

УДК 630.182:47/48

**ОСОБЛИВОСТІ ЕМІСІЇ CO₂ З ПОВЕРХНІ ҐРУНТІВ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ М.
ЛЬВОВА ЗАЛЕЖНО ВІД СТАДІЇ РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДИГРЕСІЇ ЛІСОВИХ
БІОГЕОЦЕНОЗІВ**

З. Гамкало, д.б.н.

Львівський національний університет імені Івана Франка

О. Дерех, аспірант

Національний лісотехнічний університет України

Постановка проблеми. Враховуючи сьогоденні цивілізаційні тенденції, рекреаційне значення лісів продовжуватиме зростати, оскільки потреба в активному відпочинку на природі найчастіше задовольняється через перебування в лісових екосистемах, а тому рекреаційні навантаження на лісові природні комплекси залишатимуться високими. Саме у зв'язку з цим великі площі лісів охопив процес, який отримав назву "*рекреаційної дигресії*", що спонукало до вивчення стану ґрунтів і рослинності в лісопарках і парках, де вплив рекреації особливо значний.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обов'язковою складовою дослідження рекреаційного впливу на ліс і відповідної реакції лісових біогеоценозів є вивчення стану ґрунту. Перші дослідження в цьому напрямі були виконані в Підмосков'ї ще в 1961 році [10]. Результати досліджень, виконаних у різних регіонах світу [27; 30; 32] показують, що рекреація істотно впливає на цей компонент лісових біогеоценозів. Проте наслідки такого впливу залежать від рекреаційного навантаження та особливостей рослинних угруповань і ґрунтового покриву. Нерегульоване відвідування лісу численними групами відпочивальників зумовлює знищення лісової підстилки, трав'яного й мохового вкриттів, підросту [7]. На ущільненому, позбавленому підстилки ґрунті, спостерігаємо ослаблення та відмирання дерев, погіршення структури ґрунту і зменшення його шпаруватості, що призводить до зниження життєдіяльності ґрунтової мікрофлори. Крім того, ослаблене дихання кореневої системи рослин, зменшена вологість ґрунту в декілька разів, збільшена глибина його промерзання.

Особливу увагу при дослідженні рекреаційних впливів звертають на зміни щільності ґрунтів, яка відіграє істотну індикаційну і діагностичну роль в оцінці ступеня рекреаційної дигресії (СРД) територій [8]. Зокрема рекреаційний вплив на сірі лісові ґрунти призводить до збільшення щільності їх будови на 37-40% [18; 19]. Вивчаючи вплив рекреаційних навантажень на культури модрина європейської в умовах Західного регіону України, М.М. Зеленський і Н.П. Жижин [9], відзначали істотні зміни щільності будови ґрунту залежно від стадії рекреаційної дигресії: для I стадії щільність ґрунту склала 0,66 г·см⁻³, II – 0,98, для III – 1,17 г·см⁻³. За даними досліджень Г.А.Полякової [20], щільність будови ґрунту в непорушених рекреацією лісах була 0,85-0,88 г·см⁻³, а на стежках вона виявилася більшою удвічі. На думку низки авторів [9; 19], збільшення щільності будови ґрунту відбувається до глибини 30-50 см.

Оцінка впливу нормованих рекреаційних навантажень на властивості бурих лісових ґрунтів на території Карпатського державного природного парку [16] показала, що щільність будови ґрунту різко збільшується за навантаження у 250 проходів ($0,74 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$), а за навантаження 500 проходів вона наближалася до щільності старої стежки вже в перший рік дії ($0,77 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$). Тривалий (3 роки), але незначний вплив (100 проходів), помітно позначається на щільності будови ґрунту, яка збільшується на таких стежках до $0,67 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ порівняно з контролем $0,54 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$. Велике навантаження призводить до ущільнення приповерхневого шару ґрунту, особливо дернового і гумусового горизонтів.

Необхідно враховувати, що рекреаційний вплив на біогеоценоз призводить до зміни щільності поверхневого шару ґрунту через непряме і пряме ущільнення. Непряме ущільнення відбувається в процесі рекреагенної зміни підпокривної рослинності на світлолюбну злаково-різнотравну. Поряд із цим ґрунт відчуває пряме ущільнення, що виражається в деформації ґрунтового матеріалу, руйнуванні природних агрегатів, утворенні поверхневої кірки.

Зміна щільності ґрунту під впливом рекреаційного навантаження тісно пов'язано зі зміною загальної та диференційної шпаруватості ґрунтів. У темно-сірому лісовому важкосуглинковому ґрунті загальна шпаруватість верхнього (0-10 см) шару зменшується з 55,6% (контроль) до 41,3% (IV СРД). У нижніх шарах ґрунтів на ділянках із різним СРД зміни цього показника менш виражені [18].

Зменшення загальної шпаруватості ґрунту в разі ущільнення призводить до зміни його вологості [1]. Авторами показано, якщо повна вологості шару ґрунту 0-10 см на ділянці 2-го ступеня витоптування становила 39,9 проти 57,8% у контролі, то на стежці – лише 22,3%, тобто зменшення відбулося відповідно в 1,5 і 2,6 рази. Подібними змінами характеризується капілярна вологості. Вона зменшується зі 44,4% (контроль) до 36,5% (2-й ступінь витоптування) і 22,0% (3-й ступінь).

Стійкість до витоптування залежить від гранулометричного складу і вологості ґрунтів: легшого гранулометричного складу (піщані, супіщані) характеризуються меншою стійкістю до рекреаційних навантажень, а за нормального зволоження (тобто свіжі і вологі) – найстійкіші. У разі зміни вологості ґрунтів (як за її збільшення, так і зменшення) стійкість до навантажень знижується.

Ущільнення ґрунту, негативно впливаючи на його структуру, погіршує водопроникність, утруднює надходження кисню до коріння рослин, уповільнює життєдіяльність мікроорганізмів, тобто їхню біогеохімічну активність. Одним із важливих інтегральних індикаторів біологічної активності ґрунтової мікрофлори є виділення CO_2 з ґрунту. Процес виділення CO_2 та споживання кисню ґрунтом називають *ґрунтовим диханням*. Ґрунтове дихання – інтегральна функціональна характеристика інтенсивності продукційних і деструкційних процесів у наземних екосистемах. Виокремлення внесків гетеротрофів і автотрофів у цей процес є надзвичайно складним методичним завданням [26; 28]. За різних природних умов їх співвідношення варіює в дуже широких межах [26; 28; 31], але часто його апіорно вважають рівним 1:1.

Серед компонентів, які беруть участь у ґрунтовому диханні, домінуюче значення мають мікроорганізми, а на частку кореневої системи рослин припадає близько третини від загального потоку CO_2 з ґрунту [5]. Необхідно врахувати, що кількість CO_2 , яку виділяє ґрунт, визначається не тільки біологічними (темпом росту і розвитку рослин і мікроорганізмів, диханням коренів), й також екологічними чинниками (температурою, вологістю повітря і ґрунту та ін.) [17]. Тому емісія CO_2 з поверхні ґрунту має досить чітку добову динаміку (від температури ґрунту залежить інтенсивність дихання коренів і активність ґрунтової біоти). Динаміка емісії CO_2 тісно корелює з температурою верхніх шарів ґрунту (чим вища температура ґрунту, тим інтенсивніше виділяється CO_2) і мікрорельєфом конкретного об'єкта. Водночас, процеси, відповідальні за поглинання (виділення) газів, відбуваються в усьому об'ємі ґрунту як біокосного тіла. Це складний комплекс біофізичних і біохімічних взаємодій і явищ, що передбачає продукування і поглинання газоподібних речовин живою фазою ґрунту, міжфазові взаємодії, хімічні реакції окиснення-відновлення, транспорт газів і парів, їх акумуляцію в нижніх шарах і взаємодію з ґрунтовими водами. Саме цей складний комплекс процесів визначає екологічну газову функцію ґрунтів [22].

Постановка завдання. Метою нашого дослідження було вивчення емісії CO_2 та пов'язаних із нею едафічних чинників залежно від стадій рекреаційної дигресії лісових екосистем зеленої зони м. Львова та різних типів лісорослинних умов.

Виклад основного матеріалу. Територія досліджень знаходиться у приміській зеленій зоні м. Львова – стаціонар «Липники» ($49^\circ 78'$ пн. ш., $24^\circ 04'$ сх. д.), та у межах міста – лісопарк «Зубра» ($49^\circ 69' 13''$ пн.ш., $24^\circ 00' 70''$ сх.д.). Клімат помірно континентальний, з м'якою зимою, затяжною вологою весною, теплим дощовим літом і відносно сухою осінню. Середньорічна температура повітря становить $+7,2$ °С, найнижча вона у січні ($-4,6$ °С), найвища – в липні ($+17,3$ °С). Пересічна річна кількість опадів в регіоні складає 650 мм в рівнинній частині, відносна вологість становить 80% [21].

Об'єктами досліджень є ґрунти вологої грабової діброви (стаціонар у лісопарку «Зубра») та вологої дубово-грабової бучини (стаціонар «Липники»). Ґрунти – темно-сірі, опідзолені, суглинисті на лесоподібних відкладах. В основу оцінки (СРД) покладено методіку, розроблену С.А. Генсіруком і співавторами [3]. Додатково застосували методіку І.В. Шукеля для оцінки дигресії за кількістю побутових відходів і місць розкладання вогнищ [24; 25].

Для вивчення дихання ґрунтів використовували польовий метод абсорбції CO_2 , відомий як «метод Штатнова» у модифікації Б.Н. Макарова [15]. На основній ділянці розміщували посудини-ізолятори об'ємом 5 л, під якими на триніжку ставили чашку Петрі з 10 мл 0,1н розчину NaOH. Як контроль у чашку Петрі наливали замість розчину лугу дистильовану воду, на якій готували розчин лугу. Усі вимірювання здійснювали у триразовій повторності. Результати вимірювання питомого потоку CO_2 з поверхні ґрунту подавали у $\text{мг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ($\text{мг}/\text{м}^2\cdot\text{год}$). Щільність твердої фази визначали пікнометричним методом, щільність будови – за допомогою приладу з лабораторії Литвинова (об'єм циліндра 50 см^3) в триразовій

повторності, польову вологість – термостатно-ваговим методом за температури 105°C. Загальну, капілярну і некапілярну пористості визначали розрахунковим методом.

Дослідження виконані у середині серпня (17-18.08.2013 р.), оскільки згідно з результатами досліджень М.І. Дергачової [4] у цей період органічна речовина ґрунтів (ОРГ) перебуває у найстабільнішому стані: переважають гумусові речовини, міцно пов'язані з мінеральною частиною ґрунтів, а лабільних фракцій міститься мінімальна кількість. Незалежно від біогеохімічних перетворень, які відбуваються з ОРГ протягом року, саме у серпні вона досягає стабільного стану, а тому в цей пізньолітній період має найбільш повторювані з року в рік кількісні та якісні характеристики.

Статистичну обробку експериментальних даних і графічне оформлення виконали за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel 2010 з надбудовою Attestat 12.5.

Результати експериментальних досліджень наведені у табл. 1 і 2.

Стаціонар «Липники». Як видно з даних табл.1, емісія CO₂ з поверхні ґрунту лісоекологічного стаціонару коливається в досить широких межах – 55,9-101,5 мг·м⁻²·год⁻¹. Мінімальні значення емісії діоксиду карбону з ґрунту вологої дубово-грабової бучини характерні за максимального антропогенного навантаження (V СРД).

Таблиця 1

Особливості емісії CO₂ та пов'язані з нею показники лісового ґрунту стаціонару «Липники» за різної стадії рекреаційної дигресії (D)

D	CO ₂ , мг·м ⁻² ·год ⁻¹	C _{орг} , %	t, °C	Вологість, %	Шпаруватість аерації, %	pH _{вод}
V	55,9 ±2,79	0,75	16,5	26,55	24,5	5,21
IV	95,9 ±1,61	0,90	15,5	23,98	24,0	4,87
III	78,2 ±2,79	1,00	15,3	20,38	24,1	4,98
II	101,5 ±1,61	0,93	16,0	26,82	51,77	4,25
I	82,0 ±1,61	1,30	15,1	27,62	45,89	5,0

Якщо аналізувати причини такої мінімальної емісії CO₂ з поверхні ґрунту, то найімовірнішою є порівняно низька шпаруватість аерації лісового ґрунту – 24,5%, що зумовлено найбільшим витоптуванням цієї ділянки внаслідок рекреаційного навантаження, тоді як за I- II стадій дигресії цей показник є значно більшим – 51,8-45,9%. З іншого боку, встановлено, що вже за шпаруватості аерації 15-25% (щодо об'єму ґрунту) газообмін у ґрунті хороший, 10-15% – задовільний, менше 10% – незадовільний. Фізіологічним мінімальним запасом повітря, або *порогом аерації*, є п'ятнадцятивідсоткове заповнення шпар ґрунту [11].

Для нормального розвитку рослин важливо, щоб ґрунт характеризувався шпаруватістю аерації не менше ніж 20% його об'єму, а створення стійкого запасу вологи в ґрунті, за хорошого газообміну, необхідне, щоб шпаруватість аерації

становила 55-65% загальної шпаруватості. Якщо вона менша за 50%, то це призводить до погіршення газообміну і може спричинити розвиток анаеробних процесів у ґрунті.

За дефіциту кисню у ґрунті (вологість, ущільнення) мікроорганізми використовують для окиснення органічної речовини як джерело кисню нітрати, сульфати, оксиди Мангану і Феруму, що сприяє нейтралізуванню кислотності, тоді як процеси аеробного окиснення, навпаки, супроводжуються посиленням кислотності середовища, наприклад за рахунок нітратоутворення чи інших продуктів мінералізації – кислотоутворювальників. Таке підкислення мікроорганізмами життєвого середовища є важливим регуляторним механізмом їхньої активності. Вважають, що незворотне зменшення активності ґрунтових мікроорганізмів визначає реакція ґрунтового середовища: пороговим її значенням вважають $\text{pH} < 3,5$ [14]. За нашими даними (табл.1), саме для ґрунту, який характеризується мінімальною емісією CO_2 , властивий більший ступінь кислотності ($\text{pH} = 5,21$ од., тобто менша кислотність, тоді як за активнішої емісії ($101,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$), pH зменшується до 4,25 од., що вказує на суттєве підкислення ґрунтового середовища, ймовірно, за рахунок використання як донорів кисню оксигенвмісних сполук ґрунту. За цих умов вміст NO_3 ($\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) у ґрунті був мінімальним (14,1) у разі найбільшої емісії CO_2 ($101,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) і збільшувався за її зменшення – відповідно 24,3 ($82,0 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$) і 44,2 ($78,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$).

Підкислення ґрунту за II стадії дигресії досліджуваної екосистеми може свідчити, що саме більша шпаруватість аерації сприяла інтенсифікації аеробного окиснення органічних субстратів, а це зумовило підкислення ґрунту. Проте, як видно з наведених літературних даних, такий рівень підкислення ґрунтового середовища не становить суттєвої загрози функціонуванню ґрунтової біоти.

Якщо аналізувати отримані результати у зв'язку зі стадією рекреаційної дигресії вологої дубово-грабової бучини, то, за винятком V СРД, відсутні достовірні зв'язки між ступенем антропогенного впливу і виділенням CO_2 з поверхні ґрунту.

Спостерігаємо лише певний тренд до зменшення показників емісії діоксиду карбону з поверхні ґрунту у зв'язку з витоптуванням дослідних ділянок (рис. 1). При чому не встановлено достовірних впливів на емісію CO_2 з ґрунту його температури (коефіцієнт кореляції r становить лише 0,16), вологості ($r = 0,20$), шпаруватості аерації ($r = 0,26$) та pH ($r = -0,10$). Відсутність таких зв'язків зумовлена різним характером змін досліджуваних показників за різної стадії рекреаційної дигресії. Зокрема, емісія CO_2 була меншою за I, III і особливо V стадій дигресії і більшою – за II і IV стадій, що не супроводжувалося відповідними змінами температури ґрунту, його вологості і шпаруватості аерації. Навпаки, мінімальну і максимальну емісії CO_2 спостерігали за максимальних у процесі дослідження температур ґрунту (відповідно 16,5 і 16,0 °C) та вологості (26,6 і 26,8 %) (див. табл.1).

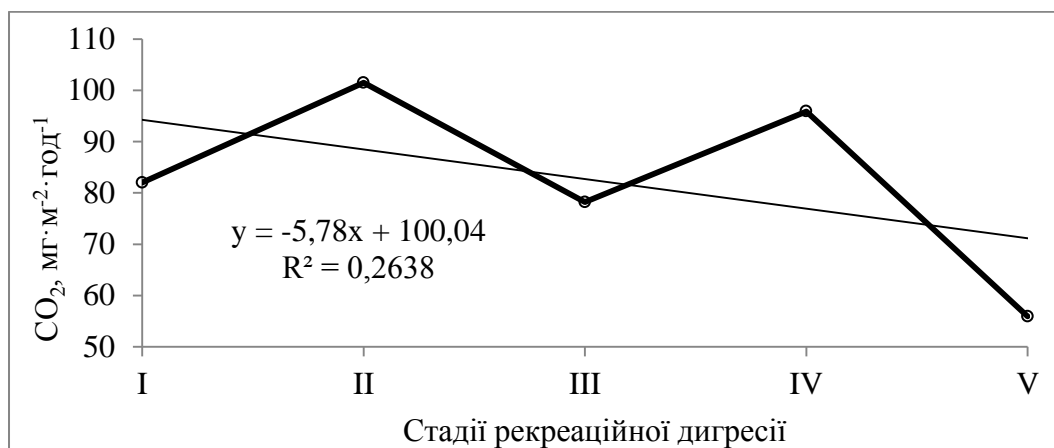


Рис.1. Зміни показників емісії CO₂ з поверхні ґрунту вологої дубово-грабової бучини у зв'язку з рекреаційним навантаженням (стаціонар «Липники»).

Стаціонар «Зубра». Як видно з даних табл. 2, амплітуда коливань показників емісії CO₂ з поверхні ґрунту вологої грабової діброви, яка зазнає посиленого рекреаційного навантаження, оскільки розташована в межах густонаселеного Сихівського житлового масиву, є меншою (66,1-84,8 мг·м⁻²·год⁻¹), ніж у стаціонарі «Липники».

Таблиця 2

Особливості емісії CO₂ та пов'язані з нею показники лісового ґрунту стаціонару «Зубра» за різної стадії рекреаційної дигресії (D)

D	CO ₂ , мг·м ⁻² ·год ⁻¹	C _{орг} , %	t, °C	Вологість, %	Шпаруватість аерації, %	pH _{вод}
V	72,7±2,79	1,06	17,0	17,88	12,38	5,45
V	66,1±1,61	1,04	18,3	13,95	16,73	5,09
IV	71,7±1,61	1,11	17,0	19,86	20,76	4,75
III	84,8±4,27	1,39	16,5	19,56	28,49	5,71

Якщо оцінювати зміни показників ґрунтової емісії CO₂ з інтенсивністю рекреаційного навантаження, то спостерігаємо певний тренд (рис. 2), який вказує на зменшення її зі збільшенням стадії дигресії екосистеми. Це особливо помітно між III і V стадіями дигресії, тоді як між IV і V стадіями відмінності за цим показником практично відсутні.

Із посиленням рекреаційного навантаження (III-V СРД) на 0,5-1,8 °C зростає температура ґрунту, зменшується його вологість (від 19,6 до 13,9-17,0%) і особливо шпаруватість аерації (від 28,5 до 12,4-16,7%), а також ступінь кислотності (від 5,71 до 5,09-5,45 од. рН). Такі зміни фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів внаслідок рекреаційного навантаження (витоптування) є наслідком комплексного

впливу, який поєднує, з одного боку, ущільнення ґрунту, а з іншого – елімінування рослинного покриву. Обидва ці чинники впливають на дихальну функцію ґрунту: якщо перший впливає на забезпечення ґрунтової мікрофлори киснем і обмін газами, то від другого залежить надходження до ґрунту органічної речовини у формі мортмаси і корневих виділень як субстратів окиснювальних процесів – джерела емісії CO₂.

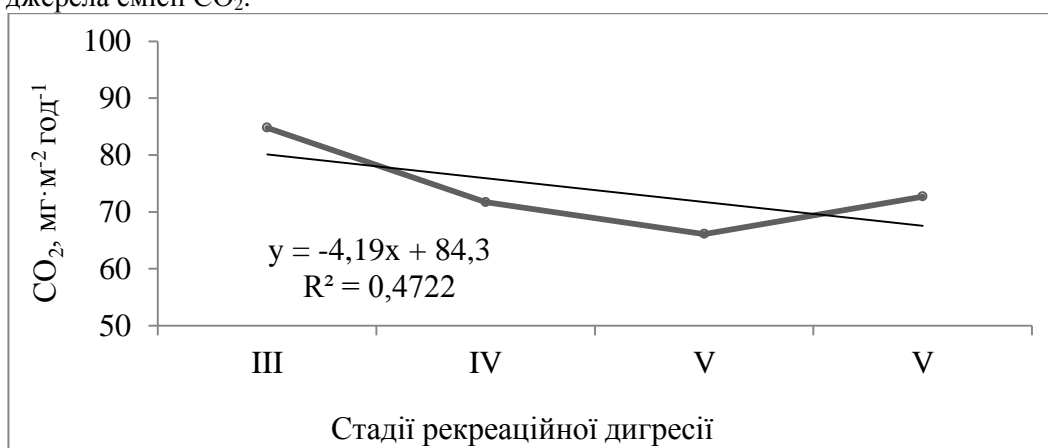


Рис. 2. Зміни показників емісії CO₂ з поверхні ґрунту вологої дубово-грабової бучини у зв'язку з різним рекреагенним навантаженням (стаціонар «Зубра»).

У ґрунті стаціонару «Зубра» зменшення шпаруватості аерації супроводжується його підкисленням, тоді як у ґрунті стаціонару «Липники» спостерігали протилежний ефект – підлугування. На наш погляд, ґрунти стаціонару «Зубра», які є менш кислими, різняться за якісним складом ґрунтової мікрофлори і співвідношенням процесів автотрофного і гетеротрофного дихання, що, власне, впливає на особливості кислотно-основної рівноваги ґрунту.

Дані інших дослідників [2; 6; 29] також свідчать про виражену тенденцію "підлугування" ґрунту із посиленням рекреаційних навантажень. Зростання показників рН у ґрунтах, порушених рекреацією біогеоценозів, можна пояснити зменшенням надходження в поверхневі горизонти "кислого" опаду. Результати досліджень В.Г. Бганцової та ін. [1] підтверджують висновки про зменшення кислотності ґрунту із зростанням ступеня рекреаційної дигресії. Ці зміни спостерігали до глибини 20-25 см, але найчіткіше вони виражені в поверхневих горизонтах. Зокрема, для шару 0-5 см середні значень рН_{KCl} у контролі дорівнювали 3,6 од.; для ділянки 2-го ступеня вищогопсування – 4,4 од. і 3-го ступеня (стежка) – 4,9 од.

Відомо, що рекреаційний вплив призводить також до зменшення вмісту гумусу в ґрунті [2; 23; 24]. Іноді спостерігали деяке збільшення вмісту гумусу у верхньому горизонті ґрунтів на ранніх стадіях дигресії, що відбувається, ймовірно, за рахунок "втискування" органічного матеріалу підстилки в гумусовий горизонт, а

також посилення процесу біохімічної деструкції підстилки за її постійного перемішування. Посилення рекреагенного навантаження призводить до зменшення вмісту органічних сполук Карбону на 1-2 % [12]. Іноді зміна вмісту гумусу може бути більш вираженою: зі зростанням рекреаційної дигресії вміст органічної речовини в шарі 0-3 см темно-сірого ґрунту фітоценозу дуба зменшився більш ніж удвічі (з 6,8 до 3% С). У нижчих шарах ґрунту (3-20 см) залежно від СРД спостерігали зменшення вмісту $C_{\text{орг}}$ на 44-48 % [2].

Нормовані рекреаційні навантаження (250-500 проходів) на модельних стежках Карпатського державного природного парку призвели до зменшення вмісту гумусу в бурих лісових ґрунтах з 11,8 до 9 % [16]. Дослідженнями В.Г.Бганцової та ін.[1] показано, що максимальне зменшення вмісту гумусу (в 3 рази) спостерігали на ділянках 3-го ступеня витоптування і особливо в поверхневому шарі ґрунту. Контрольна ділянка і ділянка 2-го ступеня витоптування за вмістом гумусу не відрізнялися.

Встановлено також зменшення вмісту $C_{\text{орг}}$ у ґрунті стаціонару «Липники» у зв'язку з посиленням рекреаційного навантаження: якщо за I СРД його вміст становив 1,30% то за IV – 0,90 і V – 0,75%. У ґрунті стаціонару «Зубра» вміст $C_{\text{орг}}$ зменшився від 1,39% (III СРД) до 1,11 (IV СРД) і 1,04-1,06% – за V СРД. Варто зазначити, що в стаціонарі «Липники» кореляційний зв'язок між вмістом $C_{\text{орг}}$ і питомим потоком CO_2 з поверхні ґрунту є слабким ($r = 0,26$), а на стаціонарі «Зубра» – дуже високим ($r = 0,96$). Причиною може бути різний вміст органічних речовин у ґрунті. Зокрема, за V СРД у ґрунті першого стаціонару вміст $C_{\text{орг}}$ становив 0,75%, а другого – 1,04-1,06 %, тобто був у 1,4 раза більшим, що відповідно сприяло кращому субстратному забезпеченню процесу окиснювальної деструкції ОРГ.

Варто зауважити, що на цьому етапі досліджень ми не враховували екологічну якість органічної речовини ґрунту, зокрема її лабільність, як основного субстрату мінералізаційних процесів, що також може бути причиною таких змін у процесі емісії CO_2 за однакового рекреагенного навантаження.

Висновки. Вивчено зміни структурно-функціональних властивостей ґрунтів зеленої зони м. Львова внаслідок рекреагенного навантаження різної інтенсивності. Встановлено, що за максимального витоптування ділянки вологої грабової діброви (V СРД) шпаруватість аерації лісового ґрунту зменшилася до 24,5% порівняно з 51,8-45,9% (I- II СРД). Із посиленням рекреаційного навантаження зменшився вміст $C_{\text{орг}}$ у ґрунті від 1,30% (I СРД) до 0,90 (IV СРД) і 0,75% (V СРД). Мінімальні показники величини емісії CO_2 з ґрунту вологої грабової діброви і вологої дубово-грабової бучини характерні за максимального рекреагенного навантаження (V СРД). Показники емісії CO_2 з поверхні ґрунту, щільності аерації та вмісту $C_{\text{орг}}$ можуть використовуватися як високочутливі індикатори оцінки рекреаційного навантаження на ґрунтовий компонент біогеоценозу.

Бібліографічний список

1. Бганцова В. А. Влияние рекреационного лесопользования на почву / В. А. Бганцова, В. Н. Бганцов, Л. А Соколов // Природные аспекты рекреационного использования леса. М. : Наука, 1987. – С. 70-95.
2. Бондарь В. И. Химические свойства темно-серых лесных почв в рекреационных дубравах южной левобережной лесостепи УССР / В. И. Бондарь // Лесоводство и агромелиорация. – К. : Урожай, 1984. – Вып. 68. – С. 15-18.
3. Генсирук С. А. Рекреационное использование лесов / С. А. Генсирук, М. С. Нижник, Р. Р. Возняк. – К. : Урожай, 1987. – 248 с.
4. Дергачева М. И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири) / М. И. Дергачева. – Новосибирск : Наука, 1984. – 152 с.
5. Дыхание почвы : сб. науч. тр. / под ред. Г. А. Заварзина – Пушкино, 1993. – 144 с.
6. Жевелева Е. М. Влияние рекреационной нагрузки на некоторые химические свойства почв Карпатского заповідника / Е. М. Жевелева, О. В. Офицера // Вестник МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1985. – № 2. – С. 63-65.
7. Жижин Н. П. Рекреативные изменения подстилки в лесах Прикарпатья / Н. П. Жижин, Н. Н. Зеленский // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. – М. : Наука, 1983. – С. 71-73.
8. Жижин Н. П. К методике изучения рекреационной дигрессии лесных биогеоценозов / Н. П. Жижин, Н. Н. Зеленский // Природа и научно-технический прогресс. – Кишинев, 1973. – С. 164-166.
9. Зеленский Н. Н. Исследование рекреационной дигрессии курортных лесов Предкарпатья и природоохранные принципы организации и ведения хозяйств в них : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. с.-х. наук / И. Н. Зеленский. – Львов, 1979. – 20с.
10. Зеликов В. Д. Влияние уплотнения почвы на насаждения в лесопарках / В. Д. Зеликов, В. Г. Пшонова // Лесн. хоз-во, 1961. – № 12. – С. 34-37.
11. Ивлев А. М. Физика почв / А. М. Ивлев, А. М. Дербенцева. – Владивосток : Изд-во Дальневосточного ун-та, 2005. – 74 с.
12. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы / Л. О. Карпачевский. – М. : Лесн. промышленность, 1981. – 261 с.
13. Кудрявцев В. А. Эмиссия углекислого газа с поверхности почвы искусственного ельника / В. А. Кудрявцев. – АГРО. – 2009. – № 10-12. – С. 27-28.
14. Лукомская К. А. Влияние техногенного загрязнения химкомбината НПО «Азот» на интенсивность дыхания дерново-подзолистой почвы лесной экосистемы / К. А. Лукомская // Экологические проблемы охраны живой природы : тез. докл. Всесоюз. конф. – М., 1990. – Ч. 2. – С. 137-138.
15. Макаров Б. Н. К методике определения интенсивности выделения CO₂ из почвы (дыхание почвы) / Б. Н. Макаров // Почвоведение. – 1970 г. – №5. – С. 139-143.
16. Влияние нормированны рекреационных нагрузок на свойства бурых лесных почв / О. Е. Марфенина, Е. М. Жевелева, З. А. Зарифова [и др.]. // Вестник МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1984. – № 3. – С. 52-58.
17. Молчанов А. Г. Газообмен и баланс CO₂ биогеоценозов сосняков и дубрав при изменении атмосферных условий и влагообеспеченности : автореф. дис. на соискание ученой степени докора биол. наук / А. Г. Молчанов. – М. : 2007. – 48 с.
18. Пастернак П. С. Изменение физических свойств темно-серых лесных почв под влиянием рекреационных нагрузок/ П. С. Пастернак, В. И. Бондарь // Лесоводство и агромелиорация. – К. : Урожай, 1983. – Вып. 67. – С. 18-23.

19. Пешко В. Р. Влияние рекреационной нагрузки на некоторые свойства лесных почв / В. Р. Пешко, Л. И. Половников, И. В. Делеган // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и дерево-обрабатывающая промышленность. – К. : Будівельник, 1979. – № 10. – С. 18-21.
20. Полякова Г. А. Рекреация и деградация лесных биогеоценозов / Г. А. Полякова // Лесоведение. – 1979. – № 3. – С. 70-80.
21. Природні ресурси Львівщини / [Матолич Б. М., Ковальчук І. П., Іванов Є. А. та ін.]. – Львів : ПП Лукашук В.С., 2009. – 120 с.
22. Смагин А. В. Газовая фаза почв / А. В. Смагин. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.
23. Стародубова В. А. Влияние рекреационных нагрузок на изменение свойств почвы в горном Крыму / В. А. Стародубова // Почвоведение. – 1985. – № 3. – С. 123-126.
24. Шукель І. В. Рекреаційні дигресії в лісах Ківерцівського лісництва Волинської області / І. В. Шукель, С. Б. Марутяк, І. Ю. Поронник // Наук. вісн. ДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.4. – С. 26–34.
25. Шукель І. В. Рекреаційні дигресії соснових насаджень Ревуцького лісництва у зеленій зоні міста Рівне / І. В. Шукель // Наук. вісн. Укр. ДЛТУ, 2004. – Вип. 14.6. – С. 102–107.
26. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations / [Hanson P. J., Edwards N. T., Garten C. T. et al.]. // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 48, № 1. – P. 115–146.
27. Kutiel P. Recreational use impact on soil and vegetation at picnic sites in Aleppo pine forests on Mount Carmel, Israel. / Kutiel P., Zhevelev Y. // Israel Journal of Plant Sciences. – 2001. – Vol.49. – P. 49-56.
28. Kuzyakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods // Soil Biol. Biochem. – 2006. – Vol. 38, № 3. – P. 425–448.
29. Lockaby B.C. Camping effects on selected soil and vegetative properties / Lockaby B.C., Dunn B.A. // J. Soil and Water Conserv. – 1984. – Vol. 3, N 3. – P. 215-216.
30. Marion J. L. Management practices that concentrate visitor activities: camping impact management at Isle Royale National Park, USA / Marion J. L., Farrell T. A. // Journal of Environmental Management – 2002. – Vol. 66. – P.201-212.
31. Ryan M. G. Interpreting, measuring, and modelling soil respiration / Ryan M. G., Law B. E. // Biogeochemistry. – 2005. – Vol. 73, № 1. – P. 3-27.
32. Zabinski C. A. Effects of recreational impacts on soil microbial communities / Zabinski C. A., Gannon, J. E. // Environmental Management. – 1997. – Vol. 21. – P. 233-238.

Гамкало З., Дерех О. Особливості емісії CO₂ з поверхні ґрунтів зеленої зони м. Львова залежно від стадії рекреаційної дигресії лісових біогеоценозів

Вивчено зміни структурно-функціональних властивостей ґрунтів зеленої зони м. Львова внаслідок рекреаційного навантаження різної інтенсивності. Встановлено, що за максимального витоптування вологої грабової діброви (V стадія рекреаційної дигресії – СРД) шпаруватість аерації темно-сірого лісового ґрунту зменшилася до 24,5%, порівняно з 51,8-45,9% (I-II СРД). Із посиленням рекреаційного навантаження зменшився вміст C_{орг} у ґрунті від 1,30% (I СРД) до 0,90 (IV СРД) і 0,75% (V СРД). Мінімальні значення емісії CO₂ з ґрунту характерні за максимального рекреаційного навантаження (V СРД). Показники емісії CO₂ з поверхні ґрунту, щільності аерації та вмісту C_{орг} можуть використовуватися як високочутливі індикатори оцінки рекреаційного навантаження на ґрунтовий компонент біогеоценозу.

Ключові слова: емісія CO₂, ґрунт, аерація, рекреаційна дигресія.

Gamkalo Z., Derekh Z. The peculiarities of CO₂ emission from the soil surface in the green space of the city of Lviv depending on the stage of recreational digression of forest biogeocoenoses

The changes of structural and functional properties of the soil as a result of recreational loading of varying intensity in Green space of the city of Lviv. It is established that for maximum trampling of moist hornbeam oakery (stage V of recreational digression(SRD)), aeration porosity of dark gray forest soil decreased to 24.5 % compared to 51,8-45,9% (SRD I-II). With increasing recreational loading C_{org} content in the soil decreased from 1.30% (SRD - I) to 0.90 (SRD - IV) and 0,75% (SRD – V). The minimum value of CO₂ emission from the soil is characterized at the maximum recreation loading (SRD - V). The indexes of CO₂ emission from the soil surface, aeration porosity, and CO_{org} content can be used as highly-sensitive indicators for assessing recreational loading on the soil component biogeocoenosis.

Key words: CO₂ emissions, soil aeration, recreational digression

Гамкало З., Дерех О. Особенности эмиссии CO₂ с поверхности почвы зеленой зоны г. Львова в зависимости от стадии рекреационной дигрессии лесных биогеоценозов

Изучены изменения структурно-функциональных свойств почв зеленой зоны г. Львова вследствие рекреационной нагрузки разной интенсивности. Установлено, что при максимальном вытаптывании влажной грабовой дубравы (V стадия рекреационной дигрессии – СРД), пористость аэрации темно-серой лесной почвы уменьшилась до 24,5 % по сравнению с 51,8-45,9 % (I-II СРД). С увеличением рекреационной нагрузки содержание C_{орг} в почве уменьшилось с 1,30 % (I СРД) до 0,90 (IV СРД) и 0,75 % (V СРД). Минимальные значения эмиссии CO₂ из почвы характерны при максимальной рекреационной нагрузке (V СРД). Показатели эмиссии CO₂ с поверхности почвы, пористость аэрации и содержания C_{орг} могут использоваться как высокочувствительные индикаторы оценки рекреационной нагрузки на почвенный компонент биогеоценоза.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, почва, аэрация, рекреационная дигрессия.