

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТОРОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ СІЛЕЗЬКОГО ВОЄВОДСТВА

Представлено геоінформаційні технології просторової інвентаризації парникових газів (двоокису вуглецю, метану та ін.) в енергетичному секторі в Сілезькому воєводстві Польщі. Використано георозподілені бази даних, програмне забезпечення геоінформаційної системи та міжнародні методології інвентаризації. Розроблено математичні моделі для інвентаризації двоокису вуглецю, метану та інших парникових газів в процесі спалювання палива на виробництво електроенергії, в житловому секторі, у промисловості та будівництві, на транспорті. Ці моделі дали змогу отримати просторовий розподіл сумарних викидів парникових газів Сілезького воєводства з врахуванням внеску кожного району в загальні процеси емісії.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, просторова інвентаризація, парникові гази.

**Вступ.** Інвентаризації викидів парникових газів є важливою проблемою в реалізації механізмів Кіотського протоколу. Міжнародна група експертів зі зміни клімату розробила методологію для проведення інвентаризації парникових газів, які використовуються для підготовки національних доповідей [9]. Ці методи є універсальними, незважаючи на той факт, що країни розташовані в різних кліматичних зонах та мають істотні відмінності в економічному розвитку. Однак, завдяки їхній універсальності, ці методи не повною мірою враховують регіональну специфіку. В енергетичному секторі спостерігаються найбільші емісії парникових газів  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $NM VOC$  порівняно з іншими секторами [3]. Тому метою представлених досліджень є розроблення комплексу математичних моделей і системи просторової інвентаризації парникових газів в енергетичному секторі для Сілезького воєводства Польщі. Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі завдання: розробити математичні моделі для елементарних об'єктів, створення геоінформаційних технологій для просторової інвентаризації, здійснення чисельних експериментів для енергетичного сектору регіону.

**Модель просторової інвентаризації.** Інвентаризація парникових газів є основою для верифікації виконання країною зобов'язань Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату та інших міжнародних зобов'язань. Інвентаризація в енергетичному секторі є особливо важливою порівняно з іншими секторами економіки [3].

Методологія IPCC щодо формування кадастрів емісій охоплює багато галузей людської діяльності, що спричиняють викиди парникових газів: спалюванню вугілля, нафти, газу, промисловість та сільське господарство, зміни у землекористуванні та лісова промисловість, оперування з відходами. Ці методи дали змогу розробити інформаційну технологію для проведення інвентаризації на трьох рівнях [3, 5, 7]: національному рівні (охоплює всю територію країни), регіональному (області чи району), рівні елементарної ділянки (просторова інвентаризація) [1, 2]. Такий багаторівневий підхід дає ширші можливості щодо врахування регіональних особливостей процесів емісії та поглинання парникових газів [8]. Найнижчий рівень інвентаризації надає інформацію, необхідну для прийняття обґрунтованих рішень на регіональному рівні [4].

На рівні просторової інвентаризації також використовується методологія IPCC. Множину вхідних і вихідних даних становить георозподілена база даних [6]. Насамперед для аналізованої території формують елементарні ділянки (наприклад, розміром  $10 \times 10$  км), а потім здійснюють інвентаризацію емісій для всіх таких ділянок. Якщо дані про економічну активність в  $n$ -й ділянці позначити як  $\Delta x_{nsm}$  з відповідним індексом, а результати інвентаризації в

цій ділянці загалом або в конкретному секторі позначити, відповідно, як  $\Delta Y_n$  і  $\Delta y_{ns}$ , то модель для формування кадастру емісій можна представити у вигляді:

$$\Delta Y_n = \sum_{s=1}^S \Delta y_{ns} = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^{M_s} a_{nsm} \Delta x_{nsm}, n = \overline{1, N},$$

де  $a_{nsm}$  – коефіцієнт викидів для  $m$ -ої активності в  $s$ -му секторі  $n$ -ої ділянки,  $N$  – загальна кількість елементарних ділянок. У цій моделі вихідні дані та результати інвентаризації належать до елементарних ділянок території і тому вони не є зосереджені (це є результати просторової інвентаризації).

**Інформаційні технології інвентаризації.** В енергетичному секторі просторова інвентаризація парникових газів може бути здійснена з використанням математичної моделі:

$$\Delta Y_n = \sum_{m=1}^M a_{nm} \Delta x_{nm}, n = \overline{1, N},$$

де:  $a_{nm}$  – коефіцієнт викидів для  $m$ -го виду господарської діяльності в енергетичному секторі для  $n$ -ої елементарної ділянки,  $N$  – загальна кількість таких ділянок,  $\Delta x_{nm}$  – дані про економічну активність  $m$ -ої діяльності у цьому секторі;  $\Delta Y_n$  – величина викидів у цій ділянці. Як вхідні дані, так і результати такого оцінювання емісій є у формі георозподілених баз даних. Енергетичний сектор, відповідно до методики IPCC [9], охоплює п'ять підсекторів для різних категорій джерел викидів ( $M = 5$ ): енергоспоживання (видобуток, перероблення і спалювання палива); промисловість і будівництво; транспорт; житловий сектор (споживання палива населенням); спалювання палива в інших секторах. Зібрані статистичні дані використовують для формування георозподіленої бази даних, яка містить інформацію про економічну активність на території елементарної ділянки для кожного виду господарської діяльності. Детальні алгоритми формування таких баз даних описано в [6]. Узагальнені результати показують, що для Сілезького воєводства частка кожного виду палива у внутрішньому споживанні становить: 30,3 % – вугілля, 11,1 % – природного газу; 8,2 % – легкого пічного палива, 9,2 % – нафта; 3,5 % – важке дизельне паливо.

У наведеній вище математичній моделі просторової інвентаризації використовують також багато коефіцієнтів [1, 6, 8, 9]: коефіцієнтів викидів для аналізованих парникових газів, теплотворні значення всіх видів палива та інші параметри. З погляду цілого регіону, результати просторової інвентаризації не є зосередженими, вони є розподілені по всіх елементарних ділянках. Представлені таким чином результати відображають актуальний стан емісій та поглинань парникових газів і тому вони є дуже важливими для тих, хто приймає рішення щодо стратегічних напрямків економічного розвитку та охорони навколишнього середовища [4]. Також позитивним є той факт, що найнижчий рівень (рівень просторової інвентаризації) може бути реалізований для кожного регіону і цей результат відображає внесок окремих джерел та поглиначів парникових газів у сумарні емісії регіону.

**Схема інвентаризації викидів двоокису вуглецю та інших парникових газів внаслідок спалювання палива.** Процедуру просторової інвентаризації вуглекислого газу детально описано в [6]. Для інших парникових газів інвентаризація емісій також базується на статистичних даних за відповідними секторами економіки. Викиди цих газів залежать від типу використовуваного палива, технології спалювання, умов виробництва, технологій контролю та типу обладнання.

З метою інвентаризації викидів парникових газів  $CH_4, N_2O, NO_x, CO, NMVOC$  використовуємо три етапи: 1) оцінювання обсягу палива, що спалюється на рік для кожного сектора (в одиницях енергії); 2) оцінювання чинників, які впливають на емісії від кожного виду палива і кожного сектора; 3) обчислення емісій.

Методики IPCC, які стосуються джерел емісій, враховують низку чинників, які мають вплив на загальні емісії парникових газів. При цьому оцінювані емісії є результатом множення даних про витрати палива (в одиницях енергії) на коефіцієнти емісії.

**Схема інвентаризації викидів метану при видобуванні вугілля.** Інвентаризація викидів метану в добувній промисловості є одним з важливих елементів і може відігравати важливу роль у виборі можливих шляхів дотримання зобов'язань зі скорочення викидів парникових газів. У Сілезькому воєводстві істотним джерелом викидів метану є видобуток вугілля. Рівень емісій у цьому секторі істотно залежить від сорту вугілля, глибини родовища, вологості та інших параметрів.

Математична модель для розрахунку викидів метану внаслідок видобутку вугілля:  $E_{CH_4} = mK_{CH_4}\rho$ , де  $E_{CH_4}$  – викиди метану (Гг),  $m$  – обсяг видобутого вугілля (млн т),  $\rho$  – коефіцієнт викидів у процесі видобутку одиниці маси вугілля (Гг  $CH_4$  / млн т)  $K_{CH_4}$  – коефіцієнт емісії метану.

Емісія метану залежить від обсягів вугілля та способів його видобування. Методики IPCC окреслюють загальну модель інвентаризації емісій для двох способів видобутку вугілля. Для обчислення емісій в Сілезькому воєводстві було використано статистичні дані (в тис. т) про обсяги видобутого і переробленого вугілля, коксу і напівкоксу, коксового газу, а також дані (в млн м<sup>3</sup>) про перероблений та транспортований природний газ [10, 11]. Хоча видобуток вугілля в 2007 р. порівняно з 2006 р. скоротився на 5451 тис. т, проте обсяги цього видобутку є значними, а відповідні емісії метану є істотними порівняно з іншими видами палива.

**Геоінформаційні технології просторової інвентаризації та візуалізація результатів на цифровій карті.** Геоінформаційні технології просторової інвентаризації парникових газів об'єднують переваги геоінформаційної системи та міжнародних методик інвентаризації IPCC. Технологія просторової інвентаризації потребує ітераційного здійснення інвентаризації для всіх елементарних ділянок з використанням цифрових карт як основи для формування вхідних даних [2, 6]. Результати ітераційної процедури для всіх ділянок дають результати традиційної інвентаризації на регіональному рівні.

Створена комп'ютерна система для просторової інвентаризації емісій охоплює два основних модулі: Mod<sub>1</sub>Inwentaryzacja і Mod<sub>2</sub>Mapy. Модуль Mod<sub>1</sub>Inwentaryzacja являє собою програмний модуль, який реалізує ввід даних у відповідні поля таблиці Excel методик IPCC і формування кадастрів викидів парникових газів, спричинених спалюванням палива в різних сферах господарської діяльності або під час видобування вугілля чи газу. Дані, які наповнюють таблиці георозподілених баз даних, походять зі статистичних звітів, результатів відповідних наукових досліджень та створених цифрових картографічних шарів. Така інформація становить базу вхідних даних для формування кадастру емісій для кожної категорії діяльності і отримання на цій основі нових шарів цифрових карт, які узгоджуються з міжнародними методами інвентаризації (енергетика, промисловість, будівництво і т. ін.).

Основним завданням модуля Mod<sub>2</sub>Mapy є реалізація запитів у таблицях даних, отримання результатів інвентаризації, генерування і відображення створених нових шарів цифрової карти регіону. Вхідними даними для цього модуля є інформація з першого модуля, яка зберігається у таблиці результатів, а також набір топографічної інформації для аналізованого регіону. Усі шари містять детальну інформацію про викиди парникових газів (емісії на одиницю площі) для кожного виду господарської діяльності, на основі чого формуються нові шари цифрових карт. Представлений підхід забезпечує ефективну просторову інвентаризацію і візуалізацію результатів, а також прозорість процесу підготовки звітів. Для аналізу та відображення результатів інвентаризації для районів регіону використано IDW-інтерполяцію.

**Формування множини елементарних об'єктів.** З метою реалізації основних кроків просторової інвентаризації потрібно сформувати множину елементарних об'єктів, у межах яких здійснюватиметься аналіз. Ці елементарні об'єкти формують у вигляді територій розмі-

ром  $l \times l$  км, але обмежених границями відповідних адміністративних районів. Деякі з цих об'єктів мають квадратну форму і їхня площа становить  $l^2$  км<sup>2</sup>. Інші об'єкти обмежені кордонами району. Загальна кількість таких елементарних об'єктів становить:  $N = \sum_{r=1}^R N_r$ , де  $N$  – загальна кількість об'єктів;  $r$  – номер адміністративного району,  $r = 1, \dots, R$ ;  $R$  – кількість районів в області;  $N_r$  – кількість елементарних об'єктів в  $r$ -му районі. Площу  $r$ -го району обчислюємо тоді на основі формули  $D_r = \sum_{i=1}^{N_r} d_{ri}$ , де  $d_{ri}$  – площа  $i$ -ої ділянки в межах  $r$ -го району. Якщо  $v_{ri}$  є  $i$ -им елементарним об'єктом  $r$ -го району, то множину всіх елементарних об'єктів регіону можна знайти за формулою:

$$V = \bigcup_{r=1}^R \{v_{ri}, i = \overline{1, N_r}\}.$$

Створена геоінформаційна технологія дала змогу створити множину таких елементарних об'єктів воєводства для аналізу емісій парникових газів.

**Формування допоміжної цифрової карти про щільність населення.** Під час моделювання та просторового аналізу емісій парникових газів прийнято припущення, що інтенсивність викидів від деяких процесів пропорційна до густоти населення. З цією метою для всіх елементів множини  $V$  (множини елементарних об'єктів цифрової карти регіону) обчислюється густина населення, використовуючи результати перепису населення, за таким алгоритмом.

Для кожного адміністративного району  $r = \overline{1, R}$  для елементарних об'єктів  $k = \overline{1, N_{Mr}}$  міст та селищ міського типу ( $N_{Mr}$  – кількість таких поселень в  $r$ -му районі) чисельність населення  $z_{rk}^{(m)}$  визначають за результатами перепису. Для чисельності сільського населення  $v_{ri}$ ,  $i = \overline{1, N_r}$  (за винятком об'єктів, які входять в множину міст і міських поселень) кількість населення  $z_{ri}$  обчислюємо за формулою:

$$z_{ri} = \frac{d_{ri} \left( Z_r - \sum_{k=1}^{N_{Mr}} z_{rk}^{(m)} \right)}{D_r - \sum_{k=1}^{N_{Mr}} d_{rk}}, \quad i = \overline{1, N_r}; r = \overline{1, R},$$

де  $Z_r$  – населення  $r$ -го району. Таким чином, згідно із запропонованим підходом, припущено, що сільське населення рівномірно розподілено в межах адміністративного району. Населення області загалом  $Z$  знаходимо за формулою:

$$Z = \sum_{r=1}^R \left( \sum_{k=1}^{N_{Mr}} z_{rk}^{(m)} + \sum_{k=1}^{N_r} z_{rk} \right),$$

що повинно відповідати результатам перепису населення. Описану процедуру реалізовано з використанням геоінформаційної системи та цифрової карти воєводства.

**Аналіз емісій у процесі виробництва електроенергії та тепла.** Використання вичерпного палива в енергетичному секторі охоплює процеси перетворення цього палива для отримання різних видів енергії, процеси переробляння нафти та інших компонентів для виробництва нафтопродуктів та палива для виробництва електроенергії та тепла. Запропоновано підхід, відповідно до якого для кожного типу палива  $j = \overline{1, K_p}$ , де  $K_p$  – кількість аналізованих видів палива, насамперед встановимо  $N_{kp,j}$  найбільш впливових підприємств (викорис-

тане ними паливо  $j$ -го типу позначаємо як  $p_{kp,jk}$ ,  $k = \overline{1, N_{kp,j}}$ . Для цих підприємств обсяги використаного палива відносимо безпосередньо до елементарних об'єктів, де вони розташовані. Обсяги використаного палива, що залишилися (на практиці ці обсяги є незначними), розподіляємо між елементарними об'єктами пропорційно до населення, використовуючи при цьому залежність:

$$p_{jri} = \frac{z_{ri}}{Z} \left( P_j - \sum_{k=1}^{N_{kp,j}} p_{kp,jk} \right); \quad j = \overline{1, K_p}; \quad i = \overline{1, N_r}; \quad r = \overline{1, R},$$

де:  $p_{jri}$  – витрата палива  $j$ -го типу в  $i$ -му об'єкті,  $P_j$  – загальний обсяг споживання  $j$ -го виду палива в регіоні. Дані про витрати палива в енергетичному секторі Сілезького воєводства взято зі статистичних довідників [10, 11].

Так, під час аналізу емісій від виробництва електричної енергії та тепла емісії основних підприємств-забруднювачів було віднесено до елементарних ділянок за місцем розташування. Емісії від решти обсягів спожитого палива було розподілено між елементарними об'єктами пропорційно до населення (рис. 1, на якому показано густину викидів вуглекислого газу).

**Просторовий аналіз емісій метану в гірничодобувній промисловості та сумарні емісії.** Вугільна промисловість Сілезії дає істотні емісії метану. Ці емісії віднесено до елементарних ділянок за місцем розташування відповідних шахт, а під час обчислення самих емісій враховано обсяги видобутого вугілля. На рис. 2 показано питомі емісії метану у вугільній промисловості регіону.

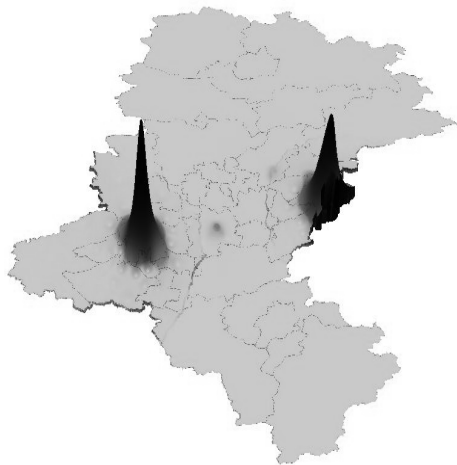


Рис. 1. Емісії  $CO_2$  внаслідок спалювання палива на виробництво електроенергії (3D-представлення)

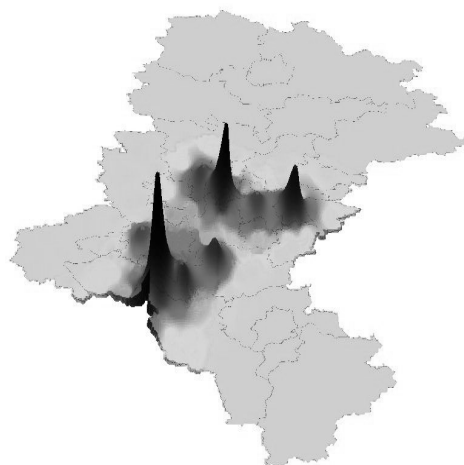


Рис. 2. Емісії  $CH_4$  під час видобування вугілля і природного газу (3D-представлення)

Аналогічним чином здійснено просторову інвентаризацію емісій парникових газів для інших категорій господарської діяльності регіону, зокрема для: спалювання палива населенням регіону, спалювання палива в промисловості та будівництві, використання палива транспортом та інші.

Сумарні викиди основних парникових газів прямої дії ( $CO_2, CH_4, N_2O$ ) внаслідок спалювання викопного палива обчислено з врахуванням коефіцієнтів глобального потепління, які відображають здатність відповідного газу спричинити парниковий ефект порівняно з вуглекислим газом (ці коефіцієнти становлять: для двоокису вуглецю – 1, для метану – 21, для закису азоту – 310). Сумарні емісії за 2007 р. в розрізі окремих районів показано на рис. 3. Ці результати свідчать про значну нерівномірність розподілу джерел емісій в регіоні. Вони показують, що абсолютними лідерами у викидах парникових газів в енергетичному секторі є: Рибнік, Хожув, Явожно та Домброва Гурніча.

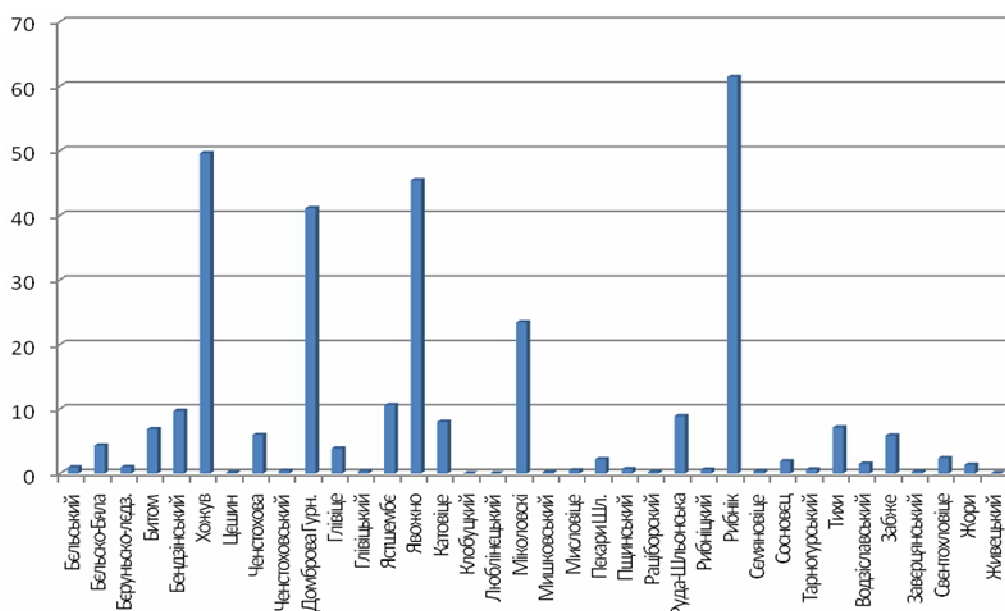


Рис. 3. Сумарні емісії парникових газів (тис. т, CO<sub>2</sub>-еквівалент)

**Засади реалізації просторової інвентаризації.** Створене програмне забезпечення для просторової інвентаризації викидів парникових газів є сумісним з Методикою IPCC, узгодженою на міжнародному рівні, і враховує емісії парникових газів в процесі: видобутку, перероблення та спалювання палива за категоріями джерел емісії (енергетика, промисловість, будівництво, транспорт та інші галузі), але з урахуванням елементарних об'єктів розміром 10?10 км.

При обчисленні емісій на регіональному рівні використовуються відповідні коефіцієнти викидів для всіх видів господарської діяльності, охоплених міжнародними Методиками IPCC. Більша ефективність таких просторових інвентаризацій пов'язана з тим, що є можливість ідентифікувати найвпливовіші джерела емісій і дати їм географічну прив'язку. Прикладом ефективного використання просторової інвентаризації може служити емісія від спалювання газу та вугілля для опалення будинків (житловий сектор). Ці емісії залежать від густини населення і обчислюються з використанням відповідних цифрових карт. За відсутності конкретних даних, необхідних для проведення інвентаризації на рівні елементарних ділянок, витрати палива можуть бути розподілені за ділянками з використанням запропонованих алгоритмів.

У процесі просторової інвентаризації кожному виду господарської діяльності відповідає окремий шар цифрової карти. Сумування результатів інвентаризації за всіма шарами та всіх елементарних ділянках дає результат традиційної інвентаризації. Використання цифрових карт і геоінформаційного підходу дає змогу отримувати регіональні просторові інвентаризації. При цьому можна використовувати "регіональні" коефіцієнти емісій, що значно підвищить точність інвентаризацій.

Вхідні дані, представлені у вигляді георозподілених баз даних (цифрових картографічних шарів), – це показники споживання всіх видів палива для кожного елементарного об'єкта на основі річної статистичної звітності. Такий підхід враховує структуру споживання та загальну кількість користувачів кожного виду палива в розрізі елементарних ділянок з розбиттям за секторами економіки. Остаточні результати просторового аналізу представляються у вигляді сумарного шару цифрової карти з використанням IDW-інтерполяції.

Для кожного сектора господарської діяльності (енергетика, промисловість, будівництво, транспорт тощо) Сілезького воєводства зібрано дані про кількість добутого і використаного вугілля, природного газу та нафти. Використовуючи ці дані, інформаційна система розподіляє обсяги палива за елементарними ділянками і обчислює річні обсяги емісії кожного

парникового газу ( $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ). На наступному етапі формуються і відображаються нові шари цифрової карти із результатами аналізу таких емісій:

- емісії  $CO_2$  в секторах виробництва електроенергії та теплової енергії, в промисловості та будівництві, на транспорті, в житловому секторі, в інших секторах (сільське господарство, торгівля, адміністрування тощо);
- емісії  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $CO$ ,  $NMVOС$ ,  $NO_x$  у всіх секторах;
- емісії  $CH_4$  в гірничодобувній промисловості і діяльності, пов'язаній з природним газом.

**Висновки.** Аналіз відомих підходів до інвентаризації парникових газів показує, що немає відповідних математичних методів і програмних засобів для просторового аналізу викидів (діоксиду вуглецю, метану та ін.) на рівні адміністративного регіону. Тому існує потреба створення відповідного математичного інструментарію та програмного забезпечення для просторової інвентаризації викидів парникових газів, зокрема в енергетичному секторі, який істотно впливає на сумарні емісії. Таким чином, цінну інформацію про величину та місце розташування джерел викидів можна використати для вироблення стратегії участі адміністративних одиниць у скороченні викидів або використання можливостей торгівлі квотами на викиди.

Підхід до створення цифрових карт емісій для Сілезького воєводства дав змогу здійснити детальніший аналіз викидів парникових газів в атмосферу. У процесі створення нових шарів цифрової карти використовують алгоритми, які враховують низку додаткових параметрів, зокрема, густоту населення в різних районах, види та обсяги спожитого палива, обсяги промислового виробництва в різних галузях економічної діяльності. Розроблені математичні моделі для просторової інвентаризації вуглекислого газу, метану та інших парникових газів дають змогу обчислювати емісії під час: виробництва електроенергії, в житловому секторі, у промисловості та будівництві, на транспорті. Ці моделі дали змогу отримати просторовий розподіл сукупних викидів парникових газів у Сілезькому воєводстві.

Розроблена геоінформаційна технологія формування просторових кадастрів викидів парникових газів на регіональному рівні використовує георозподілені бази даних із статистичною інформацією та програмне забезпечення на основі Методик IPCC. Результати інвентаризації парникових газів на рівні елементарних об'єктів дають змогу проводити детальний аналіз емісій у конкретних секторах. Представлені у такому вигляді результати дають широкі можливості використовувати потенціал сучасних геоінформаційних систем до просторового аналізу. Результати інвентаризації викидів парникових газів в енергетичному секторі Сілезького воєводства вказали на значні відмінності у викидах в окремих районах. Результати інвентаризації у вигляді цифрових карт ілюструють внесок окремих районів у загальні обсяги викидів парникових газів, що дало змогу ідентифікувати найзабрудненіші райони та вивчити структуру джерел емісій.

### Список літератури:

1. **Бунь Р.А.** Математичні моделі для просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі Львівщини / Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль // Моделювання та інформаційні технології. – 2007. – Вип. 40. – С. 167-175.

2. **Бунь Р.А.** Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі на регіональному рівні / Р.А. Бунь, Х.В. Гамаль // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ, 2008. – № 1. – С. 23-31.

3. **Інформаційні** технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / за ред. Р.А. Буня. – Львів : Вид-во УАД, 2004. – 376 с.

4. **Bucki R.** Mathematical modelling of allocation processes as an effective tool to support decision making / R. Bucki // Information and Telecommunication Systems, Polish Information Processing Society. – Bielsko-Biala, 2008. – No. 17. – P. 7-13.

5. **Bun R.** Computer system and high efficient information technologies for greenhouse gas distributed inventory / R. Bun // *Informatyczne Wspomaganie Procesow Logistycznych*. – Warszawa : WKŁ, 2004. – P. 415-430.

6. **Bun R.** Informacyjna technologia przestrzennej inwentaryzacji gazow cieplarnianych w sektorze energetycznym Województwa Śląskiego / R. Buń, S. Fila // *Zastosowania internetu*. – Dąbrowa Gornicza : WSB, 2009. – S. 33-55.

7. **Bun R.** Spatial GHG inventory: Analysis of uncertainty sources. A case study for Ukraine / Bun R., Gusti M., Kujii L., et al. // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* / Springer Netherlands. – 2007. – Vol. 7, N. 4-5. – P. 483-494.

8. **Hamal Kh.** Carbon dioxide emissions inventory with GIS / Kh. Hamal // *Artificial Intelligence*. – Donetsk, 2008. – № 3. – P. 55-62.

9. **IPCC** Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds), IPCC, IGES, Japan 2006.

10. **Ochrona** środowiska w Województwie Śląskim w latach 2000-2007. – Katowice : Urząd Statystyczny w Katowicach, 2008. – 128 s.

11. **Stan** środowiska w Województwie Śląskim w 2006 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska. – Katowice : Urząd Statystyczny w Katowicach, 2007. – 172 s.

*P.A. Бунь, д-р техн. наук, профессор (НУ "Львовская политехника"),  
С. Філя (Академия бизнеса в Домброве Гурничей, Польша),  
М.П. Сорочич (Львовский государственный университет безопасности  
жизнедеятельности)*

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ СИЛЕЗСКОГО ВОЕВОДСТВА**

Представлены геоинформационные технологии пространственной инвентаризации парниковых газов (диоксида углерода, метана и др.) в энергетическом секторе Силезского воеводства Польши. Используются геораспределенные базы данных, программное обеспечение геоинформационной системы и международные методологии инвентаризации. Разработаны математические модели для инвентаризации двуоксида углерода, метана и других парниковых газов в процессе сжигания топлива при производстве электроэнергии, в жилом секторе, в промышленности и строительстве, на транспорте. Эти модели позволили получить пространственное распределение суммарных эмиссий парниковых газов Силезского воеводства с учетом вклада каждого района в общие процессы эмиссии.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, пространственная инвентаризация, парниковый газ.

*R.A. Bun, Prof. (Lviv Polytechnic National University),  
S. Fila (Academy of Business in Dąbrowa Gornicza, Poland),  
M.P. Sorochych (Lviv State University of Vital Activity Safety)*

## **INFORMATION TECHNOLOGY OF SPATIAL INVENTORY OF GREENHOUSE GASES IN ENERGY SECTOR OF SILESIA REGION**

GIS technology of spatial inventory of greenhouse gases (carbon dioxide, methane, etc.) in the energy sector of Silesia Region in Poland has been presented. Georeferenced databases, GIS software, and international inventory methodologies have been used. The mathematical models for inventory of carbon dioxide, methane and other greenhouse gases during the combustion of fuel in the production of electricity, in the residential sector, industry, construction, and transport have been created. These models allow to obtain the spatial distribution of total emissions of greenhouse gases of Silesia Region, taking into account the contribution of each region in the overall processes of emission.

**Keywords:** GIS technology, spatial inventory, greenhouse gas