

В. Вайданич; Н. Довга; Т. Вайданич

Національний лісотехнічний університет України

ПРО ОЦІНКУ НАКОПИЧЕНОЇ ФІТОМАСИ РОСЛИН ЗА ЕНЕРГІЄЮ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ

На прикладі деревостанів розглянуто можливість визначення накопиченої фітомаси рослинного покриву за величиною енергії сонячної радіації, що надійшла за відповідний проміжок часу з середньою температурою вегетації $t \geq 5^{\circ}\text{C}$. Енергія сонячної радіації виражається через енергію фотонів у смугах поглинання хлорофілу 440 і 660 нм. Число синтезованих молекул вуглеводів клітковини, а відтак і накопиченої фітомаси, перебуває в прямій залежності від кількості фотонів сонячної радіації. Знайдено лінійну залежність між величиною енергії сонячної радіації та накопиченою сухою фітомасою деревостану. Запропоновано простий вираз для визначення фітомаси деревостану.

V. Vaidanytch, N. Dovha, T. Vaydanytch

ABOUT ESTIMATION OFF PHYTOMASS PLANTING TREES ACCUMULATED UNDER ENERGY SUN RADIATION

The determination possibility of phytomass plants accumulated on the example of planting of trees has been considered as a function of sun energy radiation which acted for the proper vegetation off interval time at the average temperature $t \geq 5^{\circ}\text{C}$. The sun energy radiation has been determined across photon energy in the chlorophyll absorption bands 440 and 660 nm. The carbohydrate photosynthesis cells are proportion to the number of photons and more, it will be proportional on accumulated planting of trees phytomass. The dependence between sun energy radiation and quantity accumulated dry phytomass planting of trees has linear behaviour. The simple expression phytomass calculation has been proposed.

Променева енергія Сонця і пов'язана з нею фотосинтетична діяльність рослин виконує дві найважливіші функції, які є для людства визначальними. Одна з них – утворення органічної речовини біогеоценозами суходолу і водного простору. Друга функція – поглинання вуглекислого газу CO_2 і виділення в атмосферу вільного кисню O_2 . Під дією фотонів видимої сонячної радіації вуглекислий газ, з'єднуючись з молекулами води, приводить до утворення молекул вуглеводів клітковини, а відтак до розвитку та зростання зелених насаджень.

Одним з основних показників продуктивності зеленого покриву суші та лісових насаджень є річний приріст фітомаси. Фітомаса – це органічна рослинна речовина в наземній та підземній частині рослинного покриву. Щодо деревостану, то фітомаса включає приріст усіх складових дерева: стовбура, крони, гілок, кори, коріння, плодів, деревної зелені тощо.

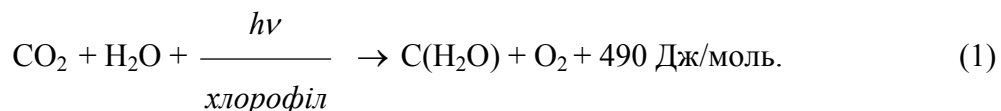
Відомі ваговий та стереометричний способи визначення фітомаси деревостанів. Ваговий спосіб ґрунтується на використанні великої кількості модельних дерев, для кожного з яких за допомогою ваг визначається маса стовбура, живих та мертвих гілок, кори, деревної зелені у свіжозрубаному стані та в абсолютно сухому після висушування у сушильній шафі при температурі 105°C [1].

Стереометричний метод визначення окремих компонентів фітомаси дерев зводиться до визначення об'єму стовбурової деревини, тоді за значенням щільності та співвідношенням різних її фракцій визначається відсоток кори і проводиться перерахунок на масу сухого стану деревини [2]. Частина компонентів (деревна зелень, асимілюючі органи, дрібні гілки) як і в попередньому випадку зважуються безпосередньо в польових умовах.

Обидва методи винятково трудомісткі та енергозатратні, супроводжуються, як правило, руйнуванням насаджень, до того ж враховують тільки наземну частину фітомаси. Ці методи та їх різновидності не використовують основного – енергію

квантів видимої ділянки сонячної фотосинтетично активної радіації (ΦAP), завдяки якій відбувається річний приріст фітомаси. Зелений листок уже мільйони років трансформував сонячну енергію у вільну енергію вуглеводів. Важливо віднайти таку залежність і встановити зв'язок між енергією сонячної радіації, що надійшла на зелений масив, і накопиченою масою вуглеводів.

У даній роботі запропоновано спосіб визначення приросту добового, місячного, вегетаційного циклів та продуктивний вік фітомаси насаджень наземного покриву, в першу чергу, деревостанів, за величиною надходження сонячної ΦAP за цей час. Накопичення сонячної енергії рослинами і утворення фітомаси в процесі фотосинтезу здійснюється завдяки фотохімічним реакціям, важлива роль в яких належить квантам світла – фотонам. Не вникаючи в надзвичайно складний механізм цього явища, зазначимо, що сумарне рівняння фотосинтезу відбувається за відомою схемою:



На кожен молекулу вуглекислого газу, що вступає в реакцію фотосинтезу, припадає утворений елементарний фрагмент лінійної молекули вуглеводу клітковини $\text{C}(\text{H}_2\text{O})$ з молекулярною масою $\mu = 0,030$ кг/моль. Активний процес фотосинтезу відбувається при додатній температурі з участю молекул води і затратою визначеного числа фотонів, які утворюють пакет фотонів. Кількість синтезованих фрагментів молекул $N_{\text{мол}}$ пропорційна величині падаючої сонячної енергії, тобто числу фотонних пакетів:

$$N_{\text{мол}} = N_{\phi} \cdot B, \quad (2)$$

де N_{ϕ} – число пакетів фотонів, які беруть участь у фотосинтезі фрагментів молекул вуглеводів клітковини; B – коефіцієнт використання сонячної радіації в процесах фотосинтезу.

Тому утворена суха фітомаса

$$m = \frac{\mu \cdot N_{\text{мол}}}{N_A} = \frac{\mu \cdot N_{\phi} \cdot B}{N_A}, \quad (3)$$

де N_A - число Авогадро.

Кількість пакетів фотонів, які беруть участь у процесах фотосинтезу, можна знайти через коефіцієнт витрат фотонів у пакеті:

$$N_{\phi} = N'_{\phi} / f,$$

де N'_{ϕ} – загальне число фотонів енергії сонячної радіації; f – коефіцієнт квантових витрат, який визначає кількість фотонів одного пакета, що бере участь у синтезі одного фрагмента молекули вуглеводу клітковини.

Вирішальна роль у фотосинтезі належить хлорофілу та деяким іншим пігментам, що містяться в зеленому листку. Смуги поглинання хлорофілу розташовані в синій ($\lambda=440$ нм) та червоній ($\lambda=660$ нм) ділянках видимого спектру ΦAP .

Важливим для фотосинтезу є поглинання світла в червоній ділянці ΦAP . Хоча в синій ділянці енергія квантів більша, вони руйнівні впливають на органічні молекули, позаяк енергія зв'язків органічних сполук стає в цьому випадку сумірною з енергією квантів близьких ультрафіолетових і синіх променів. Енергія квантів червоного світла недостатня для руйнування зв'язків органічних молекул.

Незважаючи на таку розбіжність, будемо виходити з першого наближення з сумарної енергії фотонів синього і червоного квантів світла. Такий підхід можливий, оскільки пасивну участь квантів синього світла можна регулювати коефіцієнтом використання сонячної радіації в процесах фотосинтезу B . Зрештою, який з варіантів доцільно використовувати - сумарну енергію фотонів синього і червоного світла чи тільки червоного – можна встановити шляхом проведення відповідних досліджень на пробних площах. Орієнтуючись на перший варіант, тобто сумарну енергію фотонів, що поглинаються хлорофілом, загальна кількість фотонів N'_{ϕ} енергії сонячної радіації, що

надійшла на ділянку насаджень лісового масиву, може бути виражена через інтегральну енергію сонячної радіації W , що надійшла на досліджувану площу деревостану за вибраний дискретний проміжок часу:

$$N'_\Phi = \frac{W}{h(\nu_c + \nu_u)},$$

звідки

$$N_\Phi = \frac{W}{h(\nu_c + \nu_u) \cdot f} = \frac{W \cdot \lambda_c \cdot \lambda_u}{h \cdot c (\lambda_c + \lambda_u) \cdot f}, \quad (4)$$

де ν_c і λ_c та ν_u і λ_u – відповідно частоти і довжини хвиль поглинання хлорофілом синього і червоного світла; h – постійна Планка, c – швидкість світла.

Для приросту сухої фітомаси зімкнених деревостанів, з врахуванням рівнянь (3) і (4), отримаємо вираз:

$$m = \frac{\mu \cdot B \cdot \lambda_c \cdot \lambda_u}{h \cdot c (\lambda_c + \lambda_u) \cdot f \cdot N_A} \cdot W = A \cdot W, \quad (5)$$

де A , як видно з виразу (5), для вибраного деревостану приймає постійне значення.

Оскільки на утворення однієї молекули кисню O_2 у рівнянні (1) витрачається 8 – 12 фотонів [3], то ця кількість фотонів у першу чергу затрачається на перетворення однієї молекули вуглекислого газу в реакції фотосинтезу в фрагмент молекули вуглеводу клітковини. Якщо прийняти, що на синтез такого фрагмента потрібно в середньому 10 фотонів, то для коефіцієнта квантових витрат можна прийняти значення $f = 10$.

Дещо складніше щодо визначення коефіцієнта використання сонячної радіації на процесі фотосинтезу B . Для різних культур його значення коливається від 1,5% для більшості трав'янистих рослин до 6% для кукурудзи та цукрової тростини [3]. Подібні відмінності спостерігаються для різних культур і типів лісу. Якщо порівняти швидкості зростання і, особливо, збільшення повноти та накопичення фітомаси тисового чи самшитового гаю з буковою дібровою або смерековим насадженням, то виявимо різочі відмінності. Разом з тим, усереднене значення коефіцієнта B для деревостанів прийнято на рівні 5% [4], яке в подальшому будемо використовувати для розрахунків.

Підставляючи у постійний коефіцієнт A необхідні коефіцієнти: $f = 10$, $B = 0,05$ та інші величини, отримаємо

$$A = 0,331 \cdot 10^{-9} \text{ кг/Дж.В} \quad (6)$$

Треба підкреслити, що не вся падаюча енергія сонячної радіації Φ_{AP} зумовлює фотосинтез і накопичення фітомаси рослинним покривом. Адже за від'ємних температур цей процес майже відсутній, хоча енергія сонячної радіації може продовжувати надходити. В подальшому під енергією сонячної радіації Φ_{AP} будемо розуміти тільки ту інтегральну складову енергії $\Phi_{AP} W_e$, яка відповідає температурі вегетації рослин. Здебільшого надходження енергії сонячної радіації Φ_{AP} починає враховуватися для вегетаційного періоду, що відповідає середнім температурним режимам $t \geq 10^\circ \text{C}$ або $t \geq 5^\circ \text{C}$.

З врахуванням останнього, для накопиченої деревостаном сухої фітомаси m , отримаємо такий кінцевий вираз:

$$m = 0,331 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Дж.} \quad (7)$$

Визначаючи енергію $\Phi_{AP} W_e$ в одиницях Дж/га, отримаємо приріст фітомаси в кг/га.

Зауважимо, що границі ділянки Φ_{AP} знаходяться у видимому діапазоні 380 – 710 нм. На цю ділянку орієнтовно припадає половина сонячної енергії від її загального значення. Радіометр фіксує в додаток до видимої як ультрафіолетову, так і інфрачервону ділянки спектра. Цю розбіжність враховує коефіцієнт квантової ефективності процесів фотосинтезу B .

Згідно з виразом (7), величина приросту сухої фітомаси знаходиться в лінійній залежності від надходження енергії сонячної радіації. Якщо визначати останню в Дж/га, то отримуємо можливість знаходити приріст фітомаси на вибраній ділянці лісу за певний проміжок часу як за окремими дискретними значеннями W_s , так і в автоматизованому режимі.

Знаходження накопиченої деревостаном фітомаси зводиться, таким чином, до вимірювання і реєстрації інтегральної енергії сонячної радіації, що надходить на ділянку лісового масиву впродовж періоду вегетації. В 60 -70 роках минулого століття такі вимірювання здійснювались актинометричними станціями, розміщеними по всій території колишнього Радянського Союзу. Відродження таких станцій потрібне не тільки для визначення приросту фітомаси, але й для багатьох інших цілей.

Стаціонарний пункт для вимірювання сонячної радіації можна організувати в будь-якому лісництві чи на дослідній станції з використанням відповідних радіометрів. Важливо, щоб активний елемент радіометра відповідав таким вимогам:

- володів П-подібного виду чутливістю в спектральному діапазоні 380 - 710 нм (ділянка ΦAP), близькою до одиниці;
- конструкція радіометра має передбачати можливість винесення активного робочого елемента за межі приміщення з розташуванням його на відкритій для сонячної радіації місцевості (дах лісництва, спеціальна вежа тощо);
- герметизація активного елемента радіометра має забезпечувати його працездатність незалежно від погодних умов (вологість, низькі та високі температури тощо);
- передбачав тривалий режим роботи як в автоматизованому, так і в дискретному режимах (наприклад, впродовж світлового дня за температур, що відповідають умовам вегетації);
- забезпечував передачу інформації на комп'ютерну систему для обліку результатів вимірювання в температурному інтервалі від - 20 до + 70 °С.

Треба зауважити, що енергія сонячної радіації, як і сонячна постійна, в середньому є величинами сталими. Встановлені для відповідних географічних широт ці параметри в подальшому можуть використовуватись без повторних вимірювань, що суттєво спрощує знаходження приросту фітомаси конкретної ділянки деревостану.

Постійна $A = 0,331 \cdot 10$ кг/Дж у виразі (7) знайдена для повністю зімкнених деревостанів лісу. Для незімкнених деревостанів, різних культур та типів лісу, його вікового складу, родючості ґрунту, стану його вологості тощо потрібно вводити корелювальні коефіцієнти k_1, k_2, \dots, k_n , які визначаються експериментально або на підставі існуючих таблиць, встановлених традиційними методами. Стан зімкненості намету деревостану та елемент культур лісу є можливим визначати за аерокосмічними знімками (АКЗ), якщо попередньо встановлені такі залежності з вимірними наземними методами. Ввівши в автоматизовану комп'ютерну програму значення корелювальних коефіцієнтів k_1, k_2, \dots, k_n та відповідні покази АКЗ, можна одержати реальні результати накопиченої фітомаси на вибраній ділянці лісового масиву за заданий проміжок часу.

Для аналізу отриманих результатів використаємо величину надходження енергії ΦAP , зареєстровану актинометричною станцією Берегово (Закарпатська обл.) в 1963 р. з температурою вегетації $t \geq 5$ °С, яка дорівнює $42,9 \text{ ккал/ см}^2 = 17,93 \cdot 10^{12}$ Дж/га [7]. Можна припустити, що наведена величина не повинна зазнавати суттєвих змін впродовж усього продуктивного віку лісових насаджень. Використовуючи вираз (7), знаходимо, що річний приріст фітомаси за вегетаційний період в абсолютно сухому вигляді становить:

$$m = 17,93 \text{ Дж/га } A = 5,93 \text{ т/га.}$$

Отриманий результат узгоджується з даними середнього приросту стовбурової деревини з корою західних областей і Карпат України, який складає 4,62 - 5,40 т/га [7], якщо додати до цієї величини фітомасу листя, гілок та коріння. Можна навести низку

інших порівняльних результатів, які корелюють з запропонованим методом оцінки фітомаси лісових насаджень.

Таким чином, запропонований метод в першому наближенні може використовуватись для визначення добового, місячного, вегетаційного циклів і, навіть, за продуктивний вік приросту фітомаси деревостану, якщо відома енергія сонячної радіації W_s , що надійшла за цей період. Важливо, що приріст фітомаси пов'язується з енергією падаючої сонячної радіації, вираженої через енергію фотонів, що поглинаються хлорофілом. Найкраще співпадання спостерігається для зімкнених деревостанів віком 60 - 80 років. Для решти вікових груп, як і інших характеристик лісу, необхідно вводити корелювальні коефіцієнти k_i . Подальші дослідження мають встановити кількісні співвідношення між надходженням енергії сонячної радіації та приростом фітомаси різних культур лісу, стану зімкненості намету тощо.

Література

1. Лакида П.І. Фітомаса лісів України. -Тернопіль: Збруч, 2002. - 254 с.
2. Лакида П.І., Лашенко А.Г., Лашенко М.М. Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля. - К.: ННЦ ІАЕ, 2006. – 196 с.
3. Белл Л.Н. Энергетика фотосинтезирующей растительной клетки. - М: Мир, 1980.
4. Кучерявий В.П. Екологія. - Львів: Світ, 2001. - 408 с.
5. Тооминг Х.К., Гуляев А.В. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. - М.: Наука, 1967. - 144 с.
6. Pearcy R.W. Ch.6. Radiation and lighth measurements // Plant physiological ecologi, field methods. – Tokyo, Melbourne, Madras,1994, p. 97.
7. Алексеев В.А. Световой режим леса. – Ленинград : Наука, 1975.- 228 с.

Одержано 15.06.2008 р.