

О. Стрямець¹, С. Стрямець²

Національний університет “Львівська політехніка”,

¹кафедра інформаційних систем та мереж,²кафедра автоматизованих систем управління

МОДЕЛЮВАННЯ ФІТОМАСИ ЛІСІВ ПІДКАРПАТСЬКОГО ВОЄВОДСТВА ЗАСОБАМИ ГІС

© Стрямець О., Стрямець С., 2013

Наведено результати моделювання компонентів фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід Підкарпатського воєводства та депонованого в ній вуглецю. Складено багатoshарову цифрову карту лісів Підкарпатського воєводства

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

The results of the simulation components of phytomass of major forest tree species and deposited carbon in forest stands Podcarpatskogo Voivodeship (Poland) are shown. The GIS technology was used to make modeling. The multilayer digital map of forests of Podcarpatskogo Voivodeship was made as a result of the study.

Key words: information technology, digital maps, geographic information system, IPCC methodology, forest inventory, deposited carbon.

Вступ

Питання моніторингу поглинання вуглецю лісовими екосистемами інтенсивно досліджують у багатьох державах, особливо масштабні роботи проводяться в європейських країнах. В Європі нині здійснюється група проектів „Вуглець Європи”, мета яких – розробити методологію для кращого порозуміння та кількісних оцінок і верифікації балансу вуглецю [1]. Проведено лісівничо-таксаційні дослідження, зібрано значний експериментальний матеріал щодо біологічної продуктивності лісових насаджень, встановлено закономірності розподілу біомаси за компонентами [2, 7]. Однак дослідженнями не охоплено все різноманіття лісових екосистем, наявні дані не дають просторового уявлення про розподіл фітомаси і накопиченого вуглецю.

Аналіз останніх досліджень і постановка задачі

Польща – одна з найлісистіших країн Європи. У наш час лісовий покрив у Польщі становить близько 9089 тис. га, що відповідає 29,1% лісистості. За даними останньої великої інвентаризації лісів Польщі, що була проведена Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej на замовлення Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych zgodnie z umową nr OP/2715-4/U/10 z dnia 22 lipca 2010 r., лісистість Підкарпатського воєводства – 37,2 %, тобто воно є одним з найлісистіших воєводств Польщі. Більшу лісистість має тільки Любуське воєводство (48,9 %). Площа, вкрита лісом, у Підкарпатському воєводстві становить 663797 га, запас ділової деревини – 194,675 млн. м³, середній запас по воєводству – 293,3 м³/га [2, 17].

Об'єктом дослідження є геоінформаційні системи, які дають змогу розробляти багатoshарові цифрові карти лісів. Предметом дослідження є модель фітомаси окремого дерева, деревостану, лісової екосистеми.

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 наводять офіційні джерела. Для досягнення мети були сформульовані такі задачі:

- розроблення алгоритмів визначення надземної та підземної фітомаси окремого дерева за його запасом та деревостану, різного за складом, віком, лісорослинними умовами;
- уточнення регіональних коефіцієнтів для дослідження фітомаси та депонованого вуглецю;
- розроблення цифрових карт лісової рослинності.

Методика та методи

Для визначення фітомаси лісів та депонованого в ній вуглецю застосовували методику Міжурядової групи експертів зі змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). Національна інвентаризація має охоплювати всі ліси, незалежно від форм власності, й враховувати всі лісгосподарські заходи, починаючи від вирощування лісонасаджень, впровадження природовідновних заходів, догляду за лісовими культурами, заготівлі ділової та дров'яної деревини до змін у землекористуванні [13].

У Керівних принципах наводяться методи для розрахунків резервуарів вуглецю й інших, ніж CO₂, парникових газів:

- біомаса надземна і підземна;
- мертва органічна речовина (повалена деревина і підстилка);
- органічна речовина ґрунтів;
- інші, ніж CO₂, гази (CH₄, CO, N₂O, NO_x).

Вибір резервуарів вуглецю та інших, ніж CO₂, газів для оцінки залежить від важливості резервуару і рівня, вибраного для кожної категорії землекористування.

Методикою IPCC рекомендовано трирівневу схему інвентаризації. Методи першого рівня є найпростішими; у них використовуються відповідні рівняння і значення параметрів за замовчуванням (наприклад, коефіцієнти змін запасів). Необхідні дані про діяльність на національному рівні. На другому рівні використовується той самий методологічний підхід, що і для рівня 1, але застосовуються коефіцієнти викидів та змін запасів, основані на даних для конкретної країни або конкретного району. На третьому рівні використовуються методи вищого порядку, враховуючи моделі та системи вимірювань для кадастрів, адаптовані до конкретних національних умов. Можуть бути використані дані про ведення лісового господарства в окремих лісгоспах або на елементарній ділянці розміром, наприклад, 5×5 км. Ці методи вищого порядку дають змогу отримати оціночні значення з вищим ступенем достовірності, ніж на нижчих рівнях. Такі системи можуть містити повні вибірки на місцях, що повторюються через регулярні інтервали часу, або основані на ГІС системах дані про вік, клас, продуктивність, ґрунти тощо. Враховуються також дані про діяльність у галузі землекористування та управління, в яких об'єднано результати декількох видів моніторингу. Ділянки земель, на яких відбувається зміна землекористування, можуть зазвичай контролюватися в ході часу, принаймні статистично [8, 13, 15].

Результати дослідження та їх обговорення

Визначення фітомаси лісів Підкарпатського воєводства проводилося за даними останньої інвентаризації і електронної мапи лісів Польщі Corine Land Cover в форматі MapInfo. З метою верифікації фрагменти мапи лісових масивів з Corine Land Cover (рис. 1) порівнювались з реальними супутниковими зображеннями цих масивів з Google Earth (рис. 2).

У результаті отримана цифрова мапа лісової рослинності Підкарпатського воєводства, яка містить 2510 елементарних ділянок, з них 725 хвойних лісів, 703 ділянки листяних, 1082 ділянки мішаних лісів (рис. 3).

Для проведення просторової інвентаризації територію воєводства необхідно розділити на квадрати з розмірами сторін 2х2 км і розрахувати запас фітомаси в кожному квадраті. Цю задачу можливо реалізувати за допомогою ГІС MapInfo.

Моделювання компонентів біологічної продуктивності деревостанів

Підкарпатського воєводства

З товщиною дерев в деревостанах тісно пов'язані всі показники їх фітомаси. Ряд розподілу дерев за товщиною – основний таксаційний показник деревостану, через який можна розрахувати всі інші таксаційні показники [7].

Моделювання компонентів біологічної продуктивності деревостанів проводили за методиками, запозиченими з літературних джерел [4–6, 7].

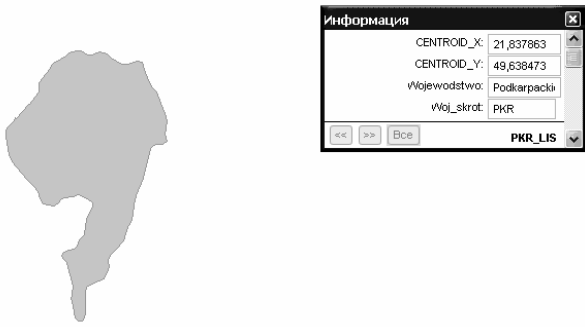


Рис.1 Фрагмент мапи лісового масиву Corine Land Cover з координатами E21,837863°; N49,638473°



Рис. 2 Фрагмент мапи лісового масиву з GoogleEarth з тими самими координатами

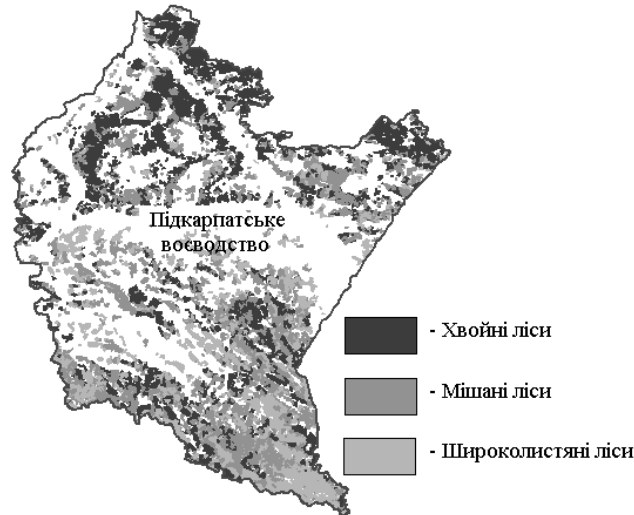


Рис. 3. Карта лісового покриття Підкарпатського воєводства Республіки Польщі

На основі даних останньої інвентаризації лісів Польщі про розподіл площ, вкритих лісовою рослинністю, інформації про породи, склад насадження, запас стовбурової деревини в лісах Підкарпатського воєводства [16, 17] складено шари цифрової карти. За головними лісотвірними породами (сосна, ялина, ялиця, інші хвойні, бук, дуб, граб, береза, вільха, тополя, осика та інші листяні), групами віку розраховано обсяг загальної фітомаси лісів воєводства у межах лісорослинних областей, а також за породами та групами віку лісотвірних порід. За основу моделі оцінки основних компонентів фітомаси насаджень взято формулу:

$$M_v = M_d 100^{-1} (P_1 k_1 + P_2 k_2 + \dots + P_n k_n), \quad (1)$$

де M_v – валовий запас деревини, розраховується окремо для кожної породи і об'єднує запас ділової деревини, запас деревної зелені і запас підземної частки; $(M_d 100^{-1})$ – запас 1 % ділової деревини; P_i – відсоток i -го класу віку в складі валового запасу деревини; k_i – коефіцієнт, який враховує надземну і підземну частку для i -го класу віку:

$$k_i = k_{dz} + k_r, \quad (2)$$

де k_{dz} – коефіцієнт, який враховує кількість деревної зелені для i -го класу віку; k_r – коефіцієнт, який враховує запас підземної частки деревини i -го класу віку,

$$M_v = M_d 100^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i k_i), \quad (3)$$

де $\{ i \in [1, \dots n] \}$ – кількість класів віку деревостанів (в нашому випадку: сім класів віку і ліси КО, KDO, BP).

Сумарний запас для кожного воєводства розраховується за формулою:

$$M_w = \sum_{j=1}^m (M_d 100^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i k_i)), \quad (4)$$

де $\{ J \in [1, \dots m] \}$ – кількість основних лісотвірних порід, які враховуються під час обчислення запасу біомаси (сосна, ялина, ялиця, інші хвойні, бук, дуб, граб, береза, вільха, тополя, осика та інші листяні).

Сумарний запас для Польщі розраховується за формулою:

$$M_{\Sigma} = \sum_{\lambda=1}^{\tau} \sum_{j=1}^m (M_d 100^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i k_i)), \quad (5)$$

де $\{ \lambda \in [1, \dots \tau] \}$ – кількість воєводств Польщі ($\tau = 16$).

В результаті проведення інвентаризації лісів Польщі отримали дані, розподілені по воєводствах, про площу, вкриту лісом, породний склад, вікову структуру і запас ділової деревини. До запасу ділової деревини в Польщі належить стовбурна деревина в корі й товсті гілки, придатні на дрова [7].

Для визначення деревної біомаси лісу необхідно врахувати запас тонких гілок, листя, хвої, так звану деревну зелень і підземну частину дерев або корені.

Кількість деревної зелені залежить від умов зростання, породи, віку, бонітету та інших факторів [4, 5] і визначається за такою формулою

$$m_g = f(d, h, P) \quad (7)$$

У літературних джерелах [3 – 7] наведено методики розрахунку кількості деревної зелені від інших таксаційних показників (діаметра на висоті грудей (d), висоти (h), запасу, породи, віку тощо).

Міжурядова група експертів зі змін клімату розробила і рекомендує до застосування для розрахунку деревної зелені лісів універсальні коефіцієнти. Але передбачені в цій методиці методи обчислення є досить загальними, універсальними для різних регіонів світу і в кінцевому підсумку вони не враховують особливостей цих регіонів [8]. Пропоновані цією методикою коефіцієнти емісій та поглинань коливаються іноді в доволі широкому діапазоні [1]. Тому стоїть завдання їх уточнення та застосування з урахуванням специфіки конкретної аналізованої місцевості.

Ґрунтуючись на цих рекомендаціях і враховуючи результати досліджень, описаних в літературних джерелах [4–7], застосовуємо коефіцієнти залежності маси деревної зелені від породи і віку дерев (рис. 4). Лінії тренду для коефіцієнтів, які використовуються для розрахунку неліквідної частки біомаси сосни і смереки, показують, як вони зменшуються зі зростанням класу віку.

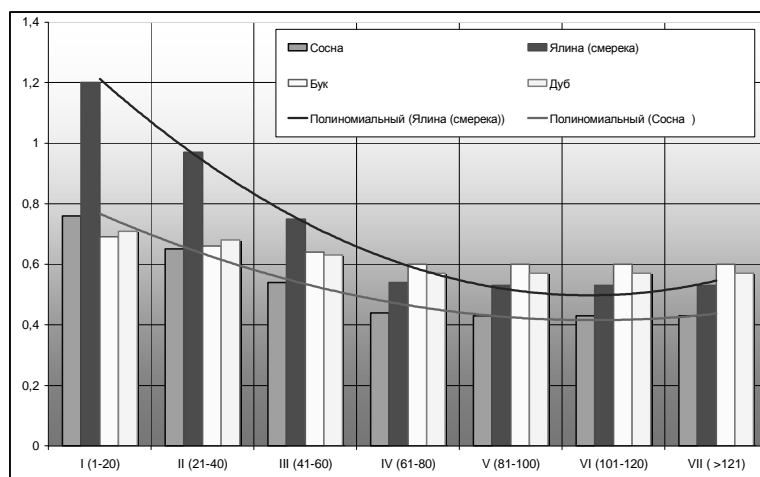


Рис. 4. Коефіцієнти переведення фітомаси стовбура в фітотому підземної і надземної неліквідної частки за класами віку

Коренева система деревостанів вивчена мало і тому в різних літературних джерелах наводяться різні коефіцієнти для розрахунку біомаси підземної частини дерев [4–6; 9–11], які переважно змінюються у межах 14 – 35 %. За даними М.Г. Семечкиной (1978), запас вологих, щойно викопаних коренів у 22-річних молодняках сосни становив 19,6 % від всієї надземної частини деревостану. Частка усіх кореневих систем у вологому стані від загальної ваги дерев зменшується зі зростанням ступеня товщини, тоді як загальна вага надземної частини збільшується. Так, якщо коренева система в ступені 12 см становить 19,2 % від загальної фітомаси дерев, то в

ступені 20 см її склад знижується до 14,1%, водночас відбувається відносно збільшення фітомаси надземної частини дерев з 80,8 до 85,9% [7].

Для Підкарпатського воєводства розраховано обсяг загальної фітомаси лісів воєводства. При цьому було враховано породний склад, лісівничо-таксаційні показники головних лісотвірних порід, групи віку і моделі оцінки основних компонентів фітомаси. В таблиці наведено дані про ліси Підкарпатського воєводства та результати моделювання компонентів фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід і депонованого в ній вуглецю.

Основні показники фітомаси лісів Підкарпатського воєводства

Показник	Значення	Одиниця вимірювання
Площа Підкарпатського воєводства	17846,66	км ²
Лісистість	37,2	%
Площа, вкрита лісом	663797,00	га
Площа, вкрита хвойним лісом	374240,00	га
Площа, вкрита листяним лісом	289557,00	га
Валовий обсяг ділової деревини	194675366,00	м ³
Валовий обсяг ділової деревини хвойних порід	115209133,00	м ³
Валовий обсяг ділової деревини листяних порід	79466233,00	м ³
Кількість окремих ділянок лісу на цифровій мапі	2510	шт.
Середній запас	293,3	м ³ /га
Середній запас акумульованого вуглецю на 1 гектар лісу	115,35	т/га
Середній запас акумульованого вуглецю на 1 гектар хвойних лісів	100,76	т/га
Середній запас акумульованого вуглецю на 1 гектар листяних лісів	134,22	т/га
Валовий обсяг лісової фітомаси	302122018,46	м ³
Запас в абсолютно сухій біомасі	153141868,10	тонн
Акумульованого вуглецю в біомасі лісів	76570934,05	тонн

Висновки

Можливості геоінформаційних систем дають змогу будувати цифрові карти лісів за різними лісівничо-таксаційними характеристиками, обчислювати загальний запас надземної та підземної частин деревостанів залежно від породного складу, вікової структури тощо, а в кінцевому результаті оцінювати кількість депонованого вуглецю та емісії парникових газів при веденні лісового господарства. Цифрові карти лісів, розроблені за допомогою геоінформаційних систем, мають практичне застосування, бо дозволяють моделювати ведення лісового господарства на рівні лісгосподарського підприємства, і вибрати оптимальний варіант рубок, заліснення та інших видів лісгосподарських заходів, які дадуть можливість залучити додаткові кошти від продажу квот на викиди парникових газів.

1. *The IPCC software for estimating greenhouse gas emissions. IPCC Version 1.1, 1998.* - <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>. 2. *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.* 3. *Полякова Л., Попков М., Кирилюк С. Научно-информационный центр лесоправления. – С. Пивовар - Радомышльский лесхоз, Леса и лесное хозяйство Польши WoodBusiness №2/2003* 4. *Лакида П.І. Фітомаса лісів України: монографія. – Тернопіль: Збруч, 2002. – 256 с.* 5. *Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. – Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. – 192 с.* 6. *Василишин Р.Д., Домашовець Г.С. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування // Науковий вісник НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.3. – С. 50–58.* 7. *Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.* 8. *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. and Tanabe K. (Eds). Published: IGES, Japan.* 9. *Калинин М. И. Корневедение: учеб. для студентов вузов по спец. “Лесное и*

садопаркове хоз-во” / М.И. Калинин ; ред. А. М. Лаврова. – М. : Экология, 1991. – 176 с. : ил. 10. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства дуба. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1954. – 259 с. 11. Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с. 12. Drzewa podkarpackich lasów, <http://www.zielonepodkarpacie.pl> 13. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов // МГЭИК, 2006, Том 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, Глава 2: Общие методологии, применимые к различным категориям землепользования 14. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭИК, 2006, Том 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, Глава 4: Лесные площади 15. 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. 16. Электронный ресурс. http://www.lasy.gov.pl/o_lasach/ochrona_przyrody/ Ochrona przyrody/Dodat: Małgorzata Haze 17. Lasy w Polsce 2011. Raport na podstawie materiałów Ministerstwa Środowiska, Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, Instytutu Badawczego Leśnictwa, Biura Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej, Głównego Urzędu Statystycznego oraz statystyk międzynarodowych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 2011.

УДК 519.711; 681.5; 621.382

А. Головатий*, М. Лобур

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя,
кафедра програмної інженерії;
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

VHDL-AMS МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОТЕПЛООВОГО МІКРОАКТЮАТОРА ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ЛОГІЧНОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

© Головатий А., Лобур М., 2013

Розроблено VHDL-AMS модель електротеплового мікроактюатора для автоматизованого проектування засобами hAMSter, що дає змогу моделювати залежність деформації (згину) плечей мікроактюатора від їх довжини і прикладеної напруги до анкерів, струму від прикладеної напруги і довжини плеча мікроактюатора, розподіл температури вздовж його плечей, енергоспоживання мікроактюатора від прикладеної напруги, а також проводити аналіз поведінки цього пристрою на функціонально-логічному рівні проектування.

Ключові слова: MEMS, електротепловий мікроактюатор, закон Джоуля-Ленца, VHDL-AMS модель, автоматизоване проектування

VHDL-AMS model of electro-thermal microactuator for computer-aided design is created using hAMSter. The created model allows to simulate the dependence of the bending of hot (thin) and cold (wide) arms on their lengths and the applied voltage between the anchors of the microactuator, dependence of the current on the applied voltage and the arm length of the microactuator, temperature distribution along the arms, dependence of the power consumption on the applied voltage, and also to perform the behavioral analysis of this device at the functional-logic design level.

Key words: MEMS, electro-thermal microactuator, Joule-Lenz's law, VHDL-AMS model, computer-aided design.

Вступ

Мікроелектромеханічні системи (MEMS) – це пристрої з розмірами в діапазоні від 20 мкм до 1 мм, що поєднують мікроелектронні й мікроемеханічні компоненти, і які виготовляють за технологією виготовлення інтегральних мікросхем. Однією з важливих компонент MEMS є