

О. Є. Токар¹
І. М. Шпаківська²
В. М. Дичкевич³

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЗАПАСІВ ВУГЛЕЦЮ У ҐРУНТАХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

¹Національний університет «Львівська політехніка»;

²Інститут екології Карпат НАН України, Львів;

³Національний лісотехнічний університет України, Львів

Запропоновано багаторівневу модель для визначення запасів вуглецю у ґрунтах та розроблено відповідну геоінформаційну технологію, що дозволило підвищити точність оцінки запасу вуглецю у ґрунтах та отримати просторову оцінку запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем.

Ключові слова: лісова екосистема, математична модель, геоінформаційна технологія, вуглець, ґрунт, запас вуглецю.

Вступ

Особлива роль у стабілізації концентрації вуглекислого газу, одного з найпоширеніших парникових газів, в атмосфері належить лісовим екосистемам, оскільки вони є основними наземними поглиначами CO₂, що здатні природним шляхом регулювати його концентрацію в атмосфері і відіграють ключову роль у глобальному циклі вуглецю. На основі проведених досліджень [1—3] встановлено, що ґрунт є другим за значенням після деревної фітомаси резервуаром, що забезпечує найдовше консервування вуглецю. Тому дослідження динаміки запасів вуглецю у лісових ґрунтах на сьогодні є надзвичайно актуальними.

Вміст вуглецю в резервуарах лісової екосистеми може обчислюватися за трьома рівнями складності, що пропонуються Міжнародною групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) [4]. Перший рівень використовує типові значення, другий та третій — національні значення коефіцієнтів, отриманих на основі обробки емпіричної інформації або на основі розроблених математичних моделей. Виходячи зі своєї універсальності, ці методики не враховують специфіки окремих регіонів, що приводить до збільшення величини похибки запасів вуглецю у лісових екосистемах, зокрема у резервуарі «ґрунт». Зауважимо також, що для розрахунків вмісту вуглецю у таких резервуарах лісової екосистеми, як відмерла деревина, ґрунти та підстилка, то на сьогодні немає достатньо емпіричної інформації, що давала б змогу проводити обчислення на основі визначених національних коефіцієнтів. Проте зазначимо, що перші результати досліджень вмісту і запасів вуглецю у ґрунтах і підстилці лісів України вже отримано [2, 3]. Таким чином, розроблення нових підходів до оцінювання запасів вуглецю в лісових екосистемах, які б були узгоджені з методиками МГЕЗК і відображали особливості кожного регіону є актуальними.

Метою роботи є вдосконалення математичної моделі для визначення запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем і на базі цієї моделі та геоінформаційних технологій побудувати програмний комплекс для просторової оцінки запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем.

Результати дослідження

У процесі наукового дослідження запропоновано методику, яка вирізняється серед інших оригінальним поєднанням польових і камерально-лабораторних робіт [3, 5]. Вона враховує будову ґрунтового профілю й базується на поєднанні таксаційних і біометричних прийомів зі статистичними та математичними методами. Згадана вище методика дослідження запасів вуглецю у ґрунтах передбачає закладання тимчасових пробних площ, на яких і проводиться збір польового дослідного матеріалу. Зразки ґрунтів бралися на глибині 50 см ґрунтового профілю і результати вимірювань вносилися у відповідні таблиці розробленої бази даних «Лісові екосистеми» [6] із зазначеними індексами горизонтів і, відповідно, їх потужності. Лабораторна обробка зразків виконувалася з

метою отримання фактичних даних вмісту та запасів вуглецю ґрунтового профілю. Запропонована модель для обчислення запасів вуглецю у лісових ґрунтах передбачає застосування національних коефіцієнтів та специфічних для України даних про вміст вуглецю у ґрунті, замість узагальнених даних, що дозволяє уточнити результати та зменшити невизначеність отриманих результатів.

На основі даних про тип ґрунту, потужність шарів горизонту, їх щільності та вмісту гумусу в них, обчислюємо запас вуглецю у шарі 50 см ґрунту на одиницю площі:

$$\rho_C = k \sum_i h_i \cdot dv_i \cdot H_i, \quad (1)$$

де i — кількість шарів горизонту; h — глибина відповідного шару горизонту, см; dv — щільність відповідного шару горизонту, г/см³; H — вміст гумусу у відповідному шарі горизонту, %; k — коефіцієнт переходу від гумусу до вуглецю, $k = 0,58$.

Тоді запас вуглецю в ґрунтах лісових екосистем обчислюємо на основі багаторівневої математичної моделі, яка враховує розподілену оцінку запасів

$$C_{soil} = \sum_n \rho_{C_n} \cdot S_n, \quad (2)$$

де n — кількість різних типів ґрунтів у лісовій екосистемі; ρ_{C_n} — запас вуглецю у шарі 50 см ґрунту на одиницю площі n -го типу; S — площа, яку займає n -й тип ґрунту.

Проведено дослідження запасів вуглецю у ґрунтах на ділянках Спаського лісництва ДП «Брошнівське ЛГ» Івано-Франківської області. На основі картографічного матеріалу й електронної карти лісництва побудовано цифрову карту ґрунтів цього лісництва. Всього на території лісництва встановлено 32 різновиди ґрунтів, які були об'єднані в 11 груп на основі спільних рис у структурі і подані в табл. 1.

Таблиця 1

Групи ґрунтів

№ контуру	Назва ґрунту	№ старих контурів
1	Гірсько-підзолистий легкосуглинковий кам'янистий	1—4
2	Світло-бурий середньопотужний суглинковий щербенистий	8—11, 13—15, 17—19
3	Світло-бурий середньопотужний глеюватий суглинковий щербенистий	12, 16, 22, 23
4	Темно-бурий малопотужний суглинковий щербенистий	7
5	Темно-бурий середньопотужний суглинковий щербенистий	5—6
6	Дерново-буроземний середньопотужний суглинковий щербенистий	21
7	Дерново-буроземний середньопотужний глеюватий суглинковий щербенистий	20
8	Лучно-буроземний суглинковий щербенистий	24—27
9	Дерновий глейовий суглинковий щербенистий	28—29
10	Торфово-болотний щербенистий	30—31
11	Виходи корінних порід	32

Для розрахунку вмісту вуглецю у ґрунтах використано такі дані про тип ґрунту: потужність шарів ґрунту глибиною 0—50 см, відповідні значення запасів гумусу та вуглецю в цих шарах та щільність ґрунту [7]. Вхідні дані досліджень вносяться в базу даних через форми, дані нормативно-довідникової інформації вносяться безпосередньо в таблиці бази даних. Формуються відповідні запити на підставі математичних моделей про запас вуглецю у ґрунтах за типами ґрунту, пробними площами тощо. Результати представляються у вигляді звітів та здійснюється візуалізація отриманих результатів на цифрових картах для прийняття на їх основі рішень, зважених як в економічному, так і екологічному планах.

Процеси депонування вуглецю у ґрунтах лісових екосистемах залежать від багатьох факторів. Тому для оцінки динаміки запасів вуглецю у ґрунтах потрібно мати детальну інформацію про типи ґрунтів, їх характеристики, математичні моделі та використати геоінформаційний підхід, що дасть змогу провести просторову інвентаризацію запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем та відобразити ці результати на карті. Всім цим вимогам відповідає розроблена геоінформаційна технологія оцінювання запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем, яка зображена на рис. 1.

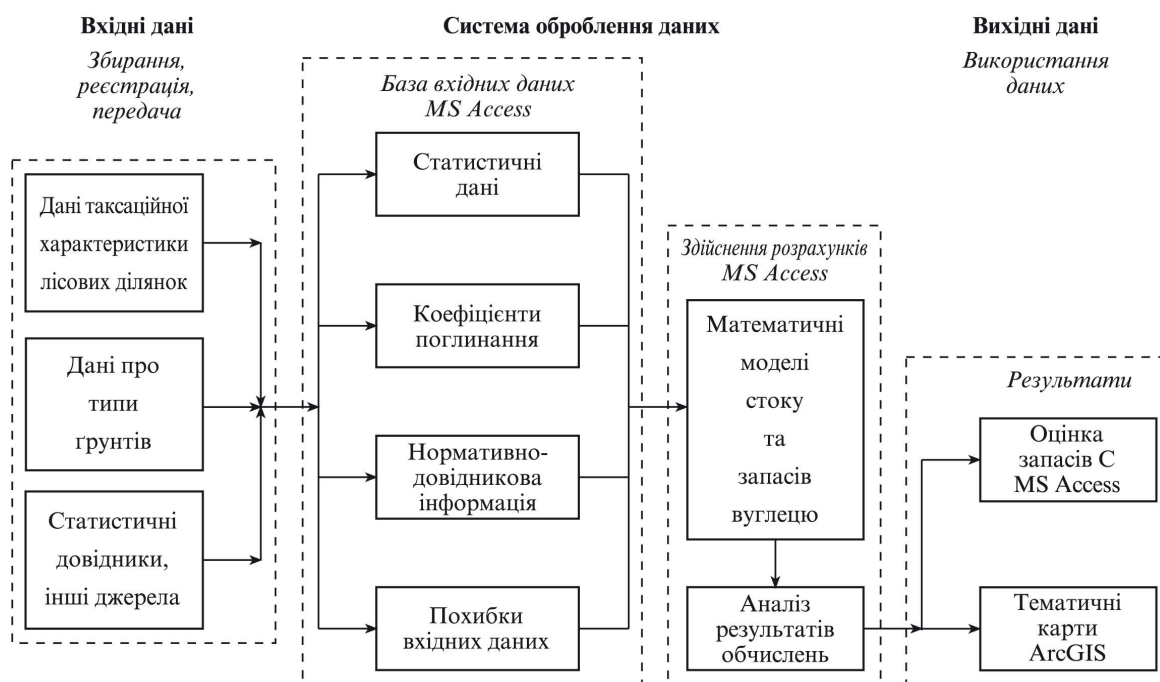


Рис. 1. Структурна схема геоінформаційної технології оцінювання запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем

Запас вуглецю у ґрунтах лісництва за типами ґрунтів та для різного породного складу обчислено на основі даних 30 пробних площ (ПП) засобами розробленої геоінформаційної технології. Запас вуглецю у ґрунтах цілого лісництва отримано як сумарні значення за типами ґрунтів, наявних на пробних площах. Підсумувавши ці результати і врахувавши площу, яку займає відповідний тип ґрунту, його щільність та вміст вуглецю в ньому, отримано запас вуглецю у ґрунтах всього лісництва. Результати подано у вигляді звіту з бази даних за типами ґрунтів (рис. 2) та побудовано тематичну карту в середовищі ArcGIS (рис. 3).

Запас вуглецю у ґрунтах за типом ґрунту						
Назва ґрунту	к-ть ПП	Площа, га	Запас гумусу на одиницю площі, т/га	Запас вуглецю на одиницю площі, т/га	Запас гумусу, т	Запас вуглецю, т
<i>Гірсько-підзолистий легкосуглинковий кам'янистий</i>	2	257,04	57,18	33,17	14698,22	8524,97
<i>Світло-бурий середньопотужний глеюватий суглинковий щебенистий</i>	3	385,56	228,28	132,40	88016,27	51049,44
<i>Світло-бурий середньопотужний суглинковий щебенистий</i>	22	2827,44	192,43	111,61	544072,42	315562,00
<i>Темно-бурий середньопотужний суглинковий щебенистий</i>	3	385,56	245,71	142,51	94737,24	54947,60

Рис. 2. Запас вуглецю у ґрунтах Спаського лісництва

Таким чином, встановлено, що запаси вуглецю в гірських ґрунтах Спаського лісництва становлять 430 тис. т С, що в середньому на 1 га припадає 111,54 т С. Це високі показники у порівнянні із середніми показниками по Україні, що становлять 96,6 т С/га та Карпат — 122,2 т С/га [2]. Найвищі запаси вуглецю виявлено для ґрунтів, на яких ростуть переважно бук, ялина та ялиця, а найменші — для ґрунтів під грабом та кленом-явором. Середні значення вмісту вуглецю у буроземах найвищі, а у гірсько-підзолистих ґрунтах — найнижчі.

Враховуючи, що середній вміст вуглецю в гумусі становить 58 %, точність вимірювання висоти шарів горизонту становить половину ціни поділки вимірювальної лінійки, об'ємна маса ґрунту розраховується з точністю до сотих [8, 9], а також точність визначення вмісту органічних речовин в ґрунті [10], некорельованість перелічених вхідних величин та, не враховуючи просторову неоднорідність ґрунту, на основі формули поширення похибок та розробленої геоінформаційної технології, обчислено відносні похибки запасів вуглецю у ґрунті на пробних площах лісової екосистеми Спаського лісництва. Ці значення не перевищують 15 %.

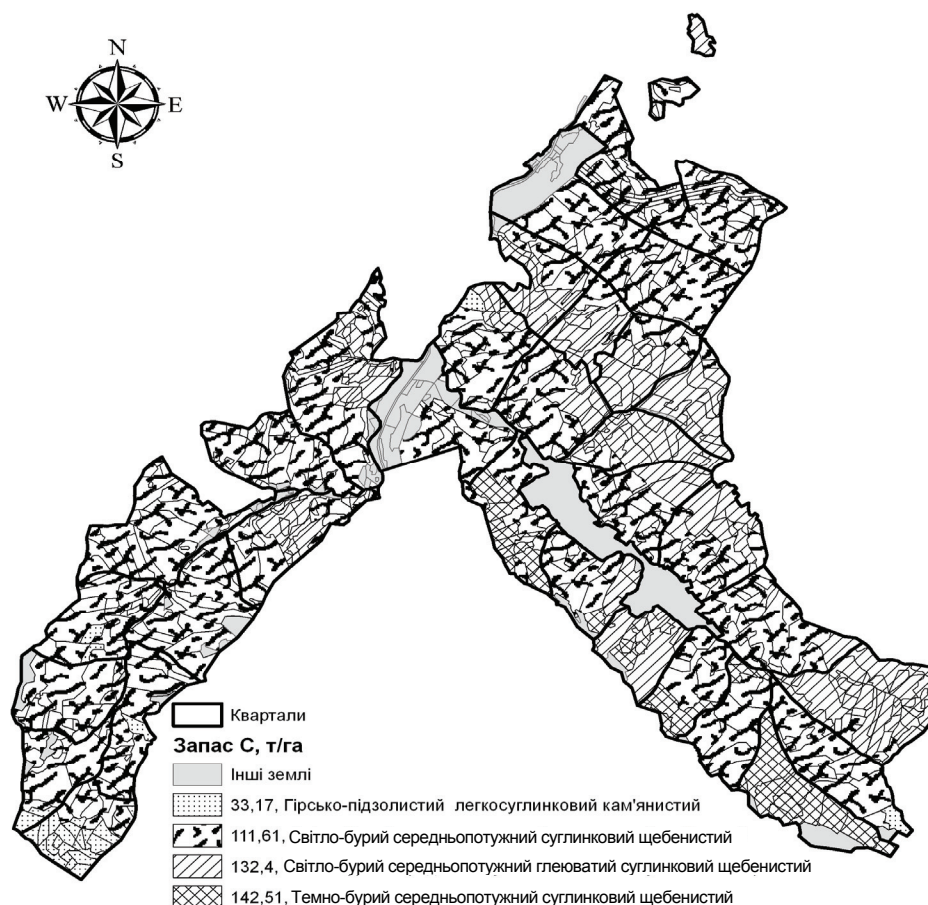


Рис. 3. Запаси вуглецю на одиницю площі у ґрунтах Спаського лісництва, т/га

Висновки

Встановлено, що запропонована багаторівнева модель для визначення запасів вуглецю у ґрунтах лісових екосистем дозволяє підвищити загальну точність оцінки запасу вуглецю у ґрунтах, а розроблена геоінформаційна технологія — здійснити просторову оцінку запасів вуглецю. Така інформація може бути ефективним інструментарієм для підтримки прийняття рішень в галузі лісового господарства та природоохоронної діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ) / [У. М. Альошкіна, А. А. Жовтенко, І. Г. Вишенська та ін.] // Наукові записки НаУКМА. — 2011. — Т. 119: Біологія та екологія. — С. 52—55.
2. Букша І. Ф. Запаси органічного вуглецю у ґрунтах та підстилці на ділянках моніторингу лісів / І. Ф. Букша, С. П. Распопіна, В. П. Пастернак. // Науковий вісник УкрНДІЛГА. — 2012. — Вип. 120. — С. 106—112.
3. Шпаківська І. М. Оцінка запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич // Науковий вісник УкрНДІЛГА : Лісівництво і агролісомеліорація. — 2009. — Вип. 115. — С. 176—180.
4. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. : в 5 т. / под ред. Х. С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара, К. Танабе. — ИГЕС, Япония, 2006. — Т. 4 : Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. — 309 с.
5. Шпаківська І. М. Баланс вуглецю у лісових екосистемах Українських Карпат / І. М. Шпаківська // Наукові основи збереження біотичної різноманітності : Дев'ята наукова конференція молодих учених (Львів, 1—2 жовтня 2009 р.) : матер. — Львів, 2009. — С. 46—52.
6. Токар О. Є. Автоматизація збирання та оброблення даних при дослідженні лісових масивів / О. Є. Токар, М. І. Густи, М. М. Король // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. — Львів. — 2007. — № 598. — С. 171—175.
7. Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону / за ред. ак. НАН України М. А. Голубця. — Львів : Поллі, 2007. — 288 с.
8. ДСТУ ISO 11272:2001 Якість ґрунту. Визначення щільності складення на суху масу (ISO 11272:1998, IDT). — [Чинний від 2001]. — К. : Держспоживстандарт України, 2001. — 15 с. — (Національні стандарти України).
9. Основи наукових досліджень в агрономії : підруч. / [В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, П. В. Костогриз, В. П. Опришко] ; за ред. В. О. Єщенка. — Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. — 332 с.

10. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. – Замість ГОСТ 26213-91 та ОСТ 4647-76) ; чинний від 2004. — К. : Держспоживстандарт України, 2004. — (Національні стандарти України).

Рекомендована кафедрою комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.11.2015

Токар Ольга Євгенівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри міжнародної інформації, e-mail: tokarolya@gmail.com.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів;

Шпаківська Ірина МIRONIVNA — канд. біол. наук, ст. наук. співробітник відділу екосистемології.

Інститут екології Карпат НАН України, Львів;

Дичкевич Василь Миколайович — аспірант кафедри лісівництва.

Національний лісотехнічний університет України, Львів

O. Ye. Tokar¹
I. M. Shpakivska²
V. M. Dychkevych³

Geoinformation Technology for Estimation of Carbon Stocks in Soils of Forest Ecosystems

¹National University Lviv Polytechnic, Lviv;

²Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine, Lviv;

³National Forestry University of Ukraine, Lviv

A multi-level model for estimation of carbon stocks in soils and respective GIS-technology have been developed, that improves the accuracy of assessment of carbon stocks in soils and gives spatial distribution of carbon stocks in soils of forest ecosystems.

Keywords: forest ecosystem, mathematical model, GIS-technology, carbon, soil, carbon stock.

Tokar Olga Ye. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of International Information, e-mail: tokarolya@gmail.com;

Shpakivska Iryna M. — Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher of the Chair of Ecosystemology;

Dychkevych Vasyl M. — Post-Graduate Student of the Chair of Forestry

О. Е. Токар¹
И. М. Шпакивская²
В. Н. Дычкевич³

Геоинформационная технология оценки запасов углерода в почвах лесных экосистем

¹Национальный университет «Львовская политехника»;

²Институт экологии Карпат НАН Украины, Львов;

³Национальный лесотехнический университет Украины, Львов

Предложена многоуровневая модель для определения запасов углерода в почвах и разработана соответствующая геоинформационная технология, которая позволяет повысить точность оценки запаса углерода в почвах и получить пространственную оценку запасов углерода в почвах лесных экосистем.

Ключевые слова: лесная экосистема, математическая модель, геоинформационная технология, углерод, почва, запас углерода.

Токар Ольга Евгеньевна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры международной информации, e-mail: tokarolya@gmail.com;

Шпакивская Ирина Мироновна — канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела экосистемологии;

Дычкевич Василий Николаевич — аспирант кафедры лесоводства