовлена їхнім хімічним складом [6]. Найменш реакційно здатні сполуки є повністю відновленими, без ненасичених зв'язків. Швидко піддаються мінералізації окислені сполуки й ті, які містять карбоксильні групи. У зв'язку з цим цукри, багатоатомні спирти, органічні кислоти є пріоритетними для мінералізації мікро- й актиноміцетами та бактеріями. Швидко

мінералізуються водорозчинні моноцукри, за кількістю яких визначають динаміку та інтенсивність мінералізації органічної речовини. Повільніше мінералізуються геміцелюлози та целюлоза, основними мінералізаторами яких є гриби та актиноміцети, гіфи яких, проникаючи між клітинними оболонками, полегшують деструкцію полімерів. Сповільнюють мінералізацію сполуки вуглецю, які важко мінералізуються (лігнін) та бактерицидні сполуки (поліфеноли). Особливо важко мінералізується лігнін хвойних порід, зокрема смереки, мономером якого є коніферилловий спирт, який містить 67% вуглецю. Найважче піддаються мінералізації гумусові речовини. Ураховуючи запас вуглецьвмісних органічних сполук у підстилках [17] і ґрунтах досліджених об'єктів та їх якісний склад, можна опосередковано прогнозувати, що найшвидше повинна мінералізуватися органічна речовина в лучних екосистемах, які, порівняно з лісовими, різняться низьким вмістом лігніну в підстилках і гумусових речовин у 0-10 см шарі ґрунтового профілю, а найповільніше — у чагарникових, що характеризуються найвищим вмістом поліфенолів і целюлози в підстилках і гумусових речовин у ґрунтах, а також достатньо високим вмістом лігніну (Табл. 2).

Дослідження потоку вуглекислоти з 0-20 см шару ґрунту протягом вегетаційного сезону 1993-1995 рр. дозволило виявити наступні особливості. Найвищі значення продукування вуглекислоти спостерігалися для червонокостричника різнотравного, найнижчі — для біловусника типового і щавельника альпійського. Для усіх екосистем сезонні зміни ґрунтового потоку вуглекислого газу описувалися параболічною кривою з максимумами, що відповідають максимумам температури ґрунту в літній період (Рис.). Для смеречини чорницевої, порівняно з вторинними екосистемами, інтенсивність потоку вуглекислого газу була більш вирівняною на протязі вегетаційного періоду, що зумовлюється особливостями температурного режиму ґрунтів в лісових екосистемах [6]. Визначальним за впливом на величину потоку CO_2 серед гідротермічних факторів в досліджених екосистемах була температура ґрунту, оскільки польова вологість ґрунтів в періоди досліджень становила 40-60% повної вологості ґрунтів, що відповідає оптимальним умовам для життєдіяльності ґрунтової біоти, а в окремі періоди величина польової вологості ґрунтів перевищувала оптимальні значення.

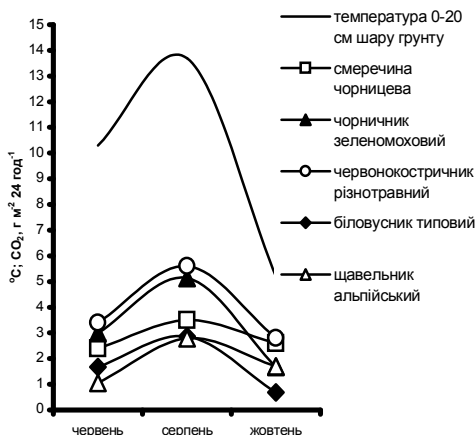


Рис. Потік CO_2 з 0-20 см шару ґрунту протягом вегетаційного сезону 1993-1995 рр. (усереднені дані)

Просторову мінливість потоку вуглекислоти вивчали на прикладі 7 різних парцел смережини чорницевої (чорницевої, мертвопокровної, ожикової, папоротевої, зеленомохової, куничникової та групового підросту смереки). Варіабельність була пов'язана з характером рослинного вкриття, потужністю підстилки, вмістом органічної речовини і, відповідно, активністю ґрунтової біоти (Табл. 3). Найвищі величини характерні для парцели групового підросту смереки, що може бути пов'язано з інтенсивними ростовими процесами кореневих систем і їх вкладом у величину потоку вуглекислого газу, найнижчі — для папоротевої та зеленомохової, що може бути наслідком якісного складу детриту та його впливу на функціонування мікробоценозу.

Таблиця 3
Просторова мінливість потоку CO_2 з 0-10 см шару ґрунту смережини чорницевої на прикладі різних парцел (червень 1995 р.)

Назва парцели	pH водне	C орг., мг · г ⁻¹	C біом., мг · г ⁻¹	C-CO ₂ , мкг · г ⁻¹ · 24 · год ⁻¹
Чорницева	3,6	115	1910	44,7
Мертвопокровна	3,7	145	2520	62,4
Ожикова	3,9	52	1270	30,7
Папоротева	3,8	60	1770	19,4
Зеленомохова	3,9	59	1070	22,1
Куничникова	3,6	75	1750	34,2
Групового підросту смереки	4,1	57	1760	83,9

Оскільки за потоком вуглекислоти оцінюється актуальна біотична активність, то з метою функціональної оцінки процесів мінералізації органічної речовини проведено порівняння її з іншим методом оцінки актуальної біотичної активності (розкладу целюлози аплікаційним методом) і з потенційною біотичною активністю ґрунтів за показниками активності ґрунтових ферментів.

Оцінка актуальної біотичної активності за показником розкладу целюлози показала, що процент втрати маси целюлози був майже на одному рівні в 0-10 см шарі ґрунтів під смерековим лісом, чорничником і біловусовою лукою (13-14%) та збільшувався в 4,3 разів під щавельником (60%), хоча ці ділянки знаходяться в практично однакових кліматичних умовах [8]. Збільшення інтенсивності розкладу целюлози в ґрунтах під щавельником може бути зумовлене зниженням кислотності ґрунту й посиленням ролі дощових черв'як як продуцентів екзоцелюлаз, кількість яких у цьому угрупованні, порівняно з смерековим лісом, зростає в 5 разів [11]. Встановлено відсутність кореляції між інтенсивністю ґрунтового потоку вуглекислоти та розкладом целюлози у ґрунтах досліджених екосистем. Останній параметр є достатньо специфічним з огляду на те, що продуцентами екзоцелюлаз є окремі групи ґрунтової біоти [12], тоді як виділення вуглекислого газу, — це результируючий процес життєдіяльності всіх груп ґрунтової біоти, дихання коріння та біокаталітичних процесів у ґрунтового профілі.

Потенційну активність визначали за активністю ферментів целюлази (1,4-глюкан-глюкогідролази, яка розщеплює 1,4 зв'язки в молекулі целюлози з утворенням глюкози та целобіози) і дегідрогенази (НАД(Ф)-оксидоредуктази, яка каталізує дегідрування органічних речовин і є проміжними носіями H^+ ; субстратами дегідрування є вуглеводи й органічні кислоти (янтарна, фумарова, лимонна, щавелева), які утворюються під час окислення вуглеводів (гексоз) в аеробних умовах мікроміцетами). Окрім того, дегідрогеназна активність характеризує життєдіяльність мікроорганізмів і кількість гумусових речовин, які мінералізуються ними. Показники потенціальної ферментативної активності, що були практично на однаковому рівні в усіх досліджуваних ґрунтах (табл. 4), також належать до групи специфічних параметрів трансформації органічної речовини і, на відміну від продукування вуглекислого газу, не відображають інтегральної величини цього процесу.

Ґрунтова біота є основним агентом трансформації органічних сполук в екосистемах. Так, біомаса безхребетних у смєречині чорницевої становила 0,9-12,0, у чорничнику зеленомоховому - 0,4-0,6 і 17,6-24,5 г м⁻² у біловуснику типовому [15]. Біомаса мікроорганізмів була високою в гумусово-акумулятивному горизонті смєречини чорницевої та чорничника зеленомохового й знижувалася в 2-3 рази в ґрунтах лучних екосистем (Табл. 5).

Виявлено відсутність достовірного корелятивного зв'язку між продукуванням вуглекислоти й біомасою мікроорганізмів у ґрунтах і високу варіабельність цих показників протягом вегетаційного сезону (коефіцієнт варіації 45-80%), що свідчить про динамічні тенденції хемоорганотрофної активності ґрунтових мікроорганізмів, які відображають якісну перебудову їх комплексу під впливом часового сезонного та просторового надходження органічного субстрату. Відповідна трансформація гетеротрофного блоку, швидше за все, пов'язана зі зміною частки ґрунтових мікроміцетів, для яких властивий повільний ріст. Для повного з'ясування їхнього метаболізму необхідні тривалі лабораторні дослідження, а не одномоментні визначення кількісних величин. Аналогічні дані стосовно практично відсутньої кореляції між біомасою ґрунтових мікроорганізмів, запасами фітомаси та інтенсивністю емісії вуглекислого газу також отримані іншими дослідниками [10, 13].

На підставі даних щодо мінералізації органічного вуглецю через величину продукування вуглекислого газу з поверхні ґрунту та акумуляцію вуглецьвмісних сполук у процесі гуміфікації, побудовано схеми балансу вуглецю під час трансформації чистої первинної продукції автотрофного блоку [18]. Встановлено, що в екосистемі смєречини чорницевої процеси мінералізації-гуміфікації з нульовим балансом вуглецю за тривалий період часу є збалансованими. У чорничнику зеленомоховому переважають процеси гуміфікації і високі запаси органічного вуглецю в підстилці та ґрунтовому профілі зумовлені низькими темпами його мінералізації. У лучних екосистемах переважають процеси мінералізації, що визначає відповідні нижчі запаси органічної речовини.

Вивчення особливостей мінералізації сполук вуглецю у ґрунтах екосистем на верхній межі лісу в Чорногорі показало, що за однакових кліматичних умов та одного типу ґрунтоутворення цей процес детермінований відмінностями у складі автотрофного блоку екосистеми та є наслідком формування комплексів ґрунтової біоти, властивих для окремих типів екосистем. Показано, що, на відміну від специфічних показників актуальної і потенційної ферментативної активності та біомаси окремих груп ґрунтової біоти, величина річного

потоку вуглекислого газу з поверхні ґрунту адекватно відображає процес мінералізації вуглецю в ґрунтах досліджених екосистем.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Біологічна продуктивність** смерекових лісів Карпат. – К.: Наук.думка, 1975. – 112 с.
2. **Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.С.** Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве // Почвоведение. – 1987. – № 4. – С.64-71
3. **Гришина Л.А.** Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
4. **Иванникова Л.А.** Авторское свидетельство 1509735 СССР, МКУ4G 01
5. **Кононова М.М.** Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
6. **Кузякин Я.В.** Трансформация низкомолекулярных органических азотсодержащих соединений в почве // Почвоведение. – 1996, № 12. – С.1430-1439.
7. **Малиновський К.А.** Вплив режиму заповідання на відновлення корінної рослинності у високогір'ї Карпат // Укр. ботан.журн. – 1987. – 43, № 3. – С.62-65.
8. **Марискевич О.Г.** Разложение целлюлозы как функциональный компонент детритной трансформации веществ в горных экосистемах // Проблемы лесоведения и лесной экологии. М.:Наука. 1990. – С.354-356.
9. **Мокронос А.Т., Кудеяров В.Н.** Баланс углекислого газа на территории России // Экология и почвы. – Т. 1. – М.: Пушкино ОНТИ ИФПБ, 1998. – С. 153-171.
10. **Полянская Л.М., Гейдебрехт Д.Г., Звягинцев Д.Г.** Биомасса грибов в различных типах почв // Почвоведение. – 1995. – № 5. – С.566-572.
11. **Сергиенко М.И.** Почвенные беспозвоночные растительных ассоциаций Черногоры (Советские Карпаты) // Зоолог. Журнал. – 1970. – 49, Вып.3. – С. 462-463.
12. **Тейт Р.** Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты. – М.:Мир, 1991. – 400 с.
13. **Титлянова А.А., Наумова Н.Б., Косых Н.П.** Круговорот углерода в луговых экосистемах // Почвоведение. – 1993. – № 3. – С.32-39.
14. **Хазиев Ф.Х.** Ферментативная активность почв. – М.:Наука,1976. – 180 с.
15. **Царик И.В.** Накопление и разложение подстилки в биогеоценозах субальпийского пояса Карпат: Автореф. дисс.... канд. биол. наук.-Днепропетровск, 1977. – 30 с.
16. **Цурик Е.И.** Особенности растительности и почв в полосе контакта полонины и елового леса в Карпатах // Лесоведение, 1988. – № 4. - С. 49-58.
17. **Чорнобай Ю.М., Марискевич О.Г.** Органічний склад підстилок у фітоценозах Українських Карпат // Укр. ботан. журн. – 1992. – 49, № 3. – С.20-25.
18. **Шпаківська І.М.** Режими трансформації органічного вуглецю в екосистемах Черногори // Науковий вісник УкрДЛТУ. – 1998. – Вип. 9.1. – С. 81-86.