

УДК 630.5

О. А. ПОНОМАРЬОВ *

**ДО МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ТА РОЗМІЩЕННЯ ТІНІ КРОН ДЕРЕВ
У ЛІСІВНИЧИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства і агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Запропоновано методику розрахунку площі і розміщення тіней крон дерев залежно від їх форми, часу доби та пори року, яку можна використовувати у дослідженнях, пов'язаних із вивченням процесів природного поновлення, а також при обґрунтуванні лісогосподарських заходів

К л ю ч о в і с л о в а : тінь, крона, конус полуденної тіні, природне поновлення.

У процесі онтогенезу у різних видів деревної рослинності по-різному змінюється потреба в освітленні. Одним із основних чинників, що впливає на появу, розвиток і склад природного поновлення, є світловий режим деревостану. Зміна освітленості дуже сильно впливає на характер лісовідтворення й хід сукцесії у фітоценозах. Найменше світла необхідно на стадії проростання насіння [19, 23].

Нестача світла – основна причина пригнічення й відмирання підросту багатьох деревних порід, з іншого боку, за повної освітленості природного поновлення відбувається пригнічення росту, погіршення фотосинтезу і, як наслідок, – загибель підросту [18, 20 – 22].

У багатьох наукових працях зазначається, що в умовах сухого клімату пристепових борів природне поновлення сосни з'являється та зберігається у конусі полуденної тіні дерев материнського намету, оскільки тут утворюються найбільш сприятливі мікрокліматичні умови [2, 5 – 7, 11]. Тому заходи зі сприяння природному поновленню є найбільш ефективними в конусі полуденної тіні [7]. Розрахунок розподілу тіні на лісосіках різних напрямків і ширини у лісостанах використовують для обґрунтування лісогосподарських заходів із реконструкції, лісовідновлення та переформування деревостанів [3, 9]. Так, при проведенні реконструктивних заходів у лісах слід визначати ширину коридорів, враховуючі довжину полуденної тіні прилеглої куліси або стіни деревостану.

Математичний аналіз для обчислення довжини, площі та розміщення тіней крон дерев залежно від їх форми, часу доби та пори року для оптимізації проведення лісогосподарських заходів практично не застосовується.

Мета роботи – отримати формули для визначення загальної довжини тіней дерев, довжини та площі тіней крон дерев основних геометричних форм залежно від часу доби та пори року для обґрунтування лісогосподарських заходів.

Методика переважно орієнтована на оцінку параметрів тіней, які утворюють залишені насінники дерев з різною формою крони.

Оскільки у загальній площі тіні дерева площа тіні крони становить переважну частку, а тому й найбільше впливає на зміну мікроклімату у зоні її дії, цілком логічно при визначенні ступеня затінення орієнтуватися саме на визначення параметрів тіні крони.

Розрахунки параметрів тіней вертикальної проекції крон проводили для п'ятих основних геометричних форм крон: а) конусоподібної; б) кулеподібної; в) шатроподібної; г) еліпсоподібної; д) циліндричноподібної [8] (рис. 1), які можна застосувати і для інших форм крон.

Спочатку наводимо розрахунки для зазначених форм крон для полуденної тіні, оскільки сонячне випромінювання в цей час є найсильнішим. При визначенні впливу тіні на процеси формування природного поновлення у деревостані розраховували площу тіні крони як суму площ двох параболічних сегментів (S_1 та S_2) (рис. 2) [1, 10]:

$$S = S_1 + S_2 = \frac{2}{3} l_1 b + \frac{2}{3} l_2 b = \frac{2}{3} b (l_1 + l_2) = \frac{2}{3} bL \quad (1)$$

* © О. А. Пономарьов, 2009

де l_1 – довжина тіні від основи крони до її вершини, м; l_2 – радіус крони з південної сторони, м; b – ширина крони (із заходу на схід), м; L – довжина тіні крони, м.

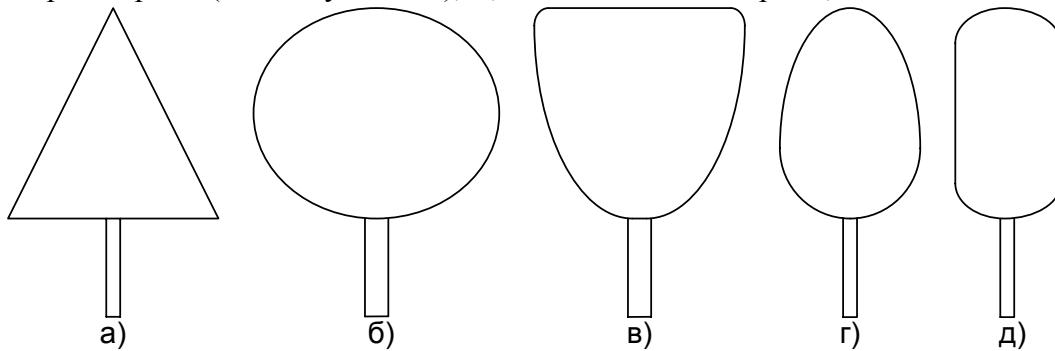


Рис. 1 – Геометричні форми крон

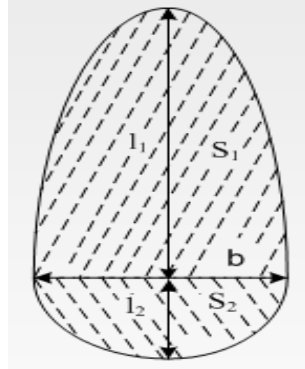


Рис. 2 – Схеми визначення площі тіні крони

Основним завданням при обчисленні площі тіні крони є визначення довжини її тіні. Наведемо розрахунки визначення довжини тіні крони для п'ятих геометричних форм крон.

Довжину тіні конусоподібної форми крони (рис. 3) вираховуємо за формулою (2):

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + \frac{h - h_1}{\text{tg}\alpha} \quad (2)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; α – нахил сонця у zenіті, град. [17]; h – висота дерева, м; h_1 – висота до основи крони, м.

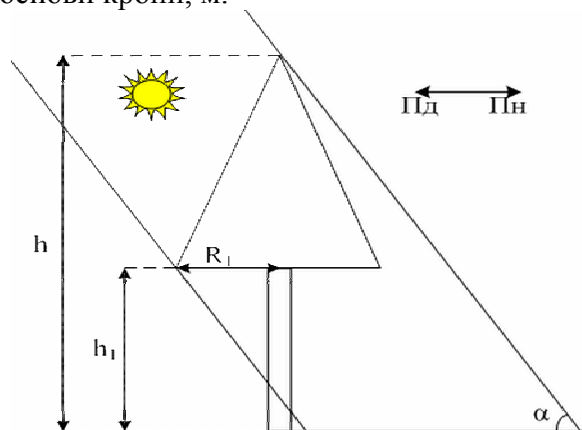


Рис. 3 – Схема вимірювання тіні крони конусоподібної форми

Нахил сонця у zenіті α можна визначити за таблицями висот Сонця залежно від широти (табл. 174 – 181) [15], або точніше за формулою (3):

$$\alpha = 90^\circ - \varphi + \varepsilon \quad (3)$$

де φ – широта (для Харкова $\varphi = 50^\circ$); ε – нахил сонця, град. (за даними NASA) [25].

Згідно з [25], у стовбці Data вибираємо дату, яку нам потрібно, а в стовбці Des – дані (перша цифра – градуси, друга – хвилини, третя – секунди). Для переведення хвилин і секунд у градуси ділимо кількість хвилин на 60, а кількість секунд на 3600 і додаємо до кількості градусів.

Відстань від окоренку стовбура дерева до основи тіні крони розраховано за формулою (4):

$$L_{\text{основи тіні}} = \frac{h_1}{\text{tg}\alpha} - R_1 \quad (4)$$

де h_1 – висота до основи крони, м; R_1 – радіус крони з південної сторони, м; α – нахил сонця у зеніті, град.

Відстань від окоренку стовбура дерева до верхньої точки тіні крони визначено за формулою (5):

$$L_{\text{вершини тіні}} = \frac{h}{\text{tg}\alpha} \quad (5)$$

де h – висота дерева, м; α – нахил сонця у зеніті, град.

Довжину тіні крони можна визначити також як різницю між $L_{\text{вершини тіні}}$ та $L_{\text{основи тіні}}$. Якщо відомі величини $L_{\text{основи тіні}}$ та $L_{\text{вершини тіні}}$, то зручно обчислювати в натурі або на схемах закартованих деревостанів довжину до основи та довжину до вершини тіні крони, а також з урахуванням проекції крон визначити ступінь затінення куртин природного поновлення або поодинокого підросту кронами материнського деревостану.

Якщо кут між стовбуром дерева та стороною крони дерева з північної сторони $\beta > 90^\circ - \alpha$ (рис. 4), то формула довжини тіні крони визначається як (6):

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + R_2 \quad (6)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; R_2 – радіус крони з північної сторони, м.

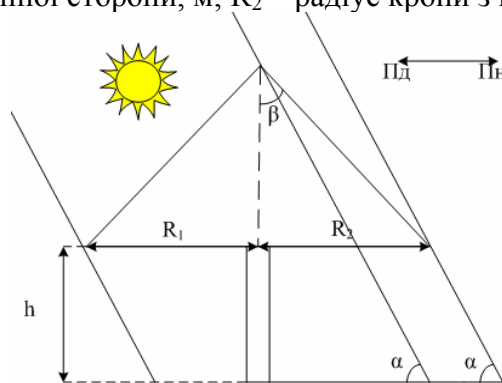


Рис. 4 – Схема вимірювання тіні крони конусоподібної форми з широкою основою

Відстань від окоренку до основи тіні крони, коли кут $\beta > 90^\circ - \alpha$, визначаємо за формулою (4), а відстань від окоренку до верхньої точки тіні крони – за формулою (7):

$$L_{\text{вершина тіні}} = \frac{h}{\text{tg}\alpha} + R_2 \quad (7)$$

де h – висота до основи крони, м; R_2 – радіус крони з північної сторони, м; α – нахил сонця у зеніті, град.

Довжину тіні крони кулеподібної форми (рис. 5) розраховуємо за формулою (8):

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + R_2 + \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (8)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; R_2 – радіус крони з північної сторони, м; ΔL_1 – відносна похибка довжини тіні з південної сторони, м; ΔL_2 – відносна похибка довжини тіні з північної сторони, м.

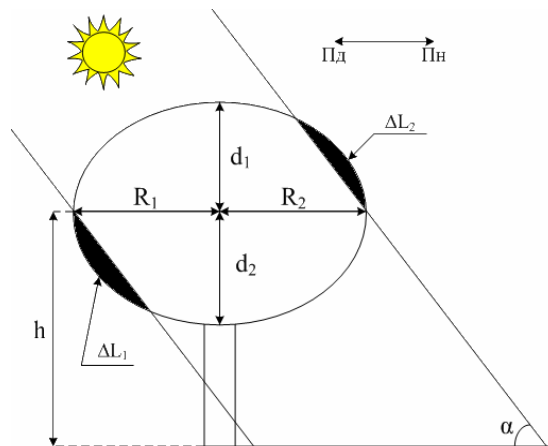


Рис. 5 – Схема вимірювання тіні крони кулеподібної форми

При обчисленні відносної похибки вимірювань [4] для крони еліпсоподібної форми виявлено три випадки визначення залежно від ексцентриситету еліпса (E):

$$E = \frac{d}{R} \quad (9)$$

де E – ексцентриситет еліпса, м; d – висота дерева від найширшої частини крони до верхівки (d_1) або до основи крони, м (d_2) (рис. 5 - 8); R – радіус крони зі сторони, де визначається відносна похибка, м.

У разі, коли $E < \text{tg } \alpha$, відносну похибку визначаємо за формулою (10):

$$\Delta L = \frac{R(\sqrt{E^2 + \text{tg}^2 \alpha} - \text{tg } \alpha)}{\text{tg } \alpha} \quad (10)$$

де ΔL – відносна похибка, м; R – радіус крони зі сторони, де визначається відносна похибка, м; E – ексцентриситет еліпса, м; α – нахил сонця у zenіті, град.

У випадку, коли $E > \text{tg } \alpha$, то відносна похибка довжини тіні обчислюється за формулою (11):

$$\Delta L = \frac{R(\sqrt{E^2 + \text{tg}^2 \alpha} - E)}{\text{tg } \alpha} \quad (11)$$

Для випадку, коли $E = \text{tg } \alpha$, отримуємо максимальне значення ΔL :

$$\Delta L = R(\sqrt{2} - 1) \approx R \times 0,41 \quad (12)$$

Відстань від окоренку до основи тіні крони визначаємо за формулою (13):

$$L_{\text{основи тіні}} = \frac{h}{\text{tg } \alpha} - R_1 - \Delta L_1 \quad (13)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; h – висота дерева до найширшої частини крони, м; α – нахил сонця у zenіті, град.; ΔL_1 – відносна похибка довжини тіні з південної сторони, м.

Відстань від окоренку до вершини тіні крони визначаємо за формулою (14):

$$L_{\text{вершина тіні}} = \frac{h}{\text{tg } \alpha} + R_2 + \Delta L_2 \quad (14)$$

де h – висота дерева до найширшої частини крони, м; R_2 – радіус крони з північної сторони, м; α – нахил сонця у zenіті, град.; ΔL_2 – відносна похибка довжини тіні з північної сторони, м.

Довжина тіні крони шатроподібної форми (рис. 6) обчислюється за формулою (15).

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + R_2 + \Delta L_1 \quad (15)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; R_2 – радіус крони з північної сторони, м; ΔL_1 – відносна похибка довжини тіні з південної сторони, м.

Відстань від основи стовбура до основи тіні вираховуємо за формулою (13), де h – висота дерева, м.

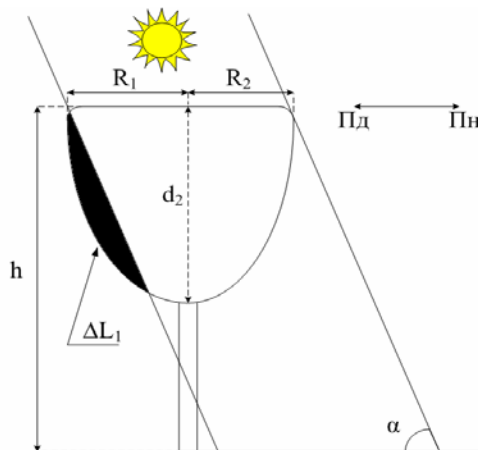


Рис. 6 – Схема вимірювання тіні крони шатроподібної форми

Для визначення відстані від основи стовбура до вершини тіні крони застосовуємо формулу (7), де h – висота дерева, м.

Довжина тіні крони еліпсоподібної форми (рис. 7) визначаємо за формулою (16):

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + \frac{h - h_1}{\text{tg } \alpha} + \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (16)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони, м; ΔL_1 – відносна похибка довжини тіні з південної сторони, м; ΔL_2 – відносна похибка довжини тіні з північної сторони, м; α – нахил сонця у зеніті, град.; h – висота дерева, м; h_1 – висота до нижньої найширшої частини крони, м.

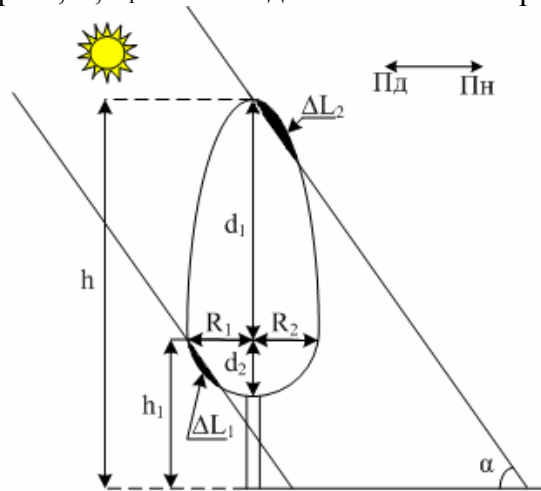


Рис. 7 – Схема вимірювання тіні крони еліпсоподібної форми

Для визначення ΔL використовуємо формули (9 – 12) залежно від значення E .

Відстань від окоренку до основи тіні крони визначаємо за формулою (13), де h – висота до нижньої найширшої частини крони (м), а відстань до вершини тіні крони за формулою (17):

$$L_{\text{вершина тіні}} = \frac{h}{\text{tg } \alpha} + \Delta L_2 \quad (17)$$

де h – висота дерева, м; α – нахил сонця у зеніті, град.; ΔL_2 – відносна похибка довжини тіні з північної сторони, м.

Довжина тіні крони циліндричної форми (рис. 8) визначаємо за формулою (18):

$$L_{\text{тіні крони}} = R_1 + \frac{h-h_1}{\text{tg}\alpha} + R_2 + \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (18)$$

де R_1 – радіус крони з південної сторони (м); R_2 – радіус крони з північної сторони (м); ΔL_1 – відносна похибка довжини тіні з південної сторони(м); ΔL_2 – відносна похибка довжини тіні з північної сторони(м); α – нахил сонця у zenіті (град.); h – висота дерева до верхньої найширшої частини крони (м); h_1 – висота до нижньої найширшої частини крони (м).

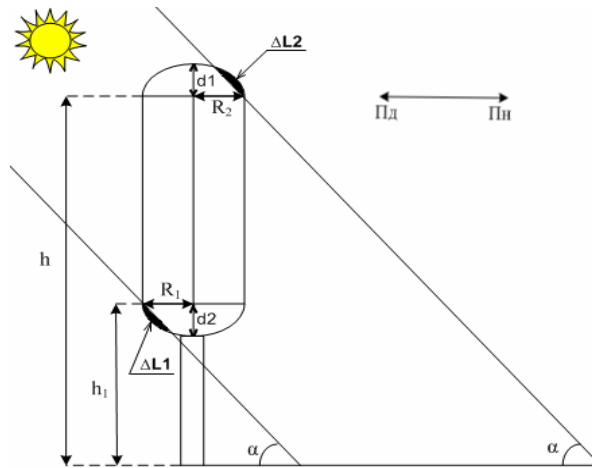


Рис. 8 Циліндрична форма

Для визначення ΔL використовуємо формули (9 – 12), залежно від значення E .

Відстань від окоренку до основи тіні крони визначаємо за формулою (13), де h – висота до нижньої найширшої частини крони (м), а відстань до вершини тіні крони за формулою (14), де h – висота дерева до верхньої найширшої частини крони (м).

Для застосування довжини тіні дерев при плануванні лісгосподарських заходів зі сприяння природному поновленню, поява та збереженість якого значною мірою залежить від ступеню затінення навколишніми деревами, слід застосовувати формули (5, 7, 14, 17). Їх також можна застосовувати при плануванні лісгосподарських заходів, визначенні впливу стіни або куліси деревостану на формування природного поновлення або ріст лісових культур. У цьому разі величиною h в цих формулах буде середня висота куліси або стіни деревостану. Площа тіні від куліси або стіни деревостану визначається за площею прямокутника[1]:

$$S = ac \quad (19)$$

де a – ширина куліси або стіни деревостану, м; c – довжина до вершини тіні крони дерева середньої висоти у кулісі або стіні деревостану, м.

Для визначення загальної площі тіні дерева потрібно до площі тіні крони додати площу тіні стовбура, яка вираховується за формулою (19), де a – діаметр дерева, м, а c – довжина до основи тіні крони, м (формули 4 та 13).

Залежність кута сонця від світлового часу дня [1, 14, 16, 17] розрахована за формулою (20):

$$\sin \alpha = \left(\sin\left(\frac{\pi}{12}(t-6)\right) \sin\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right) + \text{tg}\varepsilon \sin \varphi \right) \cos \varepsilon \quad (20)$$

де α – нахил сонця у zenіті, град.; t – місцевий час, години (наприклад, для Харкова $t = t_{\text{Київське}} + 0,25$ год.); φ – широта; ε – нахил сонця, град. (за даними NASA) [25].

Якщо $\sin \alpha < 0$, то сонце за горизонтом. Формула не враховує рефракцію сонячних променів в атмосфері. Далі, для визначення довжини тіні, залежно від часу доби, підставляємо значення $\sin \alpha$ у формулу (21):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} \quad (21)$$

Розраховуючи площу тіні, довжину тіні крони та довжину тіні загалом для іншого часу доби, окрім полудня, для різних форм крон, визначаємо R_1 як радіус крони в напрямку сонця, а R_2 – у протилежному напрямку. Відповідно до R_1 та R_2 розраховуємо ΔL_1 та ΔL_2 , а ширину крони беремо в перпендикулярному напрямку до довжини тіні крони.

Визначити азимут сонця за координатами місцевості, датою та часом можна на сайті [24] або за таблицями азимутів сонця (табл. 182 – 189) [15].

При плануванні лісогосподарських заходів, де необхідно визначити ступінь затінення площі кронами дерев, бажано вести розрахунок для полудня найспекотнішого місяця певного регіону, оскільки вплив сонячного випромінювання в цей період є найбільшим.

Висновки. Розроблено методику для визначення загальної довжини тіней дерев, довжини та площі тіні крон дерев основних геометричних форм залежно від часу доби та пори року. Цю методику доцільно використовувати в лісівничих дослідженнях для визначення впливу затінення на процеси природного і штучного відновлення лісу та прогнозування розвитку і формування лісостанів. Формули для визначення параметрів тіней крон дерев можна застосовувати при плануванні лісогосподарських заходів з реконструкції, лісовідновлення та переформування лісостанів.

Автор висловлює подяку канд. фіз.-мат. наук С. В. Панасенку, старшому науковому співробітнику Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за консультації й допомогу при підготовці рукопису статті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Александров А. Д., Нецветаев Н. Ю. Геометрия. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2010. – 624 с.
2. Бельгард А. Л. Степное лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 336 с.
3. Ведмедь Н. М. Реконструкция малоценных молодняков коридорным способом в дубравах Левобережной Лесостепи Украины: Дисс. ... канд. с.-х. наук. – Х.: УкрНИИЛХА, 1997. – С. 51 – 66.
4. Высшая математика. Краткий курс. – М.: Окей-книга, 2009. – 224 с.
5. Врядий Н.И. Пристепные боры Украины и способы создания в них лесных культур: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / УкрНИИЛХА. – Харьков, 1962. – 31 с.
6. Георгиевский Н. П., Краснов М. А., Нестеров В. Г. Бузулукский бор. Возобновление сосны и практические мероприятия по лесному хозяйству. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1950. – С. 3 – 97.
7. Гончар М. Т. Биологические группы подроста в сосновых лесах юга Лесостепи // Записки Харьковского сельскохозяйственного института. – 1957. – Том XVI. – С. 117 – 133.
8. Ільків І. С. Оцінка форми та параметрів крон дерев. – Львів: УкрДЛТУ, 1997. – 25 с.
9. Крыжановский К. В. Расчет ширины коридоров при осветлении дубовых культур // Бюллетень научно-технической информации ВНИИЛМ. – 1957. – Вып. 2 – 3. – С. 16 – 18.
10. Локтев О. В. Краткий курс начертательной геометрии. – М.: Высшая школа, 2010. – 136 с.
11. Мякушко В. К. Сосновые леса равнинной части УССР. – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с.
12. Пасачофф Дж. М. Солнце. – М.: АСТ Астрель, 2008. – 356 с.
13. Пасачофф Дж. М. Занимательная астрономия. Все тайны нашей звезды – Солнца. – М.: АСТ Астрель, 2008. – 340 с.
14. Солнечно-земная физика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 488 с.
15. Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 853 с.
16. Шингарева К. Б., Кранопевцева Б. В. Солнечная система. Астрономия. Атлас. – М.: Дрофа, ДИК, 2008. – 48 с.
17. Ридпат Ян. Астрономия. Полная энциклопедия. – М.: АСТ, Астрель, 2007. – 300 с.
18. Dai X. Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden // For. Ecol. Manage. – 1996. – №84. – P. 187 – 197.

19. Duncan D. P. A study of some of the factors affecting the natural regeneration of tamarack (*Larix laricina*) in Minnesota // Ecology. – 1954. – № 35. – P. 498 – 521.
20. Fairbairn W. A., Neustein S. A. Study of response of certain coniferous species to light intensity // Forestry. – 1970. – № 43. – P. 57 – 71.
21. Kramer P. J. Photosynthesis of trees as affected by their environment // The Physiology of Forest Trees /Thimann K. V. (Ed.). – Ronald Press, New York, 1958. – P. 157 – 186.
22. Lieffers V. J., Stadt K. J. Growth of understory *Picea glauca*, *Calamagrostis canadensis*, and *Epilobium angustifolium* in relation to overstory light transmission // Can. J. For. Res. – 1994. – № 24. – P. 1193 – 1198.
23. Patten D. T. Light and temperature influence on Engelmann spruce seed germination and subalpine forest advance // Ecology. – 1963. – № 44. – P. 817 – 818.
24. <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php>
25. <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/TYPE/TYPE.html>

Пonomarev O. A.

TO THE PROCEDURE OF IDENTIFYING THE AREA AND DISTRIBUTION OF THE SHADE FROM TREE'S CROWNS TO BE USED IN SILVICULTURAL RESEARCH

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

Methods for calculating the area and the disposition of crowns of shaded trees depending on their shape, time of the day and season have been suggested. These methods can be practically used in research associated with the study into natural regeneration processes as well as for substantiating forestry operations.

Key words: shade, crown, midday shade cone, natural regeneration.

Пономарёв О. А.

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕНИ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агро-мелиорации им. Г. Н. Высоцкого

Предложена методика расчёта площади и размещения теней кроны деревьев в зависимости от их форм, времени суток и сезона, которую можно использовать в исследованиях, связанных с изучением процессов естественного возобновления, а также при обосновании лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: тень, крона, конус полуденной тени, естественное возобновление.

Одержано редколегією 7.10.2010 р.