

**С. П. Стрямець<sup>1</sup>, Г. В. Стрямець<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна<sup>2</sup> Природний заповідник "Розточчя", Львівська обл., Яворівський район, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ ВУГЛЕЦЕВОГО БАЛАНСУ ЛІСІВ ПОЛЬЩІ

Ведення лісового господарства пов'язане з використанням значних земельних площ і великою кількістю пов'язаної з ними інформації. Тому для оброблення, аналізу і візуалізації інформації в лісових екосистемах логічним є використання геоінформаційних систем (ГІС). Зелені рослини, дерева, що депонують вуглець і утримують його тривалий час, є основними поглиначами вуглецю на суші, тому дослідження приросту деревини, нагромадження фітомаси в лісових екосистемах необхідне для визначення вуглецевого балансу. Розроблено інструментарій визначення георозподіленої фітомаси лісів для розрахунку депонованого вуглецю за статистичними даними запасу насадження, породного складу, класу віку та інших лісівничо-таксаційних показників, які наводяться офіційними джерелами. Наведено опис лісів Польщі, засобами ГІС проведено аналіз табличних даних таксаційних показників лісових екосистем, наведено діаграми та створено цифрові карти лісів. Проведено аналіз стану лісів окремих воєводств Польщі у 2009 та 2019 роках на предмет оцінки викидів та поглинання парникових газів лісовими екосистемами. Описано тривірневу схему інвентаризації парникових газів, рекомендовану методикою IPCC. Наведено порівняльний аналіз лісівничо-таксаційних показників лісів Польщі за період від 2009 до 2019 років та методи, які використовують для обчислення емісій та поглинання парникових газів. Визначено кількість депонованого вуглецю за десятирічний період лісовими екосистемами Польщі. Удосконалено та доповнено архітектуру геоінформаційної технології просторового аналізу процесів депонування вуглецю та емісії парникових газів у секторі лісового господарства Польщі. Проведено розрахунки депонованого вуглецю за статистичними даними запасу насадження, породного складу, класу віку та інших лісівничо-таксаційних показників, які наводяться офіційними джерелами.

**Ключові слова:** ГІС; цифрові карти; парникові гази; ліси Польщі.

### Вступ

Глобальні зміни клімату, пов'язані з антропогенною діяльністю, залежать від емісії парникових газів, які утворюються внаслідок видобування і використання палива, розвитку промисловості, сільського господарства, енергетики тощо. Основним поглиначем вуглецю є зелені рослини, дерева депонують вуглець і утримують тривалий час, тому дослідження приросту деревини, нагромадження фітомаси в лісових екосистемах необхідне для визначення вуглецевого балансу. Група міжнародних експертів зі змін клімату IPCC (англ. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) розробила універсальну методику для обчислення депонування вуглецю і емісії парникових газів, яку можна використовувати в будь-якій точці планети. Отримані результати будуть неточними, бо моделювання природних процесів, а саме – росту деревини, залежить від багатьох чинників: біологічних особливостей виду, щільності деревини, швидкості росту, кліматичних умов, родючості ґрунту та ін. [4], [5]. Таке завдання можливо вирішити тільки за допомогою сучасних інформаційних технологій. Тому підвищення ефективності засобів інвентаризації парникових газів шляхом розроблення геоінформаційної технології та математичних моделей для просторового оцінювання процесів депонування вуглецю та обсягів емісії парникових газів у секторі лісового господарства Польщі є актуальним.

**Об'єкт дослідження** – процеси стоку вуглецю в лісові екосистеми.

**Предмет дослідження** – моделі та засоби процесів стоку вуглецю у фітомасу лісів на різних рівнях просторової дезагрегації – від окремо взятого дерева, деревостану, чи лісової екосистеми загалом

**Мета роботи** – розроблення інструментарію визначення георозподіленої фітомаси лісів для розрахунку депонованого вуглецю за статистичними даними запасу насадження, породного складу, класу віку та інших лісівничо-таксаційних показників, які наводяться офіційними джерелами.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі **основні завдання дослідження**:

- провести аналіз відомих підходів до інвентаризації парникових газів, а також математичних моделей емісій та поглинання цих газів;
- удосконалити та доповнити архітектуру геоінформаційної технології просторового аналізу процесів депонування вуглецю та емісії парникових газів у секторі лісового господарства Польщі;
- здійснити обчислювальні експерименти з просторового аналізу вуглецевого балансу лісів за десятирічний період;
- візуалізувати результати аналізу вуглецевого балансу лісів за десятирічний період у лісовому господарстві Польщі.

**Наукова новизна отриманих результатів дослідження** – застосовано багаторівневу математичну модель для визначення кількості депонованого вуглецю лісами Польщі за десятилітній період на рівні окремих воєводств.

Практична значущість результатів дослідження – створена інформаційна технологія дає змогу оцінити динаміку депонованого вуглецю лісами за лісівничо-таксаційними показниками впродовж визначеного періоду; а також можливості застосування її для розрахунку квот на регіональному рівні.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питаннями інвентаризації парникових газів та вуглецевого балансу в лісовій галузі займалися Бунь Р. А., Густі М. І., Дачук В. С., Shvidenko A., McCallum I., Nilsson S., Schepaschenko D., Matthews G. та ін. [3], [8], [11], [14]. Лакида П. І., Букша І. Ф., Василичин Р. Д., Домашовець Г. С., Терентьев А. Ю. досліджували біологічну продуктивність окремих компонентів фітомаси. Вони розробили математичні моделі визначення біопродуктивності за окремими компонентами фітомаси лісів [7], [12]. Дослідженнями взаємозв'язку надземної і підземної частин дерев лісових екосистем займалися Ткаченко М. Е., Калінін М. І., Рахтеєнко І. Н. та ін. [6], [7], [9], [15].

Польща – одна з найлісистіших країн Європи. Лісовий покрив у Польщі становить близько 9 254,9 тис. га, без земель пов'язаних з управлінням лісами (за даними Центрального статистичного управління на 1 січня 2019 р.), що відповідає лісистості 29,6 %, однак ще не досягла оптимального рівня, який, за оцінкою польських фахівців, має становити 33-34 %. Розроблена в 1995 р. "Національна програма зі збільшення лісистості" передбачає її підвищення до 2020 р. до 30 % і до 2050 р. до 33 % лісистості. Центральне статистичне бюро в 2020 р. оприлюднило дані, згідно з якими, порівняно з 2009 р., площа лісів збільшилася на 188,6 тис. га., запас деревини за цей період зріс на 341 млн м<sup>3</sup> і становить 2 644,936 млн м<sup>3</sup> [16].

На рис. 1 показано лісистість Польщі за її воєводствами станом на 2019 р. З рисунку видно, що найбільшу лісистість мають Любузьке і Підкарпатське воєводства (49,3 % і 38,3 % відповідно), найменшу – Лодзьке (21,5 %).

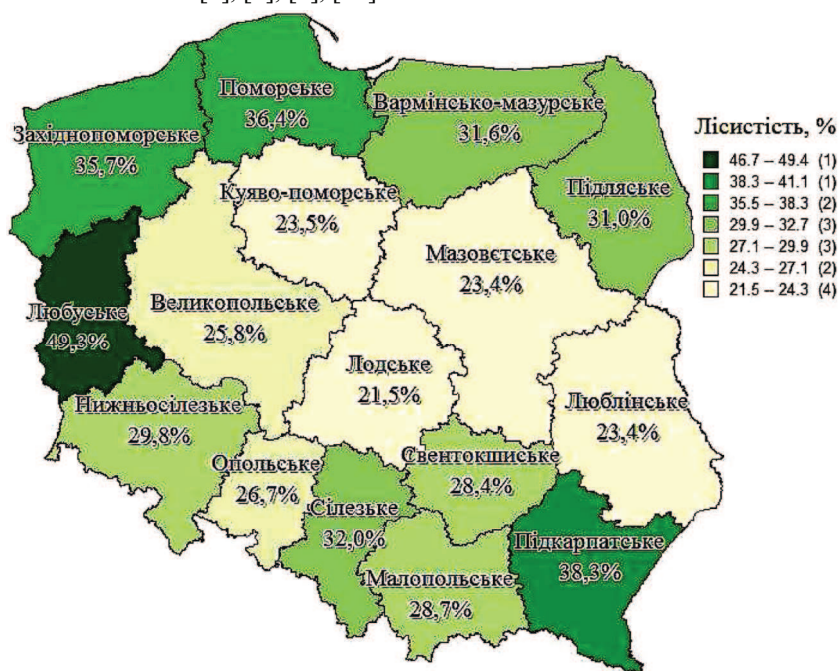


Рис. 1. Лісистість Польщі станом на 2019 р. [16]

За видовим складом у лісах Польщі переважають хвойні породи (68,2 %), що становлять 6 308,9 тис. га. Серед хвойних порід панівним видом є сосна (57,9 %). Найбільша частка сосни росте в лісах Любузького (79,8 %) та Куявсько-Поморського (77,5 %) воєводств, тоді як найнижча – у лісах Малопольського воєводства (16,2 %). Іншими видами хвойних є смерека та ялина, які становлять 5,8 % та 3,2 % відповідно.

Листяні породи становлять 2945,9 тис. га або 31,8 % від загальної площі лісів. Переважаючими породами в листяних лісах є бук (6,8 %), дуб (6,6 %), вільха (5,3 %), береза (4,7 %).

Найбільша частка запасу деревини хвойних порід у країні характеризується лісами у таких воєводствах: Любузьке (84,6 %) та Куявсько-Поморське (85,6 %), тоді як найнижча – у таких воєводствах: Люблінське (62,4 %) та Підкарпатське (60,1 %). Серед листяних порід найбільший запас мають бук (6,8 %), дуб (6,6 %), вільха (5,3 %) та береза (4,7 %). Найбільший запас листяні ліси мають у Підкарпатському і Любузькому

воєводствах 39,9 % і 37,6 % відповідно, найменший – у Куявсько-Поморському воєводстві (14,4 %) [16].

**Матеріали та методи дослідження.** Для визначення фітомаси лісів та депонованого в ній вуглецю застосовували методику Міжурядової групи експертів зі змін клімату (IPCC). Національна інвентаризація має охоплювати всі ліси, незалежно від форм власності, і враховувати всі лісогосподарські заходи, починаючи від вирощування лісонасаджень, впровадження природовідновних заходів, догляду за лісовими культурами, заготовлю ділової та дров'яної деревини до змін у землекористуванні [4], [5].

Методикою IPCC [4] рекомендується трирівнева схема інвентаризації. Методи першого рівня є найпростішими у використанні; використовуються відповідні рівняння і значення параметрів за замовчуванням (наприклад, коефіцієнти змін запасів). Необхідні дані про діяльність на національному рівні. У межах другого рівня використовується той самий методологічний підхід, що і для рівня 1, але застосовуються коефіцієнти вики-

дів та змін запасів, засновані на даних для конкретної країни або конкретного району. У межах третього рівня використовуються методи вищого порядку, включаючи моделі та системи вимірювань для кадастрів, адаптовані до конкретних національних умов [3], [12], [13].

Математична модель інвентаризації полягає у поділі досліджуваної території на елементарні ділянки та здійснення почергової інвентаризації для кожної такої ділянки за методиками [4], [5]. Дані про господарську діяльність на  $n$ -й ділянці позначаємо як  $\Delta x_{nsm}$  з відповідним індексом, а результати інвентаризації загалом або в окремо взятому секторі для цієї ділянки, як  $\Delta Y_n$  і,  $\Delta y_{ns}$  відповідно. У цьому випадку модель інвентаризації записуємо у такому вигляді:

$$\Delta Y_n = \sum_{s=1}^S \Delta y_{ns} = \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^{M_s} a_{nsm} \Delta x_{nsm}, \quad n = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де:  $a_{nsm}$  – коефіцієнт для обчислення емісій від  $m$ -ої категорії господарської діяльності в  $s$ -му секторі  $n$ -ї елементарної ділянки;  $N$  – загальна кількість елементарних ділянок. У моделі інвентаризації найнижчого рівня (рівня елементарних ділянок, якими можуть бути як цілісні ділянки лісу, так і елементи сітки певного кроку) вхідні й вихідні дані представляють у вигляді георозподіленої бази даних. Підсумовування обчисленої емісії та депоновання по всіх елементарних об'єктах дає результати інвентаризації в межах країни або регіону [3], [4], [5].

## Результати дослідження та їх обговорення

Розроблена інформаційна технологія становить сукупність окремих взаємопов'язаних компонентів, підсистем, які мають інформаційне, технічне, математичне, програмне та організаційне забезпечення. ІТ розроблена для підвищення ефективності та спрощення роботи, збору, нагромадження, збереження та візуалізації результатів оброблення даних стоку вуглецю у фітомасі лісів на різних рівнях просторової дезагрегації.

Інформаційна технологія містить такі складові:

- геопросторову інформацію про стан лісових екосистем;
- табличні дані про лісову інфраструктуру;
- регіональні та місцеві цифрові карти;
- засоби математичного аналізу даних;
- статистичну інформацію у часовому десятирічному зрізі.

У роботі використали дані десятирічного моніторингу (2009-2019 рр.) вибіркового ділянок лісів, що перелічені у земельно-будівельному реєстрі Польщі. Останні дані про площі лісів отримали станом на 1 січня 2019 р. з відкритих джерел Центрального статистичного управління Польщі. Результати широкомасштабної інвентаризації лісів щороку оновлюються і проводяться в три етапи (за період 2005-2009 рр.), другий цикл (на період 2010-2014 рр.) і продовжується у третьому циклі (на період 2015-2019 рр.) [1], [2], [16].

Як відомо, різні породи дерев і різні фракції деревини, такі як: стовбурна деревина, гілки в корі, кора стовбурна, хвоя, листя, мають різні показники щільності і відповідно різну кількість карбону, яку вони можуть накопичувати. Для точнішого аналізу вуглецевого балансу всі ці показники необхідно враховувати.

Річні зміни запасу вуглецю в секторі "Лісове господарство" визначаються як суми змін у кожному шарі в межах цієї категорії:

$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LU_i}, \quad (2)$$

де:  $\Delta C_{LU}$  – зміни запасів вуглецю для якої-небудь категорії землекористування ( $LU$ ),  $i$  – позначає конкретний шар або підрозділ у межах певної категорії землекористування.

Річні зміни запасів вуглецю для будь-якого заданого шару категорії землекористування визначаються як сума змін запасів вуглецю у всіх резервуарах:

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}, \quad (3)$$

де нижні індекси позначають такі резервуари вуглецю:  $AB$  – надземна біомаса;  $BB$  – підземна біомаса;  $DW$  – повалена деревина;  $LI$  – підстилка;  $SO$  – ґрунт;  $HWP$  – заготовлені лісоматеріали [5], [14].

Знаючи об'єми запасу надземної частини лісу, легко вирахувати загальну масу деревини лісових екосистем і відповідно депонованого в них вуглецю. Встановлена наявність кореляційного взаємозв'язку між надземною та підземною частинами деревних рослин. Обсяг співвідношення між ними залежить від виду, віку рослин, гідрологічних, ґрунтових та інших умов зростання. З віком надземна частина розвивається активніше, тому відношення до підземної частини змінюється.

Застосовуючи методику розрахунку запасу депонованого вуглецю лісовими екосистемами, розроблену IPCC [4], та використовуючи статистичні матеріали з інвентаризації таксаційних показників лісів Польщі [1], [16], визначили динаміку зміни запасів вуглецю, акумульованого лісами, за останні 10 років (2009-2019 рр.). Розрахунки проводили на рівні окремих воєводств з урахуванням породного складу та класу віку лісів. Було розроблено ГІС лісів Польщі, наповнено її георозподіленими даними, проведено статистичне оброблення первинного матеріалу та отримано георозподілені показники та цифрові карти депоновання вуглецю лісовими екосистемами Польщі. На рис. 2 зображено динаміку зміни частки вуглецю в лісах Польщі за десятирічний період (2009-2019 рр.).

*Динаміка зміни запасу вуглецю в лісах Польщі.* Аналізуючи динаміку приросту частки вуглецю в окремих воєводствах Польщі (рис. 2), можна зауважити позитивні зміни. Загалом приріст частки вуглецю в надземній частині лісових екосистем за десятирічний період з 2009 по 2019 рр. становив 82,308 млн т і загалом становить 640,704 млн т, в т. ч. 469,026 млн т у хвойних лісах і 171,678 млн т у листяних лісах.

Найбільші показники приросту депонованого вуглецю за десятирічний період з 2009 по 2019 рр. мають ліси Підкарпатського (8,628 млн т), Західнопоморського (8,158 млн т) і Мазовецького (7,648 млн т) воєводств, найменші – Сілезького, Опольського і Свентокшисьького воєводств (1,418 млн т, 2,061 млн т і 2,116 млн т відповідно).

Найменший приріст спостерігали у хвойних лісах Польщі за період з 2009 по 2014 рр. у Свентокшисьькому (0,567 млн т) воєводстві, а в Сілезькому за цей самий період спостерігали від'ємний приріст вуглецю (-0,322 млн т). Це означає, що з хвойних лісів Сілезького воєводства було вилучено більше деревини, ніж виростало за цей час.

На діаграмі (рис. 3) показано загальний обсяг депонованого вуглецю у 2009 р. в лісах Польщі і зміни запасу вуглецю до 2014 і 2019 рр. Понад 50 млн т запасу вуглецю в лісових екосистемах станом на 2019 р. мають

п'ять воєводств: Західнопоморське (59,897 млн т), Підкарпатське (54,938 млн т), Вармінсько-Мазурське (52,708 млн т), Мазовецьке (51,568 млн т) і Велико-

польське (50,350 млн т), найменший запас мають Опольське (17,707 млн т) і Свентокшиське (21,162 млн т) воєводства.

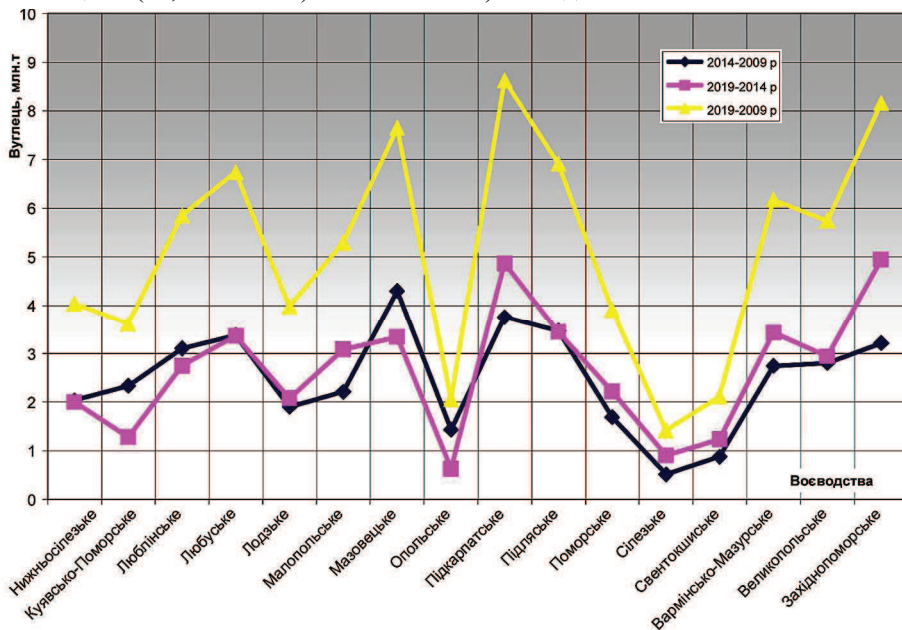


Рис. 2. Динаміка приросту частки вуглецю в лісах Польщі по воєводствах за десятирічний період (2009-2019 рр.)

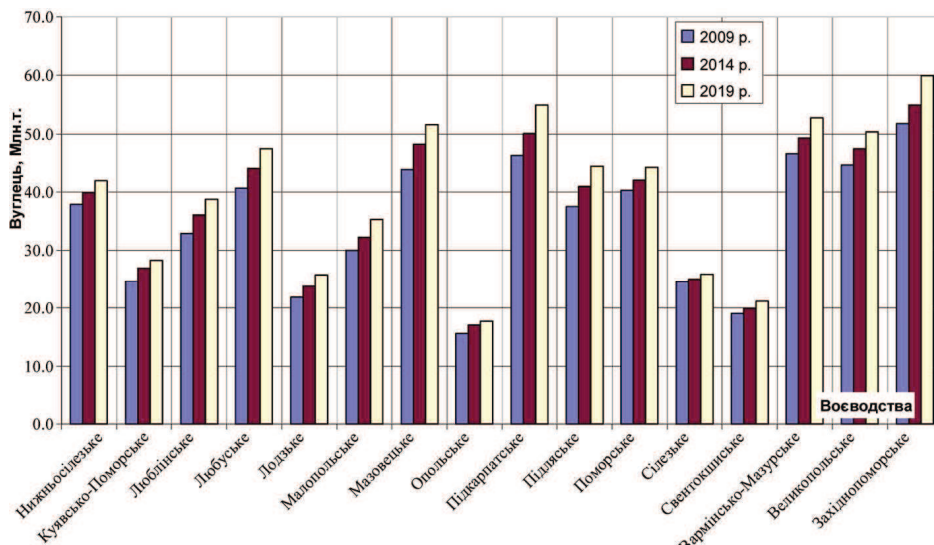


Рис. 3. Динаміка зміни запасу вуглецю в лісах Польщі з 2009 по 2019 рр. по воєводствах

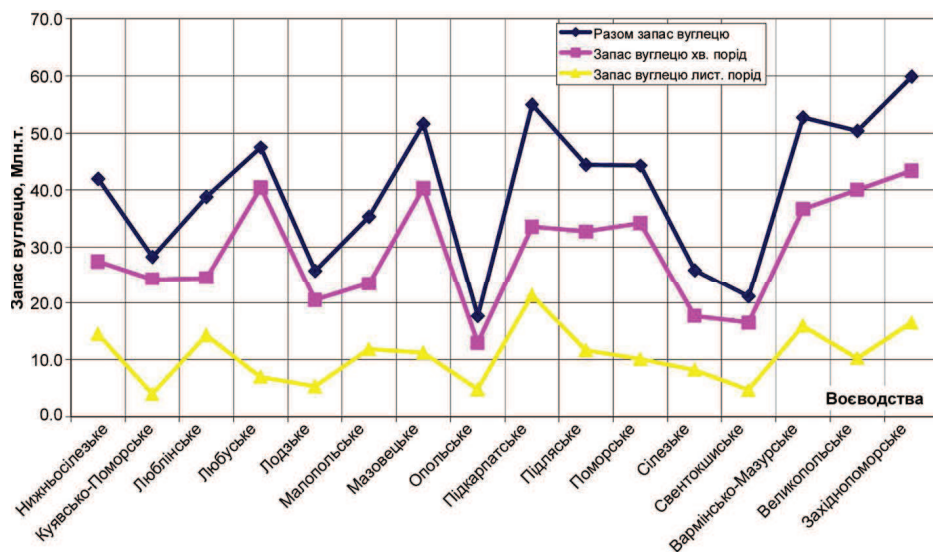


Рис. 4. Частка хвойних і листяних лісів у загальному запасі вуглецю надземної частини лісових екосистем Польщі станом на 2019 р.



Рис. 5. Мапа запасу депонованого вуглецю лісовими екосистемами Польщі станом на 2019 р.

На всій території Польщі переважає частка хвойних лісів у загальному запасі депонованого вуглецю і становить 73,2 %, водночас як листяні – всього 26,8 %. Найбільшу частку вуглецю (рис. 4) мають хвойні ліси Західнопоморського (43,376 млн т), Любуського (40,459 млн т), Мазовецького (40,359 млн т) воєводств.

Найменшу частку серед хвойних лісів становлять ліси Опольського воєводства (12,937 млн т).

Аналізуючи мапу запасу депонованого вуглецю лісовими екосистемами Польщі станом на 2019 р., можна зазначити, що більше вуглецю депоновано північними і західними воєводствами і дещо менше південними, за винятком Підкарпатського воєводства.

Якщо порівняти мапи лісистості (рис. 1) і депонованого вуглецю (рис. 5) Польщі, то можна помітити їхні відмінності. Це відбувається тому, що лісистість є однією зі складових розрахунку депонованого вуглецю, але, окрім цього, в розрахунки входять інші чинники, такі як: видовий склад лісів, вікова структура, бонітет, щільність деревини та ін.

**Обговорення результатів дослідження.** За аналогічними дослідженнями, які провели в Україні А. Швиденко (2011 р.), Р. Бунь та ін. (2004 р.), на основі результатів, викладених у роботі П. Лакиди (1996 р.), встановлено, що за десятирічний період збільшення фітомаси лісів становить 12%, щільності – 17%, а депонованого вуглецю – 18% [10].

## Висновки

Інформаційна технологія аналізу динаміки парникових газів та оцінка вуглецевого балансу в секторі лісового господарства пов'язана з використанням великого обсягу вхідної інформації, і потребує специфічного підходу до вирішення проблем інтерпретації та відображення як використовуваних даних, так і результатів обчислень.

Для здійснення інвентаризації можна застосовувати багаторівневу математичну модель, яка містить: найвищий рівень інвентаризації (рівень національної інвентаризації), середній рівень інвентаризації (рівень області

чи окремого регіону) та найнижчий рівень інвентаризації (рівень елементарних ділянок). При цьому сумування результатів інвентаризації нижчого рівня дає результат інвентаризації для моделі вищого рівня.

Геоінформаційний підхід до порівняльного аналізу парникових газів за різні часові проміжки базується на використанні відповідних шарів цифрової карти, математичних моделей інвентаризації, статистичної інформації про результати господарської діяльності, а також на використанні ряду інших специфічних параметрів, які описують складні процеси емісії та поглинання парникових газів.

## References

- [1] Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej (2011). 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. Retrieved from: [https://www3.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/Wielkoobszarowa\\_inwentaryzacja\\_stanu\\_lasu\\_2006-2010.pdf](https://www3.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/Wielkoobszarowa_inwentaryzacja_stanu_lasu_2006-2010.pdf)
- [2] Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej (2016). Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów w Polsce wyniki za okres 2011-2015 etap 2.2.1.b (praca wykonana na zamówienie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych zgodnie z umową nr EZ.271.1.7.2015 z dnia 2 czerwca 2015 r.), Sękocin Stary. [In Polish]. Retrieved from: [https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/Raport\\_WISL\\_2011-2015.pdf](https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/Media/Default/Publikacje/Raport_WISL_2011-2015.pdf)
- [3] Bun, Rostyslav, Gusti, Mykola, Dachuk, V., Kujii, L., Oleksiv, B., Striamets, G., ... Tsybrivski, Ya. (2004). *Information Technologies for Greenhouse Gas Inventories and Prognosis of the Carbon Budget of Ukraine*. Lviv: UAD, 236 p. [In Ukrainian].
- [4] Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston Published: IGES, Japan.
- [5] Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). IPCC, Chapter 4: Forest Areas. Retrieved from: <http://www.ipcc.ch/>. [In Russian]

- [6] Kalinin, M. I. (1991). Root science. Moscow: Ecology. [In Russian].
- [7] Lakida, P. I. (2002). Phytomass of forests of Ukraine. Ternopil: Zbruch. [In Ukrainian].
- [8] Matthews, G. (1993). The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission. Tech. Paper 4. Edinburgh.
- [9] Rakhteenko, I. N. (1963). Growth and interaction of root systems of woody plants. Mn.: Iz-vo AN BSSR. [In Russian].
- [10] Shvidenko, A. Z., Lakyda, P., Shchepashchenko, D., Vasylyshyn, R., & Marchuk, Y. (2014). Carbon, climate, and land-use in Ukraine: Forest sector: monograph. Korsun-Shevchenkivsky: FOP Gavryshenko V. M. [In Ukrainian].
- [11] Shvidenko, A., Lakyda, P., McCallum, I., Nilsson, S., Schepaschenko, D., & Vasylyshyn, R. (2008). Carbon, Climate and Managed Land in Ukraine: Integrated Data and Models of Land Use for NEESPI (Forest Sector). Laxenburg, Austria.
- [12] Striamets, O., Lyubinsky, B., Charkovska, N., Stryamets, S., & Bun, R. (2014). Geodistributed analysis of forest phytomass: Subcarpathian voivodeship as a case study. *Econ-techmod*, 3(1), 95–104.
- [13] Stryamets OS, Stryamets SP (2013). Modeling of phytomass of forests of Podkarpackie Voivodeship by GIS. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" Computer Science and Information Technologies*, 751, 231–236. [In Ukrainian].
- [14] Stryamets, O. S., Bun, R. A., Stryamets, S. P., & Danyliv, R. I. (2015). Geospatial analysis of absorption and greenhouse gas emissions by forests of the Polish Carpathians. *Bulletin of the National Lviv Polytechnic University. Series: Information systems and networks*, 814, 476–483 [In Ukrainian].
- [15] Tkachenko, M. E., Melekhova, I. S. (Ed.). (1952). General forestry. Moscow: Goslesbumizdat. [In Russian].
- [16] Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów w polsce część Iwyniki za okres 2015-2019 etap 2.6.1.b (praca wykonana na zamówienie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych zgodnie z umową nr EZ.271.1.7.2015 z dnia 2 czerwca 2015 r.) Sękocin Stary, marzec 2020. Retrieved from: <https://www.bip.biebrza.org.pl/plik.4883.kronika-biebrzanskiego-parku-narodowego-2019.pdf>.

**S. P. Stryamets, H. V. Striamets**

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup>Nature reserve "Roztochchya", Lviv region, Yavoriv district, Ukraine

## INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE ANALYSIS OF THE DYNAMIC OF THE CARBON BALANCE OF FORESTS IN POLAND

Forest management involves the use of large areas of land and a large amount of related information. Therefore, the use of geographic information technologies (GIS) is substantiated for the processing, analysis, and visualization of information in forest ecosystems. Green plants and trees deposit carbon and retain it for a long time, they are the main absorbers of carbon on land, so to determine the carbon balance the study of wood growth, accumulation of phytomass in forest ecosystems is necessary. The purpose of the work is to develop a toolkit for determining the geo-distributed phytomass of forests for the calculation of deposited carbon according to statistical data of planting stock, species composition, age class, and other silvicultural and taxonomic indicators provided by the official sources.

The article provides a description of Polish forests, GIS analysis of tabular data on taxonomic indicators of forest ecosystems, diagrams, and digital maps of forests. The analysis of the forests state in some voivodships of Poland in 2009 and 2019 was conducted to assess emissions and removals of greenhouse gases by forest ecosystems. The three-level scheme of greenhouse gas inventory recommended by the IPCC technique is described. To carry out the inventory, a multilevel mathematical model is used, which includes: the highest level of inventory (level of national inventory), the middle level of inventory (level of region or district), and the inventory lowest level (level of the elementary plots). A comparative analysis of forestry and tax indicators of Polish forests for the period from 2009 to 2019 and the methods used to calculate greenhouse gas emissions and removals are presented. The amount of carbon deposited over a ten-year period by Polish forest ecosystems has been determined. The architecture of geographic information technology for spatial analysis of carbon deposition and greenhouse gas emissions in the Polish forestry sector has been improved and supplemented. Calculations of the deposited carbon were made according to statistical data of planting stock, species composition, age class, and other silvicultural and taxonomic indicators, which are taken from the official sources. The geoinformation approach to the comparative analysis of greenhouse gases for different time intervals is based on the use of the appropriate digital map layers, mathematical models of inventory, statistical information on business results, as well as the use of a number of other specific parameters describing complex greenhouse gas emission and absorption processes.

**Keywords:** GIS; digital maps; greenhouse gases; forests of Poland.

### Інформація про авторів:

**Стрямець Сергій Петрович**, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

**Email:** serhii.p.striamets@lpnu.ua

**Стрямець Галина Володимирівна**, канд. с-г. наук, Природний заповідник "Розточчя". **Email:** galina.striamets@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** Стрямець С. П., Стрямець Г. В. Інформаційна технологія аналізу динаміки вуглецевого балансу лісів Польщі. *Український журнал інформаційних технологій*. 2021, т. 3, № 2. С. 33–38.

**Citation APA:** Stryamets, S. P., & Striamets, H. V. (2021). Information technology for the analysis of the dynamic of the carbon balance of forests in Poland. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 3(2), 33–38. <https://doi.org/10.23939/ujit2021.02.033>