

УДК 631.43:631.436.6:631.445.2

Трофименко П. И., к.с.-х.н., доцент (Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко)

ОБЪЕМЫ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ ДЕРНОВО-СРЕДНЕПОДЗОЛИСТОЙ ГЛЕЕВАТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПОД РОЖЬЮ ОЗИМОЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД

В статье представлены результаты исследований по определению объемов эмиссии диоксида углерода из дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной почвы на водноледниковых отложениях под рожью озимой в холодный период 2015-2016 рр. Установлено, что в течение холодного периода исследуемая почва выделила около 2438 кг с 1 га диоксида углерода (665 кг углерода).

Освещена роль основных обуславливающих процессы продуцирования почвой диоксида углерода факторов по приоритетности влияния: температура почвы ↔ температура воздуха ↔ концентрация в приземном слое воздуха CO₂.

Установлено, что коэффициенты корреляции между объемами эмиссии диоксида углерода с одной стороны и температурой почвы и температурой воздуха – с другой, составили соответственно 0,66 и 0,64.

Зафиксировано минимальное влияние концентрации диоксида углерода в приземном слое воздуха на высоте 0,35 м на интенсивность протекания эмиссии CO₂ из почвы ($r = 0,50$). Показано, что слабый характер взаимного влияния обоих факторов обусловлен отсутствием четкой временной динамики их варьирования. Установленная зависимость также является следствием закономерного сезонного замедления процесса вегетации ржи озимой.

Выявлено влияние эффекта «замораживания – оттаивания» почвы на общую величину эмиссии диоксида углерода в атмосферу. Установлено, что усиление выбросов CO₂ происходило в отдельные временные интервалы февраля 2016 г., что стало следствием увеличения объемов его выделения в атмосферу. Установлено, что факт смещения интервала времени усиления выбросов CO₂ из почвы на более ранний период – с конца февраля-начала марта на начало февраля в 2016 году, является следствием глобальных процессов повышения температуры воздуха.

Ключевые слова: продуцирование CO₂, диоксид углерода, объемы эмиссии, холодный период, концентрация CO₂.

Вступление. На фоне процессов глобального потепления, повышения температуры воздуха на территории Украины, в зимние месяцы наблюдается заметное увеличение продолжительности бесснежного периода. Наряду с этим протяженность периода с полным промерзанием почв также значительно сокращается, что в конечном итоге обуславливает формирование достаточно благоприятных условий для продуцирования ними диоксида углерода.

Дерново-подзолистые почвы различного гранулометрического состава в зоне Полесья Украины занимают значительные площади. Согласно данным различных авторов [1-6], предоставивших информацию о площадях дерново-подзолистых почв в отдельных областях Украины, их суммарная площадь составляет 1855,4 тыс. га.

Несмотря на низкое естественное содержание в них органического углерода, они играют значительную роль в круговороте этого элемента. К основной особенности этого типа почв следует отнести их низкую способность к секвестрации органического вещества. В условиях агроландшафта в холодный период года происходит хотя и медленное, но перманентное выделение из почвы CO_2 , что неизбежно приводит к увеличению обще годовых объемов потерь углерода. При этом биологическое связывание C-CO_2 растениями в процессе фотосинтеза в этот временной интервал года минимальное и возможно при исключительно благоприятных условиях, лишь в конце осени и начале весны.

Учитывая выше сказанное, важными являются вопросы оценки степени опасности увеличения объемов выбросов CO_2 в атмосферу «за счет» холодного периода года и установление приоритетности обуславливающих упомянутое увеличение факторов.

До основных целей исследований в данной работе следует отнести установление динамики интенсивности продуцирования диоксида углерода дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной почвой на водно-ледниковых отложениях и определение объемов его выделения в атмосферу в течение холодного периода; определение зависимости эмиссии диоксида углерода от различных обуславливающих факторов – температуры почвы, атмосферного воздуха, а также значений концентрации CO_2 в приземном слое воздуха.

Потери CO_2 почвами в холодный период, как известно, зависят от абиотических факторов окружающей среды – температуры воздуха и почвы [7; 8], атмосферного давления [7; 9].

Однако в холодный период года (01.11-30.04) по сравнению с теплым (01.05-30.10), роль отдельных факторов в формировании объемов эмиссии CO_2 из почвы в атмосферу несколько трансформируется.

Доминирующим фактором, обуславливающим почвенную эмиссию, закономерно считают температуру почвы, которая имеет сезонные, месячные, годовые и суточные осцилляции. При этом, суточные колебания температуры в холодный период, по сравнению с теплым периодом года, особенно в зимней его части, имеют несколько иное значение. Речь идет о том, что в почвенно-климатических условиях севера Украины продуцирование диоксида углерода почвами в ночные часы, учитывая преимущественно отрицательную температуру почвы, фактически прекращается. Поэтому во время определения суточных объемов выбросов CO_2 необходимо понимать, что общая масса углерода формируется за счет дневных потоков двуоксида углерода. Кроме того, некоторые исследователи указывают на значительное усиление эмиссии диоксида углерода вследствие процессов замораживания – оттаивания почв [10].

Таким образом, следует констатировать, что изученность воздействия комплекса обуславливающих интенсивность выделения диоксида углерода факторов остается недостаточной. А вопросы определения объемов продуцирования диоксида углерода дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной почвой на водноледниковых отложениях в зимний период представляет собой важную научную задачу.

Основная часть. Исследования проводились 2015-2016 гг. на территории опытного поля Житомирского национального агроэкологического университета на уравнильных посевах сельскохозяйственных культур. Для проведения исследований на посевах ржи озимой были заложены две мониторинговые точки (табл. 1). С целью исключения бокового газообмена в почву врезались металлические ограничители из нержавеющей стали диаметром 0,13 м и высотой 0,10 м, которые соединялись с железной камерой.

На заложённых точках проведен подекадный замер эмиссии CO_2 с одновременным измерением величин атмосферного давления, температуры воздуха (на высоте 1 м) и почвы (на глубине 0,03 м) – всего 19 наблюдений.

Таблиця 1

Местоположение мониторинговых точек

Номер точки	Название почвы, культура	Координаты		Н, м
		B	L	
T5	дерново-среднепод- золистая глееватая супес- чаная почва на водно- ледниковых отложениях,	50°26'08,84"	28°41'40,45"	256,79
T6	Eutric Podzoluvisols (Pde) (FAO), рожь озимая (Secale cereale L.)	50°26'09,15"	28°41'37,67"	254,97

Определение объемов диоксида углерода на основе камерного статического метода проводили с помощью металлической цилиндрической камеры с параметрами $d = 0,13$ м, $h = 0,35$ м, ($V = 0,0455$ м³) и газоанализатора Testo-535.

Определение интенсивности эмиссии (E_{CO_2}), придерживаясь пятиминутной экспозиции, проводили по формуле, приведенной в работах [11; 12]. При этом, учитывая короткое время измерений, имели в виду, что изменение атмосферного давления внутри камеры несущественно и $P_1 \approx P_2$.

1. если $\alpha \leq 0$

$$E_{CO_2} = \mu_{CO_2} \frac{h - h_z}{Rt} \left(\frac{P_2}{T_2} C_{2ppm} - \frac{P_1}{T_1} C_{1ppm} \right). \quad (1)$$

2. если $\alpha > 0$

$$E_{CO_2} = \mu_{CO_2} \frac{(h - h_z) P_1}{Rt T_1} (C_{2ppm} - C_{1ppm}); \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1, \quad (3)$$

где E_{CO_2} – молярная масса CO_2 ; h – высота камеры, м; h_z – глубина погружения камеры в почву, м; R – молярная газовая постоянная; t – время экспозиции, с; P_1, P_2 – атмосферное давление в камере в начале и в конце экспозиции, Па; T_1, T_2 – температура в камере в начале и в конце экспозиции, К; C_1, C_2 – начальная и конечная концентрации CO_2 в камере; α – коэффициент изменения объема газовой смеси внутри камеры в течение экспозиции.

В отобранных 28.10.15 почвенных образцах на основе стандартных методик определены основные почвенно-агрохимические свойства почвы. Определялись: гранулометрический состав почвы по Качинскому (ГСТУ 4730: 2007), содержание гумуса по Тюрину

(ГОСТ 26213-91), содержание углерода органического вещества (ГСТУ 4289), азот аммонийный (ГСТУ 4729), рН водный (ГОСТ 26423-85), рН солевой (ГОСТ 26483-85), содержание подвижного фосфора P_2O_5 и обменного калия K_2O по Чирикову (ГСТУ 4115-2002) (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика почвы

Номер точки	Показатели почвы							
	Содержание физической глины, %	Гумус, %	Содержание С, %	NH_4^+	P_2O_5	K_2O	рН _{кcl}	рН _{Н₂О}
Т5	15,35	1,34	0,78	14,04	133,39	201,84	4,56	5,5
Т6	14,20	1,07	0,62	16,59	111,06	129,54	4,39	5,4

Для оценки влияния различных экологических факторов окружающей среды (температуры воздуха и почвы, концентрации CO_2 в атмосфере) на эмиссию CO_2 проводился анализ корреляционных связей между этими параметрами.

Особенности влияния атмосферного давления на интенсивность эмиссии диоксида углерода из почв переходной части зоны Полесья Украины к зоне Лесостепи в пределах холодного периода, подробно освещены в работах [7; 10]. Характеристика показателей почвы представлена в табл. 2.

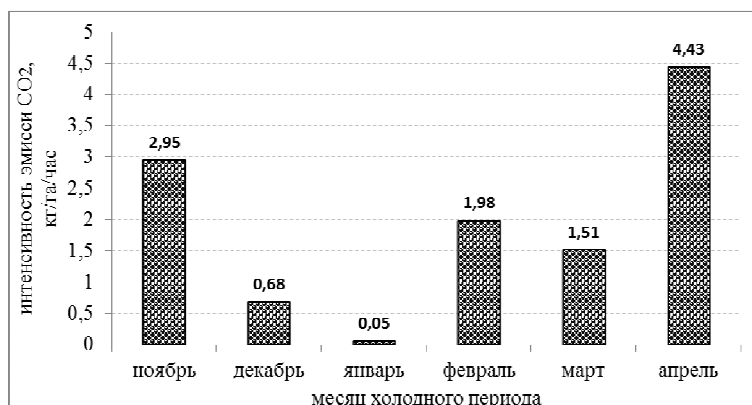


Рис. 1. Средняя интенсивность эмиссии CO_2 из дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы в дневные часы (с 9-00 до 16-00) (по усредненным подекадным измерениям) E_{CO_2} , кг/га/час

В ходе проведенных исследований установлено, что объемы эмиссии диоксида углерода почвой, начиная с ноября 2015 г. постепенно уменьшались и достигали своего минимума в декабре-январе зимнего периода, когда наблюдались самые низкие значения тем-

пературы воздуха и почвы (рис. 1).

В отдельные периоды исследований наблюдалось полное промерзание почвы с относительно стабильным снежным покровом, которое сопровождалось полным прекращением эмиссии CO_2 (зафиксировано 03.01.16 и 23.01.16). При этом в полевых условиях установлена минимальная предельная величина температуры исследуемой почвы, при которой происходит едва заметное выделение CO_2 ($t = 0,8^\circ \text{C}$). В случаях, когда температура была ниже, эмиссионных выбросов не наблюдалось.

Уже начиная с февраля 2016 г. фиксировалось увеличение объемов эмиссии CO_2 в атмосферу с достижением пика в апреле. В течение холодного периода 2015-2016 гг. исследуемая почва выделила около 2438 кг с 1 га диоксида углерода (665 кг углерода) (рис. 2).

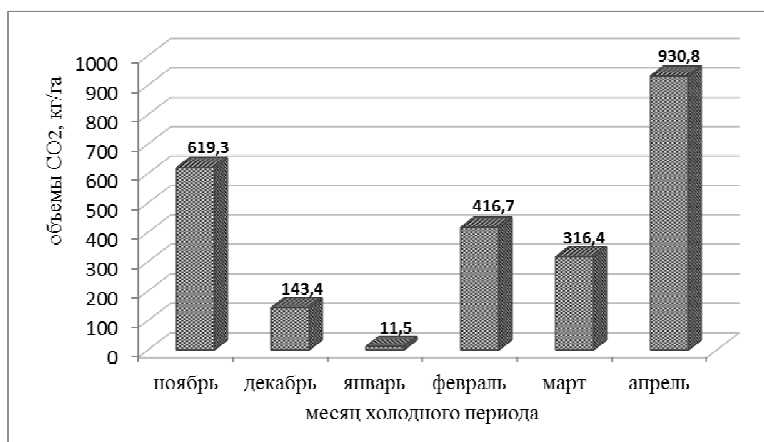


Рис. 2. Месячные объемы выбросов диоксида углерода дерново-среднеподзолистой супесчаной глеевой почвой по месяцам холодного периода в дневные часы, кг/га

Учитывая то, что данная почва находилась под посевом ржи озимой, в структуре общей эмиссии CO_2 преобладали пулы корневого и микробного дыхания.

В результате исследований установлено, что величины интенсивности эмиссии CO_2 из дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной почвы относящейся к подзоне Центрального Полесья Украины, в значительной степени зависели от температуры почвы и температуры воздуха.

Установлено, что коэффициенты корреляции между объемами эмиссии диоксида углерода с одной стороны и температурой почвы

и температурой воздуха – с другой, составили соответственно 0,66 и 0,64 (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции между величиной интенсивности эмиссии CO₂ и абиотическими факторами

Показатели	Значения коэффициентов				
	t, С° почвы	-0,30	1,00	0,85	0,28
t, С° воздуха	-0,41	0,85	1,00	0,50	0,64
концентрация CO ₂ в воздухе на высоте 0,35 м	-0,35	0,28	0,50	1,00	0,31
эмиссия, кг/га/час	-0,22	0,66	0,64	0,31	1,00

* наименьшая значимая величина коэффициентов корреляции – **0,50**

Установлено, что максимальные значения выбросов CO₂ из дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной почвы в дневные часы (с 9-00 до 16-00) приурочены к периоду февраль-апрель (см. рис. 2). При этом объемы эмиссии двуокиси углерода из почвы в феврале незначительно превышают мартовские. Это связано с периодами усилением эмиссии CO₂ вследствие эффекта «замораживания – оттаивания», которые приходились на дни проведения измерений (см. рис. 2). Во время проведения исследований было выявлено три таких периода, которые были зафиксированы 02.02., 12.02. и 22.02. 2016. Усиление выбросов CO₂ в указанные временные интервалы происходило в среднем до 2-3 раз. Следует констатировать, что факт смещения времени возникновения усиления выбросов CO₂ из почвы на более ранний период – с конца февраля-начала марта на начало февраля в 2016 году, является следствием глобальных процессов повышения температуры воздуха. Без сомнения, усиление эмиссионной активности исследуемой почвы в данном случае связано с проявлением последствий парникового эффекта в зимний период.

Относительно невысокие объемы выделенного диоксида углерода в марте объясняются избыточным количеством влаги в верхнем горизонте почвы (He) и земной поверхности. В начале весны 2016 года 03.03 и 13.03 наблюдалось уменьшение объемов выделения CO₂ и что было следствием таяния снега и периодического выпадения осадков в виде мокрого снега и дождя.

Обусловленность эмиссии CO₂ концентрацией диоксида углерода в приземном слое воздуха (на высоте 0,35 м) характеризуется минимально значимым коэффициентом корреляции $r = 0,50$.

Изменение ее величины в атмосфере в течение холодного периода представлены на рис. 3.

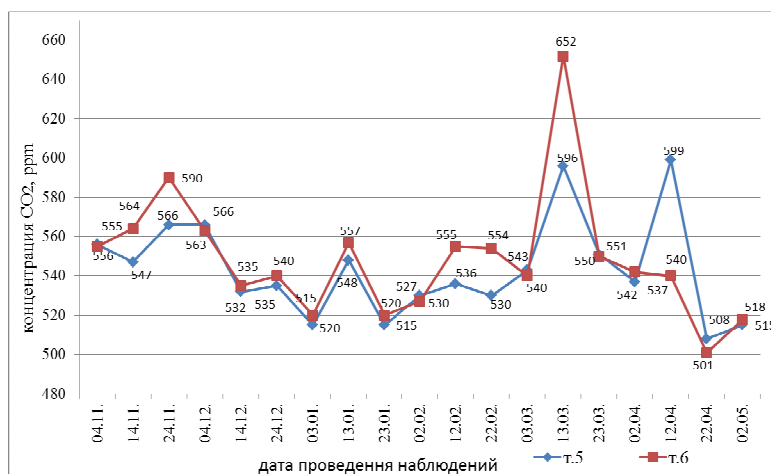


Рис. 3. Динамика концентрации диоксида углерода в приземном слое воздуха в течение холодного периода, ppm

Как видно из приведенных данных, величина концентрации CO_2 не всегда связана интенсивностью эмиссии двуоксида углерода и имеет величины, которые в основном находятся в интервале 500-600 ppm (см. рис. 2, 3).

Временная вариабельность концентрации диоксида углерода в атмосфере зависит от особенностей его диссипации после выделения. Она обусловлена скоростью смещения воздушных масс над участком в момент проведения измерений. Поэтому установленная закономерность объясняется существенным замедлением активной фазы вегетации растений ржи озимой и незначительной активностью микроорганизмов в почве, что в конечном результате и обусловило невысокую интенсивность почвенного дыхания. В холодный период в приземном слое воздуха над почвенным покровом концентрация диоксида углерода является недостаточно высокой, чтобы оказать ощутимое влияние на ход эмиссии.

Корневые выделения CO_2 на посевах ржи озимой в периодически промерзающей почве в сравнении с теплым периодом определено ниже. Поэтому среднюю степень корреляционной связи между этими двумя взаимно обуславливающимися факторами следует считать закономерной.

Заключение. В ходе проведенных исследований установлено, что объемы эмиссии диоксида углерода с дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы на водно-ледниковых отложениях под посевом рожью озимой имеют четкую дифференциацию по месяцам холодного периода 2015-2016 рр. Общий объем выделенного из почвы CO_2 составил 2438 кг с 1 га.

Установлены коэффициенты корреляции между средними значениями показателей свойств дерново-подзолистой супесчаной глеевой почвы и абиотическими показателями атмосферы в течение холодного периода.

Установлено, что определяющими динамику эмиссию CO₂ величинами, являются температура почвы и температура воздуха соответственно $r = 0,66$ и $r = 0,64$.

В результате исследований выявлено минимальное влияние концентрации CO₂ в приземном слое воздуха на интенсивность его диссипации почвой. Выявленная закономерность объясняется сезонным замедлением в почве процессов его продуцирования.

Установленные в конце зимы 2016 г. периоды усиления эмиссии CO₂ вследствие эффекта «замораживания – оттаивания» почвы, заметно повлияли на формирование общих объемов выделения почвой двуокси углерода.

1. Гримало О. Ф. Грунти Сумської області / О. Ф. Гримало, Н. Я. Кисіль. – Харків : Прапор, 1970. – 72 с. **2.** Дібров Б. І. Грунти Житомирської області / Дібров Б. І.; за ред. Н. Б. Вернандер. – Київ : Урожай, 1969. – 59 с. **3.** Засульська Т. М. Грунти Київської області / Засульська Т. М., Захарченко І. Г.; за ред. С. О. Скорини. – К. : Урожай, 1969. – 59 с. **4.** Кваша М. В. Грунти Ровенської області / Кваша М. В. – Львів : Каменяр, 1970. – 100 с. **5.** Полішвайко М. В. Грунти Волинської області / Полішвайко М. В.; за ред. Н. Б. Вернандер. – Львів : Каменяр, 1969. – 62 с. **6.** Скорина С. О. Грунти Чернігівської області / Скорина С. О. – Київ : Урожай, 1969. – 51 с. **7.** Трофименко П. І. Вплив абиотичних чинників на інтенсивність продукування CO₂ грунтами перехідної зони центрального полісся в холодний період / Трофименко П. І., Трофименко Н. В. // Вісн. Харківського нац. аграр. ун-ту ім. В. В. Докучаєва. – 2016. – № 1. – С. 212–221. **8.** Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? / J. M. Baker, T. E. Oshsner, R. T. Venterea, J. T. Griffis // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2007. – Vol. 118. – P. 1–5. **9.** The assessment of the effects of the atmospheric pressure on the intensity of CO₂ emission from Polissya soils in the cold time period / Trofimenko P. I., Trofimenko N. V., Borisov F. I., Zubova O. V. // Int. sc. journal. Mechanization in agriculture and conserving of the resources. – 2016. – № 5. – P. 20–22. **10.** Влияние процессов замораживания – оттаивания на эмиссию парниковых газов из пахотной буроземной почвы / Лопес де Гереню В. О., Курганова И. Н., Типе Р., Лофтфильд Н. // Агрохимия. – 2004. – № 2. – С. 23–30. **11.** Трофименко П. І. Наукове обґрунтування алгоритму застосування камерного статичного методу визначення інтенсивності емісії парникових газів із ґрунту / Трофименко П. І., Борисов Ф. І. // Міжвід. тематич. наук. зб. Агрохімія і ґрунтознавство. – 2015. – № 83. – С. 17–24. **12.** Трофименко П. І. Інтенсивність дихання почв Левобережного Полісся України в умовах агроценоза / Трофименко П. І., Борисов Ф. І., Трофименко Н. В. // Почвоведение и агрохимия (г. Минск). – 2015. – № 2 (55). – С. 56–65.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Веремеєнко С. І. (НУВГП)

Trofymenko P. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Taras Shevchenko National University of Kyiv)

**CARBON DIOXIDE EMISSION VALUES FROM SOD-MIDDLE
PODZOLICS GLEYED SANDY-LOAM SOIL ON WATER ICE SEDIMENTS
UNDER WINTER RYE IN THE COLD PERIOD**

The article presents the results of studies for carbon dioxide emission amount determination from sod-podzolic gleyed sandy loam soil on water ice sediments under winter rye in the cold period 2015-2016. It was found that during the cold period the investigated soil produced about 2438 kg of carbon dioxide from 1 hectare (665 kg of carbon). The role of the main factors determining the soil carbon dioxide production processes by the priority of influence is discussed: soil temperature ↔ air temperature ↔ CO₂ concentration in the surface air layer.

It was found that the correlation coefficients between the volumes of carbon dioxide emission on one hand and the soil temperature and air temperature on the other, were 0,66 and 0,64, respectively.

A minimal effect of carbon dioxide concentration in the surface air layer at an altitude of 0,35 m was recorded on the intensity of CO₂ emission from the soil ($r = 0,50$). It is shown that the weak character of the reciprocal influences between both factors is due to the absence of a clear temporal dynamics of their variation. The established dependence is also a consequence of the regular seasonal slowing down of the winter rye vegetation process.

The impact of the soil «freezing – thawing» effect on the carbon dioxide emissions total amount into the atmosphere was detected. It was identified that the increase in CO₂ emissions occurred at specific time intervals in February 2016, was the result of an increase in the its released volume into the atmosphere.

It has been established that the fact of the interval shift for the time intensification of soil CO₂ emissions for an earlier period – from the end of February / the beginning of March to the beginning of February in 2016 – is a consequence of global air temperature warming processes.

Keywords: CO₂ production, carbon dioxide, volume of emission, cold period, CO₂ concentration.

Трофименко П. І., к.с.-г.н., доцент (Київський національний університет імені Тараса Шевченка)

ОБСЯГИ ЕМІСІЇ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ З ДЕРНОВО-СЕРЕДНЬОПІДЗОЛИСТИХ ГЛЕЮВАТИХ СУПІЩАНИХ ҐРУНТІВ ПІД ЖИТОМ ОЗИМИМ В ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД

У статті представлені результати досліджень з визначення обсягів емісії діоксиду вуглецю з дерново-средньопідзолистих глеюватих супіщаних ґрунтів на воднольодовикових відкладеннях під житом озимим в холодний період 2015-2016 рр. Встановлено, що протягом холодного періоду досліджуваний ґрунт виділив близько 2438 кг з 1 га діоксиду вуглецю (665 кг вуглецю).

Висвітлено роль основних чинників, які обумовлюють процеси продукування ґрунтом діоксиду вуглецю факторів за пріоритетністю впливу: температура ґрунту ↔ температура повітря ↔ концентрація в приземному шарі повітря CO₂.

Встановлено, що коефіцієнти кореляції між обсягами емісії діоксиду вуглецю з одного боку і температурою ґрунту і температурою повітря – з іншого, склали відповідно 0,66 і 0,64.

Зафіксовано мінімальний вплив концентрації діоксиду вуглецю в приземному шарі повітря на висоті 0,35 м на інтенсивність протікання емісії CO₂ з ґрунту ($r = 0,50$). Показано, що слабкий характер взаємного впливу обох факторів обумовлений відсутністю чіткої часової динаміці їх варіювання. Встановлена залежність також є наслідком закономірного сезонного уповільнення процесу вегетації жита озимого.

Виявлено вплив ефекту «заморожування – відтавання» ґрунту на загальну величину емісії діоксиду вуглецю в атмосферу. Встановлено, що посилення викидів CO₂ відбувалося в окремі тимчасові інтервали лютого 2016р., Що стало наслідком збільшення обсягів його виділення в атмосферу. Встановлено, що факт зміщення інтервалу часу посилення викидів CO₂ з ґрунту на більш ранній період – з кінця лютого-початку березня на початок лютого 2016 року, є наслідком глобальних процесів підвищення температури повітря.

Ключові слова: продукування CO₂, діоксид вуглецю, обсяги емісії, холодний період, концентрація CO₂.