

V.V. Kovalyshyn, Candidate of Science (Engineering), Docent, R.Ya. Lozynskiy, Candidate of Science (Engineering), Docent, Ya.B. Kyryliv, Candidate of Science (Engineering)

TACTICAL AND TECHNICAL ACTIONS OF THE FIRE-RESCUE SUBDIVISIONS WHILE DISTANT FIRE EXTINGUISHING BY STEAM-GAS MIXTURE

Technological scheme of usage of the unit АГВГ-100Г and the algorithm of the parameters calculation of the steam-gas mixture supply for distant fire extinguishing on risky objects.

Key words: gas and water extinguishing, steam-gas mixture

УДК 519.876.5

Р.А. Бунь, д.т.н., проф., О.П. Галюк (Національний університет "Львівська політехніка")

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В РЕЗУЛЬТАТІ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ

Представлено математичні моделі та геоінформаційну технологію просторового аналізу емісії двоокису вуглецю та інших парникових газів в результаті лісових пожеж. На основі статистичних даних за 1995-2007 роки обчислено викиди парникових газів по областях України та визначено регіони з найбільшими питомими емісіями і найвищим ризиком виникнення лісових пожеж

Ключові слова: лісові пожежі, емісія парникових газів, математичне моделювання, просторовий аналіз, геоінформаційна технологія.

Вступ. Ліси в процесі росту поглинають вуглекислий газ і тому відіграють вкрай важливу роль у вуглецевому балансі атмосфери [1]. При цьому зелена фітомаса (листя) не є нагромаджувачем вуглецю, вона має сезонний характер, опадає і стає в процесі розкладу знову джерелом вуглекислого газу. Натомість стовбурна деревина є істотним "резервуаром", який акумулює вуглець і тим самим суттєво зменшує парниковий ефект [2]. Лісові пожежі – це стихійні лиха, які окрім значного ризику для безпеки життєдіяльності та матеріальних збитків спричиняють також великі емісії парникових газів (в переважній більшості вуглекислого газу) в атмосферу.

В помірних широтах тільки близько 16% лісових пожеж викликано природними чинниками (грозові розряди, самозапалювання), решта пожеж пов'язано з життєдіяльністю людини. Проте, природне походження однієї частини пожеж та певна непрогнозованість антропогенної частини пожеж спричинилися до того, що методики національних інвентаризацій парникових газів у відповідності із Кіотським Протоколом [3-5] не включають емісії від лісових пожеж. Ці методики передбачають тільки інвентаризацію емісій від цільового вирубування та спалювання лісів з метою збільшення площі сільськогосподарських угідь (конверсія земель), що має місце в основному в тропіках Амазонії та на африканському континенті і зовсім не є характерним для України. Тому метою цієї статті є аналіз емісій парникових газів в Україні, викликаних лісовими пожежами загалом, та порівняння їх з обсягами антропогенних викидів, що враховуються Кіотським Протоколом.

Специфіка емісій від лісових пожеж. Залежно від місця поширення вогню, лісові пожежі ділять на низові, верхові та підземні. Вони відрізняються також швидкістю

поширення, інтенсивністю та частинами пошкодженого лісостану. Підземні пожежі в основному пов'язані з торфовищами, їх частка в загальній лісовій площі пройденій пожежами є дуже малою, тому в цьому дослідженні вони не розглядаються.

Верхові пожежі є джерелом "швидкої" емісії парникових газів. В Україні частка таких пожеж від загальної лісової площі, пройденої пожежами, коливається щорічно в межах 20-60%. Стійкі низові пожежі хоча суттєво відрізняються від верхових, поширюються повільно і при цьому сильно обгоряють корені та кора дерев. Пошкоджені дерева уже не можуть повноцінно брати участь у процесах накопичення вуглецю. В довготривалій перспективі вони фактично стають джерелами "відтермінованої емісії" парникових газів. Враховуючи також те, що органи офіційної статистики України надають інформацію про лісові пожежі з поділом на регіони у відповідності з таким параметром як "лісова площа, пройдена пожежами" без розбиття на низові та верхові (див., наприклад, [6]), в цьому дослідженні ці два типи пожеж аналізуються спільно.

Україна знаходиться в зоні широколистяних і хвойних лісів. Враховуючи особливості лісів у регіонах України, а також специфіку цифрових карт лісів, цим аналізом охоплено ряд основних типів лісу, які мають найбільший вплив на стік вуглецю (відповідно, вони є найвпливовішими в плані емісій при пожежах), зокрема: середньоевропейські темнохвойні, широколистяно-темнохвойні ліси та похідні угруповання; східноєвропейські соснові та широколистяно-соснові ліси; середньоевропейські букові та дубові ліси; дніпровсько-дністровські дубові та дубово-грабові ліси; європейські чорновільхові ліси [7,8]. Ліси різних типів спричиняють неоднакові емісії, оскільки вміст вуглецю в абсолютно сухій деревині у них різний [3], що враховано в наведених дослідженнях.

У відповідності з методиками інвентаризації парникових газів [3] є три складові емісії вуглекислого газу при конверсії лісів: вуглекислий газ, який утворюється в результаті горіння наземної біомаси (швидка емісія, яка враховується в рік конверсії); вуглекислий газ, що утворюється в процесі розкладу наземної біомаси (відтермінована емісія, яка враховується протягом десяти років); вуглекислий газ, що виділяється з ґрунту. Оскільки в цьому дослідженні аналізуються середні щорічні емісії на протязі більше десяти років, тому емісії від горіння та розкладу біомаси розглядаються разом.

При горінні лісу відбуваються також емісії інших, крім CO_2 , парникових газів – так званих малих газових компонентів: метану (CH_4), закису азоту (N_2O), оксиду вуглецю (CO) та оксиду азоту (NO_x). Емісії таких газів є значно меншими у порівнянні з емісіями вуглекислого газу, проте ці гази мають досить великі значення потенціалу глобального потепління [5] (ПГП – коефіцієнт, який показує, у скільки разів спричинений відповідним газом парниковий ефект є більшим від ефекту, спричиненого такою самою масою вуглекислого газу).

Формування множини елементарних об'єктів для аналізу. З метою моделювання та просторового аналізу емісій вуглекислого газу в результаті лісових пожеж використано такі цифрові карти України:

- карту лісів, яка містить множину $V_{forest} = \{v^{(l)}, l = \overline{1, L}\}$ елементарних об'єктів, що відображають цілісні ділянки, на яких в теперішній час росте ліс, причому $v^{(l)}$ – l -й елементарний об'єкт, L – загальне число таких об'єктів з лісом;
- карту рослинності, яка містить множину $V_{veget.} = \{v^{(p)}, p = \overline{1, P}\}$ елементарних об'єктів, що відображають цілісні ділянки, на яких наявна рослинність одного типу, причому $v^{(p)}$ – p -й елементарний об'єкт, P – загальне число таких об'єктів;
- карту меж адміністративних областей та Автономної Республіки Крим, що містить множину об'єктів $V_{region} = \{v^{(r)}, r = \overline{1, R}\}$, де $v^{(r)}$ – межа r -ї області, причому $R = 25$.

Множина об'єктів з карти рослинності $V_{veget.}$ є об'єднанням двох підмножин:

- підмножини лісової рослинності $V_{veget.}^{forest}$, яка містить інформацію про цілісні ділянки переважаючої лісової рослинності W типів (наприклад, широколистяні ліси, хвойні ліси, темнохвойно-широколистяні ліси тощо);
- підмножини нелісової рослинності $V_{veget.}^{grass}$ (наприклад, сільськогосподарські угіддя, степи, болота тощо), яка в цьому дослідженні не використовується.

Вводимо операцію “перетину множин з розщепленням елементів” і позначаємо її як $A \overline{B}$. Це є операція побудови нової множини, кожен елемент якої відповідає певній ділянці на цифровій карті, спільній для елементів a_i та b_j з множин A та B . Тепер для описаних вище множин V_{forest} , $V_{veget.}^{forest}$ та V_{region} застосовуємо операцію перетину множин з розщепленням елементів, в результаті чого отримуємо множину:

$$D = \{d_{nr}^{(w)}, n = \overline{1, N}; r = \overline{1, R}; w = \overline{1, W}\} = V_{forest} \overline{V_{veget.}^{forest}} \overline{V_{region}} = \\ = \{v^{(l)}, l = \overline{1, L}\} \overline{\{v^{(p)}, p = \overline{1, P}\}} \overline{\{v^{(r)}, r = \overline{1, R}\}},$$

де $d_{nr}^{(w)}$ – n -й елементарний об'єкт цифрової карти, що відповідає цілісній ділянці лісу w -го типу і повністю належить r -й адміністративній області; N – загальне число елементарних об'єктів. Цим дослідженням охоплено $N = 9121$ таких елементарних об'єктів в межах України. На рис. 1, як приклад, представлено фрагмент карти з 457 такими елементарними об'єктами, що відповідають Львівській області.

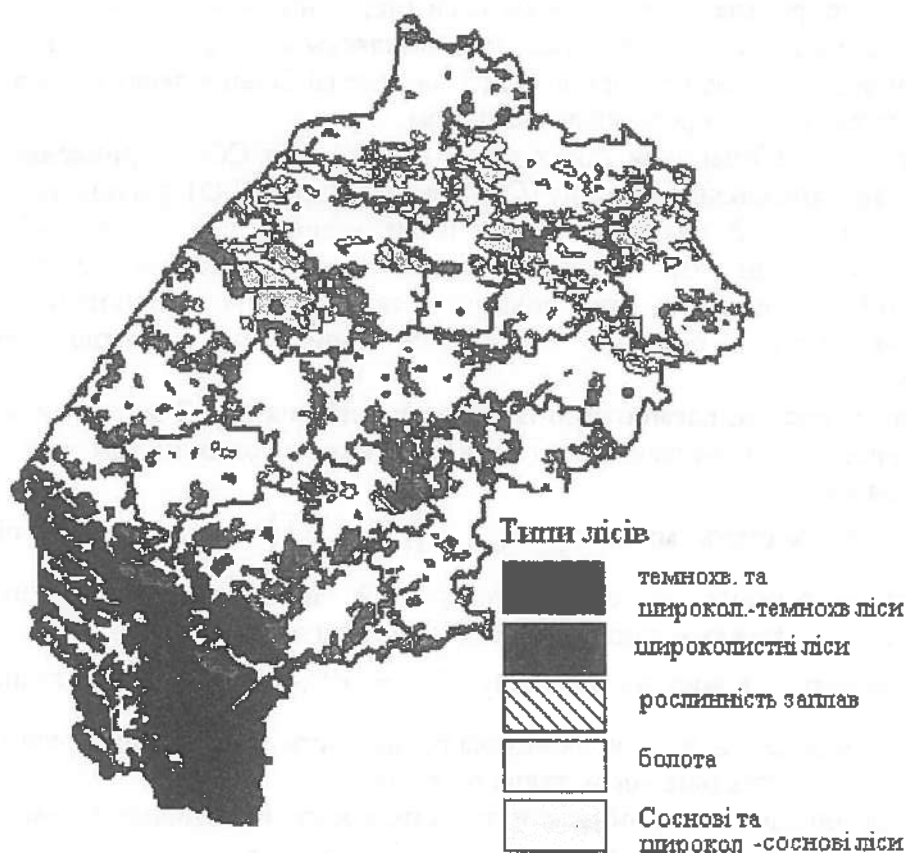


Рис. 1. Фрагмент карти з елементарними ділянками лісу (приклад Львівської обл.)

Математичні моделі для оцінки питомих емісій вуглекислого газу. Для аналізу емісій парникових газів використано геоінформаційну систему та інформаційну технологію просторової інвентаризації [5], у відповідності з якою здійснюється ітераційний процес для всіх сформованих елементарних об'єктів $n = \overline{1, N}$. На кожній такій ітерації виконуються кроки:

- аналіз частки лісової площі, пройденої пожежами, яка відповідає поточному об'єкту;
- оцінка частки емітованого в результаті пожежі парникового газу з врахуванням річної втрати біомаси та типу лісу в об'єкті;
- обчислення середніх питомих емісій (емісій, що припадають на одиницю площі).

Для реалізації цих кроків використано дані про лісові пожежі із статистичних довідників за 1990-2007 роки. Нехай $S_r^{(f)}$ – площа (га), пройдена лісовими пожежами в r -й області за t -й рік, а $s_{nr}^{(f)}$ – частка лісових пожеж (га), що припадає на n -й елементарний об'єкт. Якщо відомими є площі $s_{nr}^{(f)}$ для деяких ділянок лісу, то решту можна розподілити в межах інших елементарних об'єктів області рівномірно. В такому випадку є дійсною залежність

$$s_{nr}^{(f)} = S_r^{(f)} \cdot s_{nr} \cdot \left(\sum_{n=1}^N s_{nk} |_{k=r} \right)^{-1},$$

де s_{nr} – площа n -ї елементарної ділянки в r -му регіоні (км²). Масу абсолютно сухої деревини m_{nr} в n -й ділянці обчислюємо за формулою $m_{nr} = k_a^{(w)} \cdot s_{nr}^{(f)}$, де $k_a^{(w)}$ – коефіцієнт вмісту сухої деревини для лісу w -го типу на одиниці площі (в [3] пропонуються значення $k_a^{(w)} = 220 \div 295$ т/га для хвойних лісів та $k_a^{(w)} = 175 \div 250$ т/га для листяних лісів).

Маса вуглецю в сухій деревині $m_{nr}^C = k_c^{(w)} \cdot m_{nr}$, де $k_c^{(w)}$ – доля вуглецю, яка є різною залежно від породи: $k_c^{(w)} = 0,49$ – для хвойних лісів та $k_c^{(w)} = 0,47$ – для листяних [5]. Тоді масу емітованого в атмосферу вуглекислого газу в тоннах знаходимо за формулою $m_{nr}^{CO_2} = 44m_{nr}^C / 12$, яка відображає частку вуглецю в масі вуглекислого газу.

Оскільки площа, пройдена лісовими пожежами, має стохастичний характер і з року в рік змінюється, то є сенс розглядати середні щорічні питомі емісії за більший період. Такі емісії для n -ї елементарної ділянки обчислюємо за формулою

$$m_{nr,ser}^{CO_2} = \frac{1}{T_2 - T_1} \sum_{t=T_1}^{T_2} m_{nr}^{CO_2},$$

де T_1 та T_2 – відповідно початковий та кінцевий роки інтервалу, охопленого дослідженнями.

При оцінці емісій інших, відмінних від CO₂, парникових газів враховано, що за оцінками експертів [3] ці гази складають певну пропорцію у порівнянні з вуглекислим газом. Враховуючи ці пропорції, використано такі залежності для обчислення маси емітованих парникових газів (у формулах залишено коефіцієнти, які вказують на частку маси вуглецю чи азоту в молекулі відповідного парникового газу):

- для метану – $m_{nr}^{CH_4} = 16 \cdot 0,012 \cdot m_{nr}^C / 12$ (ПГП=21);
- для оксиду вуглецю – $m_{nr}^{CO} = 28 \cdot 0,06 \cdot m_{nr}^C / 12$ (ПГП=10);
- для закису азоту – $m_{nr}^{N_2O} = 44 \cdot 0,0007 \cdot m_{nr}^C / 28$ (ПГП=310);
- для оксиду азоту – $m_{nr}^{NO_x} = 46 \cdot 0,0121 \cdot m_{nr}^C / 14$ (в ролі молекули NO_x взято NO₂).

Після завершення ітераційного процесу і отримання даних про середні питомі емісії вуглекислого газу та інших парникових газів в межах всіх елементарних ділянок засобами

геоінформаційної системи можна здійснити візуалізацію результатів у вигляді відповідної тематичної карти. На рис. 2 наведено тривимірне представлення величини сумарних питомих емісій парникових газів від лісових пожеж на території України, яке ілюструє значне переважання питомих емісій в південних та східних регіонах.

Ризик виникнення пожеж та загальні емісії. Наведені вище математичні моделі покладено в основу створеної геоінформаційної системи просторового аналізу емісії парникових газів від лісових пожеж. В цій системі результати обчислень подаються у вигляді таблиці, кожен стовпець якої відповідає певному шару цифрової карти. Таблиця містить георозподілені дані про площу лісу в кожному елементарному об'єкті, тип лісу, площі пройдені лісовими пожежами та певні коефіцієнти, необхідні для розрахунків, які залежать від типу лісу. Кожен рядок таблиці вхідних даних вказує на певний елементарний об'єкт на карті України, а саме: якій адміністративній області належить цей об'єкт, який тип лісу росте на території цього об'єкта, його площу, обсяги емісій по роках. Ці результати представлено у вигляді георозподіленої бази даних.

Наведені на рис. 2 результати відображають в певному сенсі ризик виникнення пожеж по регіонах України. Цей ризик відноситься до великого періоду (усереднення в межах 13 років). Цим він суттєво відрізняється від лісопожежного коефіцієнта, який широко використовується для оцінки короткотермінового ризику виникнення пожеж залежно від природних та погодних умов, пори року та інших факторів [9,10].

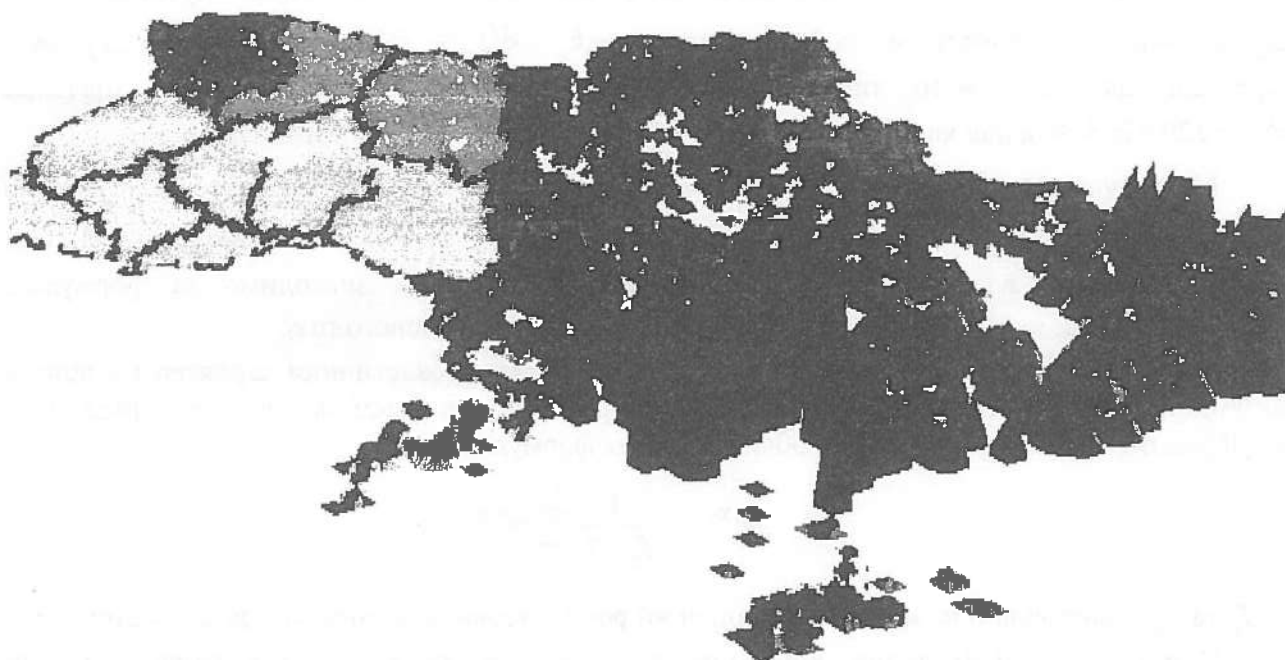


Рис. 2. Тривимірне представлення сумарних питомих емісій парникових газів від лісових пожеж на території України (середнє значення за 1995-2007 роки)

На рис. 3 наведено середні щорічні питомі емісії парникових газів в CO_2 -еквіваленті по регіонах (за період 1995-2007 роки). Ці результати представляють собою суму емісій всіх аналізованих парникових газів з врахуванням коефіцієнта глобального потенціалу потепління. Вони показують, що "лідерами" щодо питомих емісій (а, відповідно, регіонами з найвищим ризиком виникнення лісових пожеж) є Миколаївська (271 т/км^2), Херсонська (155 т/км^2) та Запорізька (154 т/км^2) області, натомість найменші питомі емісії маємо в Чернівецькій ($0,297 \text{ т/км}^2$), Тернопільській ($0,362 \text{ т/км}^2$), Івано-Франківській ($0,593 \text{ т/км}^2$) та Закарпатській ($0,596 \text{ т/км}^2$) областях.

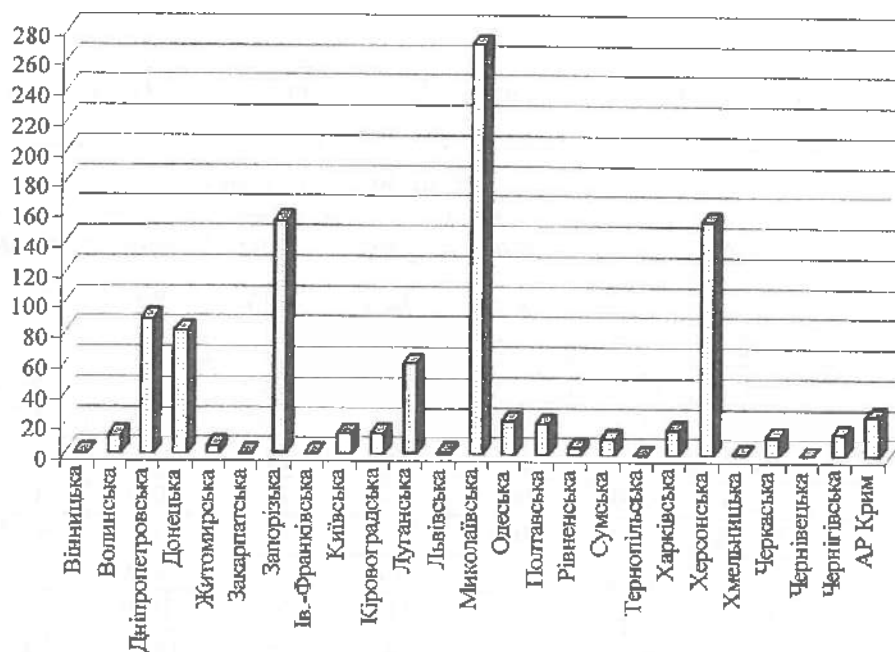


Рис. 3. Середні щорічні питомі емісії парникових газів по регіонах України (CO₂-еквівалент, т/км²)

Засоби геоінформаційної системи дають можливість знаходити сумарні емісії вуглекислого газу по регіонах та Україні в цілому. Так, на рис. 4 показано сумарні щорічні емісії від лісових пожеж в Україні протягом періоду 1995-2007 років, а також для Луганської та Херсонської областей, у яких загальні емісії були найбільші. З метою представлення цих даних на одному графіку, по осі ординат відкладено значення натурального логарифму від сумарних емісій поданих в тоннах CO₂-еквіваленту. Повні дані про емісії парникових газів в результаті лісових пожеж по регіонах і по роках наведено в таблиці.

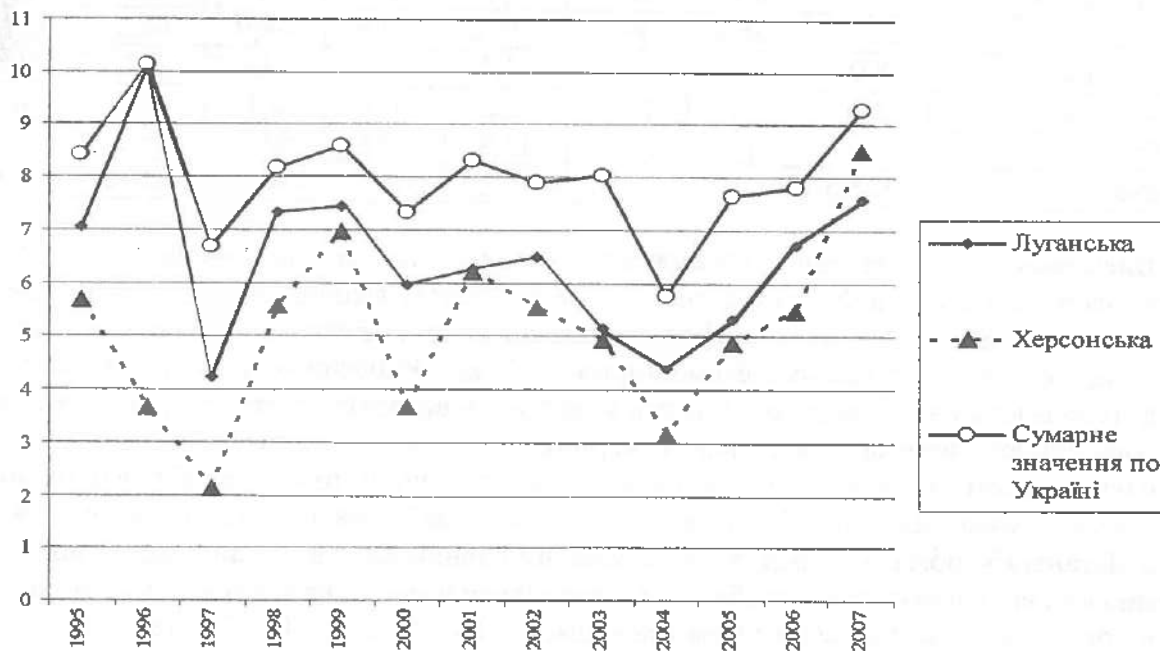


Рис. 4. Сумарні емісії парникових газів від лісових пожеж в Україні та в Луганській і Херсонській областях (на осі у відображено $\ln E$, де E – сумарні емісії в тоннах, CO₂-еквівалент)

Сумарні річні емісії парникових газів від лісових пожеж, CO₂-еквівалент

Область	Емісія за рік (тони)							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Вінницька	0,0	21,4	8,0	24,1	0,0	8,0	34,8	34,8
Волинська	0,2	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	2,5	0,0
Дніпропетровська	307,1	150,3	320,2	1662,9	29,4	607,6	284,2	1339,4
Донецька	0,4	1,3	0,4	0,2	0,0	0,5	1,3	1,7
Житомирська	11,0	7,1	229,6	34,1	11,6	4,6	5,0	3,1
Закарпатська	12,6	3,0	14,1	5,4	0,5	0,0	1,2	0,5
Запорізька	121,6	0,0	0,0	399,6	13,9	430,9	69,5	562,9
Івано-Франківська	1,3	14,3	0,1	1,4	0,1	0,0	0,3	1,0
Київська	13,6	7,6	21,1	31,5	10,0	10,0	23,8	35,6
Кіровоградська	91,8	30,2	106,2	64,3	11,8	187,6	14,4	59,0
Луганська	386,3	525,6	659,6	170,8	81,5	205,0	830,4	1984,0
Львівська	0,8	0,0	11,2	4,5	0,2	0,3	0,1	0,3
Миколаївська	240,4	2407,4	23,7	40,1	10,9	105,6	116,5	475,3
Одеська	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,5
Полтавська	6,9	7,2	17,4	28,7	1,2	96,7	8,8	9,7
Рівненська	96,7	73,1	606,3	92,0	49,6	37,7	573,3	92,0
Сумська	12,4	20,7	140,0	57,8	9,4	70,9	70,9	60,1
Тернопільська	0,4	0,2	0,1	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Харківська	13,3	27,2	56,0	28,0	2,2	63,4	31,7	72,9
Херсонська	39,5	497,6	252,9	139,6	23,9	131,8	239,6	4940,1
Хмельницька	0,6	0,1	0,3	4,1	3,6	0,4	2,1	1,7
Черкаська	62,4	155,3	184,5	248,2	30,6	64,9	66,2	109,5
Чернівецька	8,9	2,2	0,0	11,1	6,7	24,4	2,2	0,0
Чернігівська	2,3	2,1	19,0	5,2	1,9	3,3	5,1	4,2
АР Крим	108,1	71,6	34,1	13,8	17,8	55,3	46,9	978,6
Україна	1538,5	4025,7	2705,5	3069,6	316,8	2109,2	2430,9	10766,9

Висновки. Представлені математичні моделі та геоінформаційна технологія просторового аналізу емісій парникових газів в результаті лісових пожеж використовують георозподілені бази даних та геоінформаційну систему і дають можливість отримувати середні питомі емісії для кожного елементарного об'єкта. Результати обчислень подаються у вигляді георозподіленої бази даних і дають можливість використовувати широкі можливості геоінформаційної системи для оцінки сумарних емісій по регіонах та Україні в цілому. Отримані результати показали, що найбільші середні щорічні питомі емісії від лісових пожеж відбувалися в Миколаївській області, натомість найбільші сумарні емісії в CO₂-еквіваленті були в Луганській області. Серед проаналізованих парникових газів найбільший вплив має вуглекислий газ. З врахуванням глобального потенціалу потепління частки інших парникових газів у порівнянні з вуглекислим газом становлять: CH₄ - 0,0916; CO - 0,3818; N₂O - 0,0093; NO_x. Результати обчислень показали, що річні емісії парникових газів від лісових пожеж не є суттєвими для України в цілому і є значно меншими ніж емісії від багатьох категорій господарської діяльності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бунь Р. А. Моделирование глобального и региональных круговоротов углерода в биосфере / Р. А. Бунь, В. С. Дачук // Проблемы управления и информатики. – 1997. – №2. – С.141-148.
2. Голубець М. А. Екологічний потенціал наземних екосистем / М. А. Голубець, О. Г. Марискевич, Б. О. Крок та ін. – Львів : Поллі, 2003. – 180 с.
3. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories / Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program; Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). – IGES, Japan, 2006.
4. Україна та глобальний парниковий ефект. Частина I. Джерела і поглиначі парникових газів / Н. П. Іваненко, М. М. Калетник, М. А. Козелькевич та ін.; за ред. В. В. Васильченка та М. В. Рапцуна. – Київ : Арена-Еко, 1997. – 96 с.
5. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р. А. Бунь, М. І. Густі, В. С. Дачук та ін.; За ред. Р. А. Буна. – Львів : УАД, 2004. – 376 с.
6. Статистичний щорічник України за 2007 рік. – Київ : Держкомстат України, 2008. – 702 с.
7. Генсірук С. А. Ліси України / С. А. Генсірук. – Київ : Наукова думка, 1992. – 408с.
8. Короткий довідник по лісовому фонду України (за матеріалами чергового державного обліку лісів України станом на 01.01.96). – Київ : Державний комітет лісового господарства України, 1998. – 101 с.
9. Гришин А. М. Об одной модели прогноза лесной пожарной опасности / А. М. Гришин, А. И. Фильков // Инженерно-физический журнал. – 2003. – Т. 76, № 5. – С. 154-158.
10. Софронов М. А. Оценка пожарной опасности по условиям погоды с использованием метеопрогнозов / М. А. Софронов, Т. М. Софронова, А. В. Волокитина // Лесное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 31-32.

Р.А. Бунь, д.т.н., проф., О.П. Галюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В УКРАИНЕ

Представлены математические модели и геоинформационная технология пространственного анализа эмиссии двуоксида углерода и других парниковых газов в результате лесных пожаров. На основании статистических данных за 1995-2007 годы вычислены выбросы парниковых газов по областям Украины и определены регионы с наибольшими удельными эмиссиями и высоким риском возникновения лесных пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, эмиссия парниковых газов, математическое моделирование, пространственный анализ, геоинформационная технология.

R.A. Bun, Doctor of Science (Engineering), Professor, O.P. Halyuk

MODELING AND SPATIAL ANALYSIS OF EMISSION OF GREENHOUSE GASES AS RESULT OF FOREST FIRES IN UKRAINE

Mathematical models and geoinformation technology for spatial analysis of emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases as result of forest fires have been presented. On the bases of statistical data for 1995-2007 the emissions by regions of Ukraine have been calculated, and regions with the highest specific emissions, and the highest risk of forest fires have been indicated.

Key words: forest fires, greenhouse gas emission, mathematical modeling, spatial analysis, geoinformation technology.