

9. Warren S. D., Holbrook S. W., Dale D. A., Whelan N. L., Elyn M., Grimm W., Jentsch A. Biodiversity and the heterogeneous disturbance regime on military training lands. *Restor. Ecol.* 2007. 15(4). P. 606–612.

10. Gleditsch N.P. Armed Conflict and the Environment. In: Nils Petter Gleditsch: Pioneer in the Analysis of War and Peace. SpringerBriefs on Pioneers in Science and Practice. 2015. Vol 29. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03820-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03820-9_6)

11. Vasyliuk O. V., Nekrasova O. D., Shyriaieva D. V., Kolomytsev G. O. A Review of Major Impact Factors of Hostilities Influencing Biodiversity in the Eastern Ukraine (Modeled on Selected Animal Species). *Vestnik zoologii.* 2015. 49(2). P. 145–158. doi: 10.1515/vzoo-2015-0016

12. Mykhnenko V. Causes and Consequences of the War in Eastern Ukraine: An Economic Geography Perspective. *Europe-Asia Studies.* 2020. 72:3. P. 528–560. doi: 10.1080/09668136.2019.1684447

13. Medvedieva M. O., Korotkyi T. R. Responsibility for the environmental damage caused during the armed conflict between Ukraine and the Russian Federation: opportunities in the algorithm of protecting national interests. *Actual problems of international relations, Release.* 2019. 139. P. 57–67.

14. Про затвердження Методики розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 13.04.2022 р. № 175. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text>

15. Зафіксовані події / Державна екологічна інспекція України. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/2226>

УДК 551.5:634.958

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.36>

## ОСОБЛИВОСТІ РАДІАЦІЙНОГО БАЛАНСУ НА СХИЛАХ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ І В СИСТЕМІ ЛІСОВИХ СМУГ

**Зубов О.Р.** – д.с.-г.н., професор

**Зубов А.О.** – к.т.н., докторант,

Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України

Стаття присвячена розвитку методичних підходів визначення відмінностей радіаційного балансу на крутих схилах техногенних і природних об'єктів та на окремих ділянках сільськогосподарських угідь під впливом лісових смуг. Як об'єкти дослідження використано модельний відвал круглої у плані форми з плоскою вершиною і укосами заданої крутизни та модель системи лісових смуг заввишки  $H$ ,  $m$  із змінною міжсмуговою відстанню, як предмет дослідження – відмінності інсоляції на відвальних схилах різних експозицій та в зонах різної віддаленості від лісових смуг різного напрямку протягом вегетаційного періоду. Показано розроблену методику визначення відносної інсоляції на крутих схилах різних експозицій, яка дозволяє, змінюючи вихідні параметри, такі як крутість схилу, висоту сонця і азимут напрямку на нього, визначати широтні та часові відміни інсоляції. Методика заснована на алгоритмі, розгорнутому в програмі Excel з використанням запропонованих авторами формул та актинометричних вимірювань і враховує цюгодинну

зміну основи радіаційного балансу – прямої радіації залежно від висоти сонця. Отримано графіки, що детально характеризують зміну інсоляції схилів крутістю  $35^\circ$  залежно від їх експозиції, години дня та місяця вегетаційного сезону. Розроблено методику визначення довжини тіні за лісосмугами різних напрямків протягом дня та сезону. Визначено, що найбільша середня за день ширина зони затінення спостерігається поблизу лісосмуг меридіонального напрямку і змінюється на широті  $48^\circ$  від  $3,3H$  у квітні до  $1,3H$  у червні, найменша властива для лісосмуг широтного напрямку і варіює від  $1H$  до  $0,4H$  відповідно. Запропоновано методичний підхід, який дозволяє оцінювати зменшення інсоляції, осередненої за шириною простору між лісосмугами з урахуванням зміни довжини тіні та частки прямої радіації. Розглянуто вплив лісосмуг на врожайність. Показано, що, незважаючи на відносне зниження урожайності на відстані  $1H$  від лісосмуг, тут теж спостерігається прибавка урожаю порівняно з контролем, а прибавка урожаю в зоні активного впливу лісових смуг – від 2 до  $10H$  багаторазово компенсує можливий недобір продукції в зоні до  $1H$ .

**Ключові слова:** породний відвал, крутий схил, лісорослини умови, лісова смуга, затінення, зона пригнічення, прибавка урожаю.

**Zubov O.R., Zubov A.O. Features of radiation balance on the slopes of waste heaps and in the system of forest belts**

The article is devoted to the development of methodological approaches for determining the differences in the radiation balance on the steep slopes of technogenic and natural objects and on individual plots of agricultural land under the influence of forest belts. As objects of study, a model dump of a round shape with a flat top and slopes of a given steepness and a model of a system of forest belts with a height of  $H$ , m with a variable inter-lane distance were used, as a subject of study – differences in insolation on dump slopes of various exposures and in zones of stripes of different directions during the growing season. The developed method for determining the relative insolation on steep slopes of various exposures is shown, which allows us, by changing the initial parameters, such as the steepness of the slope, the latitude features of the sun's height and the azimuth of the direction to the sun, to determine the latitudinal and temporal differences in insolation. The technique is based on an algorithm presented in Excel using the formulas and actinometric measurements proposed by the authors and takes into account the hourly change in the basis of the radiation balance – direct radiation depending on the height of the sun. Graphs have been obtained that characterize in detail the change in insolation of slopes with a steepness of  $35^\circ$  depending on their exposure, hour of the day and month of the growing season. A technique has been developed for determining the length of the shadow from forest belts in different directions during the day and season. The largest daily average width of the shading zone takes place near the forest belts of the meridional direction – from  $3.3H$  in April to  $1.3H$  in June at a latitude of  $48^\circ$ , the smallest near the forest belts of the latitudinal direction – from  $1H$  to  $0.4H$ , respectively. A methodological approach has been proposed that makes it possible to estimate the decrease in insolation averaged over the width of the space between forest belts, taking into account changes in the length of the shadow and the hourly fraction of direct radiation. The influence of forest belts on productivity is considered. It is shown that despite the decrease in yield at a distance of  $1H$  from the forest belts, there is also an increase in yield relative to the control, and an increase in yield in the zone of active influence of forest belts – from 2 to  $10H$ , repeatedly compensates for the possible shortage of products in the zone from 0 to  $1H$ .

**Key words:** waste heap, steep slope, forest conditions, forest belt, shading, suppression zone, yield increase.

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших екологічних проблем, що обмежують продовольчу безпеку, в Україні є деградація ґрунтового покриву внаслідок водної та вітрової ерозії, забруднення важкими металами та іншими небезпечними речовинами. Одним із основних факторів забруднення ґрунтів та навколишнього середовища в цілому є породні відвали, що накопичені в результаті діяльності численних підприємств гірничодобувного комплексу, у тому числі понад 1300 відвалів шахт Львівсько-Волинського та Донецького кам'яновугільних басейнів. Протистояти обом проявам деградації ґрунтів можна лісомеліоративними заходами – створенням на відвалах суцільних лісонасаджень, а на полях – системи захисних лісових смуг. Однак, згідно з [1] протягом 1995–2016 рр. тільки у Херсонській області знищено 3250 га лісосмуг – найбільше в Україні.

Про незадовільний стан лісових смуг, зокрема у Голопристанському районі цієї області, свідчить аналіз, виконаний у [2].

При залісенні відвалів і природних крутосхилів з їх жорсткими лісорослинними умовами важливий ретельний підбір деревних культур з урахуванням аналізу цих умов, які багато в чому залежать від відмінностей радіаційного балансу. Для зміни ситуації з лісовими смугами важлива роз'яснювальна робота про їхню меліоративну роль і боротьба з помилковими думками, що іноді зустрічаються у населення, про негативну роль лісосмуг, пов'язану з вилученням під них частини земель і затіненням ними частини поля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У літературі є ряд робіт, присвячених радіаційному балансу горизонтальних та похилих поверхонь, в основному у зв'язку з вибором оптимального куту нахилу сонячних панелей, зокрема [3]. До публікацій останніх років, присвячених меліоративній ролі лісових смуг, їх впливу на вітер, сніговідкладення та врожайність с.-г. культур можна віднести роботи [4, 5, 6, 7, 8]. У попередні роки в результаті 2 тисяч спостережень, виконаних в Україні, встановлено, що під захистом лісових смуг середнє збільшення врожаю озимої пшениці становить 3,6 ц/га або 12,6%, цукрових буряків 59 ц/га або 18,3%, зеленої маси кукурудзи 39 ц/га чи 21,5% тощо [9]. Однак у ряді робіт, зокрема [5], відзначається зниження врожайності у зоні, кратній до 1,5 висот  $H$  лісових смуг, названої авторами зоною депресії, а у роботі [10], посилюючись на вітчизняні та зарубіжні джерела, – зоною пригнічення сільськогосподарських культур або депресивною зоною, зоною конкуренції (*competition zone*). Основною причиною пригнічення прийнято вважати затінення частини поля біля лісових смуг, однак називаються й інші причини, зокрема бічне розростання кореневої системи дерев [11], весняне перезволоження внаслідок надмірного накопичення снігу, ущільнення ґрунту [12]. Зниження врожайності поблизу лісових смуг зазначено й у праці [13].

**Постановка завдання.** *Мета дослідження* – розвиток та перевірка методичних підходів визначення відмінностей радіаційного балансу на крутих схилах техногенних і природних об'єктів різної експозиції та на окремих ділянках полів під впливом лісових смуг. Як *об'єкти дослідження* використано модель відвалу круглої у плані форми з плоскою вершиною і укосами крутістю  $35^\circ$  та модель системи лісових смуг заввишки  $H$ , м із змінною міжсмуговою відстанню, як *предмет дослідження* – відмінності інсоляції на відвальних схилах різних експозицій та в зонах різної віддаленості від лісових смуг різного напрямку протягом вегетаційного періоду.

**Виклад основного матеріалу.** Як відомо, радіаційний баланс території або її ділянки складається з різниці прибуткових та видаткових статей як короткохвильового сонячного випромінювання, так і довгохвильового (теплого) випромінювання підстильної поверхні та атмосфери [14]. Основою радіаційного балансу є пряма радіація  $S$ , яка на верхній межі атмосфери в середньому дорівнює  $1,37 \text{ кВт/м}^2$  (т. зв. *сонячна стала*). Ще в стратосфері Землі сонячна радіація, на благо для всього живого, послаблюється за рахунок поглинання озonom частини спектру з довжиною хвилі  $\lambda < 0,3 \text{ мкм}$  [14], у тропосфері пряма радіація частково розсіюється молекулами газів, а частково поглинається частинками аерозолу та її хмарними елементами. Ослаблення прямої радіації залежить як від забрудненості повітря, так і від довжини її шляху в атмосфері, яка залежить від кута нахилу променів до горизонтальної поверхні (т. зв. *висоти сонця  $H_s$* ), що, на жаль, не завжди враховується дослідниками. Від висоти сонця залежить і частка прямої радіації,

що припадає на одиницю площі горизонтальної поверхні – інсоляція  $S'$ , яка дорівнює добутку  $S$  на  $\sin H_c$ . (1)

Виходячи з вищесказаного, при оцінці відмінностей радіаційного балансу на схилах і в різних частинах полів нашу увагу було зосереджено на прямій радіації. Використовували теоретичні розрахунки та вимірювання радіації за допомогою піранометру і мультиметру, як показано у праці [3].

При приході прямої радіації на похилу поверхню інсоляція виражається, на відміну від (1), наступним рівнянням:

$$S' = S \cdot \sin \varphi, \quad (2)$$

де  $S$  – пряма радіація, Вт/м<sup>2</sup>,  $\varphi$  – кут падіння сонячних променів на освітлювану ними поверхню, град. (рис. 1).

Для горизонтальної поверхні  $\varphi$  дорівнює висоті сонця  $H_c$ . Для визначення  $\varphi$  на похилій поверхні була запропонована така формула:

$$\varphi = H_c \pm \arctg(\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \Delta A), \quad (3)$$

де  $\Delta A = A_c - A_e$  – кут між напрямком на сонці та напрямом найбільшого падіння схилу;  $A_c$  – азимут напрямку на сонце;  $A_e$  – азимут напрямку найбільшого падіння схилу (експозиції схилу);  $\alpha$  – кут нахилу схилу; при  $\alpha = 35^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = 0,70$ .

Зміна висоти та азимуту сонця за годинами й місяцями (на 15-те число, а у червні – на 10-те) для точки з координатами  $48^\circ$  пн. ш. та  $39^\circ$  сх. д., що знаходиться в центрі Донецького кам'яновугільного басейну, показана на діаграмах, які складені за допомогою *on-line* калькулятору [15] (рис. 2).

Запропонований авторський метод розрахунку інсоляції схилів передбачає складання в програмі Excel таблиці, в яку для кожної години від  $6^{00}$  до  $19^{00}$  та для основних напрямків схилу, що характеризуються румбами: Пн, ПнСх, Сх, ПдСх, Пд, ПдЗх, Зх і ПнЗх або азимутами  $A_c = 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270$  і  $315^\circ$  було внесено знайдені значення  $A_c$  і  $H_c$ .

Максимальне річне значення  $H_c$  приймає 22 червня – у день літнього сонцестояння. Середнє червнєве полуденне значення, як показав розрахунок, посідає 10 червня. Кути  $\Delta A$  в інтервалі  $-90 \dots 0 \dots +90^\circ$  відповідають зверненій до сонця половині бічної поверхні відвалу, тому значення  $\varphi$ , одержувані для цього інтервалу  $\geq H_c$ . Кути  $\Delta A$  в інтервалах  $90 \dots 180^\circ$  та  $180 \dots 270^\circ$  є характерними для половини поверхні відвалу, зверненої у бік від сонця, тому значення  $\varphi$  для цього інтервалу  $\leq H_c$ .

Визначивши значення  $\Delta A$ , знаходимо їх косинуси та розраховуємо  $\varphi$ . За відношенням  $\sin \varphi$  до  $\sin H_c$  визначаємо коефіцієнт інсоляції  $K_s$  – відношення інсоляції у певний момент часу на схилі до інсоляції на горизонтальній поверхні.

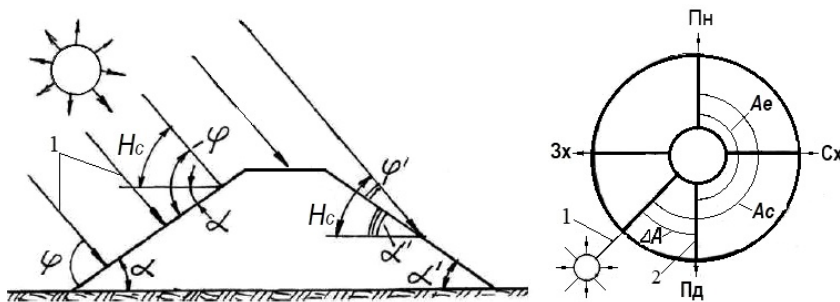


Рис. 1. Схема визначення кута падіння сонячних променів на укоси відвалів у фронтальній проекції (ліворуч) та в плані (праворуч):  
1 – напрямок променів; 2 – задана лінія схилу

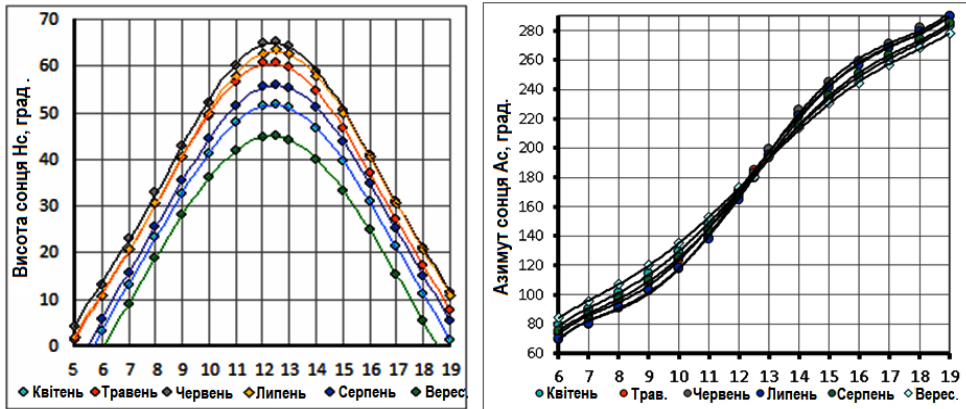


Рис. 2. Зміна висоти сонця  $H_c$  та азимуту напрямку на сонце  $A_c$  протягом дня різних місяців вегетаційного сезону

Встановили, що коефіцієнт  $K_s$  варіює від 0 до 3,5 і вище. Найвищі значення  $K_s$  приймає у часи з «низьким сонцем», коли пряма радіація послаблюється найбільше. Тому робити висновок про відмінності в інсолюванні схилів на підставі  $K_s$  не можна.

Дослідження, проведені з використанням піранометра у поєднанні з дифузором, що відсікає розсіяну радіацію, дозволили отримати та встановити зв'язок прямої радіації  $S$  з висотою сонця  $H_c$  в змінних умовах прозорості атмосфери (рис. 3, ліворуч) та рівняння залежності  $S$  (у мілівольтах) від  $H_c$ :

$$S = 3,065 \cdot \ln(H_c) - 4,15 \quad (6).$$

Щоб не переводити мВ у Вт/м<sup>2</sup>, обмежилися відносною оцінкою прямої радіації – коефіцієнтом  $K_s$  (рис. 3, прав.), тобто відношенням показань мультиметра (мВ) при певній  $H_c$  до показань при її максимальному значенні в середньому за червень (65°), яке спостерігається у 12<sup>30</sup>.

Отримане рівняння відносної прямої радіації ( $K_s$ , %) має вигляд:

$$K_s = 0,3544 \cdot \ln(H_c) - 0,48 \quad (7).$$

За рівнянням (7) визначили значення відносної прямої радіації для висот сонця  $H_c$  у різні години дня. За ними, використовуючи формулу  $S'_\phi = 100 \cdot K_s \cdot \sin\phi$ , визначили значення відносної інсоляції  $S'_\phi$  у різні години червневого дня на схилах різних експозицій, а за формулою:  $S'_{H_c} = 100 \cdot K_s \cdot \sin H_c$  – значення відносної інсоляції  $S'_{H_c}$  на плато (рис. 4).

Як засвідчили розрахунки, на схилах південних експозицій між лініями з азимутами  $A_c = 120^\circ$  (ПдСхСх) і  $230^\circ$  (ПдЗхЗх) денна інсоляція вище 100%, тобто вище, ніж на плато. Інсоляція північної частини поверхні відвалу між румбами ПнЗх і ПнСх нижче, ніж на плато понад 20%.

Для повнішої характеристики виконано помісячну оцінку інсоляції схилів. Розраховували середньомісячні денні значення інсоляції з квітня по вересень на широті 48°, виражені у % від середньочервневої інсоляції, а потім, прийнявши середню за вегетаційний період денну інсоляцію на горизонтальній поверхні за 100%, оцінили відмінності у різні місяці (табл. 1).

Розрахунок показав, що схили можуть інсолюватися краще за плато у всі місяці, але в певних межах експозиції  $A_c$ : у квітні від 97° до 262°, у серпні від 100°



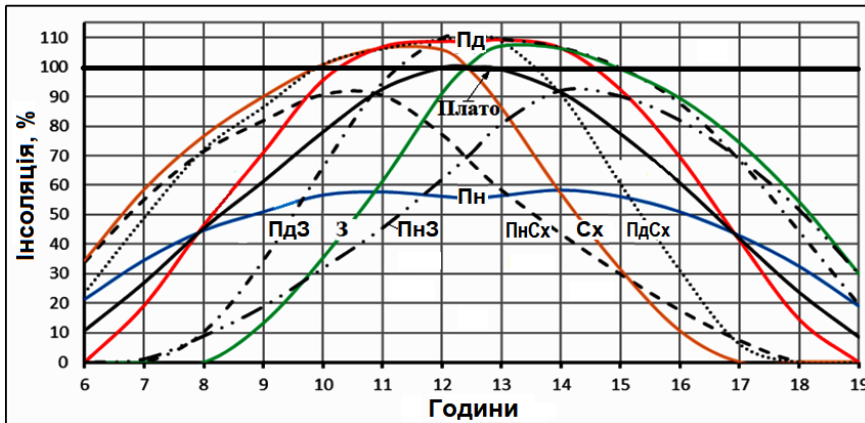


Рис. 4. Зміна інсоляції схилів різної експозиції та плато відвалу протягом червневого дня (у % до інсоляції на плато відповіді)

Таблиця 1

**Відношення інсоляції схилів різної експозиції та плато (у %) до середньої інсоляції горизонтальної поверхні з квітня по вересень**

Місяці	Експозиція								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Плато
Квітень	43,1	57,0	83,6	101,9	114,4	104,7	84,1	59,5	86,6
Травень	78,3	85,0	104,2	119,7	126,9	121,1	105,6	86,4	111,4
Червень	95,6	98,7	113,7	126,9	132,2	127,6	114,6	99,8	123,2
Липень	84,3	90,3	105,6	117,4	122,5	117,2	103,1	87,5	111,6
Серпень	56,7	69,9	94,0	112,6	123,2	112,6	93,8	69,7	98,2
Вересень	19,9	39,8	68,8	88,5	101,7	90,8	68,3	39,4	69,0
Середнє	63,0	73,5	95,0	111,2	120,2	112,3	94,9	73,7	100,0

до 260°, у травні від 110° до 250°, у липні від 114° до 245°, у червні від 120 до 245°, у вересні – при  $A_c$  від 90 до 265°.

Встановлено, що на північних схилах з експозицією від ПнЗх до ПнСх ( $A_c < 40^\circ$  і  $A_c > 315^\circ$ ) надходження сонячної радіації таке ж, як за Полярним колом ( $>66,5^\circ$  пн. ш.). На схилах з експозицією ПнСх і Сх, Зх і ПнЗх ( $45^\circ < A_c < 110^\circ$  і  $250^\circ < A_c < 315^\circ$ ) інсольованість нижче, ніж на широті 48°. На південному схилі інсольованість досягає субтропічних значень. У червні та липні тут вона набуває значення, якого немає на горизонтальних ділянках Землі навіть на Північному тропіці ( $23^\circ 07'$  пн. ш.).

Для з'ясування особливостей формування затінення за лісовими смугами (ЛС) складено інший алгоритм, також реалізований у таблиці Excel. Як і в першому випадку, до неї для кожного місяця та кожної години з 6<sup>00</sup> до 19<sup>00</sup> внесли висоту сонця  $H_c$  та його азимут  $A_c$ , азимут напрямку лісової смуги  $A_{лс}$ . Розглядалися ЛС, орієнтовані у напрямках з півдня на північ ( $A_{лс} = 0^\circ$ ) та з заходу на схід ( $A_{лс} = 90^\circ$ ), які є характерними відповідно для основних і допоміжних лісових смуг в посушливих та дефляційно-небезпечних умовах південного степу; а також у проміжних напрямках: з південного заходу на північний схід ( $A_{лс} = 45^\circ$ ) та з північного заходу на південний схід ( $A_{лс} = 135^\circ$ ).

За формулою  $\Delta A = A_c - A_{\text{лс}}$  знаходили кут між лісосмугою та напрямком на сонце. Для можливості розрахунків в Excel всі кути переводили з градусів у радіани шляхом поділу на  $57,3^\circ$ .

За формулою  $L_T = \text{ctg} H_c$  знаходили щогодинну довжину вектору тіні у напрямку сонячних променів, виражену у висотах лісової смуги  $H$ . За формулою  $L_{T90} = L_T \sin \Delta A$  визначали проекцію вектора  $L_T$  на нормаль до лісової смуги, тобто ширину зони затінення  $L_{T90}$ . Слід зазначити, що при варіюванні  $\Delta A$  від  $0$  до  $180^\circ$  його синус  $\geq 0$ , а при  $\Delta A = 180^\circ \dots 360^\circ \sin \Delta A \leq 0$ . Відповідно і розрахована ширина  $L_{T90}$  може мати як знак «+», так і «-», що означає розташування тіні з того чи іншого боку лісової смуги (рис. 5).

Як бачимо, тінь від основних лісосмуг з  $6^{00}$  до  $12^{00}$  в червні спрямована на захід, а ширина зони затінення знижується від  $4H$  до  $0$ , з  $12^{00}$  до  $19^{00}$  тінь зростає від  $0$  до  $4,6H$ , але вже на схід. Шляхом поділу суми щогодинних значень  $L_{T90}$  з  $6^{00}$  до  $12^{00}$  на 6 годин, знайшли середню ширину тіні на захід від лісосмуги за цей інтервал часу –  $1,34H$ . А поділом цієї суми на 13 годин знайшли умовну середню ширину затіненої зони за весь день  $L_{T\Sigma} = 0,62H$ .

Середня ширина зони затінення на схід за другий інтервал часу (з  $12^{00}$  до  $19^{00}$ ) та за весь день відповідно дорівнюють  $1,27H$  і  $0,68H$ . Отже сумарна середня ширина зони затіненості  $L_{T\Sigma}$  за день складає  $1,3H$ . Для допоміжних лісосмуг з  $6^{00}$  до  $8^{00}$  і після  $17^{00}$  південна частина не освітлюється, середня ширина цієї зони за 4 та 13 годин відповідно дорівнює  $0,65$  і  $0,2H$ . З  $8^{00}$  до  $17^{00}$  затінюється північна частина поля, середня ширина зони затінення за цей період  $0,33H$ , за весь день –  $0,23H$ . Отже в сумі ширина зони затінення  $L_{T\Sigma}$  за весь день складає  $0,56H$ .

Для інших місяців характерні такі ж періоди затінення смуги поля з того чи іншого боку ЛС, але ширина зони затінення різниться (табл. 2) за рахунок зміни середньомісячної висоти сонця (див. рис. 2).

Як бачимо на рис. 5, практично для всіх лісосмуг, окрім з  $A_{\text{лс}} = 90^\circ$ , близько півдня ширина зони затінення найменша, на початку та в кінці дня вона збільшується. Але в ці ж часи зменшується висота сонця та, відповідно, інсоляція. Щоб визначити, як ширина зони затінення фактично впливає на недоотримання сонячної енергії рослинами в середньому на полі, зроблено наступний розрахунок. Визначивши за формулою (7) щогодинні значення інсоляції горизонтальної

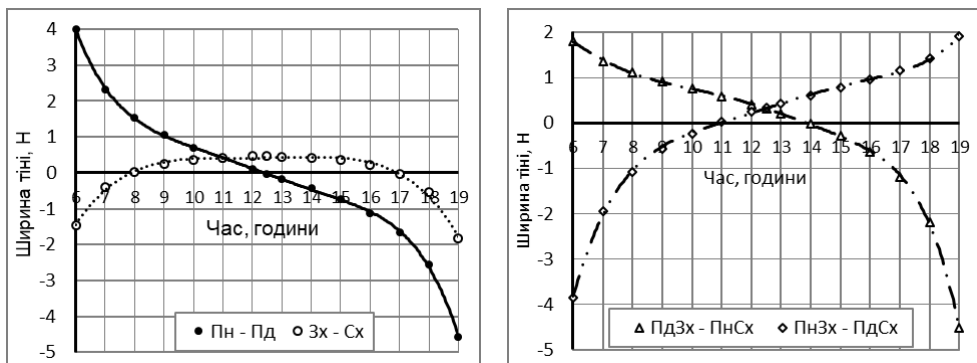


Рис. 5. Зміна ширини зони затінення протягом світлового дня при розташуванні лісових смуг з півдня на північ і з заходу на схід (ліворуч) та з півдня-заходу на північ-схід і з півночі-заходу на південь-схід (прав.)

Таблиця 2

**Зміна середньої ширини зон затінення з обох боків лісосмуг різного напрямку та їх суми за місяцями вегетаційного періоду**

$A_{лс}$	Періоди дня, год.	Румб-тіні	Ширина зони, $H$			Ширина зони, $H$			Ширина зони, $H$		
			За період	За день	Сума $L_{\Sigma}$	За період	За день	Сума $L_{\Sigma}$	За період	За день	Сума $L_{\Sigma}$
			<i>Квітень</i>			<i>Травень</i>			<i>Червень</i>		
0	6–12	Зх	3,0	1,4	3,3	1,5	0,7	1,6	1,3	0,6	1,3
	12–19	Сх.	4,9	1,9		1,6	0,9		1,3	0,7	
45	6–14	ПнЗх	1,8	1,1	3,0	0,9	0,6	1,2	0,8	0,5	1,0
	14–19	ПдСх	4,9	1,9		1,7	0,6		1,3	0,5	
90	6–7, 18–19	Пд	3,4	0,5	1,0	0,7	0,2	0,5	0,7	0,2	0,4
	7–18	Пн	0,6	0,5		0,4	0,3		0,3	0,2	
135	6–10	ПдЗх	3,0	1,0	2,7	1,5	0,5	1,2	1,1	0,4	0,9
	11–19	ПнСз	2,4	1,7		0,9	0,7		0,9	0,5	
			<i>Липень</i>			<i>Серпень</i>			<i>Вересень</i>		
0	6–12	Зх	1,5	0,7	1,5	2,2	1,0	2,1	2,6	1,2	2,2
	12–19	Сх.	1,8	0,8		2,0	1,1		2,1	1,0	
45	6–14	ПнЗх	0,9	0,5	1,3	1,3	0,8	1,5	2,0	1,2	1,7
	14–19	ПдСх	2,0	0,8		1,9	0,7		1,6	0,5	
90	6–8, 17–19	Пд	1,0	0,3	0,5	0,7	0,2	0,6	0	0	0,9
	8–17	Пн	0,3	0,2		0,6	0,4		0,9	0,9	
135	6–11	ПдЗх	1,3	0,5	1,1	2,2	0,7	1,3	2,2	0,7	1,7
	11–19	ПнСз	1,0	0,6		1,2	0,6		1,7	1,0	

поверхні, знайшли їх частку від середньої денної інсоляції. Графік зміни годинної частки інсоляції протягом червневого дня (в долях одиниці) показано червоною лінією на рис. 6.

Для визначення розміру недоотриманої енергії визначали частку середньоденної ширини зони затінення  $L_{\Sigma}$  від ширини міжсмугового простору (ширини поля)  $B_{п}$  як відношення  $L_{\Sigma}$  до  $B_{п}$  при відстані між лісосмугами, кратній 20, 40, 80 і 160H, та різних напрямках ЛС. Помножуючи частку зони затінення на годинну частку інсоляції, отримували годинну частку недоотриманої сонячної радіації (інсоляції), розподіленої за шириною поля  $B_{п}$ . Графік зміни недоотримання енергії у відсотках від їх добової суми протягом дня при відстані між ЛС (ширині поля)  $B_{п} = 40H$ , близької до нормативної (35H) показано на рис. 6.

На рис. 7 показано два варіанти номограми визначення частки недоотриманої сонячної енергії (інсоляції) залежно від напрямку лісосмуг та відстані між ними (у відсотках від середньої за червень добової інсоляції). Як бачимо, при відстані між основними лісосмугами 40H недоотримання енергії дорівнює 2,1%; для допоміжних, розташованих через 80H – лише 0,23%.

Наступним кроком стало визначення частки недоотриманої енергії за іншими місяцями при різній відстані між лісосмугами та їх напрямку. Як свідчить гістограма, побудована для  $B_{п} = 40H$  (рис. 8), недоотримання енергії внаслідок



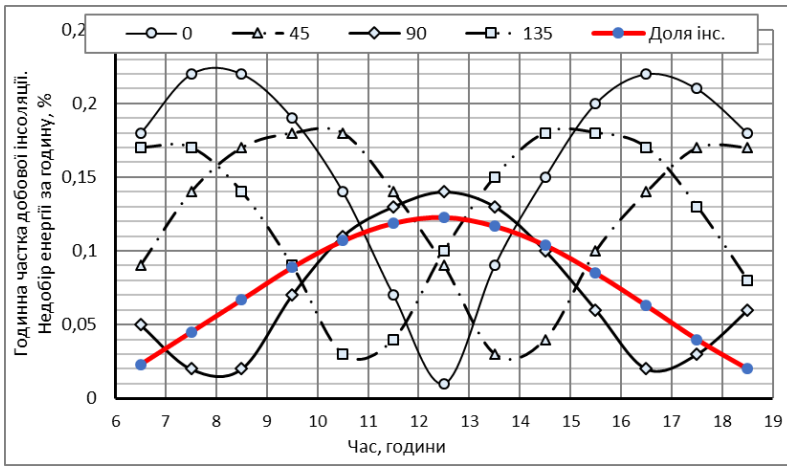


Рис. 6. Зміна годинної частки добової інсоляції та частки недобору сонячної енергії в системах лісових смуг різних напрямків протягом червневого дня

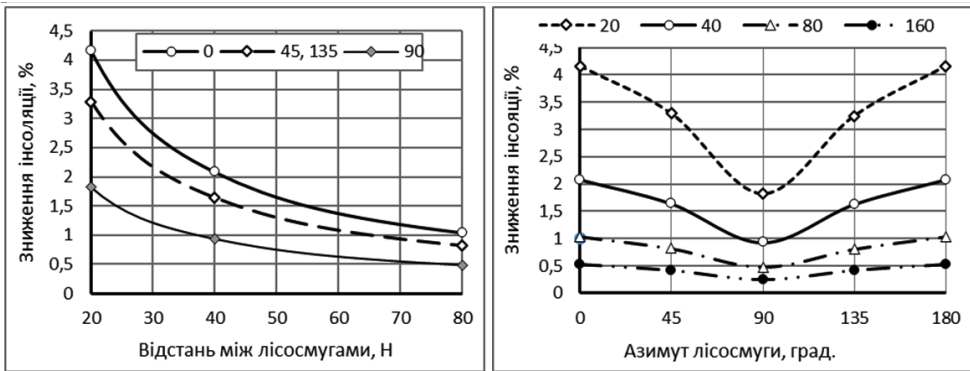


Рис. 7. Залежність недоотримання сонячної енергії через затінення у червні залежно від міжсмугової відстані  $V_{лс}$ ,  $H$  та азимуту напрямку лісової смуги

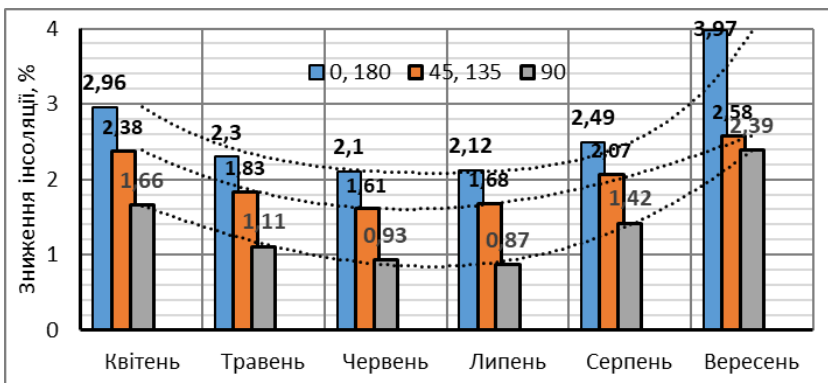


Рис. 8. Зниження середньої інсоляції за місяцями при різному напрямку лісових смуг

сезонного зростання ширини зони затінення збільшується з 2,1% у червні до 3,0 та 2,5% у квітні та серпні.

Як відомо, в умовах степу лімітуючим фактором біопродуктивності є волога, тому недоотримання 2–3% інсоляції, розподілене за шириною поля, навряд чи приведе до такої ж втрати урожаю. Але у зоні затінення умови для його недобору, безперечно, є. Однак певні обставини їх дещо пом'якшують.

По перше, в розрахунках не враховувалася наявність просвітів у кроні лісосмуг ажурної конструкції, через які тінь за ЛС не буде суцільною. Навіть для щільних ЛС ширина зони суцільного затінення буде менше розрахункової через те, що не буде суцільним край тіні, бо промені, спрямовані на верхню частину смуги проходять не через усі її ряди.

Велике значення має те, що як встановлено, затінення поля за лісосмугами відбувається не весь світловий день (див. рис. 5 і табл. 2). Важливо і те, що окрім прямої радіації для рослин має значення й розсіяна радіація. При чистому небі її частка від сумарної радіації вдень складає 20–25%, а на сході та заході сонця, в хмарні дні вона переважає [14].

Як же фактично впливає затіненість на врожай? Це питання розглянуто в роботі [13] на основі аналізу трьох джерел інформації зі зміни урожайності за різної відстані до лісосмуг. Це монографія [16]; результати досліджень Зубова О.Р. у 1983–2002 рр. в лабораторії протиерозійних комплексів (ПЕК) колишнього Інституту захисту ґрунтів від ерозії (УНДіЗГЕ); звіти лабораторії агролісомеліорації (АЛМ) УНДіЗГЕ про НДР, виконані за участю к.с.-г.н. Тарасова В.І. і завідувача цієї лабораторії к.с.-г.н. Шабурова Л.Л.

Розраховані за цими джерелами прибавки урожаю у % до урожаю на контролі (зовні зони меліоративного впливу ЛС) на різній відстані від ЛС різних конструкцій і напрямку зведені у табл. 3).

Осереднені за трьома джерелами результати обробки даних свідчать про нижчу врожайність на відстані 1Н, проте і тут є чимале збільшення урожаю (28% до контролю). Дослідження, виконані у лабораторії ПЕК здійснювалися на полях північної та східної експозиції з різними культурами (ячмінь, озима пшениця на зерно та зелену масу, жито на зерно, еспарцет, горох, суданська трава, злакові багаторічні трави на зелену масу). Кількість облікових створів – 34, зокрема: північ – 25, схід – 3, південь – 3, захід – 3.

Збільшення урожаю показано графічно на рис. 9.

Як бачимо, лише на двох напрямках на відстані 1Н врожайність нижча, ніж на відстані 2Н, проте вона значно вища, ніж на незахищених полях. Ми не маємо кількісних показників впливу лісових смуг ближче 1Н, але в практиці досліджень лабораторії ПЕК є відомості про випадки різкого зниження врожайності в безпосередній близькості від лісових смуг. Вони пояснюються не тільки затіненням

Таблиця 3

### Прибавки урожаю на різній відстані від лісових смуг

Джерело	Відстань від лісової смуги, Н									
	1	2	3,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Монографія [15]	35	28	20	18	11	10	10	7	4	4
Лабораторія АЛМ	10	21	23	22	21	17	14	10	6	2
Лабораторія ПЕК	40	49	42	37	30	22	16	11	7	3
Середнє	28	33	28	26	21	16	13	9	6	3

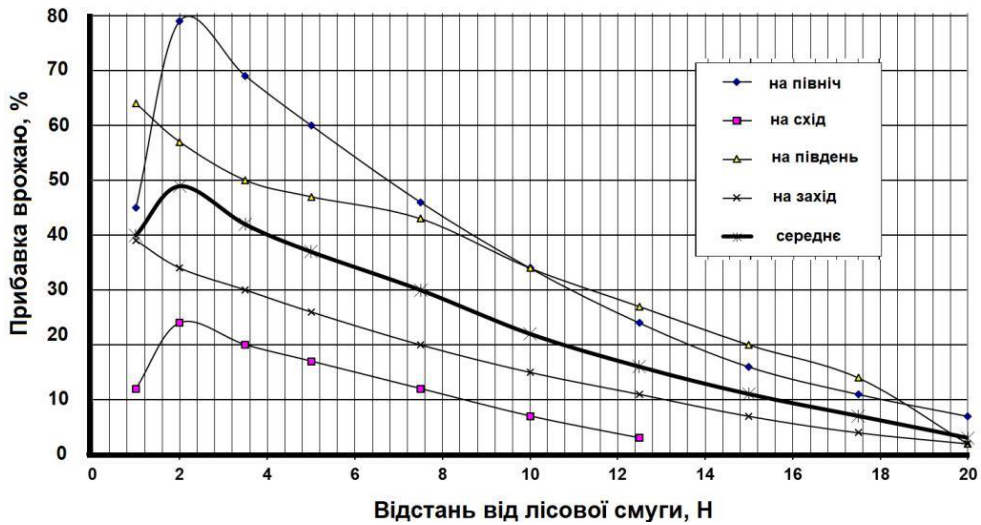


Рис. 9. Графіки зміни прибавки врожаю за відстанню від лісових смуг

світлолюбних культур, але й висушуванням ґрунту кореневими системами окремих деревних порід [11], переущільненням ґрунту внаслідок проїзду транспорту чи розвороту техніки. Спостерігалися, хоча й рідко, випадки пригніченого стану та зріджування озимих поблизу деяких лісових смуг щільної конструкції на відстані до 8 м через надмірне накопичення снігу та весняне перезволоження ґрунту і випрівання озимих. Проте частіше лісові смуги, підвищуючи стійкість снігового покриву при відлигах у зоні до 10Н, запобігали утворенню тут притертої крижаної кірки. Найменше схильні до несприятливих проявів багаторічні трави. Їх можна рекомендувати для вирощування у проблемній зоні. Однак розрахунки показують, що, якщо навіть урожай у зоні 0-1Н не буде отримано зовсім, втрати його будуть багаторазово перекриті прибавкою в зоні від 2 до 10-15Н.

**Висновки і пропозиції.** При розробці проектів біологічного етапу рекультивації породних відвалів гірничодобувних підприємств необхідно враховувати відмінності такого важливого фактору лісорослинних умов, як інсоляції на схилах різних експозицій. Незважаючи на зниження урожайності в затіненій зоні на відстані 1Н від лісосмуг, тут теж спостерігається прибавка відносно контролю, а прибавка урожаю в зоні активного впливу лісових смуг гарантовано компенсує можливий недобір продукції в зоні до 1Н.

Напрямок удосконалення розроблених методичних підходів є врахування приходу розсіяної радіації та зміни спектрального складу прямої радіації залежно від висоти сонця.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дудяк Н.В., Пичура В.І., Потравка Л.О. Еколого-економічні аспекти лісорозведення в Україні в контексті сталого землекористування. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2019. № 2. С. 1–24. //dx.doi.org/10.31548/zemleustriy2019.02.06
2. Зубов О.Р., Зубова Л.Г. Визначення параметрів систем лісових смуг та оцінювання їх стану з використанням сервісу Google Earth (на прикладі Голопристанського району Херсонської області України). *Таврійський науковий вісник*. Херсон, 2020. № 113. С. 240–252. //doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.33

3. Зубов А.Р., Зубова Л.Г., Зубов А.А. К вопросу оценки лесорастительных условий на терриконах и выбору угла наклона солнечных панелей. Четверта Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»: збірник матеріалів (21–22 жовтня 2021, м. Херсон, Україна). Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 110–113.

4. Адамень Ф.Ф., Паштецкий В.С. Плугатарь Ю.В. Полезащитные лесные полосы как основа устойчивого развития агроландшафта. *Зрошуване землеробство*, 2013. Вип. 57. С. 36–40.

5. Васильев Ю.И., Сарычев А.Н., Сергеева И.С. Формирование биопродуктивного потенциала и его влияние на урожайность в зоне влияния лесной полосы. *Аграрный вестник Урала*. № 4(58), 2009. С. 89–92.

6. Адров С.В., Куликова Н.А., Габидулина А.Е. Влияние полегащитной полосы на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Степной зоны. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. Агрономия и лесное хозяйство. № 2(22), 2011. С. 1–5.

7. Сидоренко С.В., Біла Ю. М. Особливості розподілу снігу й вологи під впливом полегащисних лісових смуг щільної конструкції. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 2017. Вип. 131. С. 104–112.

8. Гладун Г.Б., Гладун Ю.Г. Сучасний стан полегащисного лісорозведення та перспективи його розвитку. *Лісовий журнал*, 1/2011. С. 16–18.

9. Коптев В.И. Эффективность полегащитного лесоразведения в Украине – *Вестник с.-х. науки*, 1981, № 3, С. 122–126.

10. Сидоренко С.В., Корсовецкий В.О., Сидоренко С.Г., Гладун Г.Б. Сезонне та добове формування зони затінення в приузлісній частині щільних полегащисних лісових смуг. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 2020. Вип. 136. С. 83–95. [//doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.83](https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.83)

11. Зыков Ю.И. Мелиоративная роль плодовых видов в защитных лесных насаждениях Нижнего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02, 06.03.04. Волгоград, 2003. 24 с.

12. Защитное лесоразведение в СССР. Под. ред. Павловского Е.С./Абакумов Б.А., Бабенко Д.К., Бартенев И.М. и др. М. : Агропромиздат, 1986. 283 с.

13. Зубов А.Р. Влияние лесных полос на продуктивность агроландшафтов Донбасса. Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в РФ: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию создания Всерос. агролесомелиоратив. ин-та, Волгоград, 19–23 сент. 2016 г. Волгоград : Изд-во ВНИАЛМИ, 2016. С. 113–117.

14. Моргунов В.К. Основы метеорологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: Учебник. Ростов/Д. : Феникс. Новосибирск : Сибирское отделение, 2005. 331 с.

15. Азимут и высота солнца над горизонтом. URL: <https://planetcalc.ru/320/>

16. Константинов А.Р., Струзер Л.Р. Лесные полосы и урожай. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 216 с.