

УДК 004.942:519.876.5

Б.Б. Любінський¹, Р.А. Бунь^{1,2}

¹Національний університет «Львівська політехніка», Україна
Україна, 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12

²Академія бізнесу, Польща
Польща, м. Домброва Гурніча

Програмні засоби моделювання процесів емісії парникових газів у житловому секторі: просторовий аналіз для Житомирської області

V.V. Lyubinsky¹, R.A. Bun^{1,2}

¹Lviv Polytechnic National University, Ukraine
Ukraine, 79013, c. Lviv, 12 Bandera st.

²Academy of Business, Poland
Poland, c. Dabrowa Gornicza

Software for Modeling of Greenhouse Gas Emissions in the Residential Sector: a Spatial Analysis for Zhytomyr Region

Б.Б. Любинский¹, Р.А. Бунь^{1,2}

¹Національний університет «Львовская политехника», Украина
Украина, 79013, г. Львов, ул. Степана Бандеры, 12

²Академия бизнеса, Польша
Польша, г. Домброва Гурнича

Программные средства моделирования процессов эмиссии парниковых газов в жилищном секторе: пространственный анализ для Житомирской области

У статті показано специфіку просторової інвентаризації парникових газів з використанням математичних моделей емісійних процесів. Обґрунтовано доцільність створення спеціалізованого програмного забезпечення для побудови просторових кадастрів емісії парникових газів. Наведено математичну модель для процесів емісії, пов'язаних із використанням різноманітних видів палива у житловому секторі, та проілюстровано її застосування на прикладі Житомирської області.

Ключові слова: програмне забезпечення, архітектура, геоінформаційна технологія, парниковий газ, просторовий аналіз.

The specificity of spatial inventory of greenhouse gas emissions using the mathematical models of emission processes has been presented in the article. The expediency of creating a specialized software for spatial inventories of greenhouse gas emissions has been justified. A mathematical model for the processes of emissions associated with the use of different fuels in the residential sector, and its use on the example of Zhitomir region have been illustrated.

Key words: software, architecture, geoinformation technology, greenhouse gas, spatial analysis.

В статье показана специфика пространственной инвентаризации парниковых газов с использованием математических моделей эмиссионных процессов. Обоснована целесообразность создания специализированного программного обеспечения для построения пространственных кадастров эмиссии парниковых газов. Приведена математическая модель для процессов эмиссии, связанных с использованием различных видов топлива в жилищном секторе, и проиллюстрировано ее использование на примере Житомирской области.

Ключевые слова: программное обеспечение, архитектура, геоинформационная технология, парниковый газ, пространственный анализ.

Вступ

Київський протокол зобов'язує розвинені країни і країни з перехідною економікою скорочувати або стабілізувати емісію парникових газів в атмосферу. З 1800 року концентрація вуглекислого газу в атмосфері зросла приблизно на третину, при цьому середня температура підвищилась на 1°C. За оцінками спеціалістів, термічне розширення океанської води і танення льодовиків призвело до підвищення рівня моря на 10 – 12 см. Екстраполяція такого небезпечного процесу показує, що протягом XXI століття середня температура атмосфери може підвищитись на 5°C, що призведе до підвищення рівня моря на 30 – 100 см.

Економіка України мала і зараз має істотний вплив на посилення глобального парникового ефекту. Успадкувавши від колишнього СРСР деформовану структуру економіки з надмірно розвинутою важкою промисловістю і енергозатратним виробництвом, Україна займала у 1990 році шосте місце в світі, після США, Китаю, Росії, Німеччини та Японії, по сумарних емісіях парникових газів та п'яте місце щодо емісії на одного мешканця.

Більшість експертів сходяться на тому, що продовження терміну дії Київського протоколу не має сенсу без участі в ньому найбільших світових економік. Так, до другого періоду Київського протоколу вирішили не приєднуватися Канада, Японія та Росія. Згідно з домовленостями першого періоду Київського протоколу, 37 промислово розвинених країн повинні були зменшити обсяги емісій парникових газів у атмосферу, у порівнянні з рівнем 1990 року, приблизно на 5%. Натомість, у доповіді ООН, опублікованій в листопаді 2012 року, зазначено, що зараз емісія парникових газів на планеті на 14% перевищує рівень, який планувалося досягнути до 2020 року. У грудні 2011 року учасники конференції ООН зі зміни клімату попередньо домовилися про продовження терміну дії Київського протоколу ще на п'ять років – до 2017 року. Однак при цьому багато країн побоюються, що амбітні плани Євросоюзу щодо скорочення емісій парникових газів в атмосферу на 20% до 2020 року загальмують економічне зростання.

Згідно з Національним повідомленням України зі зміни клімату та інших звітних документів, представлених у міжнародні організації, у 2010 році Україна зменшила емісії на 60% відносно 1990 року через спад промисловості та зміну структури економіки. Практика західних країн демонструє, що кошти, отримані від продажу квот на емісії парникових газів, можна спрямовувати на надання пільгових кредитів для населення на утеплення, енергозбереження, а також розвивати «зелені» технології для фізичних осіб. В Україні наразі альтернативна енергетика стимулюється лише для юридичних осіб. Доцільність скорочення емісій парникових газів у реальному секторі економіки очевидна. Україна, яка посідає друге місце за вуглецевісткістю [1] одиниці ВВП, у рамках Київського протоколу має можливість залучати іноземні інвестиції для модернізації виробництва, а відтак, зменшуючи емісії, мінімізувати витрати енергоресурсів, знизити собівартість продукції та підвищити її конкурентоспроможність.

Для обліку та аналізу складних процесів емісії парникових газів використовують методи інвентаризації таких газів, які полягають у формуванні математичних моделей емісійних процесів і оцінюванні величини емісії на основі цих моделей. Особливу вагу при цьому мають методи просторового аналізу та інвентаризації [2], [3], які уможливають побудову просторових кадастрів емісії парникових газів. Проте, відомі підходи до просторової інвентаризації парникових газів на регіональному рівні, наприклад [4], [5], базуються на використанні ліцензійних універсальних ГІС. Тому метою представленого в цій статті дослідження є показ можливості створення безплатного спеціалізо-

ваного програмного забезпечення для просторової інвентаризації парникових газів та ілюстрація його використання на прикладі просторової інвентаризації парникових газів у житловому секторі Житомирської області.

Математична модель процесу емісії: житловий сектор

Діяльність людини вже досягла такого рівня розвитку, що її вплив на природне середовище набув глобального характеру. За останні сто років збільшився вміст в атмосфері деяких природних газових складових (парникових газів прямої дії), таких як двоокис вуглецю (CO_2), закис азоту (N_2O), метан (CH_4) тощо. Найсуттєвішими газами, що спричиняють парниковий ефект, є оксиди вуглецю, а визначальний серед них – CO_2 . Однією із вагомих категорій антропогенної діяльності, що спричиняє емісії парникових газів, є використання різноманітних видів викопного палива та дров на задоволення побутових потреб людини: опалення житлових приміщень, підігрів води, приготування їжі, в тому числі і для свійських тварин. У відповідності із методиками інвентаризації парникових газів [6] цю категорію діяльності прийнято називати «житловим сектором».

Основними джерелами енергії для опалення помешкань та приготування їжі у сільській місцевості є природний та скраплений газ, кам'яне вугілля та дрова. В міських поселеннях для цих цілей використовують в основному природний газ. Кількість газифікованих квартир у містах у декілька раз переважає таку кількість у сільській місцевості. Як вхідні дані для інвентаризації парникових газів у житловому секторі доцільно застосовувати офіційні статистичні дані про обсяги реалізованих населенню палив різноманітних видів. Проте, такі дані для деяких видів палива доступні тільки на рівні адміністративних областей в цілому, інколи на рівні адміністративних районів. При цьому виникає необхідність дезагрегації даних про використане в певній адміністративній одиниці паливо до рівня так званих елементарних об'єктів – невеликих ділянок аналізованої території (наприклад, населених пунктів). Дані про такі види палива, як кам'яне вугілля, дрова та скраплений газ доцільно дезагрегувати до рівня елементарних об'єктів, пропорційно кількості населення у відповідній місцевості. При цьому для розподілу кількості спожитого природного газу слід дотримуватись наступних кроків:

- дані про споживання природного газу, які подано на обласному рівні, слід розподілити по елементарних об'єктах, пропорційно кількості газифікованих квартир;
- отримані дані для міст обласного підпорядкування відносять до території, на якій вони розташовані;
- для адміністративного району загальну кількість використаного природного газу розділяють на дві групи (спожите у сільських поселеннях та у містах) на основі показника частки газифікованих квартир у сільській та міській місцевості;
- дані про спожитий природний газ міським населенням розподіляють по населених пунктах міського типу пропорційно до кількості населення, що в них проживає, аналогічно і для сільських поселень.

Емісію двоокису вуглецю CO_2 при стаціонарному спалюванні палива в житловому секторі можна описати моделлю

$$E = \sum_{g \in G} \sum_{\delta \in \Delta} \sum_{i \in I} M_{i,\delta} * A_{i,\delta}^g,$$

де $I = \{i_1, i_2, \dots\}$ – множина використовуваних у житловому секторі видів палива (вугілля, природний газ, скраплений газ, дрова); $\Delta = \{\delta_1, \dots, \delta_n\}$ – множина елементарних об'єктів для просторового аналізу (населені пункти, тощо); $G = \{g_1, \dots, g_n\}$ – множи-

на аналізованих парникових газів (двоокис вуглецю, метан, закис азоту); $M_{i,\delta}$ – кількість спожитого палива i -о виду на δ -й елементарній ділянці; $A_{i,\delta}^g$ – коефіцієнт емісії g -о парникового газу.

Для таких видів палива, як кам'яне вугілля та дрова, кількість спожитого палива в межах δ -ї елементарної ділянки обчислюємо за формулою:

$$M_{i,\delta} = (M_i * F_{i,\delta}^R + M_i * F_{i,\delta}^U) * \frac{P_\delta}{P_w},$$

де i – перерахункова змінна, яка означає такі види палива, як кам'яне вугілля та дрова; M_i – статистичні дані про обсяги використаного палива i -о виду на рівні адміністративної одиниці; P_δ – кількість населення у населеному пункті (δ -у елементарному об'єкті); P_w – кількість населення у територіальній одиниці (районі); $F_{i,\delta}^R, F_{i,\delta}^U$ – показники, які використовують для виділення із загальних обсягів палива відповідної частки палива, спожитого у міських і сільських поселеннях для i -о виду палива.

Для таких видів палива, як природний та скраплений газ, кількість спожитого палива у межах δ -ї елементарної ділянки обчислюємо за формулою:

$$M_{i,\delta} = (Q_{i,\delta}^R * F_{i,\delta}^R + Q_{i,\delta}^U * F_{i,\delta}^U) * \frac{P_\delta}{P_w},$$

де i – перерахункова змінна, яка означає такі види палива, як природний та скраплений газ; $Q_{i,\delta}^R, Q_{i,\delta}^U$ – кількість газифікованих квартир, відповідно, у сільській та міській місцевостях в межах аналізованої адміністративної одиниці (району); $F_{i,\delta}^R, F_{i,\delta}^U$ – показники, які використовують для виділення із загальних обсягів використаного палива відповідної частки палива спожитого у міських і сільських поселеннях для i -о виду палива, причому

$$F_{i,\delta}^U = M^i_{Region} / Q_{urb}^{region}, F_{i,\delta}^R = M^i_{Region} / Q_{Rur}^{region},$$

де Q_{Rur}^{region} – кількість газифікованих сільських квартир в області; Q_{urb}^{region} – кількість газифікованих міських квартир в області; M^i_{Region} – кількість спожитого палива i -о виду (природний чи скраплений газ) в області.

Програмне забезпечення

Ефективно боротися з будь-якою проблемою можна, лише чітко уявляючи собі її масштаби і загрози, що дасть змогу розробити ефективні заходи протидії. Зусилля, спрямовані на зменшення емісій парникових газів – не виняток із загального правила. Створення ефективного програмного забезпечення, яке здатне просторово оцінити величину емісій на рівні регіону чи окремих його територій [7], [8], транспортних магістралей [5] і навіть окремих кварталів, є актуальною задачею. Таке підвищення роздільної здатності інвентаризації парникових газів допоможе отримати точніше уявлення про емісії парникових газів та прийняти обґрунтовані рішення, спрямовані на їх скорочення. Розрахунки спираються на наявні відомості, що містяться в місцевих звітах про стан забруднення довкілля, і статистичні дані про обсяги споживання палива, щільність транспортного потоку, тощо. Використовуючи відповідні математичні моделі емісійних процесів та програмне забезпечення [2], [6-9], можна обчислити емісії від різноманітних категорій господарської діяльності та у різноманітних секторах економіки.

Для проведення просторової інвентаризації парникових газів і побудови відповідних кадастрів емісій використано спеціалізоване програмне забезпечення [7], [8], яке на основі вхідних даних обчислює емісію на рівні елементарних об'єктів. При цьому, як вхідні дані, використовують:

- цифрову карту аналізованої місцевості (адміністративна карта регіону), яка містить дані, що використовують при побудові кадастрів емісій (межі населених пунктів та їх типи, кількість населення, що в них проживає тощо);
- георозподілені бази статистичних даних про результати господарської діяльності, яка спричиняє емісії парникових газів на певній території;
- дані, які стосуються адміністративного району чи області в цілому і включають: дані про використання спожитого палива (дрів, природного і скрапленого газу, кам'яного вугілля та ін.);
- параметри емісійних процесів [6] (теплотворні значення використовуваного палива, питомі коефіцієнти емісій тощо).

Спеціалізовані програмні модулі геоінформаційної системи просторового аналізу емісій парникових газів забезпечують виконання наступних функцій:

- обчислення емісій вуглекислого газу, метану, закису азоту, неметанових вуглецевих сполук тощо в кожному елементарному об'єкті з використанням відповідної математичної моделі;
- відображення результатів просторового аналізу емісій на рівні елементарних об'єктів (побудова цифрових карт питомих емісій);
- узагальнення отриманих результатів просторового аналізу до рівня адміністративних одиниць і їх візуалізація, у вигляді діаграм.

Структура геоінформаційної системи складається з наведених нижче компонентів (рис. 1).

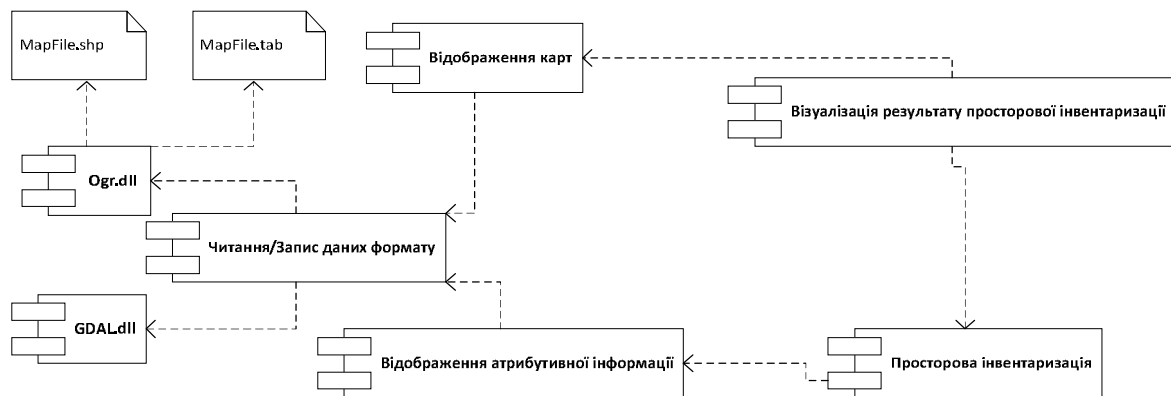


Рисунок 1 – Діаграма компонентів спеціалізованого програмного забезпечення

Компонент «Читання/Запис даних формату» реалізує єдину архітектуру для читання/запису геоданих. Бібліотеки OGR і GDAL забезпечують роботу з даними векторного і растрового формату.

Компонент «Відображення карт» забезпечує формування нових геоінформаційних шарів карт аналізованої місцевості.

Компонент «Відображення атрибутивної інформації» представляє атрибутивні дані графічних об'єктів (населений пункт, дорога, тощо) у вигляді таблиці. Атрибутивні дані містять первинну інформацію (тип населеного пункту, чисельність населення, тощо) відповідного графічного об'єкта. Для проведення просторової інвентаризації необхідно додавати до таблиці статистичну інформацію, розподілену/дезагреговану за певним алгоритмом.

Компонент «Просторова інвентаризація» містить необхідний інструментарій для проведення просторової інвентаризації. Інвентаризація проводиться на основі параметрів емісій, розподілених даних (обсягів використаного палива у населеному пункті, тощо) і сформованої математичної моделі.

Компонент «Візуалізація результату просторової інвентаризації» візуалізує результати інвентаризації парникових газів у вигляді діаграм і графіків (див. рис. 2 – рис. 5). При цьому графічно відображається інтенсивність емісій парникових газів на рівні населеного пункту чи елементарної ділянки. Результати просторової інвентаризації в такій формі можна використовувати для підтримки прийняття зважених адміністративних рішень щодо покращення екологічної ситуації на відповідній території.

Результати інвентаризації у житловому секторі

Для реалізації числових експериментів, як приклад, здійснено просторовий аналіз і побудовано відповідні кадастри емісій парникових газів для житлового сектору Житомирської області. При цьому, як вхідні дані, використано статистичні дані про обсяги реалізованого палива населенню по області та містах обласного підпорядкування за 2011 р. (див. табл. 1). Використано також цифрову карту Житомирської області для формування георозподіленої бази вхідних даних.

Таблиця 1 – Реалізація палива населенню за 2011 рік

	Газ природний, тис.м ³	Пропан і бутан скраплені, т	Вугілля кам'яне, т	Дрова для опалення, щільн.м ³
Всього по області	514400	6704,3	2767	207524,6

Аналізуючи результати просторової інвентаризації парникових газів у житловому секторі Житомирської області, виокремлено території з найбільшими площинними джерелами емісій, які розміщені в основному на півдні регіону, а найбільша їх концентрація припадає на такі великі міста, як Житомир, Бердичів, Коростень, Малин та Новоград-Волинський (див. рис. 2).

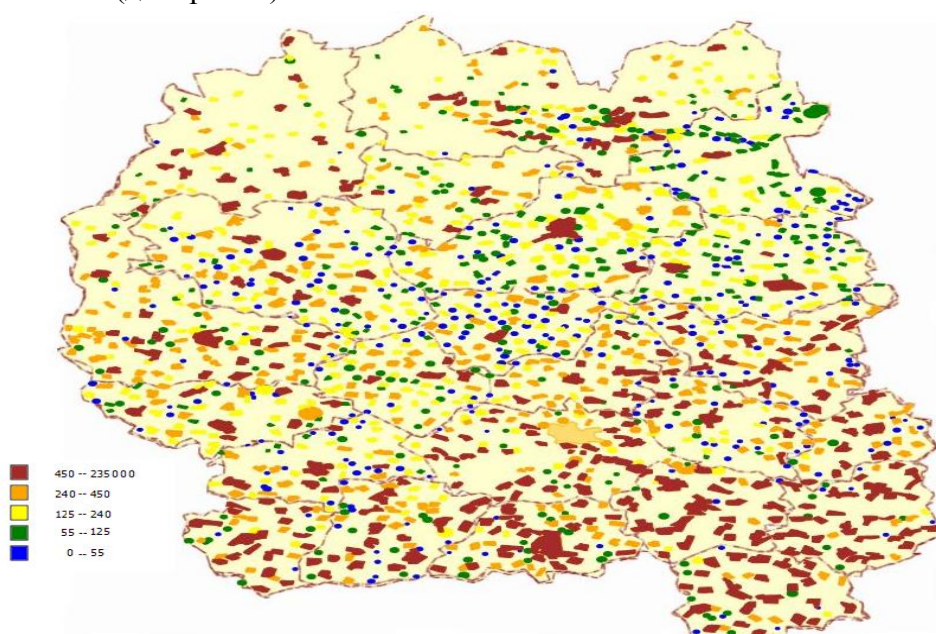


Рисунок 2 – Сумарні питомі емісії парникових газів від використання палива у житловому секторі Житомирської області (в CO₂ еквіваленті, т/км², 2011 р.)

Як свідчать результати інвентаризації емісій парникових газів, у житловому секторі Житомирської області переважають емісії від спалювання природного газу, частка якого склала 83% від усіх емісій в CO_2 -еквіваленті (див. рис. 3).

Основне джерело емісій метану у житловому секторі Житомирської області – спалення дров. Структуру емісій метану CH_4 для різних видів палива показано на рис. 4.

Найбільші емісії оксиду азоту і метану мають місце при спалюванні дров, оскільки для цього виду палива коефіцієнт емісії є найбільшим серед розглянутих видів палива і становить 4 кг/ТДж. Загальні показники емісії N_2O у житловому секторі області графічно показано на рис. 5.

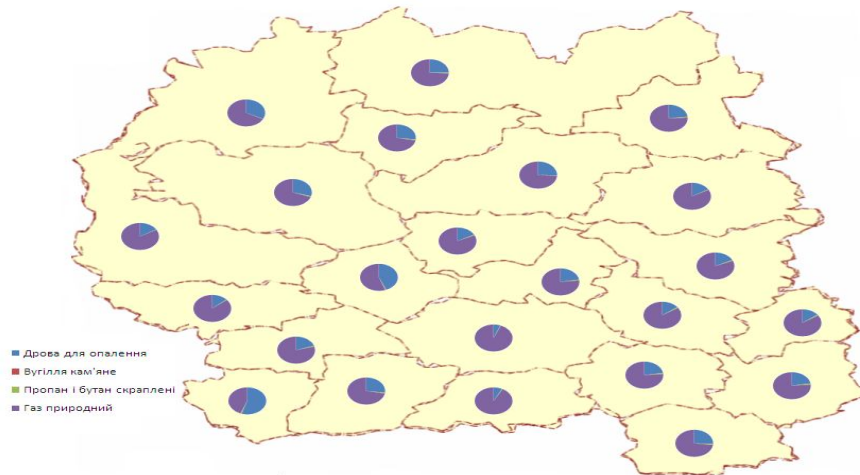


Рисунок 3 – Структура емісій по видах палива (CO_2 -еквівалент)

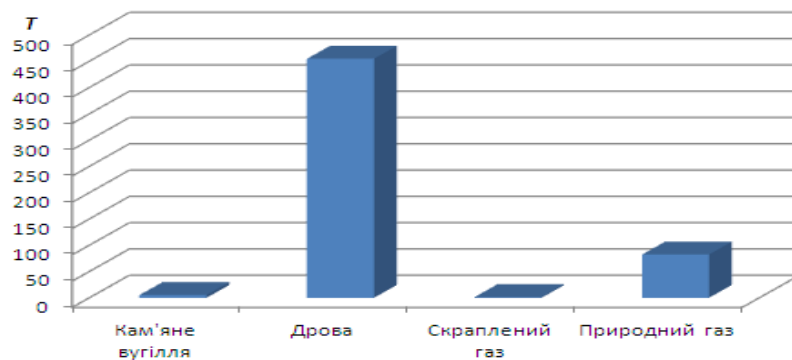


Рисунок 4 – Структура емісій CH_4 по видах палива



Рисунок 5 – Структура емісій закису азоту N_2O по видах палива

Висновки

Для реалізації просторової інвентаризації парникових газів доцільно використувати спеціалізовану геоінформаційну систему, яка в повній мірі враховує специфіку процедур побудови проторових кадастрів емісій. Такі дані про емісію парникових газів необхідні для регіонального планування і прогнозування стану навколишнього середовища. Для раціонального планування (наприклад, вибору підприємств, на яких доцільно встановлювати очисні споруди) необхідно володіти інформацією про емісії, розподілені по адміністративних районах і населених пунктах.

Через нерівномірність зосередження джерел емісій та поглиначів парникових газів у межах адміністративного району, доцільним є здійснення просторової інвентаризації емісій на рівні регіону. Це в повній мірі стосується і емісій парникових газів у Житомирській області. Виходячи із наявних вхідних даних (статистичних даних та цифрових карт), розроблено інформаційну систему просторової інвентаризації, яка допоможе в процесі прийняття рішень з охорони навколишнього середовища та впровадження ефективних заходів щодо зменшення антропогенного навантаження на атмосферне повітря. Суть такої системи полягає в інформаційній підтримці процесів прийняття рішень владними структурами на основі використання професійного інструментарію для аналізу та прогнозування стану атмосферного повітря, який базується на результатах просторової інвентаризації парникових газів.

Література

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. Інформаційні технології формування кадастру емісій парникових газів Львівщини / [Р.А. Бунь, Н.О. Шпак, Б. М. Матолич та інш.]. – Львів : Видавничий дім «Укрпол», 2010. – 272 с.
3. Bun R. Spatial GHG inventory on regional level: Accounting for uncertainty / R. Bun, Kh. Hamal, M. Gusti, A. Bun // *Climatic Change*. Springer Netherlands, 2010. – V. 103, Is. 1. – P. 227-244.
4. Гамаль Х. Геоінформаційні технології просторового аналізу емісії парникових газів у енергетичному секторі : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Гамаль Х. – Львів, 2009. – 256 с.
5. Гамаль Х.В. Математичне та програмне забезпечення для просторової інвентаризації парникових газів у транспортному секторі / Х.В. Гамаль // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»* : Інформаційні системи та мережі. – № 621. – 2008. – С. 97-108.
6. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / [Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds)]. – IPCC, IGES, Japan, 2006.
7. Любінський Б.Б. Спеціалізоване програмне забезпечення для географічного аналізу та інвентаризації парникових газів / Б.Б. Любінський, Р.А. Бунь // *Моделювання та інформаційні технології*. – 2011. – № 59. – С. 129-135.
8. Любінський Б. Б. Архітектура спеціалізованих програмних модулів для географічного аналізу об'єктів при інвентаризації парникових газів / Б. Б. Любінський, Р. А. Бунь // *Штучний інтелект*. – Донецьк, 2011. – № 4. – С. 303-309.
9. Longley P. Exploring geographic information systems and science / P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire, D. Rhind. – John Wiley & Sons, 2005. – 517 p.

Literatura

1. Bun R. et al. Information technologies for greenhouse gas inventories and prognosis of the carbon budget of Ukraine / Bun R. (ed.). – Lviv, 2004. – 376 p.
2. Bun R., Shpak N., Matolych B., Boychuk Kh., Dmytriv K., Yaremchyshyn O. Information technologies for creation of cadastre of greenhouse gas emissions of Lviv region. – Lviv: «Ukrpol» Publishing House, 2010. – 272 p.

3. Bun R., Hamal Kh., Gusti M., Bun A. Spatial GHG inventory on regional level: Accounting for uncertainty // *Climatic Change*. Springer Netherlands. – 2010. – V. 103, Is. 1. – P. 227-244.
4. Hamal Kh. Geoinformation technology for spatial analysis of greenhouse gas emissions in Energy sector: Thesis for a candidate's degree on the speciality: 05.13.06. – Lviv, 2009. – 256 p.
5. Hamal Kh. Mathematical tools and software for spatial inventory of greenhouse gases in transport sector // *Journal of Lviv Polytechnic National University: Information Systems and Networks*. – № 621. – 2008. – P. 97-108.
6. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds). – IPCC, IGES, Japan, 2006.
7. Lubinski B., Bun R. Specialized software for geographical analysis and inventory of greenhouse gases // *Modeling and Information Technologies*. – 2011. – № 59. – P. 129-135.
8. Lyubinsky B.B., Bun R.A. Architecture of specialized software modules for geographical analysis of objects in inventory of greenhouse gas emissions // *Artificial Intelligence*. – Doneck, 2011. – №. 4. – P. 303-309.
9. Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. Exploring geographic information systems and science. – John Wiley & Sons, 2005. – 517 p.

RESUME

B.B. Lyubinsky, R.A. Bun

Software for Modeling of Greenhouse Gas Emissions in the Residential Sector: a Spatial Analysis for Zhytomyr Region

To implement spatial inventory of greenhouse gases the specialized geographic information system should be used. It takes into consideration an account the specific procedures for spatial emission inventories constructing. The data on greenhouse gas emissions is required for regional planning and forecasting environment. For rational planning (eg, choice of enterprises, which should install treatment plants) we should have information about the issue spread across administrative districts and towns.

The implementation of spatial inventory of emissions at the regional level becomes appropriate because of the uneven concentration of emissions sources and sinks of greenhouse gases within the administrative region. This fully applies to GHG emissions in the residential sector of Zhytomyr region. Based on available input data (statistical data and digital maps) a spatial information system inventories was developed, will would help in the decision-making environment and implement effective measures to reduce the anthropogenic impact on the atmosphere. The essence of this system lies in the information support of decision-making power structures through the use of professional tools for the analysis and prediction of air, which is based on a spatial inventory of greenhouse gas emissions.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2013.