

## 2. ЕКОЛОГІЯ ТА ДОВКІЛЛЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<http://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40270613>

Article received 13.09.2017 р.

Article accepted 28.09.2017 р.

УДК 630.23:631.433.3:504.5:553.661.1

ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

@✉ Correspondence author

Z. G. Hamkalo

zenon.hamkalo@gmail.com

**З. Г. Гамкало<sup>1</sup>, М. Л. Копій<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів, Україна

<sup>2</sup> Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

### ПИТОМИЙ ПОТІК CO<sub>2</sub> З ПОВЕРХНІ ТЕХНОЗЕМІВ ЯК КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ

Встановлено сезонну залежність питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів на місці підземної виплавки сірки родовища "Язівське" від варіантів фітомеліорації. У зимовий період (08.12) емісія CO<sub>2</sub> була найменшою (50,2-267,6 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>), що зумовлено низькими температурами ґрунту і відповідно слабкою біотичною активністю едафотопу, і коливалася, залежно від варіанта фітомеліорації, більше ніж у 5 разів. Навесні (23.05) питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів збільшився, порівняно з зимовим, в 1,5-12,1 раза. Найбільше посилення емісії CO<sub>2</sub> спостерігали на варіанті, розташованому поза межами підземної виплавки сірки, а мінімальне – під штучно створеним сосновим насадженням. Влітку (16.08) емісія CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів збільшилася, порівняно з весняним періодом, у 1,1-3,0 раза, причому максимальне зростання характерне для варіанта під підростом берези разом із сосною – 2134,3 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>. Характеру сезонних змін питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів властивий ефект "амплітудної модуляції", коли зміна температури середовища зумовлює адекватний характер посилення (послаблення) процесу емісії діоксиду карбону, а його інтенсивність регулюється якістю субстрату (С: N) та фізичними і фізико-хімічними умовами едафотопу (рН, дисперсністю твердої фази), які залежать від структурно-функціональної організації системи ґрунт-рослина.

**Ключові слова:** техноземи; виплавка сірки; емісія CO<sub>2</sub> з ґрунту; сезонні зміни; якість субстрату.

**Вступ.** Проблема деградації сучасних екосистем взагалі і особливо їх базової основи – ґрунту – набуває глобального характеру. Видобуток мінеральної сировини і такі види діяльності людини, як створення звалищ, золовідвалів, хвостосховищ, будівництво об'єктів військового, промислового і цивільного призначення призводять до виведення з використання щорічно 6-7 млн га цінних для національного господарства земель. Така проблема характерна і для України, де загальна площа земель, порушених добуванням корисних копалин та зайнятих промисловими відходами, становить 270 тис. га. Зокрема, внаслідок видобутку самородної сірки Яворівським державним гірничо-хімічним підприємством (ДГХП) "Сірка" на Львівщині, що здійснювали протягом 1969-2005 рр., шляхом кар'єрного відпрацювання покладів Язівського родовища та методом підземної виплавки сірки (ПВС) на Немирівському родовищі, вилучено із земельного фонду Яворівського р-ну маже 5 % земель (7400 га). Після припинення розробки Язівського родовища самородної сірки сформувався посттехногенний ландшафт, який представлений двома типами екосистем: водними, які створені у межах

кар'єрної виїмки площею 1080 га, водосховищ і акумулюючих басейнів (1520 га) і наземними, які приурочені до зовнішніх відвалів (918 га), гідровідвалу (794 га), хвостосховищ (680 га) та видобувних полів підземної виплавки сірки (77 га) (Gaydin & Zozulya, 1996).

Враховуючи, що наявність земель, порушених промисловою діяльністю, завдає великої еколого-економічної шкоди і погіршує соціальні умови життя людей, проблема повернення їх в народногосподарське використання стає невідкладним завданням. Вирішується це питання здійсненням комплексу різних заходів, одним з яких є використання технології технічної рекультиваци, як засобу формування техноземів та подальшою їх фітомеліорацією. Виконані раніше дослідження свідчать, що відновлення ґрунтового покриву порушених техногенних територій у межах сірчанних родовищ може здійснюватися природним шляхом як ході первинної сукцесії рослинного покриву, так і з використанням методів біологічної рекультиваци земель (Bilonoga, & Malinovskyi, 2001), а розкриті та вміщувальні породи мають природний потенціал родючості, який сприяє колонізації таких субстратів вищими рослинами. Сприятли-

#### Інформація про авторів:

**Гамкало Зенон Григорович**, д-р біол. наук, професор кафедри раціонального використання природних ресурсів.

Email: zenon.hamkalo@gmail.com

**Копій Марія Леонідівна**, аспірант кафедри екології. Email: marykop16@ukr.net.

**Цитування за ДСТУ:** Гамкало З. Г., Копій М. Л. Питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів як критерій ефективності способів фітомеліорації. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 66–70.

**Citation APA:** Hamkalo, Z. G., & Kopyi, M. L. (2017). Specific Flow of CO<sub>2</sub> From the Surface of Technosemes as a Criterion of the Efficiency of Phytomelioration Methods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 66–70. <https://doi.org/10.15421/40270613>

ві фізичні і фізико-хімічні властивості цих порід, а також наявність достатньої кількості біофільних елементів зумовлюють їхню значну цінність як ґрунтоутворювальників у формуванні техноземів на відвалах видобувних підприємств (Trofimov, 1975). Треба зазначити, що саме пухкі розкриті породи складають основу літогенних ресурсів рекультивації, оскільки їхні фізико-хімічні властивості сприятливі для створення кореневого шару рослин. У разі їх раціонального використання у процесі рекультивації можна значно поліпшити ґрунтово-екологічний стан техногенних ландшафтів.

З огляду на це, дослідження процесів, які відбуваються у техноземах протягом усіх циклів їх утворення, є дуже важливим і технологічно, і екологічно виправданим завданням ревіталізації порушеного ландшафту. Отримана при цьому інформація може знайти наукове і практичне застосування у сфері природооблаштування. Її також потрібно враховувати й під час оцінювання впливу деастрованих земель на величину емісії парникових газів з педосфери в атмосферу і розрахунку глобального балансу Карбону.

Що стосується дослідження емісії CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів найбільших за розмірами післярудникових ландшафтних систем у Західному регіоні України, зумовлених видобуванням самородної сірки у Передкарпатському сірконосному басейні, то це питання залишається відкритим. Правда, В. Левик (Levik, 2009; Levyk, & Brzezińska, 2008) у лабораторному експерименті з використанням газового хроматографа GC-14 Shimadzu визначила респіраційну активність ґрунту і показала, що мікробна біомаса та активність респіраційних процесів в ембріоземах техногенних територій сіркодобувних підприємств Львівщини варіюють залежно від способу видобутку сірки, глибини відбору зразків та кислотності ґрунту. Зокрема, на території відкритих гірничих робіт (Язівський рудник) ґрунти відвалу № 3 та дамби гідровідвалу характеризувалися вищим рівнем біотичної активності порівняно з ембріоземами хвостосховища флоатації, де високий вміст сполук сірки інгібує розвиток мікробних популяцій та процеси дихання.

У зв'язку з недостатньою оцінкою рівня емісії CO<sub>2</sub> з поверхні ембріоземів та техноземів досліджуваної території, наша увага головно звернута на вирішення цього питання. Останнє також важливе у зв'язку з пошуком інтегрального експрес-індикатора екологічної якості техноземів, який би характеризував ефективність застосованих технологічних прийомів рекультивації, зокрема відновлення характерного для зонального ґрунту співвідношення процесів синтезу і розкладу органічної речовини. Таким експрес-індикатором, у комплексі з іншими показниками (вмістом лабільної органічної речовини, фізичної глини, шпаруватістю аерації, рН, С:N), може стати величина питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту.

Відомо, що виділення CO<sub>2</sub> ґрунтами сильно варіює в різних едафотопах і залежить від якості субстрату мінералізації (вмісту і лабільності органічної речовини, забезпеченості поживними речовинами, ступеня кислотності, гранулометричного складу), температурного чинника, антропогенного навантаження тощо (Bedernichek, & Namkalo, 2014; Namkalo, et al., 2015; Namkalo, & Derekh, 2014; Partyka, & Namkalo, 2013; Partyka, & Namkalo, 2015).

Встановлено, що емісія діоксиду карбону, як високочутливий індикатор процесів, що відбуваються в кон-

кретному ґрунтовому середовищі, відображає також швидкість рекультивації земель, деградованих внаслідок видобутку корисних копалин, зокрема відкритих гірничих робіт (Beś, 2010; Rogalski, & Beś, 2008). Це пов'язано з тим, що провідним механізмом перетворення породи в ембріоземи чи еволюції техноземів є процеси окиснювальної мінералізації і трансформація органічної речовини за участі мікробіоти. Тому метою досліджень є вивчення кількісно-якісних характеристик техноземів та сезонних змін питомого потоку CO<sub>2</sub> з їхньої поверхні під різними рослинними асоціаціями в межах підземного видобутку сірки Яворівського сірчаного кар'єру.

**Об'єкти та методика дослідження.** Дослідження виконано впродовж зимового, весняного та літнього періодів 2015-2016 рр. на таких дослідних об'єктах: П 1.1 (рекультивована ділянка у межах підземного видобутку сірки з кунічиново-стенактисовою рослинною асоціацією); П 2.1 (рекультивована ділянка у межах підземного видобутку сірки з появою підросту берези повислої та сформованою березово-кунічиново-стенактисовою рослинною асоціацією); П 3.1 (рекультивована ділянка у межах підземного видобутку сірки з появою підросту берези повислої і сосни звичайної та сформованою березово-сосново-осоково-моховою рослинною асоціацією); П 4.1 (рекультивована ділянка у межах підземного видобутку сірки зі штучно створеним сосновим лісом та сформованою сосново-мітлицево-ожинково-моховою рослинною асоціацією); 5.1 (ділянка поза межами підземного видобутку сірки, за межами лісу з сформованою подорожниково-різнотравною рослинною асоціацією).

Питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів досліджували за допомогою камерно-статичного методу з використанням портативного ІЧ (NDIR)-аналізатора серії K-30 (США) – USB CO<sub>2</sub> Probe Data Logger (0 - 1 % (10,000 ppm) і програмного забезпечення GasLab® Sensor Configuration & Data Logging Software. Як статичну камеру використовували пластиковий, світлонепропускний циліндр діаметром 10 і висотою 20 см, який втискували у ґрунт, звільнений від рослинності. Через 10 хв (час необхідний для стабілізування газового режиму порушеного ґрунту) у нього встановлювали ІЧ-аналізатор. Реєстрацію динаміки емісії CO<sub>2</sub> здійснювали впродовж 5 хв (з інтервалом 15 с), що дає змогу, за трендом змін, оцінити інтенсивність дихання ґрунту. Перед наступним вимірюванням виймали аналізатор із камери, провітрювали його різкими рухами на висоті зросту. Переконавшись, що прилад показує фонову концентрацію CO<sub>2</sub> (390-420 ppm), приступали до чергового вимірювання.

Розрахунок питомого потоку газу здійснювали з урахуванням тангенса кута нахилу лінії тренду, тобто кутового коефіцієнта в рівнянні лінійної регресії (А), за такою формулою:

$$Q = \frac{19,3 \cdot A \cdot 1000 \cdot h(\text{см})}{273 + t^{\circ}\text{C}}$$

де: Q – питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту (мг CO<sub>2</sub> · м<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup>); h – висота камери; t °С – температура повітря в камері (°С). Фізико-хімічні показники ґрунту визначали за стандартними в Україні методиками, а гранулометричний склад – згідно із стандартом ISSS.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Згідно з даними табл., істотний вплив на вміст елементів-орга-

ногенів та Калію, особливо у верхніх кореневмісних верствах техноземів, мають сформовані на них рослинні асоціації. Так, саме під штучно створеним сосновим лісостаном (П 4.1), у верхньому 10-сантиметровому шарі технозему, виявлено найменші вмісти Фосфору (13,1 мг·кг<sup>-1</sup>) і Калію (15,0 мг·кг<sup>-1</sup>) і найбільший вміст Нітрогену. Варто зауважити, що профільний розподіл вмісту органічного Карбону на цьому варіанті відрізняється від інших тим, що не встановлено його переважного накопичення у шарі 0-10 см, як це характерно для інших варіантів, а відбувається збагачення всієї досліджуваної товщі 0-40 см. Розбалансованість пулів органічного Карбону і Нітрогену зумовило зменшення у поверхневому шарі цього технозему С:N співвідношення до мінімального значення – 5,4, тоді як на інших варіантах воно коливалось від 8,1 до 14,5, що можна пояснити особливістю сформованої рослинної асоціації, в якій домінує значення має сосна звичайна.

Відомо, що величина С:N є одним з найважливіших індикаторів екологічного стану ґрунту. Вона вказує на

інтенсивність і направленість перебігу мікробіологічних і хімічних процесів, що призводять до накопичення та трансформації органічної речовини. Це також важлива інформація про процеси, що відбуваються у ґрунтоутворювальній породі під час формування ґрунтового покриву (Wójcik, & Kowalik, 2014). Встановлено також, що субстрати з дуже високою концентрацією Карбону і малою Нітрогену погано мінералізуються бактеріями і грибами, якщо немає додаткових джерел Нітрогену. Найактивніше йде розкладання органічних речовин за С:N, що становить 25-30:1. Як видно з даних табл., співвідношення цих елементів істотно відрізняється у досліджуваних техноземах. Так, найбільшим показником (14,5) у шарі 0-10 см характеризується технозем дослідної ділянки П 1.1, де сформувалась кунічиново-стенактисова рослинна асоціація, представлена видами, що сприяють накопиченню органічного опаду на його поверхні.

Табл. Загальна характеристика якості техноземів на місці підземного видобутку сірки

Шифр зразка	Глибина відбору, см	рН Н2О	Гідролітична, Нн	Сума ввібраних основ (S)	С	N	C:N	Mg	P	K	Вміст фракцій, %			
											2-0,05	0,05-0,002 пил	<0,002 мул	Σ пил+мул
				смель (+) кг <sup>-1</sup>	%		мг кг <sup>-1</sup>							
Кунічиново-стенактисова														
П 1.1	0-10	4,8	7,60	8,60	1,42	0,10	14,5	95,2	43,6	90,0	88	10	2	12
	11-20	6,4	1,20	50,00	0,51	0,11	4,6	240,0	15,3	65,0	58	37	5	42
	21-30	6,3	0,40	7,60	0,69	0,10	7,0	155,0	28,3	25,0	81	10	9	19
	31-40	5,0	2,00	5,00	0,24	0,08	2,9	107,0	34,9	25,0	85	8	7	15
Березово-кунічиново-стенактисова														
П 2.1	0-10	5,7	2,00	20,60	1,02	0,13	8,1	16,2	39,2	22,5	67	30	5	35
	11-20	4,8	4,00	6,00	0,78	0,11	7,0	8,7	32,7	15,0	65	31	4	35
	21-30	5,1	4,00	8,00	0,84	0,13	6,7	8,6	45,8	0,0	61	34	5	39
	31-40	4,9	3,20	7,20	0,60	0,10	6,1	6,2	26,2	5,0	61	34	5	39
Березово-сосново-осоково-мохова														
П 3.1	0-10	4,5	4,40	9,40	1,30	0,10	13,3	34,0	26,2	25,0	71	23	6	29
	11-20	4,9	3,20	7,40	0,54	0,06	9,6	19,6	32,7	5,0	70	23	7	30
	21-30	4,9	2,80	7,20	0,27	0,08	3,2	25,5	15,3	5,0	70	24	6	30
	31-40	5,9	2,00	6,00	0,42	0,08	5,0	16,2	21,8	5,0	83	15	2	17
Сосново-мітлищево-ожиново-мохова														
П 4.1	0-10	4,6	4,80	10,00	0,76	0,14	5,4	14,3	13,1	15,0	72	22	6	28
	11-20	4,9	3,60	9,60	0,72	0,10	7,3	8,8	26,2	5,0	74	23	3	26
	21-30	4,9	3,20	8,40	0,66	0,14	4,7	5,9	19,6	0,6	75	23	2	25
	31-40	4,8	1,60	6,4	0,75	0,10	7,6	6,8	17,4	0,0	89	9	2	11
Подорожничково-різнотравна														
П 5.1	0-10	5,1	3,60	8,60	2,06	0,17	12,2	41,1	61,0	65,0	55	43	2	45
	11-20	5,0	4,40	9,60	1,68	0,15	10,9	34,9	24,0	27,5	52	46	2	48
	21-30	5,6	2,40	6,40	0,84	0,10	8,6	17,2	37,1	20,0	66	32	2	34
	31-40	5,2	2,40	7,80	0,45	0,07	6,4	67,3	32,7	35,0	67	31	2	33

Дещо менша величина співвідношення С:N (13,3) характерна для дослідної ділянки П 3.1, на якій сформувалася мішаний березово-сосновий підріст та березово-сосново-осоково-мохова рослинна асоціація, що сприяють утворенню органічного опаду перехідного типу (модер). Подібні тенденції виявлено і на дослідній ділянці П 5.1 під трав'яною рослинністю.

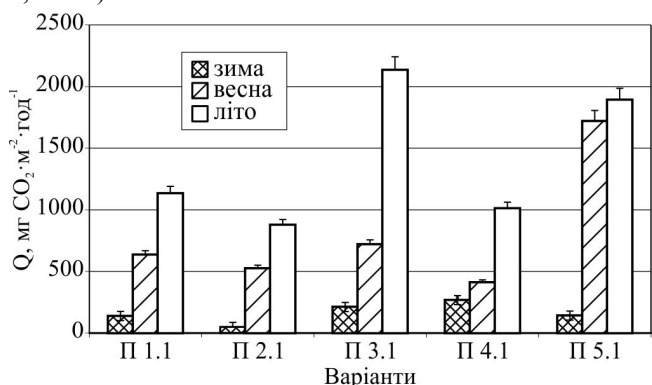
Варто зауважити, що найменше підкислення верхнього 10-сантиметрового шару техноземів спостерігалось на варіанті П 2.1, де ступінь кислотності становив 5,7, а гідролітична кислотність – 2,0 смель(+)-кг<sup>-1</sup>, а найбільше – на варіантах П 3.1 і П 4.1, відповідно 4,5 і 4,4 смель(+)-кг<sup>-1</sup> та 4,6 і 4,8 смель(+)-кг<sup>-1</sup>. Проте найбільша гідролітична кислотність – 7,6 смель(+)-кг<sup>-1</sup> характерна для поверхневого шару технозему П 1.1, за ступеня кислотності 4,8 од. Звертає також увагу різке накопичення в шарі 0-10 см варіанту П 2.1 увібраних

основ, сума яких становить 20,6 смель(+)-кг<sup>-1</sup>, та їх аномально високий вміст – 50,0 смель(+)-кг<sup>-1</sup> у шарі 11-20 см варіанту П 1.1, що вплинуло на гідролітичну кислотність техноземів у цих шарах.

**Особливості питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні досліджуваних техноземів.** Як видно з рис., питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні досліджуваних техноземів залежить від сезону року. Так, у зимовий період (8.12), емісія CO<sub>2</sub> є найменшою (50,2-267,6 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>), що, головне, зумовлено низькими температурами ґрунту (6°C) і, відповідно, слабкою біотичною активністю едафотопу. Проте, навіть за зимових умов, величина емісії CO<sub>2</sub>, залежно від варіанта рекультивациі, коливається більше ніж у 5 разів: мінімальні значення характерні для ділянки з підростом берези (П 2.1), а максимальні – у разі штучно створеного соснового насадження (П 4.1).

У весняний період (23.05), за температури ґрунту 13 °С і повітря 21 °С, питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів збільшується, порівняно зі зимовим, у 1,5-12,1 раза, залежно від досліджуваного варіанту. Найбільші посилення емісії CO<sub>2</sub> (у 12,1 раза) спостерігали на варіанті П 5.1, розташованому на луці (поза межами підземної виплавки сірки) і 10,4 раза – на варіанті п 2.1, де розміщений підріст берези, а мінімальне (в 1,5 раза) – під штучно створеним сосновим насадженням (варіант П 4.1) і найменшого значення С: N у поверхневому (0-5 см) шарі технозему.

Варто зауважити, що едафотопи П 2.1 і 5.1, для яких властиве найбільше весняне посилення емісії CO<sub>2</sub>, порівняно зі зимовим періодом, характеризувалися найменшим ступенем кислотності (рН вод.=5,1-5,7 од.) і більшим вмістом (у товщі 0-40 см) пилюватих фракцій (0,05-0,002 мм) – 30-43 % та меншим – піщаних (2-0,05 мм) – 67-55 %.



**Рис.** Особливості сезонних змін питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів на місці підземного видобутку сірки, під різними рослинними асоціаціями: П 1.1 – куничниково-стенактисовою; П 2.1 – березово-куничниково-стенактисовою; П 3.1 – березово-сосново-осоково-моховою; П 4.1 – сосново-мітлищево-ожиново-моховою під штучно створеним сосновим лісом і П 5.1 – подорожниково-різнотравною за межами лісу (лука)

Звертає також увагу, що найбільше збільшення весною питомого потоку CO<sub>2</sub> відбувається з поверхні контрольного ґрунту (за межами підземної виплавки сірки) з найбільшим вмістом C<sub>орг</sub> – 2,06 % і N<sub>зар</sub> – 0,17 %, а також Фосфору (61 мг·кг<sup>-1</sup>) і Калію (65 мг·кг<sup>-1</sup>), тобто за найкращих трофічних умов.

Влітку (16.08), емісія CO<sub>2</sub> з поверхні досліджуваних техноземів, за температури ґрунту 22-30 °С і повітря 28-34 °С, знову збільшилася, порівняно з весняним періодом, у 1,1-3,0 раза, причому максимальне зростання характерне для варіанта П 3.1, з підростом берези і сосни звичайної – 2134,3 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>. Дещо менше, у 2,5 раза, збільшилося виділення CO<sub>2</sub> під штучно створеним сосновим насадженням (варіант П 4.1), але цей питомий потік газу становив тільки 1011,8 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>, тобто був у 2,1 раза меншим, порівняно з варіантом П 3.1. Це зумовлено меншим вмістом у техноземі варіанта П 4.1 C<sub>орг</sub> (0,76 проти 1,30), показника С: N (5,4 проти 13,3), Фосфору (13,1 проти 26,2 мг·кг<sup>-1</sup>) і Калію (15,0 проти 25,0 мг·кг<sup>-1</sup>), тобто значно гіршим забезпеченням процесу окиснювальної мінералізації органічним субстратом та його якістю. Важливим також є те, що на варіанті П 5.1, де спостерігалася максимальна емісія CO<sub>2</sub> у весняний період, літнє збільшення її було мінімальним, тільки в 1,1 раза, і становила 1892 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>.

Зрозуміло, що літня емісія CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів залежить від дії багатьох чинників, серед яких домінують температура ґрунту і вологість (Rogalski, & Beş, 2008), а також його забезпечення лабільними фракціями Карбону і Нітрогену (Bedernichek, & Hamkalo, 2014; Partyka & Hamkalo, 2015). В інкубаційних експериментах з розкривною породою найбільше виділення CO<sub>2</sub> спостерігалася за температури 30 °С (Rogalski, & Beş, 2008), а збільшення температури від 10 до 30 °С, збільшувало викиди вуглекислого газу на 573 %.

**Висновки.** Встановлено залежність питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів на місці підземної виплавки сірки від сезону року і варіантів фітомеліорації. У зимовий період емісія CO<sub>2</sub> була найменшою (50,2-267,6 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>), що зумовлено низькими температурами ґрунту і відповідно слабкою біотичною активністю едафотопу та коливалася, залежно від варіанту фітомеліорації, більше ніж у 5 разів. У весняний період питомий потік CO<sub>2</sub> з поверхні техноземів збільшився, порівняно зі зимовим, у 1,5-12,1 раза, залежно від досліджуваного варіанта. Найбільше посилення емісії CO<sub>2</sub> спостерігали на варіанті, розташованому поза межами підземної виплавки сірки, а мінімальне – під штучно створеним сосновим насадженням. Влітку емісія CO<sub>2</sub> з поверхні досліджуваних техноземів збільшилася, порівняно з весняним періодом, у 1,1-3,0 рази, причому максимальне зростання характерне для варіанта під підростом берези разом із сосною – 2134,3 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>.

З результатів досліджень добре видно ефект "амплітудної модуляції" сезонних змін питомого потоку CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту, коли зміна температури середовища зумовлює адекватний характер посилення (послаблення) процесу емісії діоксиду карбону, а його інтенсивність регулюється якістю субстрату (С: N) та фізичними і фізико-хімічними умовами едафотопу (рН, дисперсність твердої фази), які залежать від структурно-функціональної організації системи *ґрунт-рослина*.

## Перелік використаних джерел

- Bedernichek, T. Y., & Hamkalo, Z. G. (2014). *Labilnaya organicheskoye veshchestvo pochvy: teoriya, metodologiya, indikatornaya rol*. Kyiv: Kondor, 180 p. [in Ukrainian].
- Beş, A. (2010). Carbon dioxide emissions from fly-ash in the reclamation process. *Ecological chemistry and engineering*, 17(8), 23–31.
- Bilonoga, V., & Malinovskiy, A. (2001). Pervichnyye suksessii tekhnogennykh landshaftov sernykh mestorozhdeniy. *Ekologicheskoye problemy prirodopolzovaniya i bioraznobraziya Lvovshchiny: Trudy NOSH, VII*, 76–82. [in Ukrainian].
- Gaydin, A., & Zozulya, I. (1996). Sovremennost i budushcheye predpriyatiy gorno-khimicheskoy promyshlennosti Lvovshchiny. Problemy ekologicheskoy bezopasnosti i upravlyayemogo kontrolya dinamicheskikh prirodno-tekhnogennykh sistem. *Materialy praktich. konf.*, (pp. 116–122), Lvov, 24-26.09.1996. Kyiv. [in Ukrainian].
- Hamkalo, Z. G., Grytsev, L. S., Kurilko, L. G., Bedernichek, T. Yu., & Partyka, T. V. (2015). Ekologicheskoye kachestvo pochvy agroekosistem: teoreticheskoye, metodologicheskoye i metodicheskoye aspekty. *Predgornyy i gornyy zemledelye i zhivotnovodstvo*, 58(1), 41–50. [in Ukrainian].
- Hamkalo, Z.G., & Derekh, A. I. (2014). Otsenka emissii CO<sub>2</sub> s poverkhnosti pochv zelenoy zony g. Lvova pri razlichnykh stadiy rekratsionnoy digressii lesnykh ekosistem. *Vestnik Lvovskogo natsional. agrarnogo universiteta: agronomiya*, 18, 7–17. [in Russian].
- Levik, V. I. (2009). Respiratsiynaya aktivnost yembriozemiv tekhnogennykh territoriy sernykh mestorozhdeniy Lvovshchiny. *Nauchnyye zapiski gosudarstvennogo prirodovedcheskogo muzeya*, 25, 111–116. [in Ukrainian].

- Levyk, V., & Brzezińska, M. (2008). The effect of pH on the soil respiration processes of technogenic territories of former sulphur mines in Nemyriv (Ukraine) and Jeziórko (Poland). *7th International Workshop for Young Scientists*, (pp. 40–41), 29-30.05.2008. BioPhys Spring, Prague, Czech Republic.
- Partyka, T. V., & Hamkalo, Z. G. (2015). Osobennosti emissii CO<sub>2</sub> s poverkhnosti mineralnykh i organogennykh pochv Verkhodnisterskoi allyuvialnoy ravniny za raznogo zemlepolzovaniya. *Biologiya i ekologiya pochv: Materialy I-y vseukrainskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*, (pp. 57–58), 14-16 oktyabrya 2015, Lvov. [in Ukrainian].
- Partyka, T. V., & Hamkalo, Z. G. (2013). Indikatory ekologicheskogo kachestva organicheskogo veshchestva pochv Verkhodnisterskoi allyuvialnoy ravniny. *Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-ta imeni Vladimira Gnatyuka. Ser.: Geografiya*, 2, 184–192. [in Ukrainian].
- Rogalski, L., & Beś, K. A. (2008). Warmiński. Carbon Dioxide Emission to the Atmosphere from Overburden under Controlled Temperature Conditions. *Polish J. of Environ. Stud.*, 17(3), 427–432.
- Trofimov, S. S. (1975). *Ekologiya pochv i pochvennyye resursy Kemerovskoy oblasti*. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye, 300 p. [in Russian].
- Wójcik, J., & Kowalik, S. (2014). The Content of the Organic Carbon and Total Nitrogen in the Soil of the Reclaimed Repository of the Sulphur Mine "Machów" after Many Years of Agricultural and Forestry Management. *Geomatics and Environmental Engineering*, 8(4), 91–101. <https://doi.org/10.7494/geom.2014.8.4.91>

**З. Г. Гамкало<sup>1</sup>, М. Л. Копий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Львовский национальный университет им. Ивана Франко, г. Львов, Украина

<sup>2</sup> Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина

## УДЕЛЬНЫЙ ПОТОК CO<sub>2</sub> С ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНОЗЕМОВ КАК КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ФИТОМЕЛИОРАЦИИ

Установлена зависимость удельного потока CO<sub>2</sub> с поверхности техноземов на месте подземной выплавки серы от сезона года и вариантов фитомелиорации. В зимний период эмиссия CO<sub>2</sub> была наименьшей (50,2-267,6 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·ч<sup>-1</sup>), что обусловлено низкими температурами почвы и соответственно слабой биотической активностью эдафотопов, и колебалась, в зависимости от варианта фитомелиорации, больше чем в 5 раз. Весной (23.05) удельный поток CO<sub>2</sub> с поверхности техноземов увеличился, по сравнению с зимним, в 1,5-12,1 раза. Наибольшее увеличение эмиссии CO<sub>2</sub> наблюдали на варианте, расположенном за пределами подземной выплавки серы, а минимальное – в искусственно созданном сосновом насаждении. Летом (16.08) эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности исследуемых техноземов увеличилась, по сравнению с весенним периодом, в 1,1-3,0 раза, причем максимальный рост характерен для варианта под подростом березы вместе с сосной – 2134,3 мг CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·ч<sup>-1</sup>. Характеру сезонных изменений удельного потока CO<sub>2</sub> с поверхности техноземов присущ эффект "амплитудной модуляции", когда изменение температуры среды приводит к адекватному характеру усиления (ослабления) процесса эмиссии диоксида углерода, а его интенсивность регулируется качеством субстрата (С: N), физическими и физико-химическими условиями эдафотопов (рН, дисперсностью твердой фазы), которые зависят от структурно-функциональной организации системы почва-растение.

**Ключевые слова:** техноземы; выплавка серы; эмиссия CO<sub>2</sub> с почвы; сезонные изменения; качество субстрат.

**Z. G. Hamkalo<sup>1</sup>, M. L. Kopyi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup> Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

## SPECIFIC FLOW OF CO<sub>2</sub> FROM THE SURFACE OF TECHNOSEMES AS A CRITERION OF THE EFFICIENCY OF PHYTOMELIORATION METHODS

Degradation of modern ecosystems in general, and especially their basic foundation – soil becomes global. Thus, minerals extractions and such human activities as the creation of landfills, ash dumps, tailings, construction of military, industrial and civil objects use leads to removal from use annually 6.7 mln. ha of lands valuable for the national economy. This problem is typical for Ukraine, where the total area of land affected by mining operations and engaged in industrial wastes is 270 thousand ha. In particular, due to extraction of native sulfur by Yavoriv State mining and chemical enterprise (SMCE) "Sulfur" in Lviv region, which was held during the 1969-2005 years, by the way of working of Yaziv deposits and by underground sulfur melting in Nemyriv, removed from the land fund of Yavoriv district almost 5 % of lands (7400 ha). According to availability of lands, affected by industrial activity, causes significant ecological and economic damage and worsens the social conditions of life, the problem of returning lands into national economic use becomes a priority. The lack of assessment of CO<sub>2</sub> emissions from the surface and embriozems and tehnozems of study area, our attention has been paid to this issue. It was also established that emission of carbon dioxide, as a highly sensitive indicator of the processes occurring in a specific soil environment reflects the speed of reclamation of degraded lands due to extraction, including open-mining extraction. Thereby, the study of processes that occur in tehnozems during all cycles of education is very important and technologically and environmentally justified by task revitalization of damaged landscape. Thus resulting information can be found in science and practical application in landscapes formation. It is also necessary to take into account when assessing the impact of degraded lands on amount of greenhouse gases emission from pedosphere into atmosphere and calculating the global carbon balance. The season dependence of the specific flow of CO<sub>2</sub> from the surface of the technozems at the site of underground sulfur smelting from the variants of phytomelioration has been established. In winter (08.12), CO<sub>2</sub> emission was the lowest (50.2-267.6 mg CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>), which is caused by low soil temperatures and, accordingly, weak biotic activity of edaphotopes and depending on the variant of phytomelioration, fluctuated more than 5 times. In the spring (23.05), the specific flow of CO<sub>2</sub> from the surface of technozems increased, in comparison with the winter one, by 1.5-12.1 times. The greatest increase in CO<sub>2</sub> emissions was observed on the variant located outside the underground smelting of sulfur, and the minimum – in the artificially created pine plantation. In summer (16.08), the CO<sub>2</sub> emission from the surface of the studied technozems increased 1.1-3.0 times in comparison with the spring period, with the maximum increase characteristic for the variant under the birch, along with the pine – 2134.3 mg CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. The nature of seasonal changes in the specific flow of CO<sub>2</sub> from the surface of technozems has the effect of "amplitude modulation", when the change in the temperature of the medium leads to an adequate character of the amplification (weakening) of the carbon dioxide emission process, and its intensity is regulated by the quality of the substrate (C: N) and physical and physicochemical Conditions of edaphotop (pH, dispersion of the solid phase), which depend on the structural and functional organization of the soil-plant system.

**Keywords:** technozems; sulfur smelting; CO<sub>2</sub> emission from soil; seasonal changes; substrate quality.