

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У ТРАНСПОРТНОМУ СЕКТОРІ

© Гамаль Х.В., 2008

Розроблено математичні моделі для просторової інвентаризації викидів парникових газів у транспортному секторі України. Описано програмне забезпечення, що реалізує ці моделі, та наведено приклад його застосування.

The mathematical models for spatial inventory of greenhouse gases in transport sector of Ukraine are presented. The software, developed for model's implementation, is described together with an example of its application.

Постановка проблеми

Проблема зміни клімату і небезпека глобальних та регіональних ефектів стали одними із найбільш обговорюваних тем у світі. Вчені вважають, що основні чинники таких змін мають антропогенний характер, а саме внаслідок підвищення в атмосфері концентрації парникових газів (ПГ), викиду аерозольних часточок, вирубування лісів, урбанізації і т.п.

Одним із найбільших джерел викидів парникових газів (причому постійно зростаючим) є транспортний сектор, зокрема залізничний, повітряний, водний, автомобільний та трубопровідний транспорт. Використання палива транспортним сектором в усьому світі зросло на 50% за останні десятиліття. Причинами цього є розвиток економіки та підвищення добробуту населення. Викиди вуглекислого газу в результаті спалювання органічних видів палива для роботи транспортних засобів ще в 1990 році становили одну п'яту сукупних викидів. Автотранспортній галузі належить найбільша частина цих викидів – близько 80%, другим найбільшим джерелом викидів є повітряний транспорт – 13%. Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами автотранспорту становлять третину загального обсягу забруднення атмосфери в Україні.

Для того, щоб закласти міжнародні основи контролю за викидами парникових газів, у 1988 р. Генеральною Асамблеєю ООН створено Міжурядову групу експертів з проблеми змін клімату (МГЕЗК). У доповіді за 2001 р. вона зробила однозначний висновок: розбалансування глобальної кліматичної системи як результат людської діяльності — одна з основних причин існуючих та прогнозованих змін клімату. У 1992 р. у Ріо-де-Жанейро підписано Рамкову конвенцію ООН зі зміни клімату, яка заклала міжнародні основи контролю за викидами парникових газів, а в 1997 р. – прийнято Кіотський протокол РКЗК. Кінцева мета Конвенції полягає у стабілізації концентрацій парникових газів у атмосфері на такому рівні, який не допускатиме небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему. Україна ратифікувала Конвенцію у жовтні 1996 р. і стала Стороною у серпні 1997 р., взявши на себе зобов'язання налагодити регулярні інвентаризації парникових газів і слідкувати за дотриманням їх викидів на встановленому Протоколом рівні. Причому при підготовці національних звітів про емісії парникових газів повинні використовуватися Методики національних інвентаризацій парникових газів (Методики МГЕЗК) [1, 2] та відповідне програмне забезпечення [3]. Ці методики є загальними і передбачають здійснення інвентаризації, в принципі, для будь-якої країни, незважаючи на те, що країни розміщені в різних кліматичних зонах та мають істотні відмінності в рівнях економічного розвитку. Але через свою універсальність ці методики не пристосовані до повноцінного врахування регіональних особливостей, що веде до збільшення

похибки інвентаризації. Тому актуальним є розроблення регіональних підходів, які враховують особливості окремих територій, детальніше відображають відмінності між екосистемами, способами та нормами спалювання всіх видів палива в різних галузях економіки [1].

Аналіз останніх досліджень

Донедавна основними питаннями стосовно емісій ПГ були загальні величини викидів CO₂ чи CO₂-еквівалентів без жодного просторового чи часового розширення. З погляду виконання умов Кіотського протоколу міжнародну спільноту цікавить лише одне число, яке характеризує рівень викидів парникових газів цілої країни за звітний рік у певному секторі економіки. Причому не важливою є інформація, де географічно розміщені найбільші джерела забруднень, чи рівномірно вони розміщені по території країни і т.д. Натомість для владних структур та для структур, які займаються природоохоронною діяльністю, важливою є саме така інформація. Окрім того, наприклад, якщо ми хочемо порівняти наземні спостереження або виміри, зроблені супутником, із обчисленими величинами викидів, то необхідно мати інформацію про приблизний час та місце виникнення як антропогенних, так і біогенних емісій.

Лише відносно недавно почали з'являтися роботи, присвячені дослідженню просторового та часового розподілу викидів [4–7]. На основі Методик інвентаризації викидів парникових газів, запропонованих Міжнародною групою експертів у США Агентством охорони навколишнього середовища (U.S. EPA), створено «Переглянуте керівництво інвентаризації парникових газів для окремих Штатів», а також відповідне програмне забезпечення, за допомогою якого інвентаризація проводиться на рівні окремого штату. Причому детально враховано особливості цього штату; коефіцієнти, які пропонуються за замовчуванням, теж ґрунтуються на дослідженнях саме для нього. Очевидними є такі переваги такого підходу: по-перше, ґрунтовні інвентаризації викидів ПГ забезпечують кожен штат найкращим фундаментом для оцінки їх джерел та визначення ефективних стратегій їх скорочення; по-друге, розробка Керівництва інвентаризації парникових газів для окремих штатів містить уніфіковану методологію інвентаризації, що полегшує порівняння викидів між окремими штатами та визначення внеску певного штату у загальнонаціональні емісії. Прикладом застосування такого підходу для України може бути проведення інвентаризацій на рівні областей або адміністративних районів. Звичайно, для того щоб приймати рішення щодо впровадження природоохоронних заходів на обласному чи районному рівні, такої інформації недостатньо. До такого підходу можна віднести спроби деяких країн здійснювати інвентаризацію для окремих регіонів, причому для кожного сектора діяльності поділ на такі регіони не збігається (наприклад, великі промислові райони, райони видобування корисних копалин, райони залізничного транспорту, райони фермерської діяльності і т.д.). Зазвичай такі підходи ґрунтуються на геоінформаційних технологіях або їх використовують для інтерпретації результатів.

Дещо інший підхід реалізовано Інститутом збереження та раціонального використання енергії (Німеччина) у межах проекту “Concentrated Action CarboEurope-GHG”. Він полягає у тому, що вже відомі значення емісій розподіляють за джерелами викидів. При такому підході джерела викидів у країні розбивались на три види: точкові, лінійні та площинні джерела. Відповідно до виду джерела емісії чи сектора економіки, до якого воно належить, та інших параметрів, проводилась розосередження викидів за цими джерелами, попередньо розбивши лінійні та площинні джерела на ділянки визначеного розміру (наприклад, за правилом, щоб ділянка чи відрізок вмістились у комірку 10 км x 10 км).

Для транспортного сектора прикладом точкового джерела є аеропорти, лінійного – автомобільні та залізничні шляхи, площинного джерела – міський транспорт (через високу густину доріг на території міст). Звичайно ж, така модель передбачає застосування геоінформаційних технологій для зберігання та відображення результату. Вхідними даними цієї моделі просторового розосередження емісій є дані про емісії на рівні статистичних даних NUTS2 та NUTS3, які генеруються, використовуючи статистичну інформацію відповідних рівнів як параметри географічної прив'язки. Рівні NUTS2 та NUTS3 (EU Nomenclature of Territorial Units for Statistics) встановлені Євростатом з метою забезпечити єдине рівномірне розбиття територіальних одиниць

для ведення регіональної статистики у Європейському союзі. Результатами застосування такого підходу є дуже детальні дані про емісії, проте для України безпосередньо застосувати такий підхід не можна, оскільки немає відповідних статистичних даних.

Отже, актуальною і недослідженою є задача розроблення моделі просторової інвентаризації викидів ПГ, яка б враховувала особливості національних статистичних даних та давала б змогу генерувати розосереджені дані з географічною прив'язкою. Такі дані про викиди ПГ відображають регіональну специфіку процесів емісії та поглинання парникових газів і тому будуть вкрай важливими для тих, хто приймає управлінські рішення щодо стратегічних напрямків розвитку економіки чи природоохоронної діяльності.

Постановка задачі та мета дослідження

Необхідно створити математичні моделі розподіленої інвентаризації ПГ для транспортного сектора та алгоритми розподілу споживання палива відповідно до Методик Міжнародної групи експертів зі зміни клімату та на основі наявної статистичної інформації. На базі цих алгоритмів та геоінформаційних технологій необхідно побудувати програмний комплекс для просторової інвентаризації та автоматичного складання звіту згідно із вимогами Методик МГЕЗК. Необхідно дослідити особливості застосування вимог та Методик МГЕЗК для транспортного сектора України, перехід від національної статистики до поділу на види палива та сектори економіки у Методиках МГЕЗК, оскільки неможливо безпосередньо застосувати ці Методики.

Класифікація моделей просторової інвентаризації ПГ у транспортному секторі

Для просторової реалізації інвентаризації ПГ досліджувану територію необхідно умовно розбити на елементарні ділянки певного розміру, причому розбиття окремо проводиться для усіх адміністративних одиниць. Наприклад, якщо досліджуємо територію України, то доцільно розбивати окремо кожен область або (якщо ділянки, на які розбиваємо, достатньо малі) кожен адміністративний район та міста обласного підпорядкування. Це робиться для того, щоб, по-перше, зручно було розподіляти вхідні дані щодо споживання палива та інші параметри за елементарними ділянками (оскільки статистична інформація подається для таких адміністративних одиниць) і, по-друге, щоб можна було підсумувати результати інвентаризації за ділянками і отримати результат для визначеної адміністративної одиниці.

Математичні моделі інвентаризації цього рівня полягають у почерговому знаходженні емісій парникових газів для всіх елементарних об'єктів, на які розбито досліджувану територію. У таких моделях інвентаризації вхідні та вихідні дані повинні представлятись у вигляді георозподіленої бази даних. Причому загальне споживання палива транспортним сектором розподіляється не лише за елементарними ділянками, а й за підсекторами транспортного сектора, відповідно до Методик МГЕЗК:

- цивільна авіація (міжнародні перевезення; внутрішні перевезення);
- дорожній транспорт (легкові автомобілі; вантажні автомобілі; автобуси; мотоцикли);
- залізничні перевезення;
- морський та річковий транспорт;
- інші види транспорту (трубопровідний транспорт; сільськогосподарські машини та механізми).

Модель інвентаризації викидів вуглекислого газу

Для оцінки викидів вуглекислого газу під час спалювання палива можна застосовувати методи інвентаризації базового підходу (або методи першого рівня – рівня найнижчої деталізації за Методиками МГЕЗК), оскільки коефіцієнти емісії, на відміну від інших парникових газів прямої дії, не залежать від технології спалювання палива, а лише від вмісту вуглецю в конкретному виді палива. При використанні базового підходу викиди вуглекислого газу оцінюються у декілька етапів:

- оцінка потоків паливно-енергетичних ресурсів в країні (наявне споживання);
- перетворення до вуглецевих одиниць;

- поправка на неповне окислення вуглецю (при згорянні палива окислюється не весь вуглець, що залежить від ефективності роботи устаткування, тому в математичних моделях треба робити поправку на неповне окислення вуглецю; для цього використовується відповідний коефіцієнт – фракція окисленого вуглецю – відношення кількості вуглецю, що згорів, до загальної кількості його в паливі);

- перехід до вуглекислого газу та підсумовування за всіма видами палива.

У секторі „Транспорт” модель розподіленої інвентаризації вуглекислого газу (CO₂) можна представити так

$$\Delta E_n^{CO_2} = \sum_{s=1}^S \sum_{a=1}^A (F_{s,a,n} \cdot EF_a^{CO_2}), \quad n = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де $F_{s,a,n}$ – кількість використаного палива a на діяльність s -го підсектора транспортного сектора в n -й елементарній ділянці (ТДж), $EF_a^{CO_2}$ – коефіцієнт емісії вуглекислого газу внаслідок спалювання палива типу a (кг/ТДж), $\Delta E_n^{CO_2}$ – результати інвентаризації CO₂ загалом для цієї ділянки (кг), N – загальна кількість елементарних ділянок, A – загальна кількість видів палива, спожитого транспортним сектором, S – кількість підсекторів транспортного сектора.

Модель інвентаризації викидів CH₄ та N₂O

Для відмінних від вуглекислого газу парникових газів прямої дії емісії визначаються за допомогою коефіцієнтів емісій та даних, розділених за підсекторами транспортного сектора. Емісії цих газів значно залежать від виду використаного палива, технології його спалювання, технології контролю, експлуатації та віку транспортних засобів. Тому розрахунки емісій цих газів не можуть проводитись за видами палива (базовий метод МГЕЗК), а лише за основними категоріями джерел емісій.

Обчислення для визначення емісій CH₄ та N₂O передбачають три кроки:

- 1) визначення кількості спаленого палива транспортом за рік для кожного підсектора (в енергетичних одиницях);
- 2) визначення коефіцієнтів емісій для кожного виду палива і кожного підсектора;
- 3) знаходження емісій.

Кількість спаленого палива за рік для транспортного сектора може розраховуватись двома шляхами:

- 1) за кількістю проданого палива цьому сектору економіки;
- 2) за даними про річний пробіг транспорту та показниками споживання того чи іншого виду палива на одиницю пробігу.

Отже, моделі розподіленої інвентаризації викидів CH₄ та N₂O можна представити двома способами (залежно від наявних статистичних даних). Для першого способу:

$$\Delta E_n = \sum_{s=1}^S \sum_{a=1}^A (F_{s,a,b,c,n} \cdot EF_{s,a,b,c}), \quad n = 1, \dots, N,$$

де $F_{s,a,b,c,n}$ – кількість використаного палива виду a на діяльність s -го підсектора транспортного сектора автомобілями типу b із технологією керування викидами c в n -й елементарній ділянці (ТДж), $EF_{s,a,b,c}$ – коефіцієнт емісії парникового газу внаслідок спалювання палива типу a на діяльність s -го підсектора транспортного сектора автомобілями типу b із технологією керування викидами c (кг/ТДж), a – вид палива, s – підсектор транспортного сектора, b – тип транспортного засобу, c – тип контролю викидів, передбачений у транспортному засобі, ΔE_n – результати інвентаризації CH₄ чи N₂O загалом для цієї ділянки (кг).

Ця модель вимагає класифікації типів транспортних засобів (наприклад, для дорожнього транспорту – легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси, мотоцикли і т.д.) і, бажано, з подальшим розбиттям на групи за віком (наприклад, до 3 років, 3–8 років, старші 8 років) для

поділу на категорії транспортних засобів за впровадженими технологіями керування викидами. Проте, застосування розгорнутої класифікації транспортних засобів, яка пропонується у Методиках (виділення машин, де встановлені каталізатори та інші технічні пристрої знезараження відпрацьованих газів), поки що неможливе, оскільки вони ще не поширені, і вітчизняна статистика не обліковує таких показників.

Для другого способу інвентаризації використовується модель

$$\Delta E_n = \sum_{s=1}^S \left[\sum_{a,b,c,d} (Dist_{s,a,b,c,d,n} \cdot EF_{s,a,b,c,d}) + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d} \right], n = 1, \dots, N,$$

де $Dist_{s,a,b,c,d,n}$ – кількість використаного палива виду a на діяльність s -го підсектора транспортного сектора автомобілями типу b із технологією керування викидами c та залежно від умов експлуатації d в n -й елементарній ділянці (ТДж); $EF_{s,a,b,c,d}$ – коефіцієнт емісії парникового газу внаслідок спалювання палива типу a на діяльність s -го підсектора транспортного сектора автомобілями типу b із технологією керування викидами c при умовах експлуатації d (кг/ТДж); d – умови експлуатації транспортного засобу (наприклад, сільська чи міська місцевість, клімат і т.д.); ΔE_n – результати інвентаризації CH_4 чи N_2O загалом для цієї ділянки (кг).

Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації

Для реалізації математичних моделей розподіленої інвентаризації створено геоінформаційну технологію, яка поєднує цифрові карти, геоінформаційну систему та визнані на міжнародному рівні Методики інвентаризації МГЕЗК у вигляді Microsoft Excel програми. Технологія розподіленої інвентаризації вимагає почергового здійснення інвентаризації для всіх елементарних ділянок. При цьому цифрові карти використовуються як для формування бази вхідних даних, так і для відображення чи інтерпретації результатів інвентаризації. Методики МГЕЗК використовуються для інвентаризації кожної елементарної ділянки, а сумування результатів інвентаризації за всіма елементарними ділянками дає результати традиційної інвентаризації на регіональному рівні. Структура створеної геоінформаційної системи містить три основні модулі (рис. 1).

Модуль 1 – використовується для формування георозподілених баз даних вхідної інформації із споживання палива для забезпечення роботи транспорту за елементарними ділянках. Вхідною інформацією для цього модуля є статистичні дані та дані із спеціалізованих довідників, введені користувачем у спеціальні форми, а також допоміжні цифрові карти (наприклад, цифрова карта автомобільних шляхів, залізничних шляхів і т.д.). Використовуючи ці дані та певні припущення, розподіляють спожите паливо окремими видами транспортних засобів за підсекторами на основі розроблених алгоритмів. Як результат роботи цього модуля формуються цифрові карти (георозподілені бази даних), в яких для кожної елементарної ділянки міститься така інформація: назва області, де знаходиться ділянка; назва адміністративного району чи міста обласного підпорядкування, в межах якого є ділянка; кількість міського та сільського населення; інформація про автомобільні дороги в межах цієї ділянки (тип дороги, ширина дороги, вид покриття дороги, і т.д.); інформація про залізничні шляхи; кількість бензину та дизпального, спаленого у цій ділянці автотранспортом, який перебуває у приватній власності; кількість бензину, дизпального та газу, спаленого у цій ділянці автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності з поділом на основні види транспортних засобів: легкові авто, вантажівки та автобуси; кількість дизельного пального, витраченого залізничним транспортом, а також інша допоміжна інформація.

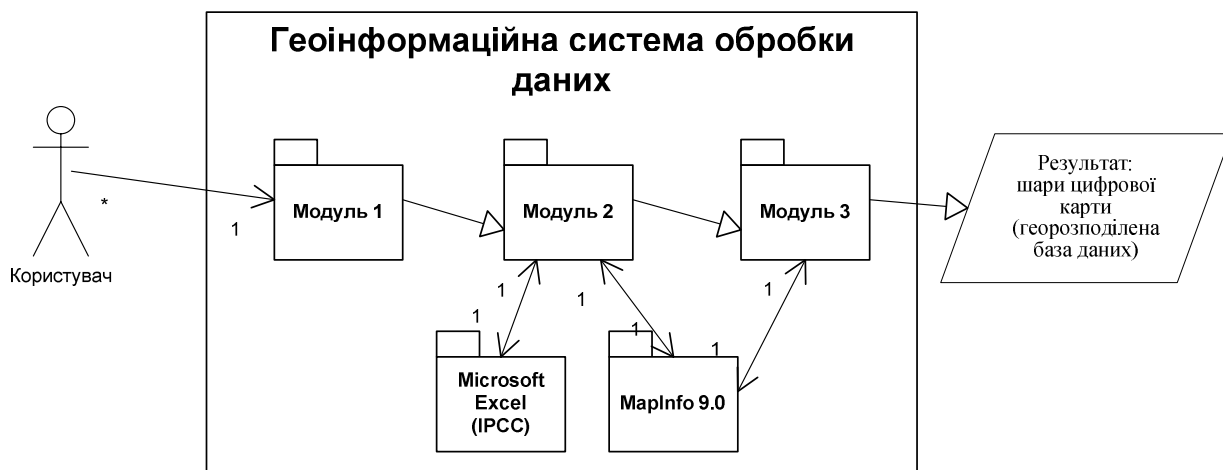


Рис. 1. Діаграма функціонування геоінформаційної системи інвентаризації ПГ

Модуль 2 – програмний модуль, основними функціями якого є запис вхідних даних у відповідні комірки Excel-таблиці методик Міжурядової групи експертів зі зміни клімату; здійснення інвентаризації парникових газів, які утворились внаслідок спалювання пального у вибраному користувачем підсекторі транспортного сектора.

Геоінформація із сформованих в Модулі 1 шарів електронної карти є вхідними даними для Модуля 2. Геоінформація для елементарної ділянки за допомогою технології OLE та підпрограм мовою MapBasic записується у відповідні комірки, які використовуються програмою Excel. З отриманих за допомогою методик МГЕЗК даних цим же модулем формуються вихідні таблиці, які відповідають результатам інвентаризації парникових газів: емісії вуглекислого газу, метану тощо у вибраному користувачем підсекторі транспортного сектора.

Модуль 3. Основними функціями цього модуля є формування запитів до таблиць результатів інвентаризації, формування нових геоінформаційних шарів з результатами інвентаризації за елементарними ділянками та відображення їх на цифровій карті, побудова 3D-карт та тематичних карт. Вхідними даними для цього модуля є сформовані Модулем 2 таблиці результатів інвентаризації та топографічна інформація з допоміжних електронних карт.

Користувач вводить статистичну інформацію в розрізі районів та міст обласного підпорядкування для кожної області щодо споживання кожного виду пального за підсекторами транспортного сектора, яка містить дві групи показників:

1) параметри, які характеризують лише роботу транспорту в області: загальний річний пробіг вантажних автомобілів та пасажирських автобусів окремо; пасажирообіг та вантажообіг автотранспорту; наявність автотранспорту в юридичних осіб та індивідуальних власників із поділом авто за часом їх експлуатації та за конструкцією, яка дає змогу використовувати бензин, дизельне паливо, газ чи бензин і газ разом; показники витрат пального і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті на 100 км пробігу; реалізація автомобільного бензину та пально-мастильних матеріалів через АЗС в районах та містах обласного підпорядкування тощо;

2) споживання пального і мастильних матеріалів: обсяги продаж бензину моторного та дизельного пального населенню області; обсяги споживання усіх видів пального на діяльність транспорту загалом по області; використання окремих видів пального (бензину моторного, дизельного пального, природного газу, мастильних матеріалів) підприємствами та організаціями в розрізі районів і міст обласного підпорядкування.

Також користувач має змогу оновити дані та допоміжні цифрові карти, що використовуються програмою для територіального перерозподілу даних; вибирати коефіцієнти емісій та нижчі теплотворні значення деяких видів пального за замовчуванням або уточнювати деякі з них.

Результатом виконання програми є значення викидів ПГ за видами в обраному користувачем підсекторі транспортного сектора деякої області, причому з поділом на основні види транспорту,

які використовуються у цьому підсекторі. Як і вхідні дані, результат виконання програми подається у вигляді георозподіленої бази даних за елементарними ділянками визначеного розміру. Позитивним також є те, що відповідно підсумувати результати інвентаризації найнижчого рівня можна для будь-якого окремо взятого регіону (наприклад, для південної частини області). Отриманий результат відображає внесок цього регіону в плані джерел парникових газів.

Алгоритми розподілу даних для приватного автотранспорту

Основна інформація із споживання палива та параметри діяльності транспортного сектора, яку вводить користувач, подається у статистичних збірниках або в розрізі адміністративних районів та міст обласного підпорядкування або для області загалом. Таку інформацію для реалізації обраної математичної моделі інвентаризації необхідно розподілити за певними алгоритмами та припущеннями за елементарними ділянками, на які поділено кожен адміністративну одиницю. Нижче наведено приклади таких алгоритмів. Види пального, які розглядаються: бензин моторний та дизельне пальне.

Використовувана інформація із статистичних збірників: загальні показники по області щодо продажу бензину моторного та дизпального населенню, дані про реалізацію автомобільного бензину та пально-мастильних матеріалів через АЗС за районами та містами обласного значення.

Додаткова інформація: цифрова карта населених пунктів області, з інформацією про тип населеного пункту (місто обласного підпорядкування, місто, селище міського типу, село), приналежність до адміністративного району та ін.; електронні карти з розподілом сільського та міського населення по області, цифрові карти доріг в області (із поділом на *тип дороги*: удосконалені шосе, шосе, удосконалені ґрунтові дороги, путівці, польові та лісові дороги, стежки, перевали; стан дороги; ширина дороги та матеріал покриття).

Припущення та основні кроки:

а) робиться припущення, що усе дизпальне та бензин, реалізовані населенню, використано на діяльність транспорту;

б) загальна для області кількість пального розподіляється по адміністративних одиницях пропорційно до обсягу реалізації автомобільного бензину та пально-мастильних матеріалів через АЗС за районами та містами обласного значення;

в) цифрова карта шляхів розбивається на елементарні ділянки, причому в одну комірку можуть потрапити декілька ділянок доріг; для кожного району в області кількість спаленого пального в ньому розподіляється по дорогах, враховуючи тип дороги, завантаженість, довжину ділянки дороги, ширину покриття; аналогічно для міст обласного підпорядкування; відповідний фрагмент підпрограми мовою MapBasic:

```
dim k as float
dim reg as string
dim g as float
dim d as float
```

Fetch First from Region_LV 'таблиця Region_LV містить дані по споживанню палива
'районами області

```
Do while Not EOT(Region_LV)
```

```
reg = Region_LV.Name 'назва чергового району
```

```
g = Region_LV.gasoline_p 'спожито бензину в черговому районі
```

```
d = UngriddedRegion_LV.diesel_p 'спожито дизпалива у черговому районі
```

```
note reg
```

```
'із таблиці шляхів вибираємо ті шляхи, які належать заданому району
```

```
'і не належать містам обласного підпорядкування
```

```
Select * from Roads_LV where Region=reg and State="" into Selection1 browse * from  
selection1
```

'коефіцієнт, який враховує тип дороги, навантаженість, довжину ділянки дороги, ширину покриття

Select Sum(LxDxCoeff) from Selection1 into Selection2

Fetch First from selection2

k=Selection2.col1

note(k)

'розподіл по ділянках доріг

Update Selection1 set Peop_g=g*LxDxCoeff/k

Update Selection1 set Peop_d=d*LxDxCoeff/k

Fetch Next from Region_LV

k=0

Loop

г) якщо декілька ділянок доріг потрапили до однієї комірки, то окремі значення споживання палива для них об'єднуються в одне значення.

Розподіл палива для суб'єктів господарської діяльності

Увесь автотранспорт юридичних осіб розподіляємо за видами: вантажні автомобілі, автобуси та легкові автомобілі. Застосування розгорнутої класифікації транспортних засобів, яка пропонується у Методиках МГЕЗК (виділення автомобілів, де встановлені каталізатори та інші технічні пристрої знезараження відпрацьованих газів), поки що неможливе, оскільки вони ще не поширені, і національна статистика не обліковує таких показників. Застосування у розрахунках коефіцієнта працездатності автопарку, тобто врахування частки автомобілів, які перебувають у ремонті, також недоцільне, оскільки розрахунки проводяться на основі показників споживання пального на пробіг автомобілів. Також враховано вплив на рівень викидів виконання транспортної роботи автомобілів в умовах руху в міській та сільській місцевості. Види пального, які розглядаються: бензин моторний, дизельне пальне та газ природний.

Інформація із статистичних збірників: споживання бензину моторного, дизпального та природного газу по районах та містах обласного підпорядкування; наявність автотранспорту у юридичних осіб із поділом на види транспорту, час його експлуатації, а також конструкція, яка дає змогу використовувати той чи інший вид пального; загальний пробіг вантажних автомобілів на бензині, дизпальному та газі в районах та містах; загальний пробіг автобусів на бензині, дизпальному та газі в районах та містах.

Додаткова інформація: цифрова карта населених пунктів області, з інформацією про тип населеного пункту (місто обласного підпорядкування, місто, селище міського типу, село), приналежність до адміністративного району та ін.; цифрові карти доріг в області (із поділом на *тип дороги*: удосконалені шосе, шосе, удосконалені ґрунтові дороги, путівці, польові та лісові дороги, стежки, перевали; стан дороги; ширина дороги та матеріал покриття); цифрова карта залізничних доріг в області.

Припущення та основні кроки:

а) знаходяться середні значення витрат кожного виду пального на одиницю пробігу вантажних автомобілів, автобусів та легкових автомобілів в області загалом та по районах;

б) маючи середні значення витрат кожного виду пального на одиницю пробігу за видами транспорту та річний пробіг кожного виду транспорту за районами та містами, знаходимо кількість спожитого пального за видами транспорту; для легкових автомобілів спожите пальне знаходимо, віднявши від загальної кількості пального, спожитого дорожнім транспортом у районі чи місті, пальне, спожите вантажівками та автобусами;

в) одержані дані розносимо по цифровій карті автошляхів подібно як і для приватного транспорту, враховуючи тип дороги, завантаженість, довжину ділянки дороги, ширину покриття;

г) дизельне пальне, використане залізничним транспортом, розподіляється з використанням цифрової карти залізничних колій та залізничних станцій в області.

Формування цифрової карти з результатами інвентаризації викидів парникових газів на прикладі Львівської області

Нижче наведено приклад реалізації описаного підходу для Львівської області. Територію області умовно розбито на елементарні ділянки розміром 5х5 км (рис. 2). Розподіл пального за територією виконано з використанням даних із збірників [8, 9], допоміжні цифрові карти для Львівської області вибрано із «Просторової бази даних України масштабу 1:500 000» [10].



Рис. 2. Цифрова карта Львівської області із населеними пунктами, автомобільними та залізничними шляхами, розбита на елементарні ділянки розміром 5 × 5 км

Для оцінки викидів парникових газів використано так звані «національні» коефіцієнти окиснення та викидів вуглецю, метану та окису азоту для різних видів пального із врахуванням особливостей вітчизняного пального та технології його спалювання (враховано середній вік автопарку, умови експлуатації і т.д.) [11]. Якщо дослідження із визначення певних національних коефіцієнтів не проводилися, то приймалися коефіцієнти викидів за замовчуванням відповідно до Керівництва МГЕЗК [2, 3].

Як результат застосування описаної вище технології просторової інвентаризації отримуємо георозподілену базу даних про викиди ПГ із поділом на джерела викидів та види газів. Результати для кожної ділянки окремо важко аналізувати (як, наприклад, показані на рис. 3 емісії вуглекислого газу за елементарними ділянками в результаті спалювання бензину автобусами юридичних осіб усіх форм власності). Тому для візуальної оцінки результату можна застосовувати різні види інтерполяції, що враховують такі параметри, як ступінь впливу однієї ділянки на сусідні, радіус такого впливу тощо, що особливо важливо для випадку емісій у атмосферне повітря (наприклад, показані на рис. 4 викиди CO₂, CH₄ та N₂O в еквіваленті вуглекислого газу, спричинені діяльністю автотранспорту юридичних осіб).

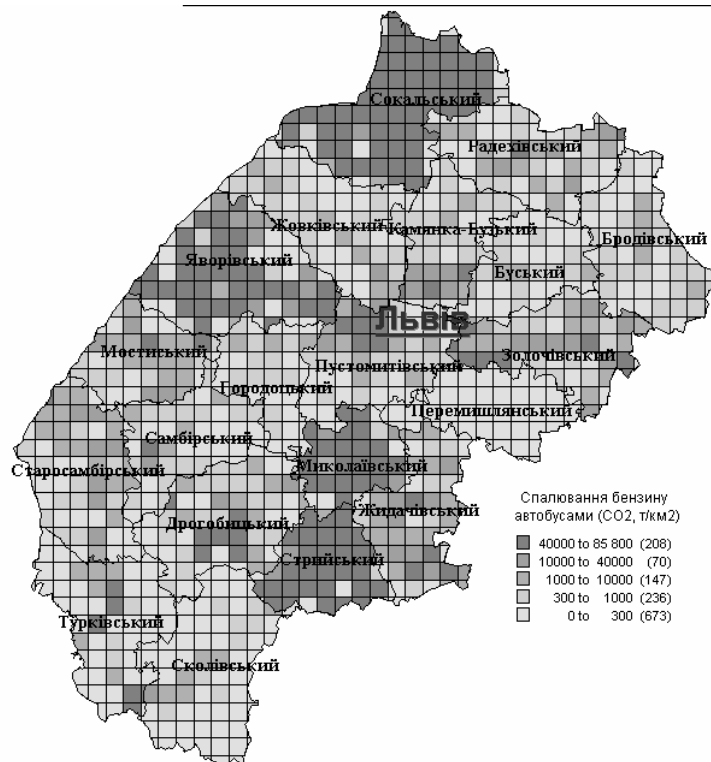


Рис. 3. Емісії вуглекислого газу за елементарними ділянками, в результаті спалювання бензину автобусами юридичних осіб усіх форм власності (т/км²)

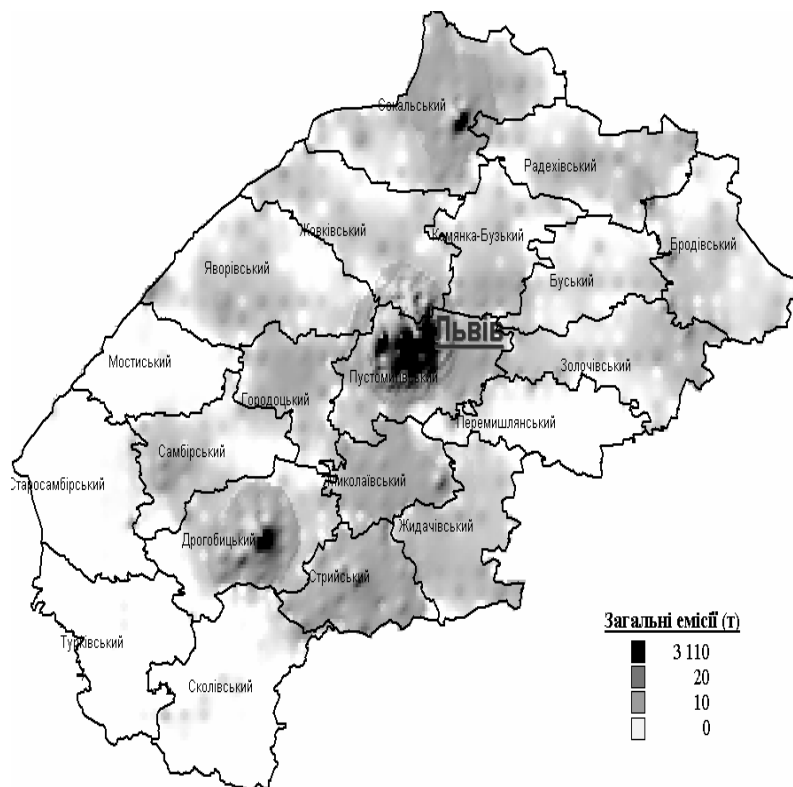


Рис. 4. Викиди CO₂, CH₄ та N₂O в еквіваленті вуглекислого газу, спричинені діяльністю автотранспорту юридичних осіб (тис. т/км²)

Звичайно ж, обробка таких даних ґрунтується на групуванні результатів для деякої території, виборі найзабрудненіших ділянок і аналізу структури викидів для них з метою скорочення викидів саме в таких регіонах; візуалізації результатів з метою аналізу та планування природоохоронних заходів і т.д.

На рис. 5 та 6 наведено приклади групування та підготовки даних (результатів інвентаризації) для аналізу за адміністративними районами та містами обласного підпорядкування, причому дані вказано у логарифмічній формі через істотну нерівномірність їх територіального розподілу.

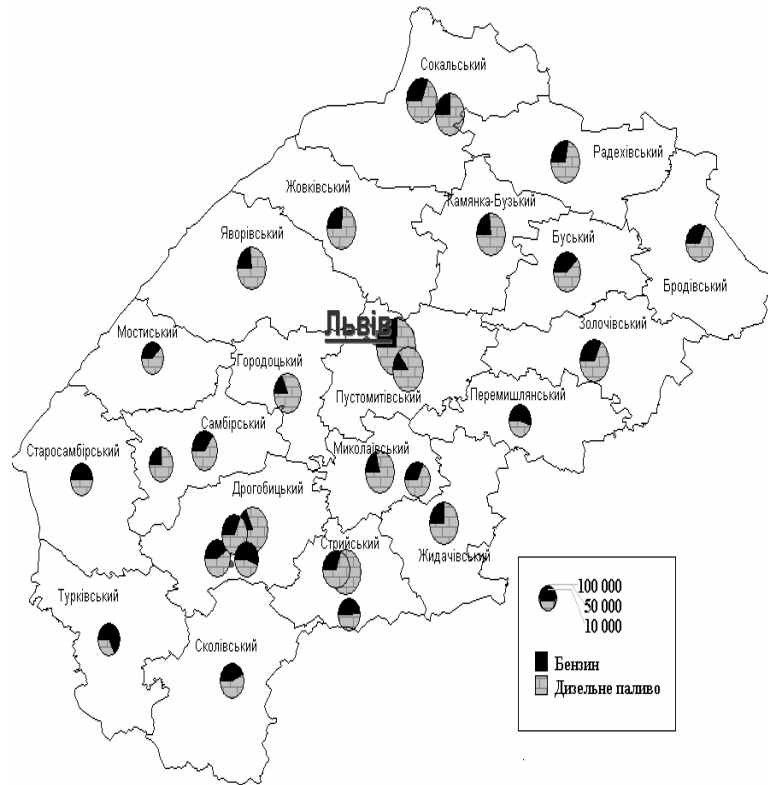


Рис. 5. Обсяг споживання бензину та дизельного пального на потреби транспорту за адміністративними районами та містами обласного підпорядкування підприємствами та організаціями області (у логарифмічній шкалі, т)

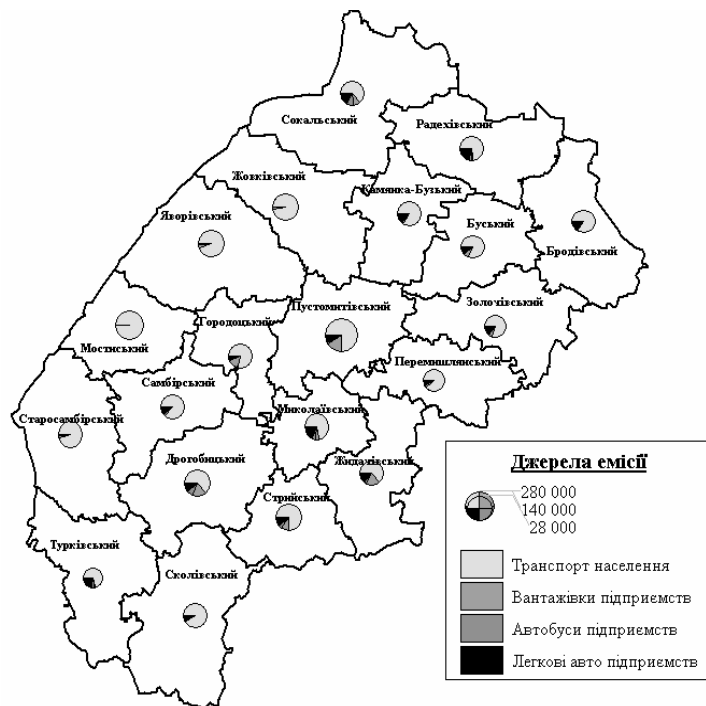


Рис. 6. Загальні емісії в CO_2 -еквіваленті із відображенням структури джерел викидів: транспорт населення, вантажівки підприємств, автобуси підприємств, легкові автомобілі підприємств (у логарифмічній шкалі, т)

Висновки

У статті представлено математичні моделі просторової інвентаризації викидів парникових газів для транспортного сектора на рівні елементарних ділянок та описано особливості їх практичної реалізації за допомогою розробленої комп'ютерної програми із використанням геоінформаційної системи. На прикладі Львівської області продемонстровано доцільність проведення просторового аналізу викидів через їх дуже нерівномірний розподіл по території. Наукова новизна представлених підходів полягає в розробленні оригінальних просторових математичних моделей та структури геоінформаційної системи для оцінки емісій парникових газів у транспортному секторі, які дають можливість будувати просторові кадастри викидів. Практична цінність результатів полягає у тому, що створене програмне забезпечення можна використати для будь-якої області, а отримані кадастри викидів будуть корисними для владних структур для аргументованого планування природоохоронних заходів. Отримані математичний та програмний інструментарій відкривають шлях для створення математичних моделей просторової інвентаризації парникових газів для енергетичного сектора загалом.

1. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А. Бунь, М.І. Густі, В.С. Дачук та ін.; За ред. Р.А. Буня. – Львів: УАД, 2004. – 376 с. 2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting instructions. – IPCC, 2006. 3. The IPCC Software for Estimating Greenhouse Gas Emissions. IPCC Version 1.1, 2006. 4. Гамаль Х., Терлецька Н. Геоінформаційний підхід до інвентаризації парникових газів на Львівщині // Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали 1-ї Міжнар. конф. молодих науковців (CSE-2006). – Львів: Нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2006. – С. 88–90. 5. Hamal Kh., Bun R. Spatial modeling of greenhouse gas emissions in energy sector on regional level / Intern. Conf. and Young Scientists School on Computational Information Technologies for Environmental Sciences.- Tomsk, Russia, 2007.- P. 32-33. 6. Martinus E., Fields W., Fields P. Developing a national inventory for Mexico: On-road mobile source emissions inventory / 12th Intern. Emission Inventory Conf. – "Emission Inventories - Applying New Technologies". – <http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei12/index.html#ses-4>. 7. Friedrich R., Freibauer A., Gallman E. Temporal and Spatial Resolution of Greenhouse Gas Emissions in Europe: Concerned Action CarboEurope-GHG, 2003.- 36 p. 8. Паливно-енергетичні ресурси Львівщини та їх використання: Статистичний збірник.- Львів: Головне управління статистики у Львівській обл., 2007. – 70 с. 9. Транспорт і зв'язок Львівської області: Статистичний збірник.- Львів: Головне управління статистики у Львівській обл., 2007. – 100 с. 10. Просторова база даних України масштабу 1:500 000. Версія 1.5: Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні Системи ГЕО». 11. Кадастр вибросов парниковых газов и их поглощение в Украине за 1990–2005 гг.: Национальный отчет. – К.: Министерство охраны окружающей природной среды Украины, 2007. – 315 с.