

стаціонарним процесом. Це дає змогу виконати попередні розрахунки можливих станів техногенної ситуації, що значно зменшить трудомісткість прогнозування її стану за рахунок виконання основної частини ресурсоемних обчислень до запиту на прогнозування.

1. Савчук Т. О. Аналіз методів прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, що базуються на теорії штучного інтелекту / Т. О. Савчук, А. В. Козачук // Системний аналіз та інформаційні технології: мат. 12-ї Міжнар. наук.-техн. конф. SAIT 2010 – м. Київ, 25–29 травня 2010 р. / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ” – С. 309. 2. Юхимчук С. В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті / С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман. – Вінниця: Універсум, 2008. – 144 с. 3. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. Айвазян, В. Бухштабер, И. Енюков, Л. Мешалкин // Финансы и статистика. – М., 1989. – 608 с. 4. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, – 2004. – 49 с. 5. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с. 6. Савчук Т. О. Результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни / Т. О. Савчук, А. В. Козачук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія “Технічні науки” (м. Хмельницький). – 2011. – № 1. – С. 192–196.

УДК 004.942

Н.В. Чарковська¹, О.С. Стрямець², Р.А. Бунь¹
Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра прикладної математики,
²кафедра інформаційних систем та мереж

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ВІД ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТЕЙ ПОЛЬЩІ

© Чарковська Н.В., Стрямець О.С., Бунь Р.А., 2014

Розроблено математичні моделі для просторового аналізу процесів емісії парникових газів від виробництва паперу та целюлози, харчових продуктів та напоїв. З використанням геоінформаційної технології отримано оцінки емісій парникових газів у Польщі як для заводів, так і на рівні елементарних ділянок 2 ´ 2 км.

Ключові слова: геоінформаційна технологія, математичне моделювання, емісія парникових газів, харчова промисловість, просторова інвентаризація, Польща.

The mathematical models for spatial analysis of GHG emission processes from pulp, paper, food products and beverages have been developed. Using geoinformation technology the estimates of GHG emissions in Poland at the level of production plants, as well as at the level of elementary areas 2 km ´ 2 km in size have been obtained.

Key words: geoinformation technology, mathematical modeling, greenhouse gas emission, food industry, spatial inventory, Poland.

Вступ. Постановка завдання та його актуальність

Сьогодні глобальна зміна клімату – найгостріша проблема у сфері охорони довкілля – активно обговорюється в наукових колах. Поряд з природними процесами, вагому частку впливу на кліматичні зміни зумовлює антропогенний чинник. Про це свідчить стрімке зростання концентрації парникових газів у атмосфері нашої планети внаслідок ведення людиною господарської діяльності

(виробництво промислової продукції, ведення сільського господарства, зростання кількості сміттєзвалищ тощо).

Основною проблемою під час перевірки дотримання міжнародних зобов'язань щодо зменшення рівня викидів є оцінювання емісій парникових газів для всіх секторів економіки. Національний кадастр парникових газів забезпечує оцінки емісій на рівні країни загалом. Проте для ефективного зниження рівня викидів необхідна інформація про джерела емісії парникових газів не тільки для цілих країн, але і для окремих їх регіонів. Просторова інвентаризація парникових газів дає можливість оцінювати емісії парникових газів на невеликих ділянках території, наприклад, 2х2 км, а також використовувати місцеві коефіцієнти емісії для конкретних підприємств. І навіть більше, результати просторово розподіленої інвентаризації можуть використати державні органи для планування стратегії розвитку окремих регіонів.

У промисловому секторі зосереджена найбільша кількість точкових джерел емісій парникових газів – потужних підприємств з виробництва різної промислової продукції. Результати інвентаризації парникових газів для Польщі загалом представлено у річних національних звітах. У процесі виробництва целюлози та паперової продукції в атмосферу емітується значна кількість вуглекислого газу (CO_2), неметанових летких органічних сполук (НМЛОС, англ. NMVOC), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та двоокису сірки (SO_2). Останні чотири гази належать до парникових газів непрямої дії та не можуть бути переведені в одиниці вуглекислого газу. За даними польського національного звіту з інвентаризації за 2012 р. [12], емісії від целюлозно-паперової промисловості становили 8,6 тис. тонн вуглекислого газу (CO_2). Проте у звіті відсутні оцінки емісій непрямих ПГ від виробництва целюлози та паперу, а також емісій НМЛОС від харчової промисловості, що вкрай необхідні для визначення загальної структури емісій у цьому секторі.

Просторова інвентаризація парникових газів у промисловому секторі Польщі досі не виконана. Отже, розроблення математичних моделей, методів для оцінювання процесів емісії парникових газів від целюлозно-паперової та харчової промисловості Польщі та побудова просторового кадастру цих емісій є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень

Х.В. Гамаль, М.Ю. Лесів та А.Р. Бунь зробили значний внесок у створення геоінформаційних технологій і відповідних математичних моделей процесів емісії та поглинання парникових газів для територіального аналізу цих процесів у різних секторах людської діяльності (енергетика, промисловість, сільське господарство, транспорт, лісове господарство) [1, 2, 4], які можна використовувати для побудови просторових кадастрів емісій.

Розроблено математичні моделі для просторового аналізу емісійних процесів у Західній Україні, зокрема для Львівщини [3]. Вони враховують специфіку джерел емісії парникових газів у цьому регіоні. Частково досліджено емісії ПГ у промисловості України, зокрема від виробництва м'яса та цукру [5].

Мета та формування цілей статті

Мета роботи – розроблення математичних моделей для оцінювання процесів емісії парникових газів у харчовій та паперовій промисловості та здійснення їх просторової інвентаризації.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

- сформувати бази даних основних промислових підприємств, їх географічні координати та технологію виробництва продукції;
- побудувати цифрову карту точкових джерел емісії парникових газів (підприємств) з використанням їх географічних координат;
- зібрати інформацію про обсяги виробництва промислової продукції та дезагрегувати ці статистичні дані до рівня підприємств/елементарних ділянок з використанням певного індикатора дезагрегації, специфічного для кожної категорії діяльності, наприклад потужності підприємств, кількості міського населення тощо;

- створити спеціалізовану геоінформаційну систему для просторового аналізу емісій парникових газів, що використовує статистичні дані щодо результатів промислової діяльності, цифрову карту воєводств, карту промислових підприємств, карту густоти населення, карту міст;
- здійснити обчислювальні експерименти з оцінювання емісій парникових газів та виконати їх просторовий аналіз.

Специфіка емісійних процесів у паперовій та харчовій промисловості

Сьогодні існує багато різних способів отримання целюлози: хімічний (сульфатний, сульфатний), напівхімічний (нейтральний сульфатний напівхімічний) та механічний (термомеханічний, хімічно-термомеханічний) тощо. Останнім часом все більше застосовується сульфатний хімічний спосіб виробництва целюлози завдяки можливості переробки відходів деревообробної промисловості. Недоліком сульфатної целюлози є її коричневий колір внаслідок зафарбовування волокон розчиненими смолами, проте вона є дуже міцною і цінною сировиною для виготовлення високоякісного паперу для документів, словників тощо. Підприємство Mondi Swiece S.A. займається виробництвом целюлози трьома різними способами: сульфатним хімічним, напівхімічним та хімічно-термомеханічним, Stora Enso Ostroleka S.A. – сульфатним хімічним та напівхімічним, а International Paper Kwidzyn Sp. z o. o. – лише сульфатним. Відповідно до статистичної інформації з [11] сульфатна целюлоза не виготовляється у Польщі.

Історично так склалося, що підприємства з виробництва паперу та целюлози розташовані поблизу лісів та річок, оскільки деревина та вода є невід'ємною сировиною для виготовлення деревної маси. В результаті аналізу цифрової карти землекористування Польщі з роздільною здатністю 100 м [7], а також інформації про найпотужніших виробників визначено місця розташування основних підприємств з виробництва целюлози та паперу, що використано для побудови цифрової карти таких підприємств.

За інформацією Асоціації польських виробників паперу [14], в країні нараховується 11 найбільших виробників паперу, целюлози та картону, а також 16 підприємств-виробників гофрованого картону. У 2011 р. обсяги виробництва становили 2 934,3 тис. тонн різних типів паперу та картону, з них 1 005,1 тис. тонн паперу для друку вироблено підприємствами International Paper Kwidzyn Sp. z o.o. та Arctic Paper Kostrzyn S.A. [10]. Лідерами на польському ринку туалетного паперу є компанії Kimberly-Clark (19,3 %), Metsa Tissue (15,6 %) та Deltissue (11,8 %). Обсяги виробництва паперу для санітарних та господарських цілей становили у 2010 році 466 тис. тонн. Найбільші підприємства з виробництва гофрованого картону – Mondi, Smurfit Kappa, Stora Enso, DS. Smith, VPK, Model, Dunapack, TFP – виробили 1 441 тис. тонн гофрованого картону у 2010 р. У цій роботі досліджено процеси емісії парникових газів на 50 підприємствах з виробництва целюлози та паперу, які вважаємо точковими джерелами емісії.

Відповідно до класифікації джерел емісій парникових газів харчова промисловість поділяється на такі категорії: виробництво пива, вина, міцних алкогольних напоїв, хліба, макаронів, м'яса, риби, птиці, цукру, твердих жирів, обсмажених кавових зерен, комбікорму для тварин тощо. Відповідно до опублікованої у [8] інформації, на кінець третього кварталу 2011 р. в країні було зареєстровано 29 000 підприємств харчової промисловості. З них на підприємства з виробництва хліба припадало 43 % продукції, м'яса та м'ясопродуктів – 18 %, а частка підприємств з виробництва маргарини та харчових жирів становила лише 0,04 %. Також відомо, що 40 % всіх підприємств харчової промисловості зареєстровано у Мазовецькому, Сілезькому та Великопольському воєводствах. На польському ринку виробництва пива працюють чотири найбільші компанії: Kompania Piwowarska (частка на ринку в 2012 р. – 38 %), Grupa Żywiec (33 %), Carlsberg Polska (19 %), Van Pur (5 %) та інші. Виробництвом цукру займаються підприємства Krajowa Spółka Cukrowa S.A. (частка на ринку в 2010 р. – 39,1 %), Pfeifer & Langen Polska S.A. (26,4 %), Sudzucker Polska Sp z o.o. (25 %) та Nordzucker Polska S.A. (9,4 %). Компанія Animex Food Sp z o.o. є беззаперечним лідером з виробництва червоного м'яса та птиці, ковбас та консервів.

Емісії НМЛОС від виробництва алкогольних напоїв виділяються під час переробки фруктів та хлібних злаків у ході підготовки до процесів ферментації. Також емісії НМЛОС спостерігаються під час переробки цукрового буряку та тростини і подальшого рафінування цукру; нагрівання олії

та жирів для виробництва маргарину; випікання продуктів із хлібних злаків, борошна та бобових; бродіння під час виробництва хліба та хлібобулочних виробів; перероблення м'яса та виробництва м'ясних консервів та ковбас; смаження кавових зерен тощо [6].

Математичні моделі емісійних процесів

Традиційна інвентаризація парникових газів передбачає оцінювання емісій на рівні країни і не враховує специфіку регіонів. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні додаткової просторово розподіленої інвентаризації, яка б давала можливість використовувати специфічні коефіцієнти емісії для конкретних підприємств. Підхід до просторової інвентаризації парникових газів полягає у поділі досліджуваної території на елементарні ділянки та почерговому оцінюванні емісій для кожної з них. Результати такої інвентаризації, в принципі, вже не є зосередженими і стосуються елементарної ділянки території [3]. Під час побудови просторових кадастрів емісії заводи з виробництва паперу та целюлози відображаємо як точкові джерела емісії. Для проведення інвентаризації парникових газів у целюлозно-паперовій промисловості використовуємо математичну модель:

$$E_{Paper}^g(x_{Paper,n_p}) = D_{stat}(x_{Paper,n_p}) \cdot K_{Paper}^g(x_{Paper,n_p}) \quad (1)$$

$$x_{Paper,n_p} \in \Xi_{Paper}, n_p = \overline{1, N_{Paper,p}}, \quad (2)$$

де E_{Paper}^g – річні емісії g -го парникового газу (CO_2 , CO , NO_x , SO_2 , НМЛОС) від виробництва паперу x_{Paper,n_p} -м підприємством; D_{stat} – статистичні дані щодо виробництва паперу; K_{Paper}^g – коефіцієнт емісії g -го парникового газу для x_{Paper,n_p} -го підприємства; Ξ_{Paper} – множина підприємств з виробництва паперу; $N_{Paper,p}$ – кількість таких підприємств.

Емісії від заводів з виробництва целюлози оцінюємо за аналогічним принципом, що й для паперу, використовуючи інформацію щодо виробництва целюлози на заводах та специфічні коефіцієнти емісії.

Нехай $\Delta = \{d_m, m = \overline{1, M}\}$ – множина елементарних об'єктів досліджуваної території, які утворено накладанням регулярної сітки з кроком l_{grid} на карту аналізованої території з урахуванням адміністративного поділу, де M – кількість таких елементарних об'єктів; $\tilde{R}_1 = \{R_{1,n_1}, n_1 = \overline{1, N_1}\}$ – множина адміністративно-територіальних одиниць “першого рівня” (воєводств), N_1 – кількість таких адміністративних одиниць; $\tilde{S}^{urb} = \{S_{n_{urb,s}}^{urb}, n_{urb,s} = \overline{1, N_{urb,s}}\}$ – множина міст та селищ міського типу, $N_{urb,s}$ – кількість таких населених пунктів на аналізованій території; $\Xi_{Meat} = \{x_{Meat,n_p}, n_p = \overline{1, N_{meat,p}}\}$ – множина точкових джерел емісії – підприємств з виробництва м'яса, $N_{meat,p}$ – кількість таких підприємств.

Нехай $\tilde{S}^{urb, R_{1,n_1}} = \tilde{S}^{urb}_{R_{1,n_1}}, \tilde{S}^{urb, R_{1,n_1}} = \{S_{n_{urb,s}}^{urb}, n_{urb,s} = \overline{1, N_{urb,s}}\}$ – множина міст та селищ міського типу у воєводстві R_{1,n_1} , якщо $S_{n_{urb,s}}^{urb} \subset R_{1,n_1}$.

На рис. 1 подано територіальний розподіл найбільших підприємств з виробництва харчових продуктів на напоїв. Оскільки для таких підприємств відомі їх річні виробничі потужності, специфічні коефіцієнти емісій парникових газів та географічні координати, то вважаємо їх точковими джерелами емісій. Проте для таких категорій, як, наприклад, виробництво м'яса, риби, птиці, хліба тощо, є велика кількість дрібніших підприємств, які не відображено на цьому рисунку. З урахуванням значного скупчення таких підприємств на достатньо малій території населених пунктів вважаємо всю цю територію площинним джерелом емісії.

Вважаємо також, що обсяги виробництва м'ясопродуктів малими підприємствами розподілено територіально пропорційно до міського населення. Тому для оцінювання емісій НМЛОС

від виробництва м'ясопродуктів на рівні елементарних ділянок достатньо малого розміру необхідні статистичні дані про обсяги виробництва м'ясопродуктів (відомі на рівні воєводств) дезагрегувати пропорційно до частки населення міста в елементарній ділянці. З цією метою використано цифрову карту меж міських населених пунктів за 2007 р. та цифрову карту густоти населення в Польщі на рівні елементарних ділянок 2×2 км за 2009 р. [9] та карту воєводств.

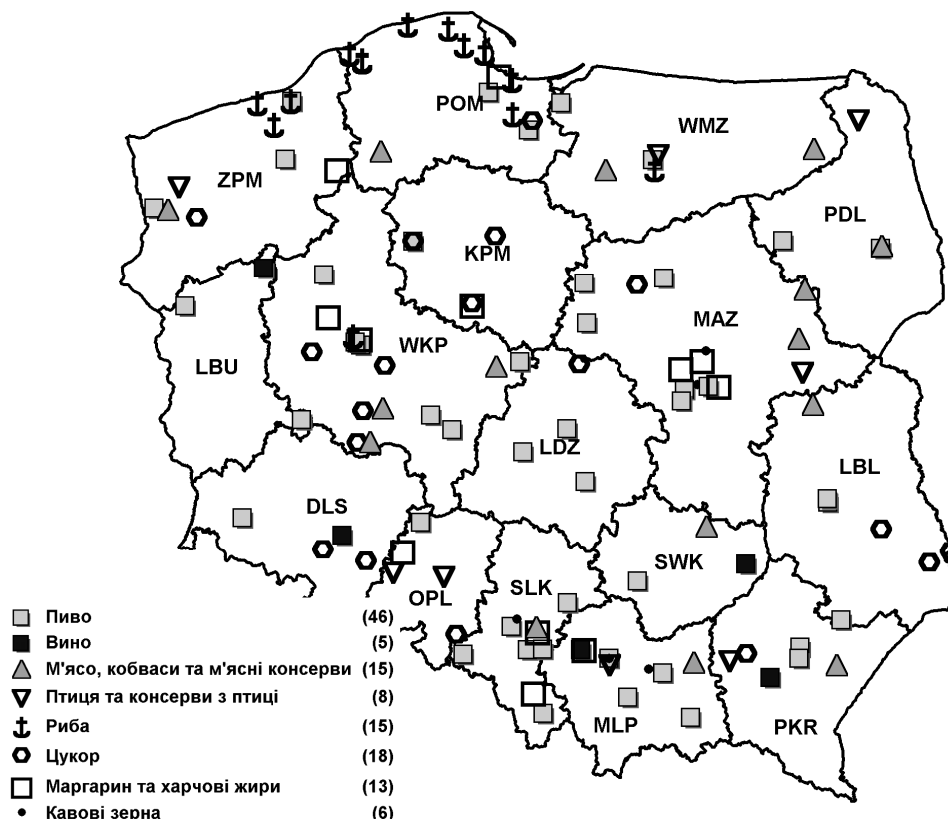


Рис. 1. Цифрова карта найбільших підприємств з виробництва харчових продуктів та напоїв

Обсяги виробництва м'ясопродуктів у місті обчислюємо, використовуючи формулу:

$$D(S_{n_{urb,s}}^{urb}) = \frac{D(R_{1,n_1}) \cdot P(S_{n_{urb,s}}^{urb})}{P(R_{1,n_1})}, \quad (3)$$

де $D(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – шукані обсяги виробництва м'ясопродуктів у місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$; $D(R_{1,n_1})$ – обсяги виробництва м'ясопродуктів у воєводстві R_{1,n_1} ; $P(R_{1,n_1})$, $P(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – кількість населення у воєводстві R_{1,n_1} та місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$, відповідно. Відношення кількості населення в аналізованій елементарній ділянці до кількості населення у місті можна обчислити як:

$$c(d_m, S_{n_{urb,s}}^{urb}) = \frac{d(d_m) \cdot \text{area}(S_{n_{urb,s}}^{urb} \cap d_m)}{P(S_{n_{urb,s}}^{urb})}, \quad m = \overline{1, M}, \quad (4)$$

де $c(d_m, S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – шукана частка населення в m -й елементарній ділянці d_m ; $d(d_m)$ – густина населення в m -й елементарній ділянці; $P(S_{n_{urb,s}}^{urb})$ – кількість населення у місті $S_{n_{urb,s}}^{urb}$, до якого

належить m -та елементарна ділянка, тобто $d_m \subset S_{n_{urb,s}}^{urb}$ (географічний об'єкт d_m розміщений у межах географічного об'єкта $S_{n_{urb,s}}^{urb}$), $area(x)$ – площа об'єкта x , \mathbf{I} – операція знаходження спільної території двох географічних об'єктів.

Процесам емісії легких неметанових сполук від виробництва м'ясопродуктів з урахуванням відомої діяльності окремих великих підприємств ξ_{Meat,n_p} , $n_p = \overline{1, N_{Meat,p}}$, а також невідомої діяльності малих підприємств поставлено у відповідність математичну модель (у випадку, коли жодне велике підприємство не потрапляє в елементарну ділянку d_m):

$$^{(1)}E_{Meat}^{NMVOC}(d_m) = \left[D(S_{n_{urb,s}}^{urb}) - \sum_{n_p=1}^{N_{meat,p}} D(x_{Meat,n_p}) \right] \times K_{Meat}^{NMVOC}(d_m) \times c(d_m, S_{n_{urb,s}}^{urb}),$$

$$x_{Meat,n_p} \not\subset d_m, \quad (5)$$

де $E_{Meat}^{NMVOC}(\delta_m)$ – емісії в межах δ_m -ї елементарної ділянки; $D(x_{Meat,n_p})$ – статистичні дані про виробництво м'ясопродуктів x_{Meat,n_p} -м підприємством; $K_{Meat}^{NMVOC}(\delta_m)$ – коефіцієнт емісії в цій ділянці. Натомість у випадку, коли в межах δ_m -ї елементарної ділянки містяться декілька великих підприємств, математична модель процесів емісії легких неметанових сполук має вигляд:

$$^{(2)}E_{Meat}^{NMVOC}(d_m) = ^{(1)}E_{Meat}^{NMVOC}(d_m) + \sum_{n_p=1}^{N_{meat,p}} \left[D(x_{Meat,n_p}) \times K_{Meat}^{NMVOC}(x_{Meat,n_p}) \right],$$

$$x_{Meat,n_p} \subset d_m. \quad (6)$$

Вхідними даними для математичної моделі (1) є відповідна статистична інформація на рівні країни про обсяги виробництва різних типів паперу та коефіцієнти емісії парникових газів для паперу. Статистичні дані використано із сайту банку регіональних даних Польщі [11]. Коефіцієнти емісії використано з традиційних методик інвентаризації парникових газів за 1996 р. [6]. Математичні моделі (5) та (6) залежать від статистичної інформації щодо обсягів виробництва м'ясопродуктів найбільшими підприємствами та сумарно для воєводств [13], національного коефіцієнта емісії НМЛОС для м'ясопродуктів з [6] та специфічних коефіцієнтів емісії для окремих підприємств.

Кадастр емісій парникових газів у целюлозно-паперовій та харчовій промисловості

Для здійснення просторової інвентаризації парникових газів створено спеціалізовану геоінформаційну систему, яка використовує інформацію щодо обсягів виробництва промислової продукції на рівні країни та воєводств, цифрову карту міст та селищ міського типу, карту воєводств, карту промислових підприємств та допоміжну сітку елементарних об'єктів. Уся інформація зберігається у вигляді георозподілених баз даних, що містять прив'язку до географічних об'єктів (наприклад, полігонів – для міст та селищ міського типу, точок – для підприємств). Розроблена геоінформаційна технологія дає можливість будувати цифрові карти емісій парникових газів та здійснювати їх просторовий аналіз. При цьому категоріям як паперової, так і харчової промисловості відповідає окремий шар цифрової карти.

З використанням геоінформаційної технології для кожного підприємства з виробництва паперу оцінено емісії вуглекислого газу (CO_2), оксидів азоту (NO_x), неметанових легких органічних сполук (NMVOC), оксиду вуглецю (CO) та двоокису сірки (SO_2). Результати інвентаризації для підприємств подано у вигляді шару цифрової карти, який відображає емісії цих газів (рис. 2). Як приклад, на рис. 3 проілюстровано розподіли емісій цих газів від виробництва паперу сумарно на рівні воєводств Польщі.

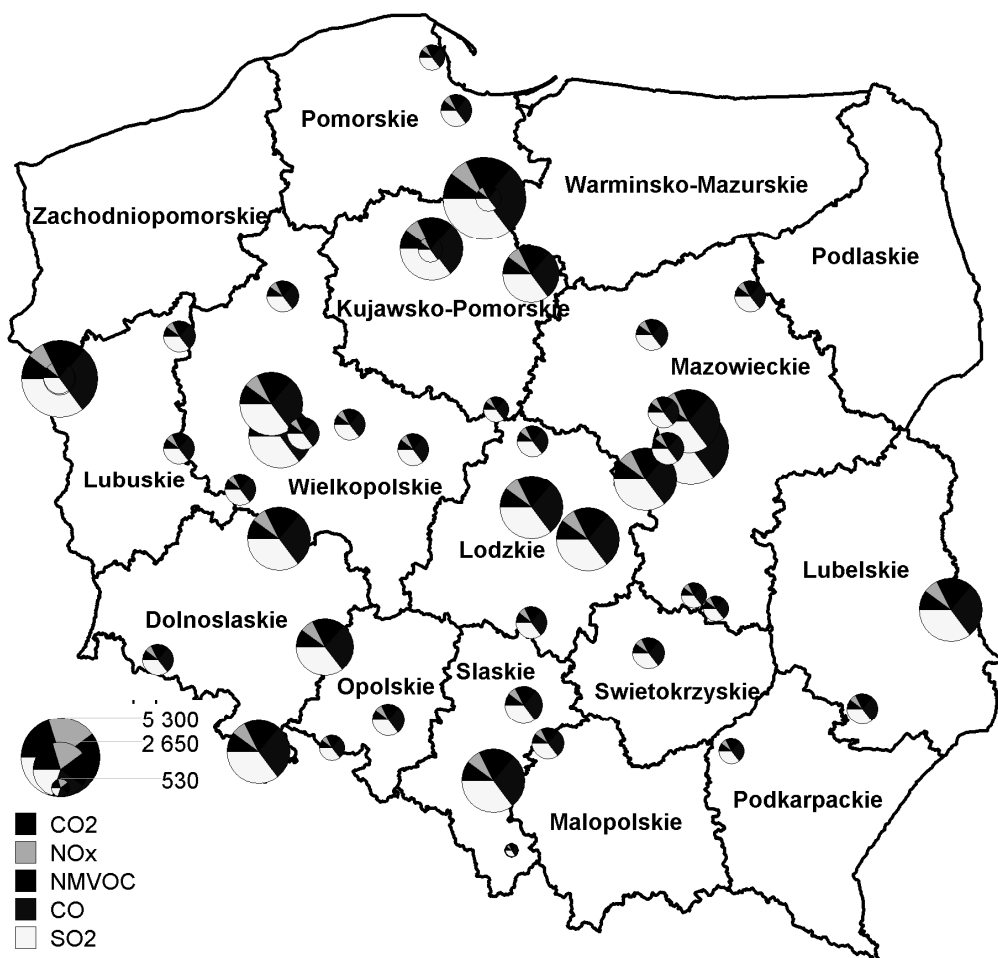


Рис. 2. Структура емісій парникових газів від виробництва паперу на підприємствах Польщі за типом газу (тонни, 2010 р.)

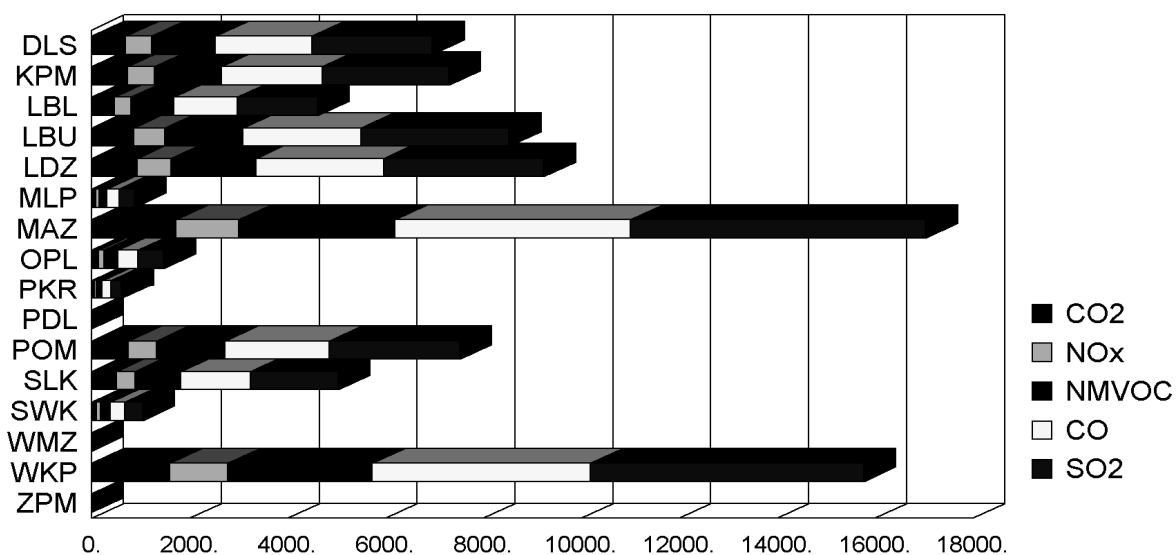


Рис. 3. Просторовий розподіл емісій парникових газів від виробництва паперу у воєводствах Польщі за типом газу (тонни, 2010 р.)

Результати аналізу показали, що найбільшими емісії були у Мазовецькому воєводстві (6 026,5 тонни SO₂), Великопольському (5 578,5 тонни SO₂) та Лодзькому (3 265,8 тонни SO₂). Також з використанням розроблених математичних моделей емісійних процесів отримано оцінки емісій парникових газів від виробництва сульфатної целюлози для трьох підприємств (рис. 4).

У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій неметанових летких органічних сполук для кожної категорії харчової промисловості на рівні елементарних ділянок 2 × 2 км на території всієї Польщі. Як приклад, результати просторової інвентаризації НМЛОС від виробництва м'ясопродуктів подано на рис. 5 для Сілезького воєводства. Розподіл джерел емісій вкрай нерівномірний через різну густоту населення у елементарних ділянках міських населених пунктів.

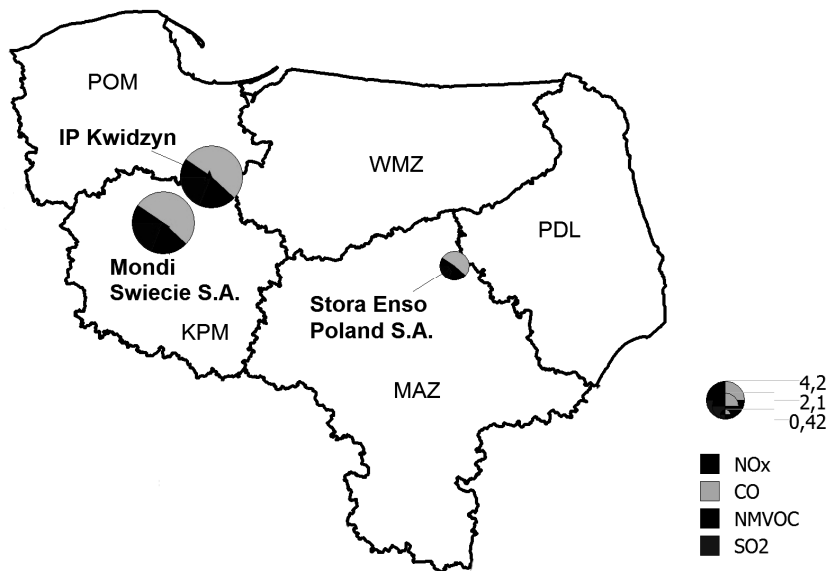


Рис. 4. Емісії парникових газів від виробництва сульфатної целюлози на заводах (тис. тонн, 2010 р.)

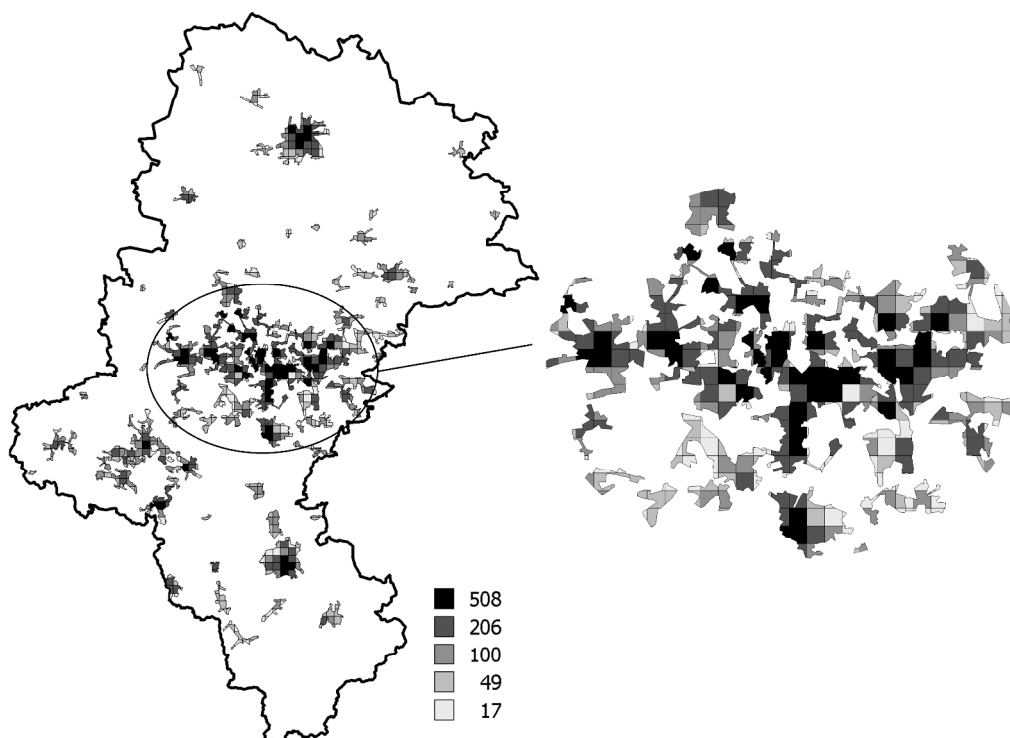


Рис. 5. Емісії неметанових летких органічних сполук (НМЛОС) від виробництва м'ясопродуктів у Сілезькому воєводстві на рівні елементарних ділянок 2 × 2 км (кг, 2010 р.)

Висновки

Розроблені математичні моделі та геоінформаційна технологія їх реалізації дають можливість здійснити просторову інвентаризацію емісій парникових газів у целюлозно-паперовій та харчовій промисловості як від точкових джерел емісії (великих підприємств), так і для міських чи сільсько-міських адміністративних гмін Польщі, а також на рівні елементарних ділянок території. Математичні моделі залежать від обсягів виробництва відповідної продукції та специфічних національних чи регіональних коефіцієнтів емісії.

У результаті обчислювальних експериментів отримано оцінки емісій парникових газів для кожної категорії господарської діяльності на рівні елементарних ділянок 2×2 км для Польщі. Здійснено порівняльний аналіз отриманих результатів для целюлозно-паперової промисловості з тими, що подано у національному звіті про емісії парникових газів [12]. Результати інвентаризації, наведені у вигляді просторових кадастрів, є корисними для владних структур під час прийняття стратегічних рішень щодо шляхів зниження емісій парникових газів на відповідних територіях. Роботи виконано відповідно до проекту 7FP Marie Curie Actions IRSES project No. 247645.

1. Бунь А. Р. Методи та засоби аналізу процесів емісії парникових газів з врахуванням невизначеностей вхідних даних : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Бунь Андрій Ростиславович. – Львів : Національний університет “Львівська політехніка”, 2009. – 185 с. 2. Гамаль Х. В. Геоінформаційна технологія для просторового аналізу парникових газів в енергетичному секторі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Гамаль Христина Володимирівна. – Львів : Національний університет “Львівська політехніка”, 2009. – 246 с. 3. Інформаційні технології формування кадастру емісій парникових газів Львівщини / Р. А. Бунь, Н. О. Шпак, Б. М. Матолич та ін.; за ред. Р. А. Буня та Н. О. Шпака. – Львів : Видавничий дім “Укрпол”, 2010. – 272 с. 4. Лесів М. Ю. Математичне моделювання та просторовий аналіз емісії парникових газів у прикордонних регіонах України : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Лесів Мирослава Юріївна. – Львів : Національний університет “Львівська політехніка”, 2011. – 195 с. 5. Яремчишин Е. Б. Специализированная геоинформационная система моделирования и анализа эмиссии парниковых газов в промышленном секторе на региональном уровне / Е. Б. Яремчишин, Р. А. Бунь, К. В. Гамаль // Штучний інтелект. – 2009. – № 3. – С. 152–159. 6. 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch2wb3.pdf>. 7. European Environment Agency. [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>. 8. Food sector in Poland. Economic Information Department. Polish Information and Foreign Investment Agency. Warsaw, 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <http://www.paiz.gov.pl>. 9. Gallego F. J. A population density grid of the European Union // Population and Environment. – 2010. – Vol. 31. – P. 460-473. 10. Produkcja i zużycie papieru i tektury w Polsce w 2011 roku na tle krajów europejskich. Przegląd papierniczy, Wrzesień 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.przegl-pap.com.pl/rynek%20forn09.pdf>. 11. Produkcja wyrobów przemysłowych w 2011 r. – GUS, 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.stat.gov.pl/gus/przemysl_bud_PLK_HTML.htm. 12. Poland's National Inventory Report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988–2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection. – Warszawa : National Research Institute, 2012. 13. Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2011. – GUS, 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.stat.gov.pl/gus/5840_4127_PLK_HTML.htm. 14. Stowarzyszenie Papierników Polskich. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.spp.pl/>