

О. С. Стрямець¹, Р. А. Бунь², С. П. Стрямець³, Р. І. Данилів⁴Національний університет “Львівська політехніка”,
¹кафедра інформаційних систем та мереж,
²кафедра прикладної математики,
³кафедра автоматизованих систем управління,
⁴кафедра психології, педагогіки і соціального управління

ГЕОПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ПОГЛИНАНЬ ТА ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЛІСАМИ ПОЛЬСЬКИХ КАРПАТ

© Стрямець О.С., Бунь Р.А., Стрямець С.П., Данилів Р.І., 2015

Наведено результати моделювання компонентів фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід Підкарпатського, Малопольського і Сілезького воєводств та депонованого в них вуглецю. Складено багатшарову цифрову карту та проведено георозподілений аналіз депонованого вуглецю лісів Польщі. Розроблено інструментарій для георозподіленого аналізу емісій і поглинань парникових газів у лісовому господарстві, для побудови цифрових карт лісів та оцінювання депонованого вуглецю за статистичними даними про запаси насаджень, породний склад, розподілом за класами віку та з використанням інших лісівничо-таксаційних показників, які наведено в офіційних джерелах.

Ключові слова: інформаційні технології, цифрові карти, геоінформаційна система, інвентаризація лісів, депонований вуглець.

This study is showing the results of modeling of components of phytomass in forests of Podkarpackie, Malopolska and Silesia voivodeships and the deposited carbon in it. An analysis of the geo distributed deposited carbon in forests of Poland was conducted and multi digital map was compiled. Purpose of the study was to develop tools for geo distributed analysis and assessment of deposited carbon based on the statistical data on stocks of vegetation, species composition, distribution by age and classes using other forest inventory indicators that were the official sources.

Keywords: information technology, digital maps, geographic information system, inventory of forest carbon deposited.

Вступ. Загальна постановка завдання та його актуальність

Дослідження лісових екосистем як основних поглиначів вуглецю є актуальним у зв'язку з наявністю антропогенного парникового ефекту та спричинених цим ефектом змінами клімату [1]. Практичне значення таких досліджень полягає у розробленні рекомендацій щодо оптимізації вікової структури та породного складу лісів для збільшення поглинання вуглекислого газу [2, 3].

Лісовий покрив у Польщі станом на 2012 рік становить близько 9164 тис. га, що відповідає 29,3 % лісистості [4, 5]. Польща має значний потенціал для заліснення частини сільсько-господарських земель. Збільшення лісистості в Польщі є результатом впровадження “Національної програми збільшення площі лісових масивів”, розробленої Науково-дослідним інститутом дослідження лісів, яку прийняла 23 червня 1995 року Рада міністрів. Основною метою програми є підвищення лісового покриву до 30 % у 2020 році та до 33 % у 2050 році і забезпечення оптимального просторово-часового розподілу заліснення, створення екологічних та економічних пріоритетів та інструментів для її виконання.

Польські Карпати займають близько 7 % території країни і охоплюють північні мегасхили Західних та частково Східних Карпат [6].

Мета цієї роботи – розроблення математичного та програмного інструментаріїв для георозподіленого аналізу емісій і поглинань парникових газів у лісовому господарстві на прикладі регіону Польських Карпат, побудова геопросторових баз даних і цифрових карт лісів та оцінювання депонованого вуглецю за статистичними даними про запаси насаджень, породний склад, розподіл за класами віку, а також з використанням інших лісівничо-таксаційних показників, які наводяться офіційними джерелами.

Методика просторового аналізу

Щорічно у Польщі публікують національний звіт про емісії та поглинання парникових газів [7], який охоплює усі сектори і категорії господарської діяльності. Проте результати такої інвентаризації парникових газів стосуються країни загалом і не дають можливості оцінити просторові чи регіональні відмінності аналізованих процесів. У працях [8–10] розвинуто геопросторовий підхід до оцінювання емісійних процесів і відповідне програмне забезпечення [11], які дають можливість повною мірою дослідити нерівномірність процесів емісії та поглинання парникових газів у межах країни. Тому виникає потреба розширити використання такого просторового підходу і на процеси поглинання/емісії у секторі лісового господарства та змін у землекористуванні (як на основі земельних кадастрів [12], так і цифрових карт землекористування, і створення відповідної геоінформаційної системи [13]. Зокрема у цій статті цей підхід використано до геопросторового аналізу поглинань та емісій парникових газів лісами Польських Карпат.

Для визначення фітомаси лісів та депонованого в ній вуглецю використано базову методику, розроблену Міжурядовою групою експертів зі змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) [14]. Проте запропоновано здійснювати таку інвентаризацію на рівні невеликих ділянок лісових масивів, які далі названо елементарними ділянками.

Річні зміни запасу вуглецю у секторі “лісове господарство” визначають як суми змін у кожному шарі в межах цієї категорії [15]:

$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LU_i},$$

де ΔC_{LU} – зміни запасів вуглецю у секторі “лісове господарство”; i – конкретний шар або підрозділ у межах цієї категорії землекористування.

Річні зміни запасів вуглецю для будь-якого заданого шару сектору “лісове господарство” визначаються як сума змін запасів вуглецю у всіх його резервуарах:

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP},$$

де нижні індекси позначають такі резервуари вуглецю:

AB – надземна біомаса;

BB – підземна біомаса;

DW – повалена деревина;

LI – підстилка;

SO – ґрунт;

HWP – заготовлені лісоматеріали.

Результати дослідження та їх обговорення

Отримана у результаті оброблення супутникових знімків векторна цифрова карта землекористування *Corine Land Cover* [16] (рис. 1) містить інформацію про міську структуру, промислові та комерційні об’єкти, орну землю, ліси, сади, пасовиська, водні об’єкти та ін. Легенду поділено на п’ять категорій: території з штучним покриттям, сільськогосподарські угіддя, ліси і землі з природним покриттям, заболочені території та водні об’єкти. Ця карта є результатом інтерполяції та конвертування відповідної растрової карти із роздільною здатністю 100 м.

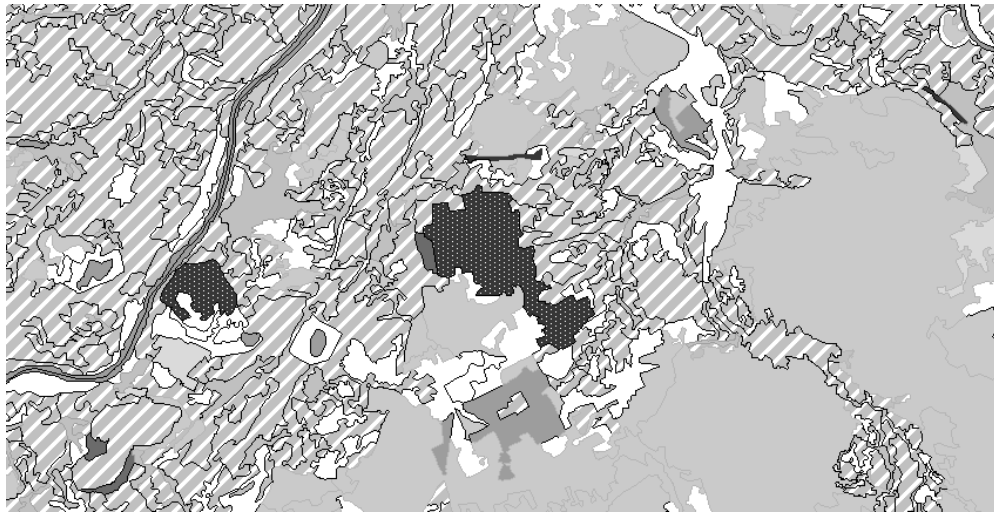


Рис. 1. Фрагмент цифрової карти землекористування Польщі *Corine Land Cover*

Для дослідження лісових екосистем і проведення геопросторового аналізу процесів поглинання та емісії, на карту землекористування *Corine Land Cover* накладали карту адміністративного поділу Польщі. Таким чином шар землекористування було „розрізано” в межах воєводств, до отриманих наборів геопросторових даних було додано необхідні стовпці, які за допомогою геоінформаційної системи автоматично заповнено атрибутивною інформацією, отриманою шляхом дезагрегації даних із статистичних довідників [5,17] про стан лісів Польщі до рівня елементарних об’єктів з карти землекористування (рис. 2).

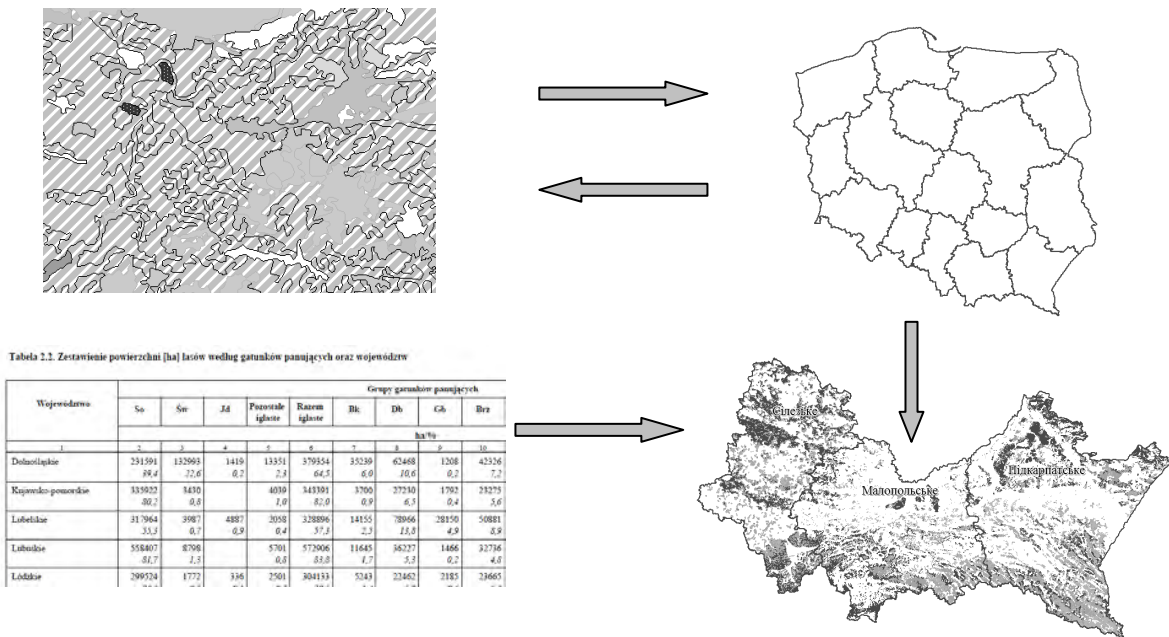


Рис. 2. Формування геопросторової бази даних лісів Польщі на рівні елементарних об’єктів з карти землекористування

Спочатку необхідно було виділити в карті землекористування *Corine Land Cover* землі, вкриті ліською рослинністю. За допомогою команд SQL-запитів створено таблиці запитів, що містять дані, які явно не присутні у вихідних таблицях геопросторової бази даних [13]. Для створення цифрової карти лісів виділено ділянки, вкриті ліською рослинністю, а потім розділено їх на ділянки із

хвойним, листяним та мішаним лісом. Для цього робили SQL запит CODE_00=any(311, 312, 313) з відповідними кодами елементарних об'єктів і так отримали набори геопросторових даних про лісову рослинність Польщі. При обчисленні площі кожної елементарної ділянки з лісовою рослинністю в отриманій базі даних створили колонку, яку за допомогою SQL запиту заповнили даними про їх площу.

Для того, щоб додати до геопросторової бази атрибутивні дані зі статистичного довідника про стан лісів Польщі, необхідно було поділити карту лісів за адміністративними кордонами воєводств. Для цього відкривали карту лісів, потім додавали шар з адміністративними кордонами воєводств, карту лісів робили верхнім і редагованим шаром. Після цього на закладці “запит” обирали “обрати повністю”, потім на закладці “об’єкт” – “обрати змінюваний об’єкт”, знову робили шар кордонів воєводств верхнім і редагованим. Запит – “обрати повністю”, карту лісів зробили верхнім і редагованим шаром, “об’єкт” – “розрізати”. Виконаний запит Query зберегли у вигляді нового набору геопросторових даних. Так отримали карту лісів, яка містить окремі ділянки хвойного, листяного і мішаного лісу, розділену межами воєводств і, відповідно, отримали змогу додавати атрибутивні дані про ліси в межах кожного воєводства.

Для прив'язки семантичної (атрибутивної) інформації до просторових даних, які характерні саме для обраної елементарної ділянки лісу, спочатку створювали додаткові стовпці для ідентифікаторів, зокрема, у нашому випадку Centroid_X і Centroid_Y. Для цього засобами геоінформаційної системи проводили такі перетворення отриманої бази даних: таблиця – змінити – перебудувати, тут вказували назву таблиці, у відкритому вікні перебудови структури таблиці додали поля, вказали їх назву і тип даних, які будь занесені до стовпців. Після цього заповнювали створені стовпці ідентифікаторами: таблиця – оновити стовпець, далі вказували назву таблиці і стовпця, в який потрібно занести інформацію. В поле “значення” заносили географічні функції Centroid X/Y (obj), для обчислення координат центроїдів окремих елементарних ділянок лісу з карти землекористування або кожної стрічки таблиці, які їм відповідають. Аналогічно змінювали структуру таблиці для зберігання атрибутивних даних, які характеризують ділянки лісу: площу ділянки, запас, щорічний приріст, породний склад, вікову структуру, стік та емісію CO₂, запас акумульованого вуглецю та ін. Потім заносили відповідні дані і будували тематичні карти для аналізу і візуалізації атрибутивних даних лісового господарства Польщі.

Для побудови тематичної карти за допомогою геоінформаційної системи виконували такі кроки: карта – створити тематичну карту – обрати тип карти, шаблон, діапазони, формат легенди та інші параметри. У результаті отримали тематичну карту лісів Польщі на рівні елементарних ділянок карти землекористування. На рис. 3 як приклад наведено фрагмент карти лісів Польщі, який включає Сілезьке, Малопольське та Підкарпатське воєводства. В легенді наведено інформацію про сумарну площу усіх ділянок хвойних, широколистяних та мішаних лісів, а також кількість відповідних елементарних ділянок лісу.

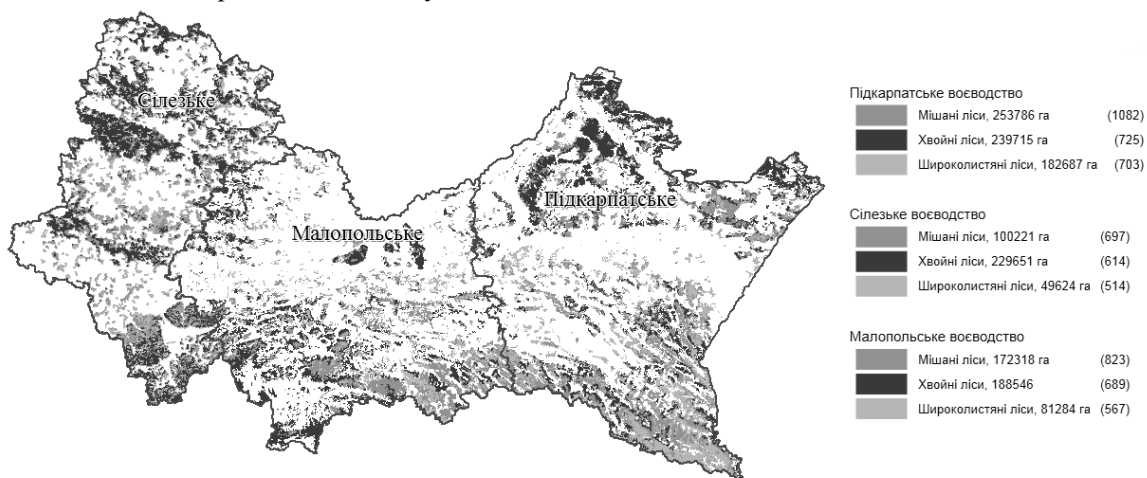


Рис. 3. Карта лісів Сілезького, Малопольського та Підкарпатського воєводств Польщі

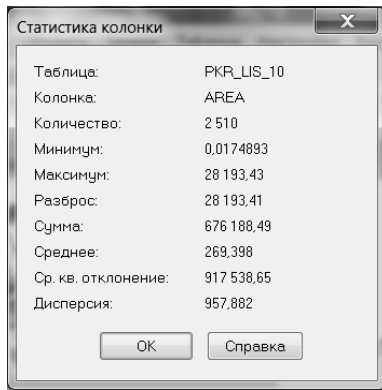


Рис. 4. Результати статистичної обробки даних про площі елементарних об'єктів (лісових ділянок) Підкарпатського воєводства

Сучасні геоінформаційні системи мають зручні засоби статистичної обробки геопросторових даних, які дають можливість аналізувати кожен з параметрів, що міститься у геопросторовій базі даних (рис. 4).

З використанням новітніх геоінформаційних технологій проаналізовано лісовий покрив Сілезького, Малопольського та Підкарпатського воєводств, територію яких частково займають Польські Карпати. Вся південна частина Малопольського і Підкарпатського воєводств та частина Сілезького воєводства вкриті гірськими лісами. На рис. 5 показано порівняльну характеристику запасу насаджень за переважаючими породами для цих трьох проаналізованих воєводств.

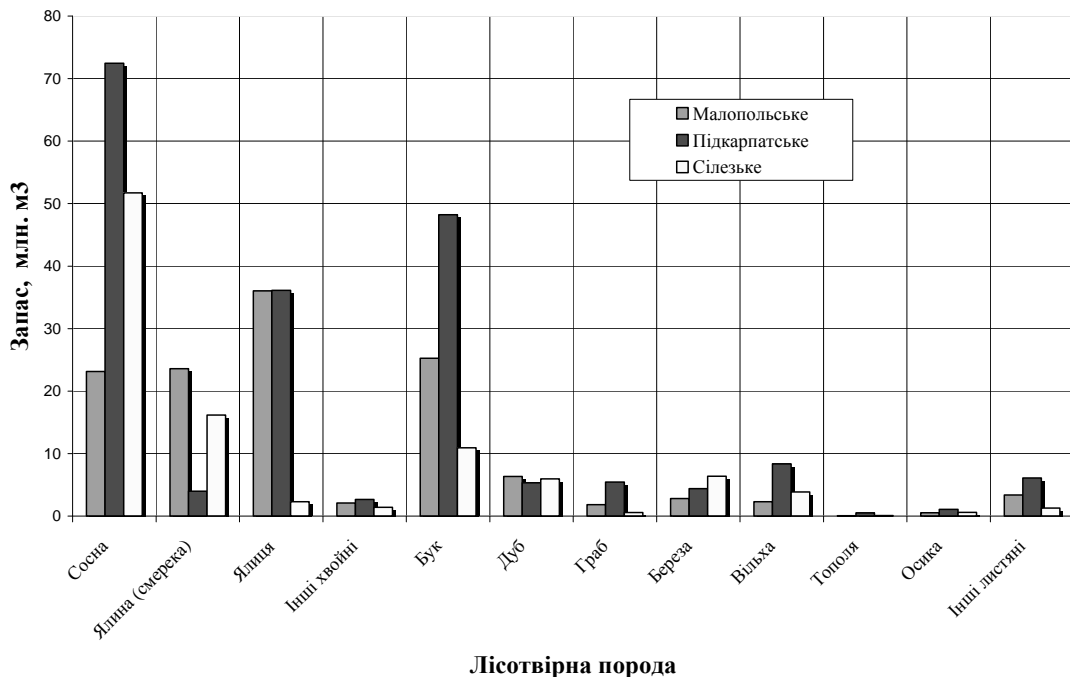


Рис. 5. Діаграма запасу деревини за породним складом по воєводствах

Значну частину лісостанів цих воєводств складають сосна, ялиця і бук (див. таблицю). Інформація про склад і вікову структуру лісостанів при визначенні запасу акумульованого вуглецю важливі, оскільки різні породи мають різну щільність і питомий приріст, які враховуються при обчисленні потоків вуглецю у кожному резервуарі.

Основні характеристики лісового фонду аналізованих воєводств (2010 р.)

Характеристика лісового фонду	Малопольське воєводство	Підкарпатське воєводство	Сілезьке воєводство
1	2	3	4
Площа, вкрита лісом, млн. га	434,3	676,4	392,2
Запас ліквідної деревини всього, млн. м ³	133,0	201,7	102,5
Питомий запас деревини, м ³ /га	270	249	234
Лісисість, %	28,6	37,8	31,8
Кількість елементарних ділянок лісу на карті землекористування, шт	2079	2510	1825
Сумарний запас абсолютно сухої фітомаси, млн. тонн	96,2	153,2	78,1

1	2	3	4
Сумарний запас акумульованого вуглецю, С млн.тонн	48,2	76,7	39,2
Питомий приріст фітомаси, м ³ /га	5,99	6,42	5,62
Вилучена деревина (комерційна заготівля деревини), тис. м ³	1011,58	2229,54	2088,18
Мертва та ушкоджена деревина, тис. м ³	1507,81	2398,78	1138,18
Кількість поглинутого CO ₂ у 2010 р., тис.тонн	-3336,43	-4443,65	-978,41

Як видно з карти вуглецевого балансу лісів Польщі (рис. 6), найбільше поглинання вуглекислого газу відбувалось у гірських і приморських воєводствах Польщі, у складі деревостанів яких присутній високий відсоток середньовікової ялиці, яка дає великий щорічний приріст – до 30 м³/га, (зокрема, III клас віку в Поморському воєводстві). Значним є поглинання двоокису вуглецю також у тих воєводствах, де зосереджено найбільші масиви середньовікових лісів, а також проводиться ощадливе лісове господарювання, коли вилучається менший відсоток деревини від приросту. В середньому по Польщі цей показник становить близько 60 %.

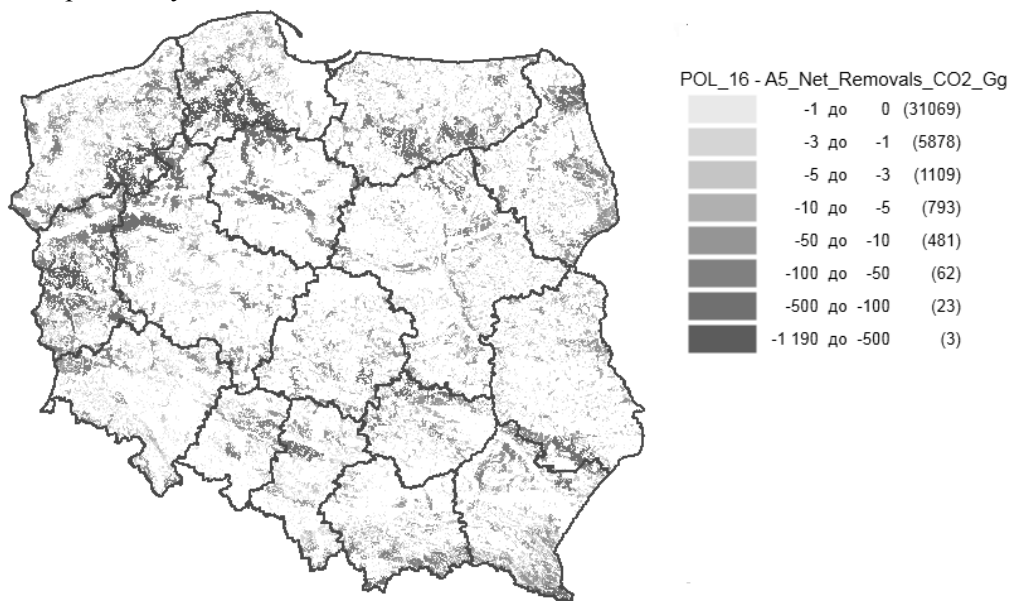


Рис. 6. Результуюча карта поглинання CO₂ у секторі “лісове господарство” Польщі в 2010 р. (на рівні елементарних ділянок карти землекористування)

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

На основі даних цифрової карти землекористування Польщі Corine Land Cover та статистичних даних про запас стовбурової деревини в лісах Польських Карпат, враховуючи породний склад (ялина, ялиця, інші хвойні, бук, дуб, граб, береза, вільха, тополя, осика та інші листяні) та групи віку, сформовано геопросторову базу даних та обчислено територіальні розподіли обсягу загальної фітомаси лісів.

Створено цифрові карти лісів цих воєводств, зокрема Сілезького, Малопольського та Підкарпатського, сформовано шари з інформацією про структуру, склад деревостану, запас, фітомасу, приріст, депонований вуглець та ін. Враховано відповідні резервуари емісії парникових газів: деревину, знищену пожежами, мертву, пошкоджену та вилучену.

Розроблено математичний та програмний інструментарій, а також сформовано геопросторові набори даних, які дають можливість аналізувати та візуалізувати просторову нерівномірність процесів поглинання двоокису вуглецю лісами Польщі.

1. Швиденко А. З. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: монографія / [А. Швиденко, П. Лакида, Д. Щепашенко, Р. Василюшин, Ю. Марчук]. – Корсунь-Шевченківський : ФОП Гаврищенко В. М. – 2014. – 283 с.
2. Turkovska O. A conceptual scheme for modeling forestry and LUC CO₂ emissions in Ukraine / Turkovska O., Gusti M. // *Econtechmod*. – 2013. – V. 2, n. 1. – P. 57-62.
3. Стрямець О. С. Просторовий аналіз процесів стоку та емісії парникових газів у лісовому господарстві Люблінського воєводства / О. С. Стрямець, С. П. Стрямець // *Науковий вісник НЛТУ України* : Зб. наук. – техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.1. – С. 142–148.
4. *Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów w Polsce wyniki za okres 2006 2010 etap 2.2.1.b (praca wykonana na zamówienie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych zgodnie z umową nr OP/2715 4/U/10 z dnia 22 lipca 2010 r.)*, Sękocin Stary, marzec 2011 r.
5. *Forestry 2013. Statistical Information and Research*. – Warsaw : Central Statistical Office, 2013. – 320 p.
6. Стойко С. Заповідні екосистеми Карпат / С. Стойко, Е. Гадач, Т. Шимон, С. Михалик. – Львів : Світ, 1991. – 248 с.
7. *Poland's National Inventory Report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988-2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection*. – Warszawa : National Research Institute, 2012.
8. Інформаційні технології просторової інвентаризації парникових газів у енергетичному секторі та аналіз невизначеності / Р. А. Бунь, Х. В. Бойчук, А. Р. Бунь, М. Ю. Лесів. – Львів : ПП Сорока Т. Б., 2012. – 464 с.
9. Boychuk P. Spatial inventory of greenhouse gas emissions from the road transport in Poland / Boychuk P., Boychuk Kh., Nahorski Z., Horabik J. // *Econtechmod*. – 2012. – V. 1, n. 4. – P. 9–16.
10. Lesiv M. Spatial analysis of GHG emissions in eastern polish regions: energy production and residential sector / Lesiv M., Bun R., Shprak N., Danylo O., Topylko P. // *Econtechmod*. – 2012. – V. 1, n. 2. – P. 17–24.
11. Любінський Б. Б. Архітектура спеціалізованого програмного модуля ГІС: побудова карт векторного формату / Б. Б. Любінський, І. О. Пеняк // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2014. – № 783. – С. 154–160.
12. Глаголева І. І. Застосування кластерного аналізу для опрацювання даних земельного кадастру / І. І. Глаголева, А. Ю. Берко // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. – 2014. – № 783 : Інформаційні системи та мережі. – С. 420–429.
13. Євланов М. В. Задача синтезу опису архітектури інформаційної системи / М. В. Євланов // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2014. – № 805. – С. 114–123.
14. *IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston HS, Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds). Published: IGES, Japan*.
15. Стрямець С. П. Геоінформаційний підхід до оцінювання емісії та поглинань парникових газів в лісовому господарстві / Стрямець С. П., Стрямець О. С. // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка"* : № 744. – Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2012. – С. 173–177.
16. *European Environment Agency. [Електронний ресурс] – Режим доступу – <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps>*.
17. *Lasy Państwowe w Polsce*. – Available online at: <http://www.bdl.info.pl/portal/>.