

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»



На правах рукопису

Галушак Марія Омелянівна

УДК 004.942:519.876.5

**Математичне моделювання та просторовий аналіз процесів
емісії парникових газів від використання палива
у промисловості України і Польщі**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті "Львівська політехніка"
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Бунь Ростислав Адамович,
Національний університет "Львівська політехніка",
професор кафедри прикладної математики

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Виклюк Ярослав Ігорович,
ПВНЗ «Буковинський університет», проректор з наукової роботи
та міжнародних зв'язків

кандидат технічних наук, доцент, ст. наук. співр.
Юзефович Роман Михайлович,
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України,
завідувач лабораторії вібродіагностики

Захист відбудеться 17 травня 2017 р. о 16 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 у Національному університеті "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, корп. XI, ауд. 218).

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету "Львівська політехніка" (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано „12” квітня 2017 р.

Т.в.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

Н. Б. Шаховська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Людство стикнулось з однією з найбільших глобальних проблем – зміною клімату на нашій планеті, яка зумовлена збільшенням концентрації парникових газів у атмосфері. Незважаючи на те, що очевидної шкоди парникові гази не завдають, але у довгостроковій перспективі, збільшення концентрації парникових газів викличе незворотні зміни у кліматі нашої планети: зміщення кліматичних зон, затоплення територій, стихійні катаклізми та інші. Тому людство спрямовує зараз великі зусилля на зменшення емісії парникових газів.

Одним з джерел емісії парникових газів є процеси видобування та спалювання палива у промисловості. Емісії у цих секторах становлять близько 20% від сумарних емісій. На сьогодні розроблено ряд методик для аналізу емісій парникових газів у промисловому секторі, проте вони пристосовані для проведення інвентаризації тільки на рівні країни чи на глобальному рівні. Однак джерела емісії розміщені вкрай нерівномірно, через що такі підходи не можуть врахувати територіальне розміщення населення, специфіку палива, що споживається, технологію спалювання та інші важливі параметри, які мають безпосередній вплив на величину емісії. Також важливо знати територіальне розміщення джерел емісії, що буде корисно для науковців та владних структур з метою скорочення емісій у результаті впровадження новітніх технологій.

В Україні значний внесок у створення математичних моделей для просторового аналізу емісій парникових газів у промисловому секторі зробили такі вчені як Бунь Р.А., Бойчук Х.В. та Лесів М.Ю. за кордоном досліджують емісії парникових газів від спалювання палива такі вчені як Costa M., Winiwarter W., Webber P.H., Gregg J.S., Lindley S.J., Oda T., Olivier J.G.J., Friedrich R., Bachman W., Brandmeyer J.

Одним із секторів, який має великий потенціал щодо скорочення емісій парникових газів є сектор видобувної промисловості, особливо у країнах, що розвиваються. Відомі підходи до аналізу емісій парникових газів не враховують особливості кожного джерела емісії. Проте, для урядових структур доцільно мати інформацію про обсяги емітованих парникових газів на локальному рівні (рівні заводів чи підприємств). Зокрема, це можна використовувати для вироблення ефективних шляхів зменшення емісій. Саме тому **актуальним науковим завданням** є розроблення математичних моделей та геоінформаційної технології просторового аналізу процесів емісії парникових газів від використання викопного палива у промисловому секторі з урахуванням географічної прив'язки емісійних джерел.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано автором у межах науково-дослідних робіт кафедри прикладної математики Національного університету «Львівська політехніка» та низки міжнародних грантів, зокрема:

- гранту 7РП ЄС “Геоінформаційні технології, просторово-часові підходи та оцінювання повного вуглецевого балансу для підвищення точності інвентаризацій парникових газів” (2011-2014 рр.; грант 7РП ЄС – Marie Curie Project n°247645 FP7-PEOPLE-2009-IRSES);

- українсько-австрійського проекту „Просторово-часове оцінювання невизначеності кадастрів емісії парникових газів: ретроспективний аналіз для Австрії та України та ефективне прогнозування” (угода М/196-2015 від 16.11.2015 р., номер держреєстрації 0115U006500 та угода М/85-2016 від 27.07.2016 р.; номер держреєстрації 0116U005309);
- українсько-китайського проекту "Просторова інвентаризація парникових газів у житловому секторі китайських та українських регіонів для підтримки прийняття ефективних економіко-адміністративних рішень" (2013 р.; угода № М/12-2013 від 25.04.2013 р.; 2013 р.; номер держреєстрації 0113U001997);
- держбюджетної теми “Геоінформаційні технології аналізу стоку та емісії парникових газів у лісовому господарстві для підтримки прийняття рішень” (2013-2014 рр.; номер держреєстрації 0113U003181).

У межах цих робіт автор розробила: математичні моделі та алгоритми, а також геоінформаційну технологію просторового аналізу емісій парникових газів у промисловому секторі на регіональному рівні; геоінформаційну технологію та математичні моделі, методи і алгоритми просторової інвентаризації емісій парникових газів у видобувній та переробній промисловості Польщі та України; базові математичні описи для дезагрегації статистичних даних про використане паливо у промисловому секторі з врахуванням доступних статистичних даних; алгоритми і методи для здійснення ретроспективного аналізу інвентаризаційних звітів; методи оцінювання загальної невизначеності результатів інвентаризації парникових газів у промисловому секторі, а також методи аналізу впливу структурних змін в емісіях цього сектору на загальну невизначеність.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення роздільної здатності просторових кадастрів емісії парникових газів шляхом розроблення математичних моделей та геоінформаційних технологій для просторового аналізу емісій парникових газів від використання палива у промисловості, а також при видобуванні та переробці викопних видів палива на прикладі України та Польщі.

У відповідності з метою дисертаційної роботи вирішено такі *задачі*:

- аналіз відомих підходів та методів оцінювання емісій парникових газів від видобувної та переробної промисловостей;
- дослідження специфіки емісійних процесів у кожному із аналізованих секторів;
- розроблення математичних моделей процесів емісії парникових газів при видобуванні та переробці різних видів палива (кам'яного вугілля, природного газу та нафти), від спалювання викопного палива у промисловості (хімічній, металургійній, харчовій та інших) на рівні елементарних об'єктів з врахуванням територіального розміщення населення та різноманітних економічних показників;
- формування бази геопросторових даних з інформацією про джерела емісії парникових газів у кожному аналізованому секторі;

- створення геоінформаційної технології моделювання та просторового аналізу процесів емісії парникових газів, що використовує статистичні дані про економічну діяльність досліджуваних об'єктів, коефіцієнти емісії та цифрові карти аналізованих об'єктів;
- здійснення обчислювальних експериментів з моделювання процесів емісії парникових газів у видобувній та переробній промисловостях Польщі та України, з врахуванням особливостей статистичних даних у цих країнах, та просторовий аналіз емісій парникових газів у досліджуваних секторах;
- розроблення підходу для аналізу невизначеностей результатів просторової інвентаризації парникових газів у досліджуваних секторах господарської діяльності у Польщі та Україні.

Об'єктом дослідження є процеси емісії парникових газів при видобуванні та переробці викопного палива, а також від використання палива у переробній промисловості.

Предметом дослідження є методи просторового моделювання та аналізу процесів емісії парникових газів при видобуванні та переробці викопного палива та використання палива у промисловості, методи аналізу невизначеності результатів інвентаризації парникових газів у цих секторах.

Методи дослідження. При розробленні математичних моделей процесів емісії парникових газів у видобувній та переробній промисловостях з врахуванням географічної прив'язки використано елементи геокодування для точкових та площинних джерел емісії парникових газів, а також теорію баз даних. При створенні баз геопросторових даних зі статистичною інформацією про результати господарської діяльності та коефіцієнтами емісій використано елементи теорії множин та баз даних. Моделювання та просторовий аналіз результатів інвентаризації здійснено за допомогою геоінформаційних технологій. При аналізі невизначеностей результатів інвентаризації використано методи теорії ймовірності та математичної статистики, метод Монте-Карло.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розв'язанні наукового завдання – розроблення математичних моделей та геоінформаційної технології просторового аналізу процесів емісії парникових газів від використання палива у промисловому секторі та реалізації обчислювальних експериментів на прикладі України та Польщі:

- вперше розроблено математичні моделі процесів емісії парникових газів у видобувній промисловості, які, на відміну від відомих, базуються на принципі дезагрегації статистичних даних до рівня точкових джерел емісії і дають змогу оцінювати леткі емісії парникових газів;
- вперше розроблено математичні моделі процесів емісії парникових газів у переробній промисловості (металургійній, хімічній, харчовій та інших промисловостях), які, на відміну від відомих, базуються на принципі дезагрегації статистичних даних до рівня заводів чи промислових зон як площинних об'єктів з врахуванням особливостей окремо взятого заводу чи підприємства;

- вперше розроблено геоінформаційну технологію аналізу емісії парникових газів у промисловому секторі, яка враховує специфіку технологічних процесів на регіональному рівні і дає можливість будувати просторові кадастри емісій;
- вперше розроблено метод ретроспективного аналізу інвентаризаційних звітів та оцінено точність проведеної інвентаризації на основі переглядів кадастрів емісій парникових газів з часом;
- дістав подальшого розвитку метод аналізу невизначеностей результатів просторової інвентаризації парникових газів від використання палива у промисловому секторі України та Польщі з застосуванням методу Монте-Карло та відповідних симетричних і несиметричних розподілів вхідних даних.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені математичні моделі емісійних процесів та геоінформаційна технологія їх реалізації дають можливість:

- автоматизовано формувати базу геопросторових даних для площинних джерел емісії парникових газів у промисловому секторі;
- враховувати особливості технологічних процесів та специфіку використання палива на промислових об'єктах;
- моделювати емісійні процеси у промисловому секторі з урахуванням специфічних параметрів та коефіцієнтів емісії;
- формувати зручні для сприйняття просторові кадастри емісій та аналізувати структуру емісій як на рівні окремих підприємств, так і на рівні регіонів;
- наочно ілюструвати результати моделювання та просторового аналізу емісій парникових газів у вигляді цифрових карт на різних рівнях деталізації;
- аналізувати невизначеність результатів просторової інвентаризації з врахуванням симетричних та несиметричних невизначеностей вхідних даних.

Реалізація результатів та впровадження. Розроблені математичні моделі та алгоритми просторової інвентаризації емісій парникових газів від видобування та переробки викопного палива, а також від спалювання палива у переробній промисловості програмно реалізовано із використанням спеціалізованої геоінформаційної системи та сформованої бази геопросторових вхідних даних.

Результати дисертаційних досліджень використано:

- в Інституті системного аналізу Польської академії наук, м.Варшава (при виконанні роботи «Результати просторового аналізу у вигляді кадастрів емісії двоокису вуглецю, метану і закису азоту, що виникають внаслідок спалювання викопного палива у промисловості Польщі»);
- в Національному університеті "Львівська політехніка":
 - при виконанні гранту 7РП ЄС “Геоінформаційні технології, просторово-часові підходи та оцінювання повного вуглецевого балансу для підвищення точності інвентаризацій парникових газів” (розроблено геоінформаційну технологію та математичні моделі, методи і алгоритми

просторової інвентаризації емісій парникових газів у промисловому секторі Польщі);

- при виконанні українсько-австрійського проекту (розроблено методи оцінювання загальної невизначеності результатів інвентаризації парникових газів у промисловому секторі, а також методи ретроспективного аналізу інвентаризаційних звітів і алгоритми оцінювання точності проведеної інвентаризації на основі переглядів кадастрів емісій парникових газів з часом);

- при виконанні українсько-китайського проекту (розроблено базові математичні описи для дезагрегації статистичних даних про використане викопне паливо у промисловому секторі до рівня точкових та площинних джерел у металургійній, хімічній та харчовій промисловості, а також створено відповідні бази геопросторових даних);

- при виконанні держбюджетної теми (підходи до створення геоінформаційної технології формування просторових кадастрів емісії парникових газів з врахуванням невизначеності);

- у Природному заповіднику „Розточчя” (аналіз антропогенного впливу на природне середовище в сусідніх із заповідником територіях, зокрема процеси емісії парникових газів у промисловому секторі з врахуванням розташування промислових об'єктів та економічних потреб населення).

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі в Національному університеті „Львівська політехніка” в лекційних курсах „Просторове моделювання екологічних процесів” та „Математичні моделі екологічних процесів” освітньо-кваліфікаційного рівня "магістр" (спеціальність 113 – „Прикладна математика”, спеціалізація 0102 – „Математичне та комп'ютерне моделювання”). Акти про використання результатів дисертаційних досліджень наведено в Додатку.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, отримані при вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач, отримані автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: [6] – формування бази геопросторових даних; [4, 2] – математичні моделі емісії парникових газів, результати обчислювальних експериментів та аналіз їх невизначеності; [5, 17, 21] – математичні моделі емісії парникових газів та результати обчислювальних експериментів; [15, 18, 23] – структура геоінформаційної технології та алгоритми просторового моделювання; [1, 14, 20, 22] – математичні моделі емісії парникових газів та алгоритми просторового аналізу; [1, 3, 13] – математичні моделі емісії парникових газів від видобування палива та його використання у промисловості, результати обчислювальних експериментів; [11] – аналіз статистичних даних та алгоритми їх дезагрегації; [7] – математичні моделі емісії парникових газів при видобуванні палива, результати обчислювальних експериментів та аналіз їх невизначеності; [12] – методи та алгоритми ретроспективного аналізу даних інвентаризації парникових газів; [8, 10] – верифікація географічних координат джерел емісії точкового та площинного типів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на міжнародних та всеукраїнських конференціях, зокрема

на: 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions (Kraków, Poland, 2015); YSSP Late Summer Workshop 2013 (Laxenburg, Austria, 2013); Public Scientific Conference of Institute of Applied Mathematics and Fundamental Science (Львів, 2016); Workshop on Geoinformation Technologies, Spatio-Temporal Approaches, and Full Carbon Account for Improving Accuracy of GHG Inventories (Warsaw, Poland, 2015); 3-й Міжнародній конференції з автоматичного управління та інформаційних технологій (Київ, 2015); IV Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми інформатики та комп’ютерної техніки” (ПКТ-2015) (Чернівці, 2015); VI Міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні проблеми дослідження довкілля” (Суми, 2015); Десятій та Одинадцятій Відкритих наукових конференціях Інституту прикладної математики та фундаментальних наук (Львів, 2012, 2013); X Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності” (Львів, 2015); П’ятнадцятій всеукраїнській (Десятій міжнародній) студентській науковій конференції з прикладної математики та інформатики „СНКПМІ – 2012” (Львів, 2012); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів „Інформаційні технології, економіка та право” (ІТЕП-2012) (Львів, 2012); 70-й студентській науково-технічній конференції: Секція „Прикладна математика та фундаментальні науки” (Львів, 2012), регулярних наукових семінарах кафедри прикладної математики Національного університету „Львівська політехніка” (2012-2016).

Публікації. Результати проведених наукових досліджень відображені у 23 наукових працях, з них: 1 монографія [1], 4 статті у наукових фахових виданнях України [3-6], 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави [2] та 17 публікацій у матеріалах наукових конференцій [7-23].

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 179 найменувань та додатку. Робота викладена на 184 сторінках, містить 148 сторінок основного тексту, 40 рисунків та 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету та основні задачі дослідження, представлено наукову новизну роботи і практичну цінність одержаних результатів.

У **першому розділі** здійснено огляд основних методів моделювання емісії парникових газів та показано, що доступні методи не завжди враховують просторове розташування джерел емісії та їх особливості, а отже не можуть бути безпосередньо використані для здійснення інвентаризації парникових газів на рівні елементарних об’єктів. Обґрунтовано доцільність розроблення математичних моделей та програмного забезпечення для просторового аналізу емісійних процесів, що дасть змогу будувати просторові кадастри емісій та отримати реальну об’єктивну картину щодо структури цих емісій у досліджуваних секторах. Здійснено огляд наукової літератури, присвяченої глобальній зміні клімату, а також моделюванню процесів емісії парникових газів у досліджуваних секторах.

У **другому розділі** здійснено аналіз та класифікацію основних джерел емісії парникових газів у секторі «Видобувна промисловість». Представлено основний підхід до просторового моделювання емісійних процесів у видобувній промисловості для точкових джерел емісії. На основі цього підходу розроблено математичні моделі емісійних процесів, які враховують регіональну специфіку та територіальне розміщення досліджуваних об'єктів. Ці математичні моделі охоплюють леткі емісії та емісії, які виникають внаслідок видобування палива та використання палива на переробних заводах у видобувній промисловості, залежать від коефіцієнтів емісії та коефіцієнтів глобального потепління. Такі математичні описи процесів емісії парникових газів розроблено для усіх точкових джерел емісії у кожній із аналізованих категорій. Наприклад, сумарні леткі емісії від вугільної промисловості можна обчислити за допомогою співвідношення:

$$E_{coal}^{g_l}(\xi_n) = E_{coal,m}^{g_l}(\xi_n) + E_{coal,p}^{g_l}(\xi_n), \quad (1)$$

де $E_{coal}^{g_l}(\xi_n)$ – річні леткі емісії парникового газу g_l , які виникають внаслідок видобування кам'яного вугілля на ξ_n -й шахті, $g_l \in (CO_2, CH_4)$; $E_{coal,m}^{g_l}(\xi_n)$ – емісії, які виникають безпосередньо під час видобування вугілля на ξ_n -й шахті; $E_{coal,p}^{g_l}(\xi_n)$ – емісії від післявидобувних процесів (зберігання і транспортування) кам'яного вугілля.

Леткі емісії парникових газів, які виникають під час видобування і від післявидобувних процесів можна записати за допомогою таких виразів:

$$E_{coal,m}^{g_l}(\xi_n) = \frac{A_{coal}^{\Sigma} \cdot P_{coal}(\xi_n)}{\sum_{j=1}^N P_{coal}(\xi_j)} \cdot K_{coal,m}^{g_l}, \quad (2)$$

$$E_{coal,p}^{g_l}(\xi_n) = \frac{A_{coal}^{\Sigma} \cdot P_{coal}(\xi_n)}{\sum_{j=1}^N P_{coal}(\xi_j)} \cdot K_{coal,p}^{g_l}, \quad (3)$$

де A_{coal}^{Σ} – річний видобуток кам'яного вугілля на національному рівні; $P_{coal}(\xi_n)$ – потужність ξ_n -ї шахти; $K_{coal,m}^{g_l}$, $K_{coal,p}^{g_l}$ – коефіцієнт емісії g_l -го парникового газу на ξ_n -му підприємстві, відповідно, при видобуванні кам'яного вугілля та від післявидобувних процесів (зберігання і транспортування) кам'яного вугілля.

Процесам емісії парникових газів від спалювання викопного палива під час переробки кам'яного вугілля поставлено у відповідність такий математичний опис:

$$E_{coke}^{g,f}(\eta_k) = D_{stat,coke}^f \cdot K_{coke}^f(\eta_k) \cdot K_{em,coke}^{g,f}(\eta_k), \quad (4)$$

де $E_{coke}^{g,f}(\eta_k)$ – річні емісії g -го парникового газу, які виникають внаслідок спалювання викопного палива f -го виду на коксовому заводі η_k , g – перерахункова змінна, яка відповідає певному парниковому газу, $g \in \{CO_2, N_2O, CH_4\}$; $D_{stat,coke}^f$ – загальнонаціональні статистичні дані про

використане паливо f -го виду на коксування кам'яного вугілля; $K_{coke}^f(\eta_k)$ – дезагрегаційний коефіцієнт для використаного f -го виду палива для об'єкту η_k ; $K_{em,coke}^{g,f}(\eta_k)$ – коефіцієнт емісії g -го парникового газу від спалювання f -го виду палива на потреби коксового заводу η_k .

Дезагрегаційний коефіцієнт $K_{coke}^f(\eta_k)$ можна записати у такому вигляді:

$$K_{coke}^f(\eta_k) = \frac{C(\eta_k)}{\sum_i C(\eta_i)}, \quad (5)$$

$$\eta_k, \eta_i \in \Omega_{coke}, \quad k, i = \overline{1, K}, \quad (6)$$

де $C(\eta_k)$ – обсяги виробництва коксу на k -му заводі; Ω_{coke} – множина заводів з переробки кам'яного вугілля; K – їх загальне число.

Леткі емісії парникових газів, які виникають внаслідок коксування кам'яного вугілля, можна обчислити за формулою:

$$E_{coke}^{g_l}(\eta_k) = \frac{C(\eta_k)}{\sum_{i=1}^K C(\eta_i)} \cdot K_{coke}^{g_l}(\eta_k), \quad (7)$$

де $E_{coke}^{g_l}(\eta_k)$ – леткі емісії парникових газів, які виникають на η_k -му коксовому заводі під час переробки вугілля, $g_l \in (CO_2, CH_4)$; $C(\eta_k)$ – обсяги переробки кам'яного вугілля на η_k -му заводі; $K_{coke}^{g_l}(\eta_k)$ – коефіцієнт емісії g_l -го газу при коксуванні.

Тоді сумарні емісії у вугільній промисловості:

$$E_{coalInd}^{\Sigma} = \sum_{g \in G} \left\{ W_g \left[\sum_{f \in F} \sum_{\eta_k} E_{coke}^{g,f}(\eta_k) + \sum_{\eta_k} E_{coke}^g(\eta_k) + \sum_{\xi_n} E_{coal}^g(\xi_n) \right] \right\}, \quad (8)$$

де $E_{coalInd}^{\Sigma}(\xi_n, \eta_k)$ – сумарні леткі емісії парникових газів, а також емісії, які виникають від використання усіх видів викопного палива у вугільній промисловості у CO_2 -еквіваленті; W_g – коефіцієнт глобального потепління відповідного парникового газу, $W_{CO_2} = 1$, $W_{CH_4} = 25$, $W_{N_2O} = 298$.

Розроблено програмні засоби формування баз геопросторових даних з вхідними параметрами інвентаризації. З використанням доступної статистичної інформації щодо результатів видобувної діяльності та специфічних коефіцієнтів емісії проведено обчислювальні експерименти, отримано оцінки емісій парникових газів від видобувної промисловості та на їх основі побудовано набори геопросторових даних, які для зручного аналізу представлено у вигляді цифрових карт.

Як приклад отриманих результатів інвентаризації, на рис. 1 представлено сумарні емісії парникових газів від газової промисловості Польщі у розрізі різних видів активності – видобування, транспортування та розподіл.

У **третьому розділі** здійснено аналіз джерел емісії парникових газів від використання викопного палива у промисловому секторі; представлено розробленні підходи до математичного моделювання емісійних процесів у

досліджуваному секторі з врахуванням доступних статистичних даних. Оскільки статистичні дані про спалювання викопного палива доступні тільки на національному рівні, розроблено математичні моделі та алгоритми дезагрегації цих даних до рівня міст чи промислових об'єктів з використанням інших статистичних даних у ролі проксі (непрямих) даних, зокрема даних про валову додану вартість, площі промислових об'єктів / територій, кількості мешканців міст тощо).

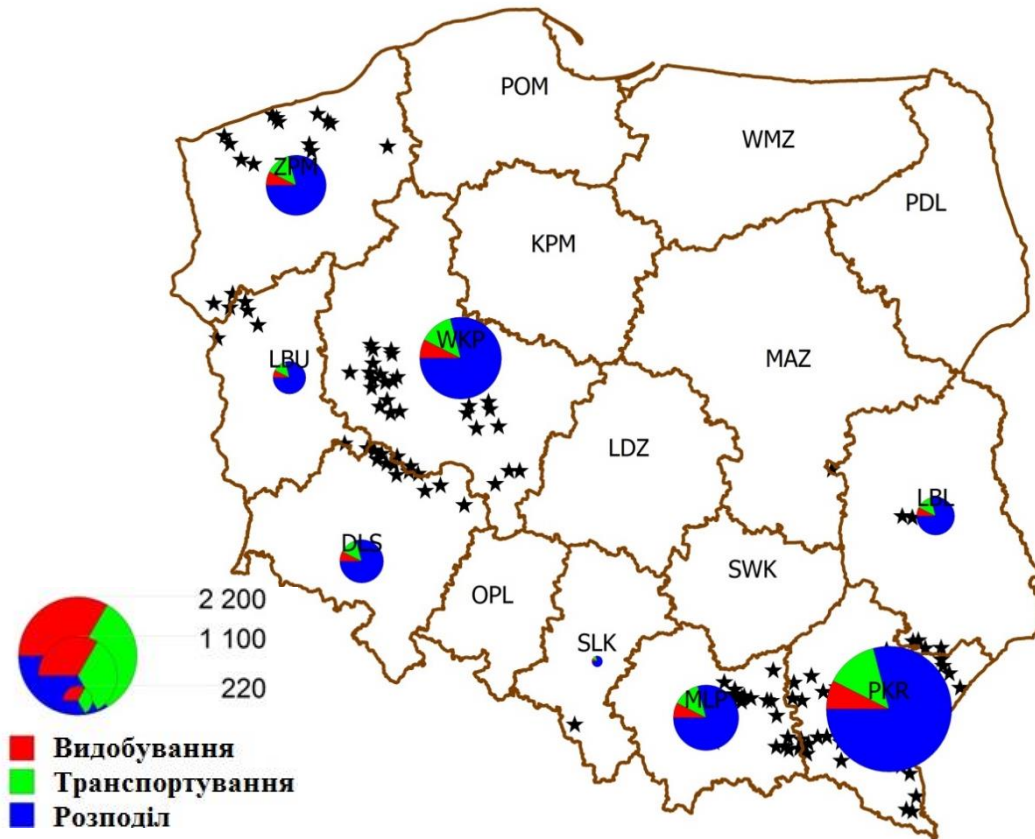


Рис. 1. Джерела емісії (родовища) та структура сумарних летких емісій вуглекислого газу і метану, які виникають внаслідок видобування природного газу, на рівні адміністративних регіонів Польщі у розрізі різних видів активності – видобування, транспортування та розподіл (ГГ, CO₂-еквівалент, 2010)

Нехай w – номер воєводства, $w = \overline{1, W}$ (W – загальне число воєводств); r_w – номер підрегіону ($r_w = \overline{1, R_w}$) у w -му воєводстві, а R_w – число таких підрегіонів; $\eta_{ind}(j_{w,r_w})$ – j_{w,r_w} -й елементарний об'єкт (промислова зона) на карті землекористування Польщі, $j_{w,r_w} = \overline{1, J_{w,r_w}}$; J_{w,r_w} – загальне число таких промислових об'єктів у r_w -му підрегіоні w -го воєводства. Тоді емісії g -го парникового газу в i -му елементарному об'єкті можна обчислити використовуючи формулу

$$E_{g,i} = \sum_{Ind \in I} \sum_{f \in F} D_{Ind,f} \cdot K_{f,g,en} \cdot K_{f,g,em} \cdot K_{Ind,d}, \quad (9)$$

де парниковий газ $g \in \{CO_2, CH_4, N_2O\}$ належить до перерахункової множини з елементами: двоокис вуглецю, метан та закис азоту; i – номер елемента

множини $\tilde{M} = \{m_1, \dots, m_i, \dots, m_n\}$, якою є множина емісійних джерел площинного типу (промислових зон чи урбанізованих територій); $D_{Ind,f}$ – кількість палива f -го виду використаного в аналізованій категорії; $F = \{\text{тверде паливо, рідке паливо, газоподібне паливо, біомаса}\}$; $K_{f,g,en}$ та $K_{f,g,em}$ – відповідно, теплотворне значення палива f -го виду та емісійний коефіцієнт g -го парникового газу в підсекторі промисловості та будівництва; $K_{Ind,d}$ – коефіцієнт дезагрегації; $Ind \in \{\text{металургія, хімічна промисловість, харчова промисловість, інші}\}$. Коефіцієнти дезагрегації залежать від категорії антропогенної діяльності, оскільки для кожної категорії доступні інші статистичні дані.

При моделюванні емісійних процесів у деяких категоріях промислового сектору використано джерела емісії точкового типу для моделювання емісії парникових газів від великих заводів (металургія, хімічна промисловість тощо). Проте, в багатьох інших випадках для моделювання емісії використано джерела площинного типу, оскільки занадто трудомістким було б визначення місця розташування кожного малого підприємства на рівні країни. Крім того, цифрову карту землекористування Польщі було використано для локалізації промислових зон (територій з виробничою діяльністю).

Коефіцієнт дезагрегації $K_{metal}[\eta_{ind}(j_w, r_w)]$ для географічного об'єкта $\eta_{ind}(j_w, r_w)$ r_w -го підрегіону w -го воєводства, як джерела емісії площинного типу, залежить від наявних даних про виробництво різних видів металів і його можна обчислити за такими формулами:

1) для промислової зони, в якій розміщено один з 10 найбільших металургійних комбінатів, які виробляють 80 % усіх сталевих виробів у Польщі:

$$K_{metal}[\eta_{ind}(j_w, r_w)] \Big|_{\eta_{ind}(j_w, r_w) \cap \xi_{n_m} \neq 0; n_m = \overline{1, N_m}} = 0,8 \cdot \frac{V_{metal}(\xi_{n_m})}{\sum_{l=1}^{N_m} V_{metal}(\xi_l)},$$

$$j_w, r_w = \overline{1, J_{w, r_w}}, \quad r_w = \overline{1, R_w}, \quad w = \overline{1, W}, \quad (10)$$

де $V_{metal}(\xi_{n_m})$ – виробнича потужність n_m -го металургійного комбінату ξ_{metal, n_m} ; \cap – операція, яка визначає спільну площу двох географічних об'єктів $\eta_{ind}(j_w, r_w)$ та ξ_{metal, n_m} ; r_w – номер підрегіону; w – номер воєводства.

2) для промислових об'єктів з невідомими виробничими потужностями:

$$K_{metal}[\eta_{ind}(j_w, r_w)] \Big|_{[\eta_{ind}(j_w, r_w)] \cap \xi_{n_m} = 0; \forall n_m = \overline{1, N_m}} =$$

$$= 0,2 \cdot K_{\%, metal, w} \cdot \frac{GVA_{r_w}}{\sum_{q=1}^{R_w} GVA_q} \cdot \frac{S(j_w, r_w)}{\sum_{i=1}^{J_{w, r_w}} S(j_w, i)},$$

$$j_w, r_w = \overline{1, J_{w, r_w}}, \quad r_w = \overline{1, R_w}, \quad w = \overline{1, W}, \quad (11)$$

де $K_{\%, metal, w}$ – частка сталеплавильної продукції w -го воєводства у цій продукції для всієї Польщі; GVA_{r_w} – валова додана вартість у металургійному

секторі r_w -го підрегіону w -го воєводства в Польщі; $S(j_{w,r_w})$ – площа промислових зон (територій) $\eta_{ind}(j_{w,r_w})$ на карті землекористування.

Розроблено методи побудови бази геопросторових вхідних даних для просторового оцінювання емісії парникових газів від спалювання палива у промисловості. Здійснено обчислювальні експерименти з просторового моделювання процесів емісії парникових газів, отримано георозподілені результати аналізу емісій. На основі отриманих результатів побудовано цифрові тематичні карти та проаналізовано територіальний розподіл емісій парникових газів, які виникають внаслідок спалювання викопного палива в промисловості України та Польщі.

Як приклад, на рис. 2 представлено структуру сумарних емісій в еквіваленті вуглекислого газу з розбивкою по категоріях промисловості в 2-х країнах: Україні та Польщі. Також результати моделювання парникових газів від промисловості були візуалізовані за допомогою карт призм, зокрема на рис. 3 представлено питомі сумарні емісії парникових газів в CO_2 еквіваленті, в Сілезькому воєводстві, де зосереджені найбільші промислові заводи. Отримані кадастри емісій засвідчили, що при спалюванні викопного палива у промисловості мали місце значні емісії парникових газів.

У четвертому розділі представлено розроблену геоінформаційну технологію моделювання та просторового аналізу емісій парникових газів, які виникають при видобуванні та переробці різних видів палива, а також під час спалювання палива у промисловості Польщі та України. Розроблена технологія включає чотири основні етапи роботи: збір статистичної інформації, дезагрегацію даних з рівня країни на більш детальний рівень (воєводств, підрегіонів чи клітинок заданого розміру), оцінювання емісій парникових газів за допомогою математичної моделі, яка описує досліджуваний процес для кожного об'єкта, а також оцінювання невизначеностей отриманих результатів. Геоінформаційна технологія дає можливість представляти отримані результати інвентаризації за допомогою карт чи таблиць.

Введено поняття ретроспективного аналізу інвентаризаційних звітів та обґрунтовано актуальність такого типу аналізу. Оцінено точність проведеної інвентаризації на основі переглядів кадастрів емісій парникових газів з часом. Визначено параметр, який є індикатором на скільки окремо взята країна має добрі знання щодо процедури інвентаризації парникових газів.

У розділі проаналізовано загальні підходи до аналізу невизначеностей просторового моделювання процесів емісії парникових газів у видобувній та переробній промисловості та обґрунтовано доцільність використання методу Монте-Карло для оцінювання невизначеностей емісій парникових газів. Цей метод полягає у здійсненні аналізу невизначеностей обчислених емісій для кожного джерела, зокрема з використанням відповідних для цього джерела коефіцієнтів та їх невизначеностей, а також з врахуванням особливостей технологічних процесів. Цей метод допускає аналіз випадкових величин, що описуються як симетричними, так і несиметричними розподілами (зокрема, логнормальними).

У результаті обчислювальних експериментів отримано значення невизначеності емісій парникових газів для 95% довірчого інтервалу. Проаналізовано невизначеності результатів просторового моделювання емісій парникових газів у промисловості України та Польщі.

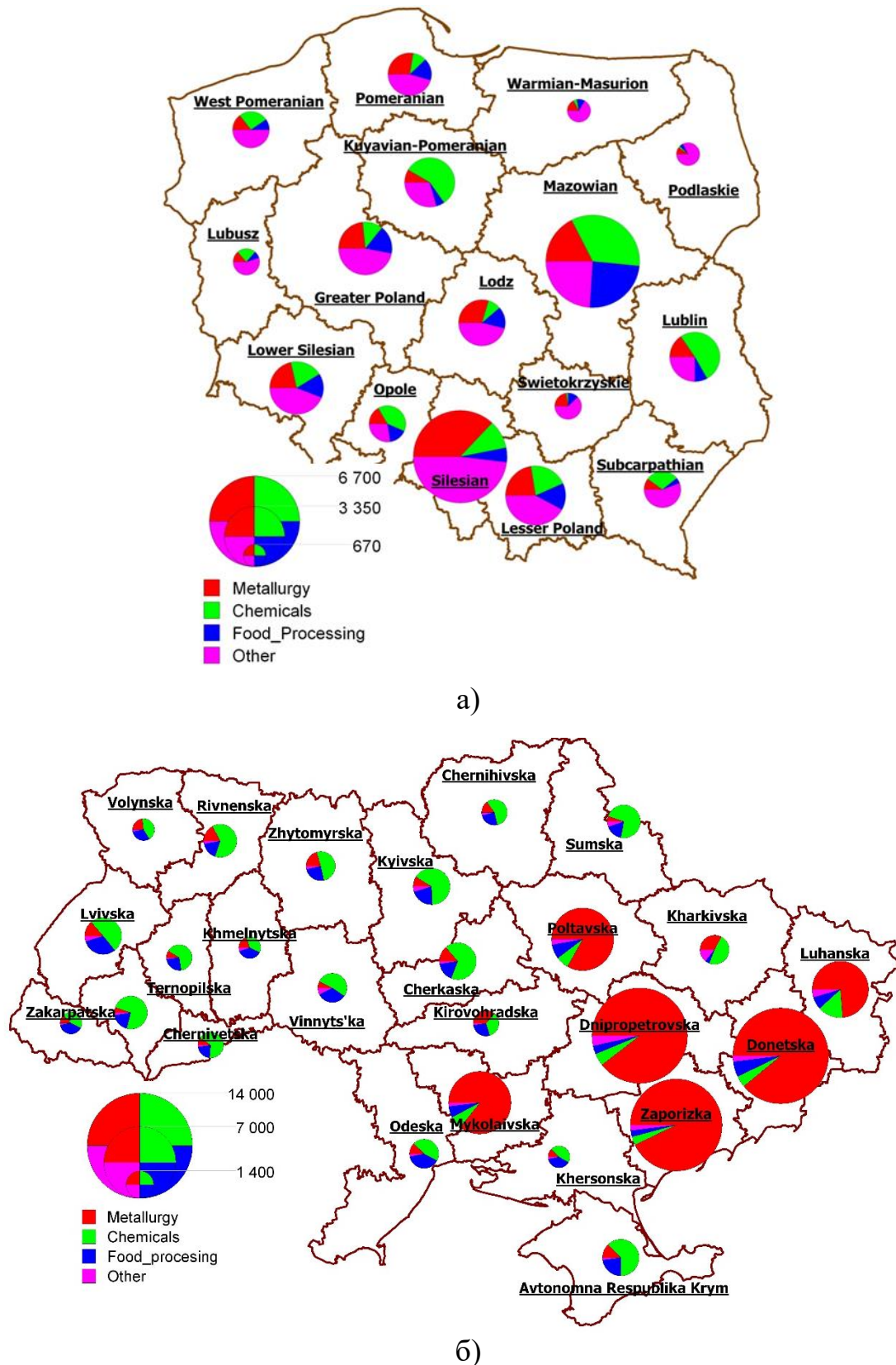


Рис. 2. Сумарні емісії парникових газів у промисловому секторі Польщі (а) та України (б) по підгалузях (CO₂-еквівалент, Гт, 2010)

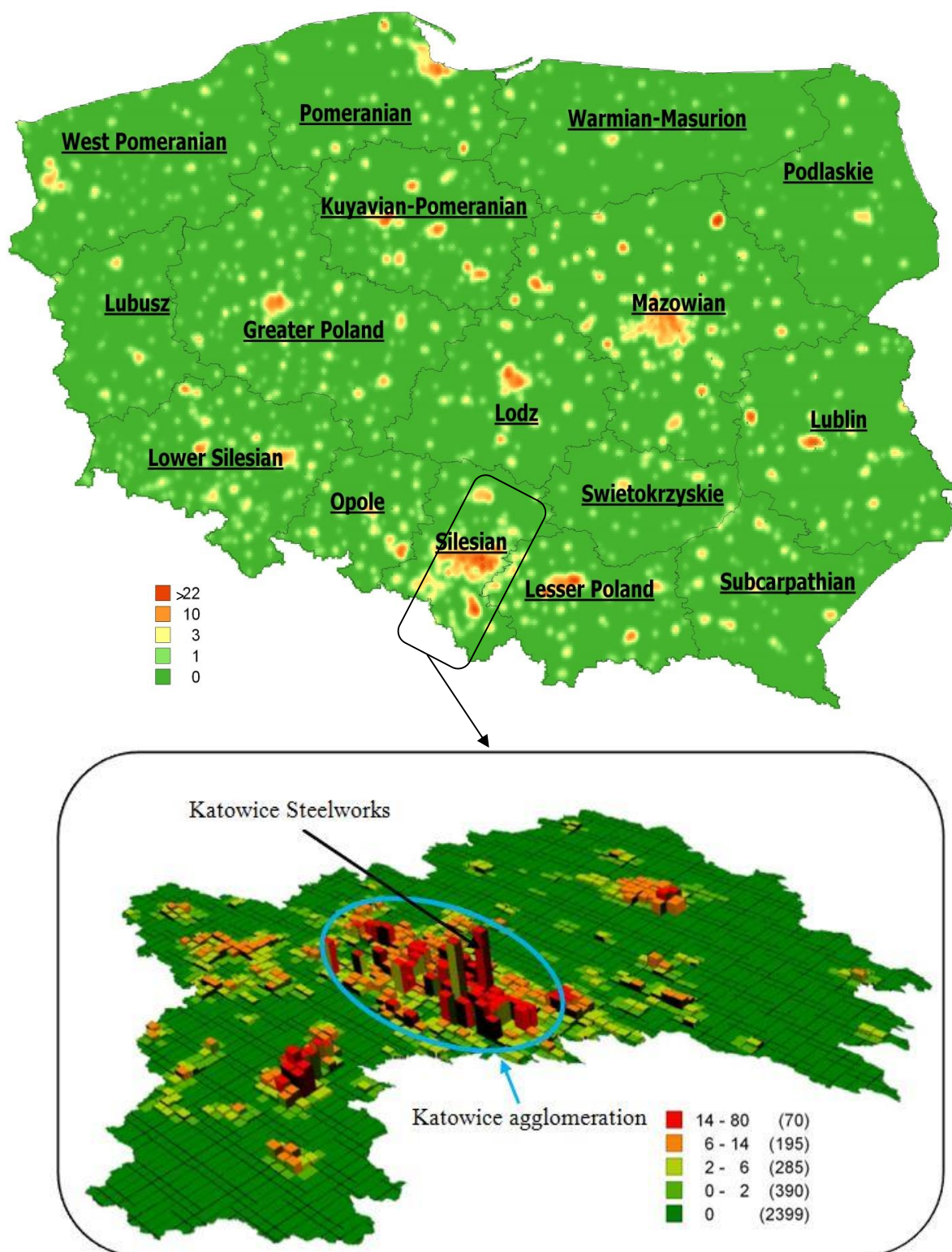


Рис. 3. Сумарні питомі емісії парникових газів у промисловому секторі Польщі, а також детальна візуалізація за допомогою карти-призми питомих емісій парникових газів у промисловості Сілезького воєводства на рівні промислових зон (CO_2 -еквівалент, $\text{Гт}/\text{км}^2$, сітка 2×2 км, 2010)

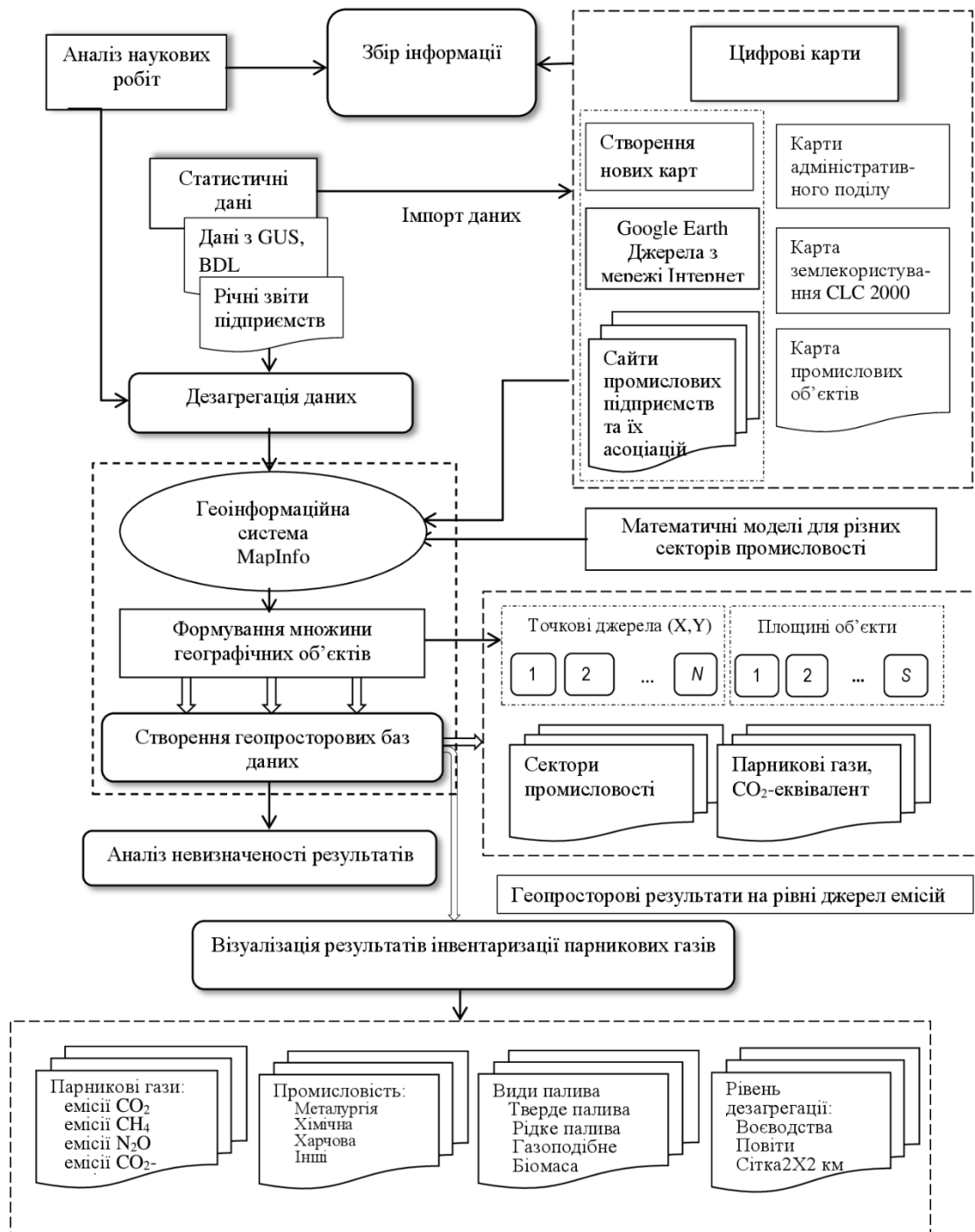


Рис. 4. Логічна структура геоінформаційної технології просторового моделювання емісії парникових газів у промисловості

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання – розроблення математичних моделей та методів просторового аналізу процесів емісії парникових газів у промисловому секторі України та Польщі, які дають можливість здійснювати геопросторове моделювання емісійних процесів і забезпечити природоохоронні органи інформацією, необхідною для вироблення стратегій щодо зменшення емісії та запобігання кліматичним змінам. При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Обґрунтовано актуальність вирішення наукового завдання розроблення методів та підходів до математичного моделювання та просторового аналізу процесів емісії парникових газів при видобуванні та переробці палива, а також при спалюванні викопного палива у промисловості. Встановлено, що досліджуваний сектор має великий потенціал для зменшення емісій парникових газів шляхом впровадження новітніх технологій у виробничі процеси.

2. Розроблено математичні моделі, які описують процеси емісії парникових газів у кам'яновугільній промисловості на рівні шахт та коксових заводів, які враховують територіальне розміщення джерел емісії та специфіку подання статистичної звітності, базуються на принципі дезагрегації даних про обсяги видобутку та переробки вугілля до рівня точкових джерел емісії та дають можливість оцінити леткі емісії метану у процесі видобутку та зберігання вугілля, а також емісії вуглекислого газу, закису азоту та метану, які виникають внаслідок спалювання викопного палива на коксохімічних заводах.

3. Розроблено математичні моделі процесів емісії парникових газів у нафтогазовій промисловості (емісії від видобування та переробки нафти, а також емісії від видобування природного газу), у яких у ролі індикатора дезагрегації статистичних даних використано потужності переробних заводів та кількість видобутої нафти чи газу і які дають можливість будувати просторові кадастри емісії на рівні нафтогазових родовищ та нафтопереробних заводів.

4. Розроблено математичні моделі процесів емісії двоокису вуглецю, метану та закису азоту при використанні викопного палива у переробній промисловості (металургійній, хімічній, харчовій та інших), які базуються на принципі дезагрегації доступних статистичних даних про результати господарської діяльності на національному чи регіональному рівні до рівня окремо взятих підприємств, як точкових джерел емісії, чи промислових зон, як площинних джерел емісії, і враховують специфіку емісійних процесів на окремо взятому заводі чи підприємстві та дають можливість формувати просторові кадастри емісій.

5. Розроблено геоінформаційну технологію формування кадастру емісій парникових газів від видобувної та переробної промисловостей, структура якої включає модулі підготовки вхідних даних, дезагрегації даних про використане паливо з рівня країни чи регіону до рівня елементарних об'єктів, а також оцінювання емісій парникових газів з використанням математичних моделей досліджуваних процесів. Обґрунтовано доцільність здійснення обчислювальних експериментів та формування просторових кадастрів емісій діоксиду вуглецю, метану та закису азоту, а також сумарних емісій у CO_2 -еквіваленті, з використанням доступних статистичних даних.

6. Використовуючи засоби геоінформаційної системи здійснено просторовий аналіз емісій парникових газів від видобувної та переробної промисловостей Польщі та України. Створено геопросторові кадастри емісії парникових газів на рівні окремо взятих точкових чи площинних джерел. У результаті обчислювальних експериментів, отримано оцінки емісій на рівні елементарних ділянок території, які відображають внесок кожної такої ділянки у сумарні емісії.

7. Розроблено загальний підхід до аналізу невизначеності результатів просторової інвентаризації емісій парникових газів при видобуванні та переробці викопного палива, а також при спалюванні викопного палива у промисловості, який базується на використанні методу Монте-Карло і полягає у здійсненні аналізу невизначеностей обчислених емісій для кожного джерела, зокрема з використанням відповідних для цього джерела коефіцієнтів та їх невизначеностей, а також з врахуванням особливостей технологічних процесів. Він допускає аналіз випадкових величин, що описуються як симетричними, так і несиметричними розподілами. В ході досліджень невизначеностей оцінок парникових газів здійснено ретроспективний аналіз інвентаризаційних звітів про емісії парникових газів та обґрунтовано актуальність такого типу аналізу. З використанням процедур дитрендингу оцінено точність проведеної інвентаризації на основі переглядів кадастрів емісій парникових газів з часом та визначено параметр, який є індикатором на скільки окремо взята країна має добрі знання, що стосуються процедури інвентаризації парникових газів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Просторове моделювання емісії парникових газів від стаціонарних джерел / Р. Бунь, Н. Чарковська, О. Данило, П. Топилко, М. Галушчак, З. Нахорські, І. Хорабик-Пизель. – Львів : ПП Сорока Т.Б., 2016. – 480 с.

Стаття науковому періодичному виданні іншої держави

2. Halushchak M. Modeling and spatial analysis of greenhouse gas emissions from fuel combustion in the industry sector in Poland / M. Halushchak, R. Bun, N. Shpak, M. Valakh // *Econtechmod*. – 2016. – Vol. 5, Is. 1. – P. 19-26.

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Галушчак М. О. Просторове моделювання та аналіз процесів емісії парникових газів при видобуванні і переробці кам'яного вугілля у Польщі / Галушчак М. О., Бунь Р. А. // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка”*: № 814: Інформаційні системи та мережі. – Львів, 2015. – С. 434-443.
4. Галушчак М. О. Математичне моделювання та аналіз невизначеності емісії парникових газів при видобуванні і переробці нафти у Польщі / М. О. Галушчак, Р. А. Бунь, М. Йонас // *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. – 2015. – № 12. – С. 59-66.
5. Галушчак М. О. Математичне моделювання та просторовий аналіз емісії парникових газів від використання викопного палива у металургійній промисловості Польщі / М. О. Галушчак, Р. А. Бунь // *Математичне моделювання та інформаційні технології* : Зб. наук. праць. – Вип. 73. – Київ, 2014. – С. 99-104.
6. Валах М. А. Просторовий аналіз емісії парникових газів від лінійних об'єктів: транспортний сектор Підкарпатського воєводства / М. А. Валах, Р. А. Бунь, М. О. Галушчак, О. Я. Данило // *Моделювання та інформаційні технології*. – Київ, 2015. – Вип. 74. – С. 82-89.

Матеріали конференцій

7. Halushchak M. Spatial inventory of GHG emissions from fossil fuels extraction and processing: An uncertainty analysis / Mariia Halushchak, Rostyslav Bun, Matthias Jonas, Petro Topylko / 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, Kraków, Poland: Proceedings. – Warszawa : SRI PAS, 2015. – P. 64-70.
8. Oda T. Uncertainty associated with fossil fuel carbon dioxide (CO₂) gridded emission datasets / Tomohiro Oda, Lesley Ott, Petro Topylko, Mariia Halushchak, Rostyslav Bun, Myroslava Lesiv, Olha Danylo, Joanna Horabik-Pyzel / 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, Kraków, Poland: Proceedings. – Warszawa : SRI PAS, 2015. – P. 124-129.
9. Halushchak M. Spatial inventory of greenhouse gas emissions in the industry sector / Mariia Halushchak / Proceedings of the YSSP Late Summer Workshop 2013. – Laxenburg, Austria : IIASA, 2013. – P. 26.
10. Topylko P. Spatial greenhouse gas (GHG) inventory and uncertainty analysis: A case study for electricity generation in Poland and Ukraine / Petro Topylko, Mariia Halushchak, Rostyslav Bun, Tomohiro Oda, Myroslava Lesiv, Olha Danylo / 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, Kraków, Poland: Proceedings. – Warszawa : SRI PAS, 2015. – P. 49-56.
11. Charkovska N. Uncertainty analysis of GHG spatial inventory from the industrial activity: A case study for Poland / Nadiia Charkovska, Mariia Halushchak, Rostyslav Bun, Matthias Jonas / 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, Kraków, Poland: Proceedings. – Warszawa : SRI PAS, 2015. – P. 57-63.
12. Halushchak M. Taking advantage of the UNFCCC Kyoto policy process: What can we learn about learning? / Halushchak M., Jonas M., Żebrowski P., Jarnicka J., Bun R., Nahorski Z. // Public Scientific Conference of Institute of Applied Mathematics and Fundamental Science. – Lviv : LPNU, 2016. – P. 112-113.
13. Bun R. High resolution spatial inventory of GHG emissions from stationary and mobile sources in Poland: summarized results and uncertainty analysis / Rostyslav Bun, Zbigniew Nahorski, Joanna Horabik-Pyzel, Olha Danylo, Nadiia Charkovska, Petro Topylko, Mariia Halushchak, Myroslava Lesiv, Oleksandr Striamets / 4th International Workshop on Uncertainty in Atmospheric Emissions, Kraków, Poland: Proceedings. – Warszawa : SRI PAS, 2015. – P. 41-48.
14. Галушчак М. О. Інформаційна технологія моделювання та просторового аналізу емісій парникових газів від видобування природного газу у Польщі / Галушчак М. О., Бунь Р. А. // Матеріали 3-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління та інформаційних технологій. – Київ, 2015. – С. 84-87.
15. Галушчак М. О. Геоінформаційна технологія моделювання та аналізу емісій парникових газів, які виникають при спалюванні викопного палива у хімічній промисловості Польщі / Галушчак М. О., Бунь Р. А. / Праці IV Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки” (ПКТ-2015). – Чернівці : Родовід, 2015. – С. 155-157.

16. Галушак М. О. Математичне моделювання емісій парникових газів при коксуванні кам'яного вугілля у Польщі / Галушак М. О. / Актуальні проблеми дослідження довкілля: Зб. наук. праць VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Т. 2. – Суми : СумДПУ імені А.С.Макаренка, 2015. – С. 154-155.
17. Галушак М. О. Особливості формування кадастру емісій парникових газів від використання палива у промисловості та будівництві Сілезького воєводства Польщі / Галушак М. О., Бунь Р. А., Топилко П. І. / Одинадцята Відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук : Збірник матеріалів. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – С. 148.
18. Топилко П. І. Математичне моделювання процесів емісії парникових газів при виробництві електроенергії та тепла в Україні з врахуванням невизначеності вхідних параметрів / Топилко П. І., Лесів М. Ю., Галушак М. О. / Одинадцята Відкрита наукова конференція Інституту прикладної математики та фундаментальних наук : Збірник матеріалів. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – С. 146.
19. Галушак М. О. Математичне моделювання процесів емісії парникових газів у результаті використання викопного палива: промисловість та будівництво Південної Польщі / Галушак М. О. // П'ятнадцята всеукраїнська (Десята міжнародна) студентська наукова конференція з прикладної математики та інформатики „СНКПМІ – 2012”. – Львів : ЛНУ, 2013. – С. 142-143.
20. Галушак М. О. Геоінформаційна технологія формування кадастру емісій парникових газів від використання палива промисловістю Підляського воєводства Польщі / М. О. Галушак, Р. А. Бунь // 10-та Відкрита наукова конференція ІМФН „PSC-IMFS-10” : Збірник матеріалів. – Львів : НУ”ЛП”, 2012. – С. J6-J7.
21. Галушак М.О., Бунь Р.А. Моделювання процесів емісії парникових газів у промисловому секторі Підляського воєводства Польщі / Інформаційні технології, економіка та право (ІТЕП-2012) : Матер. міжнар. наук.-практ. конф. Молодих вчених та студентів. – Ч. 1. – Чернівці, 2012. – С. 69-70.
22. Галушак М. Просторовий аналіз емісій парникових газів від використання викопного палива у підсекторі «Промисловість і будівництво» Східної Польщі / 70-та студентська науково-технічна конференція : Секція „Прикладна математика та фундаментальні науки” : Тези доп. – Львів : НУ «ЛП», 2012. – С. 11-12.
23. Галушак М. О. Екологічні аспекти емісії парникових газів у вугільній промисловості Польщі / Галушак М. О., Кадюк О. І. // Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності : Зб. наук. праць X Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів : ЛДУБЖ, 2015. – С. 158-160.

АНОТАЦІЇ

Галушак М. О. Математичне моделювання та просторовий аналіз процесів емісії парникових газів від використання палива у промисловості України і Польщі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – "Математичне моделювання та обчислювальні методи". – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2017.

Дисертація присвячена розробленню математичних моделей для здійснення просторового аналізу процесів емісії парникових газів при видобуванні та переробці різних видів палива та емісій від спалювання викопного палива у промисловості Польщі та України, які дають можливість враховувати особливості кожного джерела емісії та його географічне розміщення. З допомогою цих моделей досліджено леткі емісії парникових газів, які виникають внаслідок видобування та переробки викопного палива. Розроблено математичні моделі процесів емісії парникових газів у промисловому секторі, які базуються на представленні потужних підприємств точковими джерелами, а населених пунктів з великою кількістю дрібних підприємств – площинними джерелами емісії. Здійснено просторовий аналіз емісій парникових газів у видобувній та переробній промисловостях Польщі та України з використанням геоінформаційних технологій, а також аналіз невизначеності результатів просторової інвентаризації парникових газів у досліджуваних секторах з врахуванням особливостей кожного джерела емісії.

Ключові слова: математичне моделювання, процес емісії парникових газів, видобувна промисловість, леткі емісії, промисловий сектор, просторове моделювання, невизначеність.

Галушак М. О. Математическое моделирование и пространственный анализ процессов эмиссии парниковых газов от использования топлива в промышленности Украины и Польши. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – "Математическое моделирование и вычислительные методы". – Национальный университет «Львовська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2017.

Диссертация посвящена разработке математических моделей для осуществления пространственного анализа процессов эмиссии парниковых газов при добыче и переработке различных видов топлива и эмиссий от сжигания ископаемого топлива в промышленности Польши и Украины, которые дают возможность учитывать особенности каждого источника эмиссии и его географическое расположение. С помощью этих моделей исследованы летучие эмиссии парниковых газов, образующихся в результате добычи и переработки ископаемого топлива. Разработаны математические модели процессов эмиссии парниковых газов в промышленном секторе, основанные на представлении мощных предприятий точечными источниками, а населенных пунктов с

большим количеством мелких предприятий – плоскостными источниками эмиссии. Осуществлен пространственный анализ эмиссий парниковых газов в добывающей и перерабатывающей промышленности Польши и Украины с использованием геоинформационных технологий, а также анализ неопределенности результатов пространственной инвентаризации парниковых газов в исследуемых секторах с учетом особенностей каждого источника эмиссии.

Ключевые слова: математическое моделирование, процесс эмиссии парниковых газов, добывающая промышленность, летучие эмиссии, промышленный сектор, пространственное моделирование, неопределенность.

Halushchak M. Mathematical modeling and spatial analysis of processes of greenhouse gas emissions from using fuels in the industrial sector in Ukraine and Poland. – On the right of manuscript.

Thesis for Ph.D degree in Technical Sciences in specialty 01.05.02 – “Mathematical modeling and computational methods”. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017.

This thesis addresses the development of mathematical models for spatial inventory of greenhouse gas emission processes in the industrial sector of Ukraine and Poland, which make it possible to take into account the features of each emission source and its geographical location.

A review of known approaches to the assessment of greenhouse gas emissions in various sectors of economic activity was carried out and expediency of spatial inventory has been clarified in *the first chapter*.

In the *second chapter* the mathematical models of emission processes from extraction and processing of different types of fuels have been created. In this thesis the fugitive emissions of carbon dioxide and methane caused by extraction, transportation and processing of oil, natural gas and coal were taken into account, and the emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide from the use of fossil fuels in coke plants and oil refining were estimated. The emission processes are analyzed at the level of separate emissions sources. To implement the spatial inventory a digital map of emission sources has been created, and numerical experiments have been carried out. The results of the spatial inventories are visualized using digital maps.

In the *third chapter* the geoinformation technology for spatial analysis of processes of greenhouse gases emission caused by industry in Poland and Ukraine has been developed. The mathematical models and software have been elaborated, which make it possible to calculate the emissions and to form a geospatial database of emissions.

In the *fourth chapter* the retrospective analysis of inventory reports has been done. Using Monte-Carlo methods, the analysis of uncertainty of the results of spatial inventory of greenhouse gas emissions in the industrial sector in Ukraine and Poland has been done.

Keywords: mathematical modeling, processes of greenhouse gas emissions, mining, fugitive emissions, industrial sector, spatial modeling, uncertainty.

Підписано до друку 07.04.2017
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий
Умов. друк. арк. 0,9. Фіз. друк. арк. 1,25
Тираж 130 пр.

Надруковано:
ТзОВ “Графік Стар”
79026, м. Львів, вул. Володимира Великого, 2
soroka@soroka.lviv.ua