

ДИХАННЯ КОРЕНІВ ТА ЙОГО ВКЛАД У ЕМІСІЮ CO₂ БУРОЗЕМНИМИ ҐРУНТАМИ НА ВЕРХНІЙ МЕЖІ ЛІСУ ЧОРНОГОРИ (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

Шпаківська І.М.

Інститут екології Карпат НАН України

Встановлено автотрофну складову потоку вуглекислого газу з поверхні буроземних ґрунтів бореального ряду на верхній межі лісу Чорногірського масиву Українських Карпат. Виявлено, що величина дихання корених систем коливається від 0,07 до 1,60 мг С-CO₂·100 г⁻¹·год⁻¹. Внесок кореневого дихання в загальний потік CO₂ становить 21-58% у залежності від типу екосистеми та не корелює з масою коріння.

Ключові слова: емісія CO₂, кореневе дихання, буроземи.

Root respiration and its contribution to the CO₂ emission from brown soil in the timberline of Chornohora (Ukrainian Carpathians). Shpakivska I. – The autotroph component of carbon dioxide efflux from the surface of brown soils was revealed in the boreal ecosystems in the timberline of Chornogora massive of the Ukrainian Carpathians. It was found that the value of root respiration ranges from 0,07 to 1,60 mg C-CO₂ 100 g⁻¹ per hour. Contribution of the root respiration in the total flux of CO₂ was about 21-58% according to the type of ecosystem and does not correlate with the mass of roots.

Key words: CO₂ emission, root respiration, brown soils.

ВСТУП

Дихання коренів відіграє важливу роль у формуванні балансу CO₂ в екосистемах. Дихальний газообмін коренів визначає продуктивність підземних органів рослин і впливає на сумарну величину емісії CO₂ з поверхні ґрунтів [1]. Способам поділу загального потоку CO₂ з ґрунтів на дихання коріння (автотрофне дихання) та дихання ґрунту (гетеротрофне дихання) в останні роки присвячено багато робіт. Зокрема в оглядовій статті з цієї проблеми вказано, що лише на лісових ділянках проведено більше, ніж 50 досліджень різними науковими центрами, які свідчать, що співвідношення дихання коріння та сумарного дихання ґрунту впродовж року або вегетаційного періоду становить 45,8% для лісових земель і 60,4% для території, не вкритих ліською рослинністю [2]. Однак, як вказують автори, до таких усереднених величин потрібно ставитися з обережністю. Так, в Бельгії загальна середня емісія CO₂ з ґрунту за вегетаційний період, розрахована за

температурою ґрунту та рівнянням Арреніуса, склала 70 т га^{-1} ($8,1 \text{ кг CO}_2 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) з якої 90% припадало на дихання коріння [3]. Частка дихання живих коренів від сумарного дихання ґрунту становило 50-93% в арктичній тундрі, від 62 до 89% в кореальних лісах та 35-62% в соснових лісах [4]. В Японії в штучному насадженні криптомерії було встановлено, що вклад кореневого дихання в загальнику емісію CO_2 з ґрунту в середньому становить 49%, а з врахуванням мінералізації коренів, які відмерли – 57% [5]. В Канаді, в ялиновому насадженні, впродовж вегетаційного періоду частка кореневого дихання в загальний потік CO_2 з ґрунту коливалася від 0% в травні до 20% в червні та 40% в липні-серпні, а в кінці вересня знову наближалася до 0% [6]. Іншими дослідниками встановлено, що внесок коренів перебуває в діапазоні від 6 до 80% від потоку CO_2 з поверхні ґрунтів у залежності від виду рослин, температури й вологості ґрунтів [7; 8; 9; 10; 11]. Найкраще вивчений внесок дихання коріння для однорічних сільськогосподарських культур і багаторічних трав в агроєкосистемах [1; 11; 12]. Значно менше досліджень стосуються досліджень чагарникових і лісових екосистем [13; 14]. Таким чином, аналіз літературних даних засвідчив, що частка автотрофного дихання в наземних екосистемах, зумовлена диханням коренів рослин, істотно залежить від регіону досліджень та видового складу рослинного угруповання, тому у разі використання отриманих даних для розрахунку балансу вуглецю потребує детальних досліджень на конкретних ділянках. З огляду на це, метою досліджень було вивчення основних закономірностей виділення CO_2 внаслідок дихання корневих систем рослинних угруповань бореального ряду на території верхньої межі лісу в Чорногірському масиві Українських Карпат.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в ґрунтах екосистем, локалізованих на території Карпатського природного національного парку в Чорногірському масиві Українських Карпат ($48^\circ 09' 16''$ пн. ш., $24^\circ 32' 09''$ сх. д.). Лісова рослинність на північно-східних схилах Чорногори була зведена в кінці XVIII століття, а створені на їх місці вторинні лучні екосистеми впродовж двох століть використовувались як пасовища. На даний час верхня межа лісу характеризується складною мозаїчністю первинних лісових, вторинних чагарничкових і лучних рослинних угруповань, які перебувають на різних стадіях демутації: клімаксова лісова екосистема (смєречина чорницева), вторинні чагарничкові (чорничник зеленомоховий) і лучні (червонокостричник різнотрав-

ний, біловусник типовий), а також рудеральні (щавельник альпійський) екосистеми [15].

Величина внеску коріння у емісію CO_2 з поверхні ґрунтів залежить від методів оцінки дихання коріння, які можуть бути як прямими, так і опосередкованими [1]. Опосередковані методи базуються на визначенні дихання ґрунту з корінням (найчастіше в польових умовах) з наступним розрахунком частки кореневого дихання, у той час як прямі – на визначенні дихання коренів рослин одразу після відокремлення їх від ґрунту вручну без відмивання. Саме з використанням такого методу встановлена інтенсивність дихання коренів виду *Festuca rubra* L., яка становила $4,0 \text{ мг } \text{CO}_2 \cdot \text{г}^{-1}$ сухої маси $\cdot \text{год}^{-1}$ за температури 20°C [9].

Особливо складним завданням є вивчення кореневого дихання у лісових екосистемах, де непрямі методи оцінки внеску коренів рослин в емісію CO_2 , незважаючи на усі їх недоліки, вважаються найбільш прийнятними [7]. Враховуючи те, що на верхній межі лісу Чорногори наявні лучні, чагарникові й лісові екосистеми, найдоцільнішим методом для досліджуваної території обрано непрямий метод з використанням монолітів [16]. ґрунтові моноліти об'ємом $50,24 \text{ см}^3$ відбирали на глибину 0-20 см через кожні 4 см ґрунтового профілю, а продукування вуглекислого газу визначали в лабораторних умовах за температури 25°C та польової вологості до і після відбору коріння. Потужність горизонту, для якого відбиралися моноліти, зумовлена тим, що основний запас коріння рослинних угруповань (80-90%) зосереджений саме у цьому шарі ґрунту.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для досліджуваних екосистем бореального ряду на ВМЛ Чорногори дихання корневих систем коливалося від 0,07 до 1,60 $\text{мг } \text{C}\text{-CO}_2 \cdot 100 \text{ г}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ залежно від типу екосистеми і глибини відбору зразка. Особливо слід зазначити, що ці величини стосуються дихання усієї кореневої маси складного багатовидового угруповання, а не окремих видів рослин. За середніми значеннями для 0-20 см шару ґрунту найвищий внесок дихання коріння у емісію CO_2 спостерігався в лучних екосистемах: у червонокостричнику різнотравному – 58,4, щавельнику альпійському – 51,4 і біловуснику типовому – 49,2 %. Частка кореневого дихання у чорничнику зеленомоховому становила 39,9, а смеречині чорницевої – лишень 21,2% (таблиця 1).

За літературними даними діапазон коливань дихальної активності коренів у лучних екосистемах, залежно від дати відбору ґрун-

тових зразків, становить 8-65% [1; 7; 12; 11], а для субальпійських лук з домінуванням *Nardus stricta* L. – 17-65% [17]. Дані, отримані для лучних екосистем бореального ряду на ВМЛ Чорногори (49-58%), також вкладаються у цей інтервал, а високі значення зумовлені тим, що визначення дихання кореневих систем було проведено в період максимального росту тонких метаболічно активних корінців. Подібні дані щодо емісії CO₂ за рахунок дихання коренів і кореневищ рослин у літній період (50-80%) встановлені для екосистем тундри [18], дещо нижчі (40%) – для природних лучних екосистем з домінуванням *Andropogon scoparium* L. [19] і для вторинних післялісових лук з домінуванням *Festuca pratensis* L. і *Phleum pratense* L. – 36% [1].

Тобто, навіть для одного типу екосистем ВМЛ Чорногори, не зафіксовано чіткої залежності маси коріння і його частки в загальному потоці CO₂ з ґрунту, що пов'язано з будовою кореневих систем рослин - домінантів автотрофного блоку екосистем. В червонокостричнику різнотравному переважають злаки з великою кількістю тонких корінців, а в шавельнику альпійському значну частку підземної фітомаси (57-58%) становлять багаторічні кореневища шавлю альпійського [18], які метаболічно є менш активними. Тому за часткою кореневого дихання лучні екосистеми утворюють ряд: червонокостричник → шавельник → біловусник.

Таблиця 1

Вклад дихання коріння в емісію CO₂ з поверхні ґрунтів бореального ряду на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати)

Екосистема	Глибина відбору ґрунтового моноліту см	Дихання ґрунтового зразка		Внесок кореневого дихання %
		в присутності живого коріння	після відбору коріння	
		мг С-CO ₂ ·100 г ⁻¹ ·год ⁻¹		
Смеречина чорнищева	0-4	2,15	1,75	18,6
	4-8	1,90	1,36	28,4
	8-12	1,18	1,03	12,7
	12-16	0,74	0,59	20,3
	16-20	0,58	0,43	25,9
М				21,2
м				4,8
Чорничник зеленомоховий	0-4	3,25	1,65	49,2
	4-8	2,16	1,25	42,1
	8-12	1,19	0,73	38,7
	12-16	0,69	0,36	47,8
	16-20	0,32	0,25	21,9

Продовження табл. 1

М				39,9
м				7,7
Чевонোকост- ричник різ- нотравний	0-4	2,15	1,14	47,0
	4-8	1,39	0,77	44,6
	8-12	0,80	0,37	53,8
	12-16	0,59	0,09	84,7
	16-20	0,34	0,13	61,8
М				58,4
м				11,9
Біловусник типовий	0-4	0,96	0,67	30,2
	4-8	0,68	0,43	36,8
	8-12	0,50	0,25	50,0
	12-16	0,49	0,28	42,9
	16-20	0,44	0,06	86,4
М				49,2
м				15,2
Щавельник альпійський	0-4	2,95	1,46	49,5
	4-8	1,56	0,75	51,9
	8-12	1,02	0,66	35,3
	12-16	0,98	0,36	63,3
	16-20	0,88	0,38	56,8
М				51,4
м				7,2

ВИСНОВКИ

Встановлено, що дихання кореневих систем рослинних угруповань бореального ряду верхньої межі лісу коливається від 0,07 до 1,60 мг С-СО₂·100 г⁻¹·год⁻¹ залежно від типу екосистеми і глибини відбору зразка. За середніми значеннями для 0-20 см шару ґрунту найвищий внесок дихання коріння у емісію СО₂ спостерігався в лучних екосистемах 49,2 58,4%, тоді як в лісових – лише 21,2%. Менший внесок кореневого дихання в емісію СО₂ в лісових екосистемах порівняно з лучними, пов'язаний з тим, що корені деревних рослин характеризуються нижчою дихальною активністю [1,19]. Вважають, що частка кореневого дихання в лісових угрупованнях може бути дещо заниженою, оскільки враховується лише дихання дрібних корінців трав'яних і деревних рослин. Хоча дихальна активність товстих коренів значно нижча, ніж тонких, проте вони можуть робити значний внесок у виділення СО₂ за рахунок більш ніж 10-ти кратного

перевищення їх маси над вагою тонких корінців [20]. Так, для екосистеми смеречини чорницевої на ВМЛ Чорногogi співвідношення маси товстих коренів над масою тонких всмоктуючих і провідних корінців становить у 35-річному віці 1:24, а в 120-річному – 1:70 [21]. За літературними даними внесок дихання коріння в емісію CO₂ вищий у молодих лісах (20-50%), ніж у зрілих, де він становить 6-25% [1; 20]. Тобто, отримана величина кореневого дихання для клімаксової екосистеми смерекового лісу (21%) відповідає інтервалові, характерному для зрілих лісів.

Література

1. Ларионова А.А., Евдокимов И.В., Курганова И.Н., Сапронов Д.В., Кузнецова Л.Г., Лопес де Гереню В.О. Дыхание корней и его вклад в эмиссию CO₂ из почвы // Почвоведение. – 2003. - №2. – С. 183-194.
2. Hanson, P. J., N. T. Edwards, C. T. Garten, Jr., and J. A. Andrews. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations // Biogeochemistry, 2000. - 48:115–146.
3. Thierron V, Laudelout Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest // Can J For Res. 1996. - 26:1142–1148
4. Raich, J.W. and A. Tufekcioglu. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls // Biogeochemistry, 2000. - 48: 71-90
5. Ohashi, M., Gyokusen, K., Saito, A. Contribution of root respiration to total soil respiration in a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) artificial forest // Ecol. Res., 2000. -15: 323–333.
6. Bond-Lamberty, B., Gower, S.T., Goulden, M.L., McMillan, A. Simulation of boreal black spruce chronosequences: Comparison to field measurements and model evaluation // Journal of Geophysical Research - 2006. – V.111. – P.45-60.
7. Благодатский С.А., Ларионова А.А., Евдокимов И.В. Вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Пушино, 1993. С. 26–32.
8. Наумов А.В. Дыхательный газообмен растений пшеницы // Агроценозы степной зоны. – Новосибирск: Наука. - 1988. – 92 с.
9. Наумов А.В. О роли дыхательного газообмена в продуктивности естественных и культурных фитоценозов // Экология, 1978. - №1. – С.75-62.
10. Bowden R.D., Nadelhoffer K.I., Boon R.D., Melinlo J.M., Garrison G.B. Contributions of aboveground litter, belowground litter and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest // Can.J.For.Res, 1993. – V.23. – P.1402-1407.
11. Singh, J.S., and S.R. Gupta. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystem // The Bot. Rev. 1977. - 43: 449-528
12. Кузяков Я.В. Изотопно-индикаторные исследования транслокации углерода из атмосферы в почву // Почвоведение. – 2001. - №1. – С. 72-80
13. Bouma T.J., Nilsen K.I., Eissenstest D.M., Lynch J.P. Estimation respiration of roots in soil: Interactions with soil CO₂, soil temperature and soil water content // Plant and Soil, 1997. – V.195. – P. 221-232.

14. Ewel KC, Cropper WP Jr, Gholz HL Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. II. Importance of root respiration // *Can. J. For. Res.* 1987. - 17, 330-333.

15. Царик Й.В., Малиновський К.А. Моніторинг загасання пасторальних систем під впливом заповідання // Біорізноманіття Карпатського біосферного заповідника. – Київ: Інтерекоцентр, 1997. - С. 427-442.

16. Шпаківська І.М. Дихальний газообмін ґрунту як елемент продукційного процесу в екосистемі // Збереження та перспективи стаціонарних досліджень для збереження біорізноманіття. Мат.конфер. Присв. 40-річчю біол.стаціонару, Львів, 1998а. - С.175-177.

17. Tesarova M., Rychnovska A. Soil and root respiration in the Kamenicky grassland dominated by *Nardus stricta* L. // *Foila Microbiol.*, 1979. – Vol.29. – P.203-209.

18. Billings W.D., Peterson K.M., Shaver G.R., Trent A.W. Effect of temperature on root growth and respiration in tundra ecosystem // *Belowground ecosystem*, 1977. – Colorado State University. – P.45-61.

19. Головка Т.А. Дыхание растений. – СПб.: Наука, 1999. – 348 с.

20. Царик Й.В. Структура популяції *Rumex alpinus* L. У фітоценозах Чорногори // Укр. ботан. журнал, 1981 – Т.XXXVIII, №34. – С.51-54.

21. Kucera C.L., Kirkham D.R. Soil respiration studies in tallgrass prairie // *Ecology*, 1971. – Vol.52., No.5. – P.36-42.

22. Vose J.M. Elliot K.L., Johnson D.W., Tingley D.T., Johnson M.G. Soil respiration response to three years of elevated CO₂ and N fertilization in ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) // *Plant and Soil*, 1977. – Vol.190, No.1. – P.19-28.

23. Малиновський К.А. Продуктивность горных сообществ СССР // Ресурсы биосферы (Итоги советских исследований по Международной биологической программе). – Вып 1. – Ленинград: Изд-во «Наука», 1975. – С.167-198.

Дыхание корней и его вклад в эмиссию CO₂ буроземными почвами на верхней границе леса Черногоры (Украинские Карпаты). Шпакивская И. – Установлена автотрофная составляющая потока углекислого газа с поверхности буроземных почв бореального ряда на верхней границе леса Черногорского массива Украинских Карпат. Показано, что величина дыхания корневых систем колеблется от 0,07 до 1,60 мг С-CO₂·100 г⁻¹·год⁻¹. Вклад дыхания корней в общий поток CO₂ составляет 21-58% в зависимости от типа экосистемы и не коррелирует с массой корней.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, корневое дыхание, буроземи.