

Моделювання та просторовий аналіз емісії парникових газів в результаті життєдіяльності великої рогатої худоби на рівні елементарних ділянок

Олена Яремчишин

Кафедра прикладної математики, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. С.Бандери, 12, E-mail: oyaremchyshyn@gmail.com

Abstract – The mathematical models and geoinformation technology of spatial inventory of greenhouse gases in the categories „Enteric fermentation in domestic livestock” and „Manure management” are elaborated. The software, which uses statistical information, methodologies of inventory approved at the international level and layers of the digital maps in the format of one of the geoinformation systems, has been created. As the result of application of geoinformation method the values of methane emissions from enteric fermentation in cattle and from manure cattle for the regions of the Western Ukraine have been obtained at the level of elementary areas 5×5 km in size.

Ключові слова – greenhouse gas emissions, spatial inventory, geoinformation technology, geoinformation system.

I. Вступ

Вже сьогодні підвищення середньорічної температури і зростання повторюваності та інтенсивності природних стихійних явищ спонукають до посиленого дослідження антропогенної складової парникового ефекту, оскільки концентрація в атмосфері парникових газів в найбільш значній мірі зростає внаслідок промислової, сільськогосподарської та інших видів діяльності людини [1].

На міжнародному рівні запропоновано здійснювати так звані національні інвентаризації антропогенних викидів парникових газів для основних секторів економіки [2]. Попри свою універсальність така оцінка емісій дає надто узагальнені результати. Тому виникає необхідність створення системи просторової інвентаризації викидів, яка б дозволяла отримувати дані про реальний територіальний розподіл парникових газів [3]. Такий метод передбачає аналіз емісій на рівні координатної сітки визначеного розміру і є узгодженим з визнаними на міжнародному рівні методиками [4].

Вагома частка в загальних емісіях парникових газів належить сільськогосподарському сектору. Серед ряду категорій, які містить цей сектор, особливо важливим є тваринництво. Актуальним є проведення інвентаризації та просторового аналізу викидів метану (CH₄) для таких підкатегорій, як внутрішня ферментація та гній великої рогатої худоби. Це дає можливість територіально проаналізувати одне з найбільших джерел емісії парникових газів в сільському господарстві.

II. Математична модель

Оцінка викидів парникових газів в секторі „Сільське господарство”, згідно з узгодженими на міжнародному рівні методиками інвентаризації, здійснюється від таких джерел: свійські тварини (внутрішня ферментація та гній), вирощування рису (затоплені рисові поля), випалювання саван, спалювання сільськогосподарських відходів на полях, сільськогосподарські ґрунти [2].

Інвентаризація парникових газів від тваринництва має найбільш важливе значення в загальних емісіях від діяльності сільського господарства. Дослідження цього підсектору включає оцінку викидів метану (CH₄) в результаті кишкової ферментації і розкладу гною худоби та птиці, а також закису азоту (N₂O) при зберіганні та використанні відходів життєдіяльності свійських тварин [2].

Категорії „Внутрішня ферментація свійських тварин” та „Розклад гною” включають оцінку емісій парникових газів для великої рогатої худоби (молочної і немолочної), буйволів, овець, кіз, верблюдів і лам, коней, мулів і ослів, свиней та птиці [2].

В даній роботі оцінено величини викидів парникових газів від внутрішньої ферментації та гною великої рогатої худоби на регіональному рівні. Для цього процесам емісії поставлено у відповідність математичну модель:

$$E_a^G(\delta) = \sum_a [F_a(\delta) \cdot EF_a^G(\delta)], \quad (1)$$

де $E_a^G(\delta)$ – емісії G -го парникового газу від a -го виду худоби в елементарній ділянці δ ; F_a – поголів'я a -го виду худоби в елементарній ділянці δ (показник наявності свійських тварин); $EF_a^G(\delta)$ – коефіцієнт емісії G -го парникового газу від a -го виду худоби в елементарній ділянці δ .

Як видно з формули (1), необхідними вхідними даними для такої математичної моделі є довідкова статистична інформація щодо поголів'я худоби на певній території та відповідні коефіцієнти емісії парникових газів. У співвідношення (1) входять дані про поголів'я худоби окремо кожного виду. Ця інформація міститься в статистичних збірниках, в яких, проте, для різних областей наводиться різна кількість необхідних показників та різний рівень територіальної деталізації даних [5-9].

На основі доступної статистичної інформації щодо поголів'я худоби на рівні окремих адміністративних одиниць, коефіцієнтів емісії і допоміжних цифрових карт з використанням розробленої геоінформаційної системи отримано просторові розподіли емісій парникових газів у вигляді георозподілені кадастрів викидів – шарів цифрової карти, які відображають питомі емісії парникових газів.

Для побудови георозподіленої бази вхідних даних та результатів аналізу емісії парникових газів розроблено спеціалізовану комп'ютерну систему просторової інвентаризації, в якій додатково використовується інструментарій однієї з геоінформаційних систем.

III. Геоінформаційна система

Математичну модель просторової інвентаризації парникових газів програмно реалізовано у спеціалізованій геоінформаційній системі, призначеній для отримання георозподіленої бази даних та відповідних цифрових карт, що показують річні обсяги емісій по елементарних ділянках.

Дане програмне забезпечення використовує засоби та можливості сучасної геоінформаційної системи – ряд допоміжних цифрових карт (зокрема, цифрову карту населених пунктів, карту розподілу щільності населення та розташування сільськогосподарських угідь).

Розроблена спеціалізована геоінформаційна система призначена для просторового аналізу емісій парникових газів, автоматизації побудови цифрових карт та візуального представлення результатів такого аналізу.

Для здійснення просторової інвентаризації парникових газів на регіональному рівні з допомогою геоінформаційної системи попередньо сформовано елементарні об'єкти – ділянки розміром $l \times l$ км, які також обмежені границями адміністративних районів. Таким чином, в межах кожного району створено множину елементарних об'єктів визначеного розміру, частина з яких має правильну форму і їх площа дорівнює l^2 км². Решта об'єктів мають неправильну форму, оскільки їх обмежує границя відповідного району [10].

Використовувані алгоритми просторового аналізу емісій парникових газів для категорій „Внутрішня ферментація свійських тварин” та „Розклад гною” мають певні особливості. Зокрема, районні дані про поголів'я худоби розділено на два окремих типи, відповідно до питомої ваги поголів'я за категоріями господарств. В першому випадку – це наявність свійських тварин у власності господарств населення, у другому – у власності сільськогосподарських підприємств (в тому числі і фермерських господарств).

В межах окремого адміністративного району дані першого типу розподілено по селах пропорційно до кількості населення, що в них проживає. Для розрахунку розподілу поголів'я худоби по елементарних об'єктах попередньо виконано розподіл по цих об'єктах сільського населення.

Сільське населення в елементарній ділянці δ є сумою кількості населення по всіх селах, що розміщені повністю в її межах, та частки населення, пропорційної до частки площі села, яка потрапила в дану ділянку (коли село частково знаходиться в межах даної ділянки):

$$Q(\delta) = \sum_{s \in \{\tilde{S}^{Rur,R} \wedge s \cap \delta \neq \emptyset\}} \frac{Q(s) \cdot area(s \cap \delta)}{area(s)}, \quad (2)$$

$$R = \{R \in \tilde{R} \wedge \delta \in R\}, \quad \tilde{S}^{Rur,R} = \tilde{S}^{Rur} \cap R,$$

де $Q(x)$ – кількість населення, що проживає в об'єкті x ; $\tilde{S}^{Rur,R} = \{S_1^{Rur,R}, S_2^{Rur,R}, \dots\}$ – множина сіл, що належать району R ; $area(x)$ – площа об'єкту x . В формулі (2) використано наступні співвідношення: $x \in y$ – географічний об'єкт x територіально цілком

розміщений в межах об'єкту y ; $x \cap y = z$ – об'єкт z є спільною територією об'єктів x і y , причому $z \neq \emptyset$, якщо об'єкти x і y мають хоча б одну спільну точку на межі.

Таким чином, математична модель просторової інвентаризації парникових газів від життєдіяльності великої рогатої худоби, яка є у власності господарств населення, має наступний вигляд:

$$E^G(\delta) = \sum_{a \in A} \left[\frac{F^R(a) \cdot EF^G(a, \delta)}{\sum_{s \in \tilde{S}^{Rur,R}} Q(s)} \times \sum_{s \in \{\tilde{S}^{Rur,R} \wedge s \cap \delta \neq \emptyset\}} \frac{Q(s) \cdot area(s \cap \delta)}{area(s)} \right], \quad (3)$$

$$R = \{R \in \tilde{R} \wedge \delta \in R\}, \quad \tilde{S}^{Rur,R} = \tilde{S}^{Rur} \cap R,$$

де $E^G(\delta)$ – емісії G -го парникового газу в δ -й елементарній ділянці, які виникають внаслідок життєдіяльності свійської худоби, що перебуває у господарствах населення; $F^R(a)$ – поголів'я a -го виду худоби в адміністративному районі R ; $EF^G(a, \delta)$ – коефіцієнт емісії G -го парникового газу від a -го виду худоби в δ -й елементарній ділянці; $Q(s)$ – кількість населення, що проживає в населеному пункті s ; $\tilde{S}^{Rur,R} = \{S_1^{Rur,R}, S_2^{Rur,R}, \dots\}$ – множина сіл, що належать району R .

Дані другого типу розподілено пропорційно до площі сільськогосподарських угідь. Тут спершу із загальної території адміністративного району виділено територію, зайняті сільськогосподарськими угіддями. Йдеться про території, що не містять таких географічних об'єктів, як: міста та селища міського типу, ліси, водойми, болота, автомобільні та залізничні шляхи та інші території. Тобто:

$$T^{Rur,R} = \{R = (N^R \circ S^{Urb,R} \circ D^R \circ H^R \circ W^R \circ G^{R,-})\}, \quad (4)$$

де $T^{Rur,R}$ – території, зайняті в районі R сільськогосподарськими угіддями; R – територія адміністративного району; N^R – міста обласного підпорядкування; $S^{Urb,R}$ – міста та селища міського типу, які належать району R ; D^R – територія, яку займають дороги усіх типів в районі R ; H^R – розташовані в районі R залізничні колії; W^R – ділянки території R -го району, зайняті лісами; $G^{R,-}$ – непридатні для ведення сільського господарства ділянки території (наприклад, заболочені території, водні об'єкти тощо). В формулі (4) використано наступні співвідношення: $x \cap y = z$ – географічний об'єкт z є територією, що утворилась після „вирізання” території об'єкту y із території, яку займає об'єкт x ; $x \cup y = z$ – об'єкт

Z є територією, що утворилась шляхом об'єднання територій географічних об'єктів x і y .

Отже, математична модель для просторової інвентаризації парникових газів від життєдіяльності великої рогатої худоби, яка є у власності сільськогосподарських підприємств (в тому числі і в фермерських господарствах), має наступний вигляд:

$$E^G(\delta) = \begin{cases} \sum_{a \in A} \left[\frac{F^R(a) \cdot \text{area}(T^{Rur,R} \cap \delta)}{\text{area}(T^{Rur,R})} \right] \times EF^G(a, \delta), & \text{якщо } (\delta \cap T^{Rur,R} \neq \emptyset); \\ 0, & \text{якщо } (\delta \cap T^{Rur,R} = \emptyset), \end{cases} \quad (5)$$

$$R = \{R \in \tilde{R} \wedge \delta \in R\},$$

де $E^G(\delta)$ – емісії G -го парникового газу в δ -й елементарній ділянці, які виникають внаслідок життєдіяльності свійської худоби, що перебуває у сільськогосподарських підприємствах; $F^R(a)$ – поголів'я a -го виду худоби в адміністративному районі R ; $EF^G(a, \delta)$ – коефіцієнт емісії G -го парникового газу від a -го виду худоби в δ -й елементарній ділянці; $T^{Rur,R}$ – території, зайняті сільськогосподарськими угіддями в районі R ; $Q(s)$ – кількість населення, що проживає в населеному пункті s .

В даній роботі дослідження охоплює територію адміністративних областей Західної України: Волинської, Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Рівненської, Тернопільської, Чернівецької. Для кожної елементарної ділянки в межах цих областей проведено інвентаризацію викидів на основі розподілених значень поголів'я худоби та відповідних коефіцієнтів емісії. По замовчуванню використано коефіцієнти емісій, запропоновані в [2] для даних підкатегорій джерел. Таким чином, в результаті інвентаризації отримано множину числових значень емісій метану (CH_4) від внутрішньої ферментації та гною великої рогатої худоби (молочної і немолочної) на рівні елементарних ділянок для території Західної України.

При роботі з геоінформаційною системою уся інформація зберігається у вигляді георозподілених баз даних, що відповідають цифровим картам. Такі карти відображають територіальне розміщення об'єктів, а інформація щодо властивостей та характеристик цих об'єктів зберігається у відповідних полях георозподіленої бази даних. За допомогою спеціалізованої геоінформаційної системи одержані результати представлені у вигляді шарів цифрової карти для відображення територіального розподілу величини та структури емісії. Застосування просторової інвентаризації парникових газів показує структуру викидів по категоріях джерел (рис.1) і вклад в загальні емісії кожної окремо взятої елементарної ділянки. Показники емісій на рівні адміністративного району чи цілої області можна отримати шляхом сумування отриманих емісій по всіх елементарних ділянках, розташованих в межах даної адміністративної одиниці.



Рис. 1. Структура емісій метану від внутрішньої ферментації та розкладу гною молочної і немолочної великої рогатої худоби, що є у власності всіх категорій господарств Західної України (2006 р.)

IV. Результати моделювання емісії від життєдіяльності досліджуваних видів свійських тварин на території Західної України

Вхідними даними для моделювання емісій від внутрішньої ферментації та гною є поголів'я великої рогатої худоби та відповідні коефіцієнти емісії парникових газів в розрізі адміністративних районів областей Західної України. Наявність худоби взято із відповідних статистичних збірників [5-9]. В даній роботі використано коефіцієнти емісій метану (CH_4), які запропоновано Міжурядовою групою експертів із зміни клімату [2].

В результаті числових експериментів отримано оцінки емісій метану (CH_4) від внутрішньої ферментації та гною великої рогатої худоби на рівні елементарних ділянок, розміром 5×5 км, на які розбито територію Західної України. Як приклад, рис.2 ілюструє числову реалізацію моделі – розподіл питомих емісій метану (CH_4) від внутрішньої ферментації великої рогатої худоби (молочної), яка є у власності господарств населення одного з районів Волинської обл.

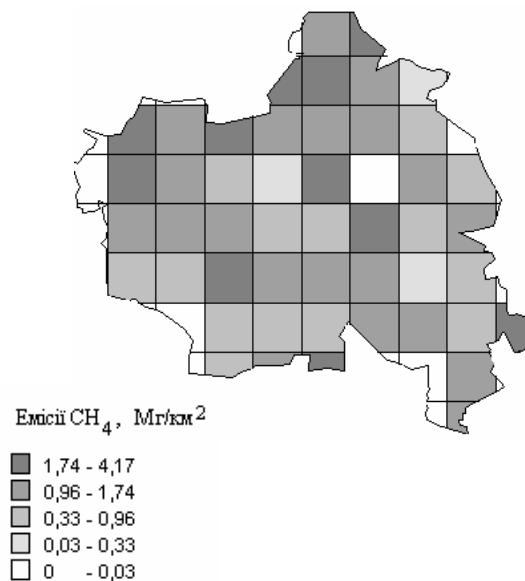


Рис. 2. Питомі емісії метану від внутрішньої ферментації великої рогатої худоби (молочної), що є у власності господарств населення Горохівського району Волинської обл. (Mg/km^2 , 2006 р.)

Емісії від худоби, яка є у власності сільськогосподарських підприємств, віднесено до ділянок території, що класифікуються як сільськогосподарські угіддя. Як базові для реалізації розробленої для цього випадку моделі територіального розподілу емісій використано цифрові карти населених пунктів, лісів, ґрунтів та водних об'єктів України. На основі цих карт виділено територію, зайняту сільськогосподарськими угіддями, використовуючи формулу (4).

Результати інвентаризації емісій метану (CH₄) по таких підкатегоріях сільськогосподарського сектору, як внутрішня ферментація та гній великої рогатої худоби, показали, що лідерами щодо викидів на території Західної України є Львівська та Волинська області.

Висновок

Здійснено просторову інвентаризацію емісій парникових газів від найбільш вагомих джерел викидів у сільському господарстві Західної України. На основі статистичних даних про поголів'я великої рогатої худоби отримано оцінку емісій метану (CH₄) від внутрішньої ферментації та гною для досліджуваної території на рівні елементарних ділянок розміром 5 км×5 км. За допомогою розроблених математичних моделей, які враховують територіальне розміщення населених пунктів (точніше, сіл) та сільськогосподарських угідь, сформовано георозподілені кадастри емісій метану (CH₄) для даних джерел.

Розроблений геоінформаційний метод полягає в по черговому обчисленні викидів парникових газів для всіх елементарних ділянок, на які розбито досліджувану територію і, таким чином, показує нерівномірність зосередження джерел емісії, фіксує місця, на які припадають найбільші викиди парникових газів.

Результати просторової інвентаризації емісій на рівні елементарних ділянок є дуже важливими для визначення ефективних стратегій стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері. Проведення оцінки емісій на такому рівні дає можливість владним структурам приймати зважені рішення щодо шляхів скорочення емісій, дозволяє вдосконалити інвентаризаційний процес, оскільки стає можливим врахувати регіональ-

ну специфіку господарської діяльності. Такий геоінформаційний метод буде вкрай корисним для планування природоохоронних заходів.

Література

- [1] О. Б. Яремчишин, "Моделювання та просторовий аналіз емісій парникових газів в промисловому секторі Львівської області", 7-ма Відкр. Наук. Конф. Проф.-Викл. Складу ІМФН, Львів: НУ „ЛП”, С. 65, 2008.
- [2] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting instructions, IPCC, vol. 1, 1996.
- [3] Р. А. Бунь, М. І. Густі, В. С. Дачук, "Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України", Львів: УАД, 376 с., 2004.
- [4] The IPCC software for estimating greenhouse gas emissions, IPCC, Version 1.1, 1998.
- [5] Сільське господарство Івано-Франківщини: Статистичний збірник, Івано-Франківськ: Головне управління статистики у Івано-Франківській обл., 231 с., 2007.
- [6] Сільське господарство Рівненщини: Статистичний збірник, Рівне: Головне управління статистики у Рівненській обл., 204 с., 2007.
- [7] Сільське господарство Чернівецької області: Статистичний збірник, Чернівці: Головне управління статистики у Чернівецькій обл., 124 с., 2007.
- [8] Сільське господарство Волині: Статистичний збірник, Луцьк: Головне управління статистики у Волинській обл., 240 с., 2007.
- [9] Статистичний щорічник Львівської області за 2006 рік: Частина 2: Статистичний збірник, Львів: Головне управління статистики у Львівській обл., 585 с., 2007.
- [10] Р. А. Бунь, Х. В. Гамаль, "Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі на регіональному рівні", Вісник СНУ ім. Даля, № 1 (119), С. 17-25, 2008.