

УДК 631.483

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ІЗ ОРГАНІЧНИХ ҐРУНТІВ (PEAT-GHG-MODEL)

Польовий А.М.<sup>1)</sup>, д. геогр. н., професор,  
Микитюк О.Ю.<sup>2)</sup>, к. біол. н., доцент

<sup>1)</sup>Одеський державний екологічний університет,  
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, apolevoy@te.net.ua.

<sup>2)</sup>Інститут розвитку територіальних громад,  
вул. Лютеранська, 21/12, офіс, Київ, Україна, alex.mykytiuk@icdu.kiev.ua

Розглядається, що органічна речовина рослинних залишків та ґрунту поділяється на два активних компартменти та один інертний компартмент.

В модель включені всі головні процеси кругообігу С і N, інтенсивність яких описується рівняннями першого порядку. При розкладанні органічної речовини розглядається емісія CO<sub>2</sub> та CH<sub>4</sub>. Моделюються основні процеси трансформації форм азоту в ґрунті, емісія N<sub>2</sub>O при нітрифікації та денітрифікації.

**Ключові слова:** органічна речовина, вуглець, азот, амоніфікація, нітрифікація, денітрифікація, іммобілізація, емісія CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

### 1. ВСТУП

Динамічне моделювання процесів трансформації органічної речовини ґрунтів є частиною більш складної проблеми – моделювання процесів ґрунтоутворення і функціонування ґрунтів, а в цілому – розвитку всієї ґрунтової системи. Воно є важливим інструментом дослідження функціонування та прогнозування змін ґрунтової системи, кількісної оцінки ролі ґрунтового покриву в балансі парникових газів в атмосфері та в процесах змін клімату.

Інтенсивний розвиток динамічного моделювання органічної речовини ґрунтів відбувався як в рамках створення моделей агроєкосистем, так і цілком самостійно, здебільшого, для лісових ґрунтів. На цій основі визначились основні концептуальні підходи до оцінки динаміки процесів трансформації органічної речовини рослинних залишків та ґрунтів, а також емісії парникових газів.

### 2. ОПИС ЛІТЕРАТУРИ

Наведені в монографії [3] результати аналізу процесу мінералізації органічної речовини рослинних залишків та ґрунтів дозволяють зробити висновок, що темп трансформації має два чітко різних етапи: фазу швидкої і фазу повільної мінералізації. Фаза швидкої мінералізації досить коротка і завершується в перші місяці розкладання рослинних залишків, змінюючись тривалою фазою повільної мінералізації. Такий характер динаміки втрати маси рослинних залишків при розкладанні можна пояснити різними причинами. Фазу швидкої мінералізації зазвичай пов'язують з трансформацією свіжого матеріалу рослинних залишків та його компонентами, які швидко мінералізуються. Існування фази повільної мінералізації пояснюється по-різному: з одного боку, як інгібуючий вплив відносно накопичуваного лігніну, з іншого боку, як результат формування гумусових речовин, які блокують подальше швидке розкладання рослинних залишків.

Характер рослинності є потужним фактором, який впливає на гумусоутворення. Швидкість і спрямованість гуміфікації залежать від багатьох факторів. Основними серед них є кількість і хімічний склад рослинних решток, водний і повітряний режими, склад ґрунтових мікроорганізмів, реакція ґрунтового розчину, гранулометричний склад ґрунту тощо. Виділяються декілька ситуацій, характерних для впливу водно-повітряного режиму ґрунту на гуміфікацію:

– в аеробних умовах можливі такі варіанти: а) при достатній кількості вологи, температурі 25–30°C розклад і мінералізація йдуть інтенсивно, тому гумусу накопичується мало; б) при нестачі вологи утворюється мало органічної маси взагалі, сповільнюються її розклад і мінералізація, гумусу утворюється також мало;

– в анаеробних умовах при постійному надлишку води і нестачі кисню уповільнюється розклад органічних залишків, у результаті діяльності анаеробних мікроорганізмів утворюються метан, водень, які пригнічують мікробіологічну активність, гумусоутворення дуже слабке, органічні залишки консервуються у вигляді торфу (болотні ґрунти);

– чергування оптимальних гідротермічних умов із деяким періодичним висушуванням ґрунту – найбільш сприятливий варіант для гумусоутворення, йде поступовий розклад органічних залишків, достатньо енергійна гуміфікація, закріплення гумусу в засушливі періоди (чорнозем).

Дренування торф'яних ґрунтів спричиняє емісію двоокису вуглецю CO<sub>2</sub> і закису азоту N<sub>2</sub>O. Перезволоження торф'яних ґрунтів призводить до пригнічення аеробної емісії CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>O та до збільшення емісії метану CH<sub>4</sub>.

Серед основних напрямків моделювання емісії парникових газів із органічних ґрунтів (моделі типу «peat soil», «wetland», «forest soil») досить умовно можна виділити три основних напрямки створення таких моделей, які сформувалися протягом останніх

20 років.

До першого напрямку слід віднести моделі, в яких моделюється динаміка вуглецю у ґрунті та емісія  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$  [10, 17, 18, 19].

Другий напрямок складають моделі, в яких розглядаються процеси нітрифікації і денітрифікації азоту в ґрунті та емісія  $\text{N}_2\text{O}$  [13, 15].

Комплексні моделі, в яких моделюється динаміка вуглецю у ґрунті, процеси трансформації азоту в ґрунті та емісія  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  [11, 12, 14, 16] можна віднести до третього напрямку.

Більшість моделей спрямована на отримання на їх основі оцінок викидів парникових газів із органічних ґрунтів на регіональному та національному рівнях.

### 3. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Взята нами концепція моделювання динаміки органічної речовини в органічних ґрунтах (торфовищах) та викидів вуглецю, метану і закису азоту з цих ґрунтів базується на принципах, сформульованих для мінеральних ґрунтів у RothC-моделі [9], і розвинутих потім в роботі [16] стосовно органічних ґрунтів при створенні моделі ECOSSE. Сутність цих принципів полягає в обґрунтуванні концепції розділення органічного матеріалу рослинних залишків і ґрунту на активні і пасивні компартменти та подальшому кількісному опису їхньої динаміки.

### 4. ОПИС МОДЕЛІ (PEAT-GHG-MODEL)

Структура моделі динаміки органічної речовини в органічних ґрунтах (торфовищах) та викидів вуглецю, метану і закису азоту з цих ґрунтів (PEAT-GHG-MODEL) представлена у вигляді узагальненої блок-схеми на рис. 1.

Модель складається з п'яти основних блоків:

1) блоку початкових даних, що включає врахування органічної речовини рослинних залишків, органічного матеріалу ґрунту, кількість внесених органічних та мінеральних добрив;

2) блоку факторів довкілля, що включає характеристики водно-фізичних та агрохімічних властивостей ґрунту;

3) блоку розділення на стійкий органічний матеріал RPM, декомпозиційний органічний матеріал DPM, інертний органічний матеріал IOM;

4) вуглецевого блоку;

5) азотного блоку.

Коротко розглянемо характеристики цих блоків.

Блок вхідної інформації моделі включає три типи інформації:

Перший тип – *Характеристика ділянки* (поля) з органічним ґрунтом охоплює: сумарний вміст вуглецю у ґрунті; процент глини у ґрунті; кількість внесених органічних добрив; кількість внесеного азоту з мінеральними добривами; початкові дані про вміст амонію; агрогідрологічні характеристики ґрунту.

Другий тип – *Рослинність*: тип природної

рослинності; сільськогосподарська культура на ділянці; номер першого місяця вегетації природної рослинності (сільськогосподарської культури); кількість місяців вегетації природної рослинності (сільськогосподарської культури); маса надземної частини природної рослинності; кількість кущів або дерев верби в розрахунку на 1 га; урожай основної продукції сільськогосподарської культури.

Третій тип – *Щомісячна інформація*: температура та відносна вологість повітря; рівень ґрунтових вод; сума опадів; кількість днів у кожному місяці; умовна величина, яка показує номер місяця року; умовна величина, яка показує кількість декад у кожному місяці, коли рівень ґрунтових вод був на глибині 20 см та менше; умовна величина, яка показує наявність вегетації природної рослинності, сільськогосподарської культури у кожному місяці.

У вуглецевому блоці моделі (рис. 1) аналогічно роботі [16] розглядається, що органічна речовина рослинних залишків та органічна речовина ґрунту поділяється на два активних компартменти та один інертний компартмент. Виділяється стійкий органічний матеріал RPM, декомпозиційний органічний матеріал DPM, інертний органічний матеріал IOM, виділяються також пули мікробіологічної біомаси BIO та гумусу HUM. В модель включені всі головні процеси кругообігу С і N, інтенсивність яких описується рівняннями першого порядку. Швидкість протікання процесів буде специфічним параметром для кожного пулу, який буде залежати від впливу факторів довкілля: температури повітря і ґрунту, вологості ґрунту, типу та розмірів рослинності, механічного складу ґрунту, рН ґрунту. Протягом процесу розкладання відбувається обмін органічної речовини між пулами. За аеробних умов процес розкладання приводить до втрат вуглецю у вигляді  $\text{CO}_2$ , при анаеробних умовах домінують втрати вуглецю у вигляді  $\text{CH}_4$ .

В азотному блоці моделі (рис. 2) розглядається, що вміст азоту в ґрунті слідує за розкладанням органічного матеріалу ґрунту зі стійким співвідношенням C:N для кожного пулу, яке підтримується в процесі мінералізації або іммобілізації. При розкладанні виділяється  $\text{NH}_4$ , який в процесі нітрифікації перетворюється на  $\text{NO}_3$ , а потім – в процесі денітрифікації перетворюється на  $\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{N}_2$ . Розглядається вплив факторів довкілля (температури повітря та ґрунту, вологості ґрунту, рН ґрунту) на інтенсивність процесів мінералізації, нітрифікації та денітрифікації. В процесі нітрифікації та денітрифікації спостерігається емісія  $\text{N}_2\text{O}$  та  $\text{N}_2$ . Азотний блок моделі (рис. 2) охоплює моделювання основних процесів трансформації форм азоту під впливом факторів навколишнього середовища. До них відносяться: амоніфікація, нітрифікація, денітрифікація, іммобілізація, поглинання азоту кореневою системою рослин, винос нітратів за межі шару ґрунту 0 – 50 см при інфільтрації вологи, емісія  $\text{N}_2\text{O}$  при нітрифікації та денітрифікації.

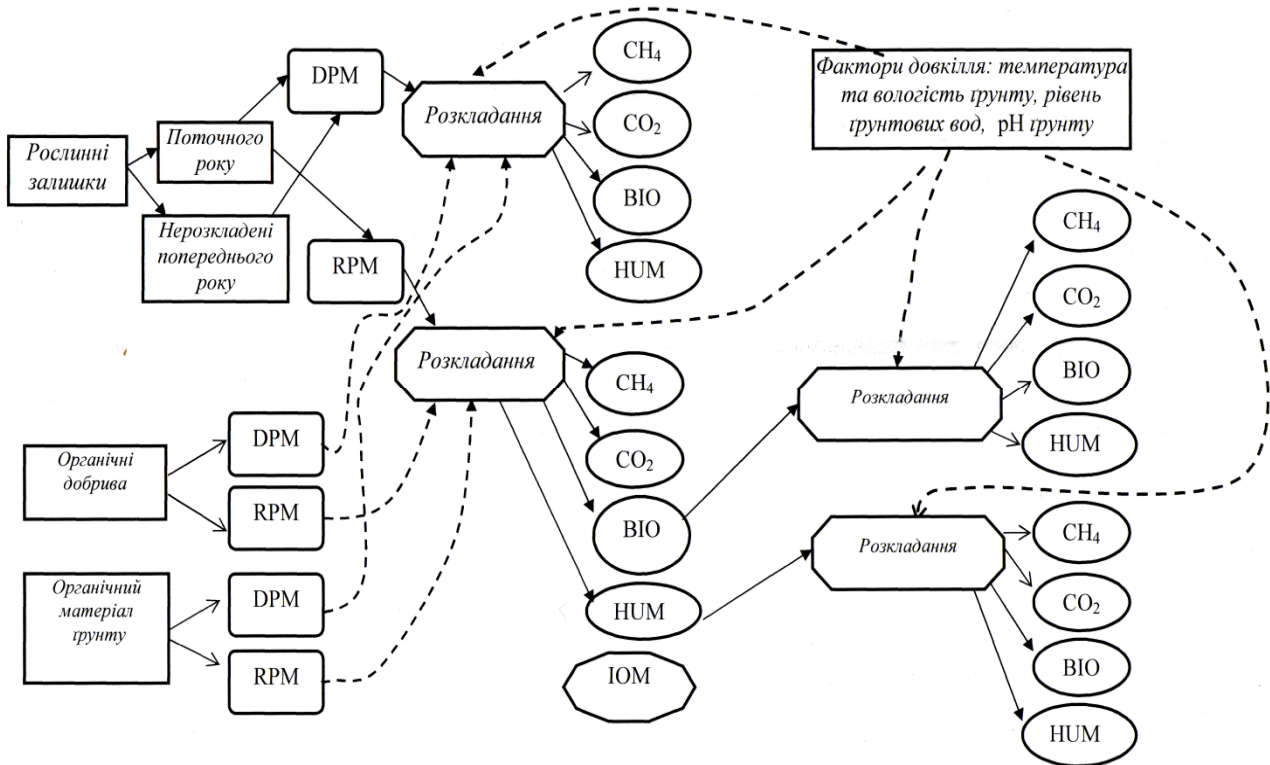


Рис. 1 – Вуглецевий блок моделі динаміки органічної речовини в органічних ґрунтах (торфовищах) та викидів вуглецю, метану і закису азоту з цих ґрунтів (PEAT-GHG-MODEL): DPM – матеріали, що розкладаються; HUM – гуміфікований матеріал; RPM – стійкий матеріал; IOM – інертний органічний матеріал; BIO – мікробіологічна біомаса

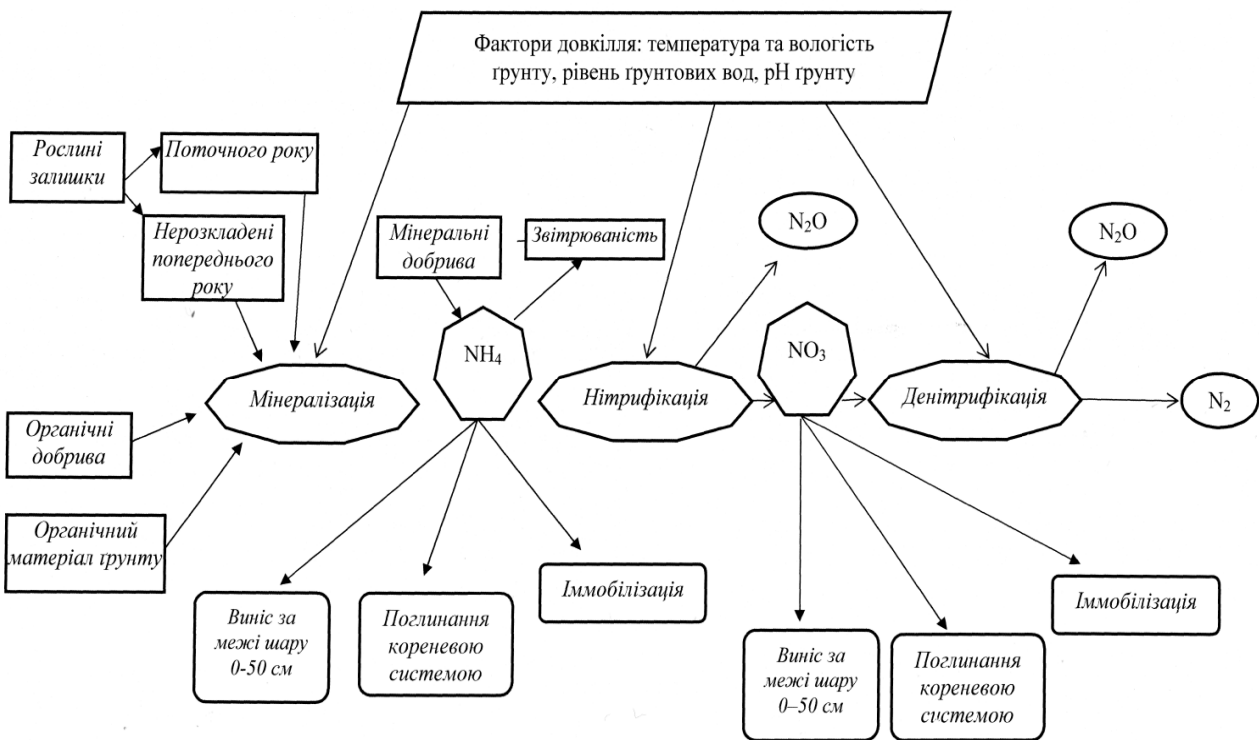


Рис. 2 – Азотний блок моделі динаміки органічної речовини в органічних ґрунтах (торфовищах) та викидів вуглецю, метану і закису азоту з цих ґрунтів (PEAT-GHG-MODEL)

Зупинимось на основних формулах моделі.

Розрахунок запасів вологи у ґрунті виконується за визначеною нами на основі матеріалів В.Ф. Шебеко [7] залежністю запасів вологи у ґрунті від рівня ґрунтових вод

$$W(j) = (-1,56hgr(j) + 452,32) \cdot (W_f / 440) - W_{wp}, (1)$$

де  $W$  – запаси продуктивної вологи у ґрунті;  $hgr$  – рівень ґрунтових вод;  $W_f$  – найменша вологомісткість ґрунту у шарі 0–50 см;  $W_{wp}$  – вологість в'янення ґрунту у шарі 0–50 см.

Випаровуваність розраховується за формулою М.М. Іванова [2]

$$E_0(j) = dv(j)[(0,0018 \cdot T(j) + 25)^2 \cdot (100 - O_{nvw}(j))] / 30, (2)$$

де  $E_0$  – випаровуваність;  $T$  – температура повітря;  $E_{nvw}$  – відносна вологість повітря.

Інфільтрація оцінюється за спрощеним рівнянням водного балансу.

Температура ґрунту на глибині 20 см розраховується за допомогою визначених нами на основі матеріалів О.М. Шульгіна [8] та В.Н. Адаменко [1] регресійних рівнянь для кожного місяця вегетації для переходу від температури повітря до температури органічного ґрунту на глибині 20 см.

На основі матеріалів [6] нами встановлені розрахункові формули для розрахунку рослинних залишків для природної рослинності, які охоплюють: вологі луки з домінуванням *Deschampsia caespitosa*; вологі луки з домінуванням *Molinia caerulea*; угруповання жорстких безлистих злаковидних рослин з родин *Cyperaceae* та *Juncaceae*; угруповання низьких кореневищних та низькокупинних осок; угруповання високих купинних осок; зарості високотравних кореневищних гелофітів (очерет, рогаза), верби віком до 7 років, 8–10 років, 10–12 років, більше 12 років.

Для розрахунку рослинних залишків набору сільськогосподарських культур використовуються регресійні рівняння, запропоновані в роботі А.А. Новікова [4].

На основі роботи [5] запропоновано рівняння, яке дозволяє розділити рослинні залишки за місяцями вегетації природної рослинності або сільськогосподарської культури

$$U_{rst}(j) = U_{rs} \left\{ \left( 2,3026 \cdot \frac{2}{n} \cdot 10^{\left[ \left( \frac{2-\frac{2}{n}}{n} \right) (j-n_{veg}^1) + 1 \right] \right) \right\} : \left\{ \left( 1 + 10^{\left[ \left( \frac{2-\frac{2}{n}}{n} \right) (j-n_{veg}^1) + 1 \right] \right) \right\}^2 (3)$$

де  $U_{rst}$  – рослинні залишки за місяць вегетації;  $U_{rs}$  – рослинні залишки за весь період вегетації;

$n$  – кількість місяців вегетації рослин;  $n_{veg}$  – номер першого місяця вегетації рослин.

Згідно роботи [16] розраховується розкладання та подальша динаміка мінералізації органічного матеріалу нерозкладених рослинних залишків попереднього року, рослинних залишків поточного року, утворення вуглецю та амонію, продукування  $CO_2$  і  $CH_4$  в процесі мінералізації органічного матеріалу.

Для розкладання частки органічної речовини рослинних залишків  $DPM(j)$  використовується така система рівнянь:

$$DBIO(j) = DPM(j) \cdot \exp(-a_c(j) \cdot a_w(j) \cdot c_c \cdot 0,66 \cdot 0,08333);$$

$$DHUM(j) = DPM(j) \cdot \exp(-a_c(j) \cdot a_w(j) \cdot c_c \cdot 0,02 \cdot 0,08333);$$

$$DCO_2(j) = x_c \cdot [DBIO(j) + DHUM(j)];$$

$$CHBIO(j) = DBIO(j) \cdot (\exp(-mt1(j) \cdot mW1(j) \cdot mpH1(j) \cdot 0,6 \times \times 0,66 \cdot 0,00278)) \cdot (1 - (0,85/(1+rE))),$$

$$CHHUM(j) = DHUM(j) \cdot (\exp(-rmt1(j) \cdot rmW1(j) \cdot rmpH1(j) \cdot 0,6 \times \times 0,02 \cdot 0,00278)) \cdot (1 - 0,85 \cdot (0,85/(1+rE))), (4)$$

де  $DBIO$  – мікробна біомаса, що виділилась при розкладі  $DPM$ , т/га;  $DPM$  – декомпозиційний рослинний матеріал;  $a_c$  – коефіцієнт, який характеризує вплив температури ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $a_w$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $c_c$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рН ґрунту на декомпозицію органічного матеріалу;  $DHUM$  – гуміфікована органічна біомаса, що виділилась при розкладі  $DPM$ ;  $DCO_2$  – кількість  $CO_2$ , що виділилась при розкладі  $DPM$ ;  $x_c$  – відношення  $CO_2 / (BIO+HUM)$ ;  $CHBIO$  – кількість метану, що виділилась при розкладі  $DBIO$ ;  $mt1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив температури ґрунту на виділення метану із  $DBIO$ ;  $mW1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на виділення метану із  $DBIO$ ;  $mpH1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рН ґрунту на  $DBIO$ ;  $rE$  – величина обернена  $x_c$ ;  $CHHUM$  – кількість метану, що виділилась при розкладі  $DHUM$ , кг $CH_4$ /га;  $rmt1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив температури ґрунту на виділення метану із  $DHUM$ ;  $rmW1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на виділення метану із  $DHUM$ ;  $rmpH1$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рН ґрунту на виділення метану із  $DHUM$ .

Аналогічним чином моделюється розкладання та подальша динаміка мінералізації органічного матеріалу ґрунту та органічного матеріалу органічних добрив, утворення вуглецю та амонію, продукування  $CO_2$ ,  $CH_4$  в процесі мінералізації органічного матеріалу.

Розраховується відношення C/N для органічного

матеріалу рослинних залишків, органічного матеріалу ґрунту та органічного матеріалу органічних добрив і сумарного для всієї системи.

На основі роботи [13] моделюються процеси нітрифікації та денітрифікації форм азоту та емісії  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2$  при протіканні цих процесів, оцінюється звітрованість амонію при внесенні органічних та мінеральних добрив.

Процес нітрифікації та емісії азоту протягом процесу нітрифікації описується за допомогою системи рівнянь:

$$N_n(j) = N_{NH_4} \cdot \exp(-0,6 \cdot b_T(j) \cdot b_W(j) \cdot b_{pH}),$$

$$N_{n,N_2O}(j) = \left\{ \left( n_f \cdot \frac{W(j)}{W_f} \right) + [n_{gas}(1 - n_{NO})] \right\} N_n(j);$$

$$N_{n,NO}(j) = n_{gas} \cdot n_{NO} \cdot N_n(j), \quad (5)$$

де  $N_n$  – кількість нітрифікованого азоту;  $N_{NH_4}$  – кількість амонію у ґрунті;  $b_T$  – коефіцієнт, який характеризує вплив температури повітря на процес нітрифікації;  $b_W$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на процес нітрифікації;  $b_{pH}$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рН ґрунту на процес нітрифікації;  $N_{n,N_2O}$  – кількість виділеного газу у вигляді  $N_2O$  в процесі нітрифікації;  $n_f$  – частка  $N_2O$ , яка продукується в процесі нітрифікації при найменшій вологомісткості ґрунту;  $n_{gas}$  – частка від повної нітрифікації, втрачена у вигляді газу;  $n_{NO}$  – частка від повної нітрифікації газоподібних втрат у вигляді  $NO$ ;  $N_{n,NO}$  – кількість виділеного газу у вигляді  $NO$  в процесі нітрифікації.

Для моделювання процесів денітрифікації та емісії азоту протягом процесу денітрифікації використовується така система рівнянь:

$$N_d(j) = d_{NO_3} \cdot d_W(j) \cdot d_{CO_2} \cdot N_{NO_3}(j);$$

$$N_{d,N_2}(j) = p_W \cdot p_{NO_3} \cdot N_d(j); \quad (6)$$

$$N_{d,N_2O}(j) = [1 - (p_W \cdot p_{NO_3})] N_d(j),$$

де  $N_d$  – кількість азоту виділеного в процесі денітрифікації;  $d_{NO_3}$  – коефіцієнт, який характеризує вплив рівня нітратів у ґрунті на процес денітрифікації;  $d_W$  – коефіцієнт, який характеризує вплив вологості ґрунту на процес денітрифікації;  $d_{CO_2}$  – коефіцієнт, який характеризує вплив кількості  $CO_2$ , що продукується протягом мінералізації;  $N_{NO_3}$  – кількість нітратів у ґрунті;  $N_{d,N_2}$  – кількість виділеного газу у вигляді  $N_2$  в процесі денітрифікації;  $p_W$  – функція впливу вологості ґрунту на емісію азоту у вигляді газу при

денітрифікації;  $p_{NO_3}$  – функція впливу вмісту нітратів у ґрунті на емісію азоту у вигляді газу при денітрифікації;  $N_{d,N_2O}$  – кількість виділеного газу у вигляді  $N_2O$  в процесі денітрифікації.

В моделі розглядається винос нітратів за межі 0–50 см шару ґрунту за рахунок інфільтрації вологи у нижчі шари ґрунту. Моделюється процес іммобілізації азоту, поглинання азоту кореневою системою рослин.

В зв'язку з відсутністю безпосередніх спостережень в Україні за емісією парникових газів з органічних ґрунтів ідентифікація параметрів моделі виконувалась на опублікованих в літературних джерелах матеріалах спостережень, отриманих в процесі дослідження емісії парникових газів з органічних ґрунтів в умовах Західної Європи [14 – 19].

## 5. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Отже за допомогою моделі розраховуються щомісячні значення емісії  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  з ділянки з органічним ґрунтом, поля сільськогосподарської культури, розміщеної на торф'яному ґрунті, та сумарна кількість викидів  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  за рік.

Для Меліоративної системи «Смолянка», розташованої в Чернігівській області, було виконано розрахунки емісії парникових газів за 1990, 2000 та 2011 роки. На ділянці наведені різні типи рослинності (табл. 1) з різною площею розповсюдження. Найбільшу площу займають злакові луки, мезофільна різнотравна болотна рослинність, вологолюбна болотна рослинність (очерет, рогаза, осоки), а також чагарникові верби.

Узагальнені розрахунки викидів парникових газів з цієї ділянки наведені в табл. 2. Більш високий рівень емісії  $CO_2$  спостерігається при більш глибокому заляганні ґрунтових вод в 1990 та 2000 роках (середня за рік глибина відповідно 77 та 64 см) в порівнянні з 2011 роком, коли середня за рік глибина залягання ґрунтових вод становила 37 см. Рівень емісії метану був найвищим у 2011 році, а викиди закису азоту в цей рік були найменшими. Отримані результати в якісному плані задовільно узгоджуються з літературними джерелами з проблеми, що дозволяє використовувати запропоновану модель для визначення оцінок емісії парникових газів з органічних ґрунтів.

Таблиця 1 – Типи рослинності на ділянці «Смолянка»

№ п/п	Тип рослинності	РГВ, м	% покриття видами з аеренхімою	Площа, га		
				1990 р.	2000 р.	2011 р.
1.	Листяний ліс	-0,8...-0,4	0-10	99,09	141,3	188,46
2.	Хвойний ліс	-1 і глибше	0	21,42	12,6	11,43
3.	Орні землі	-1 і глибше	0	80,91	0	161,6
4.	Водойма	> 0	0-100 (в залежності від наявності водної рослинності)	0	89,73	20,01
5.	Злакові луки	-1 і глибше	< 10	505,20	1069,0	143,28
6.	Нітрофільна рослинність (кропива, череда, хміль тощо)	-1...-0,8	< 10	186,10	91,89	47,25
7.	Мезофітна різнотравна болотна рослинність	-0,8...-0,4	~ 30	704,0	595,3	23,82
8.	Вологолюбна болотна рослинність (очерет, рогаза, осоки)	-0,4...+0,2	~ 100	767,30	8857,3	651,3
9.	Чагарникові верби	-0,45...0	30-50	556,50	63,72	530,9

Таблиця 2 – Сумарні викиди парникових газів із ділянки «Смолянка» в перерахунку на 1 га

Рік	Сумарні викиди				Прибавка вуглецю за рахунок розкладання
	CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
	тС/га	тCO <sub>2</sub> /га	кг/га	кг/га	тС/га
1990	4,05	14,86	48,11	13,78	1,65
2000	4,62	16,96	39,77	16,16	1,84
2011	1,67	6,13	50,87	2,99	0,76

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Адаменко В.Н. Мелиоративная микроклиматология /В.Н. Адаменко. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 183 с.
2. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости / Н.Н. Иванов. // Известия ВГО – 1954. – Т. 86. – № 2.
3. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. / Под ред. В.Н. Кудеярова. – М.: Наука, 2007. – 380 с.
4. Новиков А.А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах // Научный журнал Куб. ГАУ. – 2012. – № 78 (04). – С. 1-10.
5. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур /Полевой А.Н. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
6. Проект «Скорочення викидів парникових газів шляхом відновлення та сталого управління торф'яними болотами в Україні» /Наук. керівник О.Ю. Микитюк. – Київ, 2012.
7. Шебеко В.Ф. Расчеты режима увлажнения при проектировании осушения заболоченных территорий //В сб.: Увлажнение осушаемых земель./ Шебеко В.Ф. – М.: Колос, 1974. – С. 8-13.
8. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование./ Шульгин А.М. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 320 с.
9. Coleman K., Jenkinson D.S. *A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts.* 2008. RothC-26.3
10. Komarov A.S., Chertov O.Q. et al. EFIMOOD-2 – The system of simulation models of forest growth and elements cycles in forest ecosystems. *Ecol. Modeling*, 2003, vol. 170, pp. 373-392.
11. Luo G.J., Bruggemann N. et al. Decadal variability of soil CO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes at the Hoglewald forest Germany *Biogeosciences*, 2012, vol. 9, pp. 1741-1763.
12. Morishita T., Matsuura Y. et al. *CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from a larch forest soil in Central Siberia. Symptom of environmental change in Siberia Permafrost Region. Hokkaido University Press Sapporo: 2006.* pp. 1-9. (Ed.: Hatano R.)
13. Parton W.J. Mosier A.R. et al. Generalized model for Nz and NzO production from nitrification and denitrification. *Global*

- biogeochemic cycles*, 1996, vol. 10, no. 3, pp. 401-412.
14. Pihlatie M., Pumpanen J. et al. Gas concentration driven fluxes of nitrous oxide and carbon dioxide in boreal forest soil. *Journal compilation*, 2007, b. 59, pp. 458-469.
  15. Qusman A.J., Marino M.A. Analytical modeling of nitrogen dynamics in soils and ground water. *Journal of irrigation and drainage*. November-December, 1999, pp. 330-337.
  16. Smith J., Gottschalk P., Bellarby J. *Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE)*. Institute of Biological and Environmental Sciences. Aberden. Scotland. 2010. p. 73.
  17. Van Huissteden J., Van den Bos M., Martcorena-Alvarez I. 2006, Modelling the effect of water-table management on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from peat soils. *Neth. J. Geosci.*, no. 85, pp. 3-18.
  18. Van den Bos R.M., van Huissteden J. et. al. A Model based assessment of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in coastal peatlands (western Netherlands) for different climate and management scenarios. *Human influence on carbon fluxes in coastal peatlands; process analysis, quantification and prediction. Thesis, Vrije Universiteit (Amsterdam). 2003.*
  19. Walter B.P., Heimann M.A. Process-based, climate-sensitive model to derive CH<sub>4</sub> emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. *Global Biogeochem. cycles*, 2000, no. 14, pp. 745-765.
  20. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the Integrated Science Assessment Model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change. *Global Biogeochemical cycles*, 2009, vol. 23, pp. 41-62.
  8. Shul'gin A.M. *Klimat pochvy i ego regulirovanie* [The climate of the soil and its regulation]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. p. 320
  9. Coleman K., Jenkinson D.S. *A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts.* 2008. ROTHC-26.3
  10. Komarov A.S., Chertov O.Q. et al. EFIMOOD-2 – The system of simulation models of forest growth and elements cycles in forest ecosystems. *Ecol. Modeling*, 2003, vol. 170, pp. 373-392.
  11. Luo G.J., Bruggemann N. et al. Decadal variability of soil CO<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes at the Hoglewald forest Germany *Biogeosciences*, 2012, vol. 9, pp. 1741-1763.
  12. Morishita T., Matsuura Y. et al. *CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from a larch forest soil in Central Siberia. Symptom of environmental change in Siberia Permafrost Region. Hokkaido University Press Sapporo: 2006.* pp. 1-9. (Ed.: Hatano R.)
  13. Parton W.J. Mosier A.R. et al. Generalized model for N<sub>2</sub> and NzO production from nitrification and denitrification. *Global biogeochemic cycles*, 1996, vol. 10, no. 3, pp. 401-412.
  14. Pihlatie M., Pumpanen J. et al. Gas concentration driven fluxes of nitrous oxide and carbon dioxide in boreal forest soil. *Journal compilation*, 2007, b. 59, pp. 458-469.
  15. Qusman A.J., Marino M.A. Analytical modeling of nitrogen dynamics in soils and ground water. *Journal of irrigation and drainage*. November-December, 1999, pp. 330-337.
  16. Smith J., Gottschalk P., Bellarby J. *Model to Estimate Carbon in Organic Soils – Sequestration and Emissions (ECOSSE)*. Institute of Biological and Environmental Sciences. Aberden. Scotland. 2010. p. 73.
  17. Van Huissteden J., Van den Bos M., Martcorena-Alvarez I. 2006, Modelling the effect of water-table management on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from peat soils. *Neth. J. Geosci.*, no. 85, pp. 3-18.
  18. Van den Bos R.M., van Huissteden J. et. al. A Model based assessment of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in coastal peatlands (western Netherlands) for different climate and management scenarios. *Human influence on carbon fluxes in coastal peatlands; process analysis, quantification and prediction. Thesis, Vrije Universiteit (Amsterdam). 2003.*
  19. Walter B.P., Heimann M.A. Process-based, climate-sensitive model to derive CH<sub>4</sub> emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. *Global Biogeochem.*, 2000, no. 14, pp. 745-765.
  20. Yang X., Wittig V., Jain A.K., Post W. Integration of nitrogen cycle dynamics into the Integrated Science Assessment Model for the study of terrestrial ecosystem responses to global change. *Global Biogeochemical cycles*, 2009, vol. 23, pp. 41-62.

## REFERENCES

1. Adamenko V.N. *Meliorativnaya mikroklimatologiya*. [Reclamation microclimatology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979. 183 p.
2. Ivanov N.N. Ob opredelenii velichin isparyaemosti [Determination of the quantities of evaporation]. *Proceedings of all-Union geographical society*, 1954, vol. 86, no. 2, pp. 21-24
3. Kudyarova V.N. (Ed.). *Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh* [Simulation of the dynamics of organic matter in forest ecosystems]. Moscow: Nauka, 2007. 380 p.
4. Novikov A.A. Obosnovanie roli kornevykh i pozhnivnykh ostatkov v agrotsenozakh [Justification of the role of root and stubble agrocenoses] *The scientific journal Cube. HAU*, 2012, no. 78(04). pp. 1-10.
5. Polevoy A.N. *Teoriya i raschet produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Theory and calculation of crop productivity.]. Leningrad Gidrometeoizdat, 1983.p. 175
6. *Proekt «Skorochennya vykydiv parnykovykh haziv shlyakhom vidnovlennya ta staloho upravlinnya torfyanymy bolotamy v Ukrayini»* [Project "Reduction of greenhouse gas emissions through recovery and sustainable management of peat bogs in Ukraine"]. Scient. adviser O.Yu. Mykytyuk. Kyiv, 2012.
7. Shebeko V.F. Raschety rezhyma uvlazhneniya pri proektirovanii osusheniya zabolochennykh territoriy [Calculations moisture regime in the design of drainage of wetlands]. *Sb. "Uvlazhnenye osushaemykh zemel"* [Proc. "Hydration of drained lands"]. Moscow: Kolos, 1974. pp. 8-

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ С ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВ (PEAT-GHG-MODEL)

**Полевой А.Н.** <sup>1)</sup>, *д. геогр. н., профессор,*  
**Микитюк А.Ю.** <sup>2)</sup>, *к. биол. н., доцент*

<sup>1)</sup> *Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, apolevoy@te.net.ua*

<sup>2)</sup> *Институт развития территориальных громад,  
ул. Лютеранская, 21/12, офис, Киев, Украина*

Рассматривается, что органическое вещество растительных остатков и почвы разделяется на два активных компартмента и один инертный компартмент. В модель включены все главные процессы круговорота С и N, интенсивность которых описывается уравнением первого порядка. При разложении органического вещества рассматривается эмиссия CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Моделируются основные процессы трансформации форм азота в почве, эмиссия N<sub>2</sub>O при нитрификации и денитрификации.

**Ключевые слова:** органическое вещество, углерод, азот, аммонификация, нитрификация, денитрификация, иммобилизация, эмиссия CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O.

## MODELLING GREENHOUSE GAS EMISSION FROM ORGANIC SOILS (PEAT-GHG-MODEL)

**Polevoy A.N.** <sup>1)</sup>, *DSc (Geography), Professor*  
**Mykytiuk A.Yu.** <sup>2)</sup>, *PhD (Biology), Assoc. Prof.*

<sup>1)</sup> *Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska Str., 65016, Odessa, Ukraine, apolevoy@te.net.ua*

<sup>2)</sup> *Institute for Community Development  
21/12 Luteranska Str., Kyiv, Ukraine,*

It is considered that the organic substance of plant residues as well as one of the soil are subdivided into two active compartments and an inert compartment:

resistant plant material - RPM, decomposition plant material - DPM, inert organic material - IOM are distinguished, as well as pools of microbiological biomass, BIO, and humus, HUM. All major processes of C and N turnover are included in a model; their intensity is described by a first-order equation. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emission under decomposition is studied. Main processes of nitrogen form transformation are simulated under the influence of environmental factors: ammonification, nitrification, denitrification, immobilization, nitrogen absorption by the plant rootage, carry-over of nitrates outside the soil layer of 0 - 50 cm during moisture infiltration, N<sub>2</sub>O emission under nitrification and denitrification.

**Keywords:** organic substance, carbon, nitrogen, ammonification, nitrification, denitrification, immobilization, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O emission.

*Дата першого подання:* 26.09.2015

*Дата надходження остаточної версії:* 16.10.2015

*Дата публікації статті:* 26.11.2015