



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412205>

Article received 2022.08.12

Article accepted 2022.12.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Iryna Koval

Koval_Iryna@ukr.net

86 Pushkinska st., Kharkiv, 61024, Ukraine

УДК 630*4: 574.3

Радіальний приріст сосни звичайної поряд зі зрубом суцільної рубки в осередку верхівкового короїда в Поліссі

І. М. Коваль¹, О. Ю. Андреева²

Осередки верхівкового короїда (*Ips acuminatus*) останнім часом поширилися у насадженнях сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у багатьох країнах Європи, що пов'язано зі зміною клімату та антропогенним навантаженням на ліси. Мета дослідження – виявлення особливостей зміни радіального приросту дерев у сосновому насадженні на ділянках із різним ступенем освітлення після суцільної санітарної рубки в осередках верхівкового короїда в Поліссі.

У чистому середньовіковому сосняку в умовах вологого субору закладено три тимчасові пробні площі – на південно-східній (найбільш освітленій) і північно-західній (найменш освітленій) сторонах зрубу суцільної рубки 2013 р. в осередку верхівкового короїда, а також у лісі (контроль). Аналіз кернів (по 20 шт. з кожної пробної площі), відібраних у 2020 р., здійснено стандартними дендохронологічними і статистичними методами. Аналіз індексів зміни приросту (GC_i) підтвердив, що порушення в деревостані відбулися на освітлених ділянках. Встановлено значущі середні негативні зв'язки між річним радіальним приростом деревини і гідротермічним коефіцієнтом зволоження Г.Т. Селянінова та індексом де Мартонне, які відображають гідротермічні умови поточного року. З комплексним гідротермічним показником Бітвінського O_3 , що відображає гідротермічні умови поточного і трьох попередніх років, виявлено значущий позитивний зв'язок із річним радіальним приростом дерев на контролі.

Керни, відібрані з ділянок, найближче розташованих до зрубу, є крихкими і мають елементи гнилі. Після суцільної санітарної рубки 2013 р. сплеск радіального приросту спостережено у 2014 р., який тривав до 2017 р., після чого відбулося його стрімке зниження, на відміну від контролю. Дендрокліматичний аналіз показав підвищення чутливості радіального приросту дерев сосни залежно від збільшення ступеню освітлення.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L.; *Ips acuminatus*; керни; сплеск приросту; порушення; дендохронологія; дендрокліматичний аналіз.

Вступ (Introduction). Осередки верхівкового короїда (*Ips acuminatus*) поширилися останнім часом у насадженнях сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у багатьох країнах Європи, що пов'язано зі зміною клімату (Wermelinger, Duelli, & Obrist, 2002; Мешкова, 2009; Colombari et al., 2012; Мешкова, Кочетова, Зінченко, 2015; Andreieva, & Goychuk, 2018;

Samagero et al., 2018) та антропогенним навантаженням на ліси (Коваль, Боголов, Нусбаум, Юзвінський, 2015; Danneyrolles et al., 2019). В умовах підвищення температури та стресу від посухи дерева стали чутливішими до нападу шкідника, що спричинило погіршення стану і всихання лісів (Lebourgeois, 2000; Siitonen, 2014). Деревина на ран-

¹ Коваль Ірина Михайлівна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-063-282-19-95. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

² Андреева Олена Юріївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент факультету лісового господарства та екології. Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, Житомир, 10008, Україна. Тел.: +38-096-351-51-30. E-mail: andreeva-lena15@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0851-800X>

ніх стадіях заселення короїдом дуже важко ідентифікувати (Мешкова та ін., 2015; Plewa, & Mokrzycki, 2017).

Підвищення температури призвело до скорочення часу розвитку, збільшення вольтинізму і збільшення кількості спалахів верхівкового короїда. Реакцію насаджень на зміни в природному середовищі, зокрема, пов'язані зі зміною режиму освітлення та заселенням шкідниками, можливо оцінити за радіальним приростом дерев (Cook, & Kairiukstis, 1990; Nowacki, & Abrams, 1997; Koval, 2013). Стрімке підвищення температур призводить як до необхідності адаптації деревостанів до зміни клімату, так і вирішення проблеми, пов'язаної зі збільшенням спалахів шкідників (Wermelinger et al., 2002).

Мета дослідження – виявити особливості зміни радіального приросту сосни звичайної на ділянках із різним освітленням після суцільної санітарної рубки в осередках верхівкового короїда в Поліссі.

Об'єкти та методика дослідження (Objekts and methods). *Об'єкт дослідження* – лісові культури сосни звичайної, які ростуть в генетичних резерватах з різним ступенем освітлення внаслідок проведення суцільної санітарної рубки в осередку верхівкового короїда в Поліссі. *Предмет дослідження* – реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни у природному середовищі, пов'язаними зі зміною режиму освітлення, кліматичними стрес-факторами та заселенням шкідниками.

У чистому середньовіковому сосновому насадженні (кв. 22, вид. 25 Коростишівського л-ва ДП «Коростишівське ЛГ» Житомирського ОУЛМГ) в умовах вологого субору закладено три тимчасові пробні площі (ТПП) – на південно-східній (найбільш освітленій) і північно-західній (найменш освітленій) сторонах зрубу суцільної рубки 2013 р. в осередку *Ips acuminatus* та у лісі (контроль). Причиною суцільної рубки 2013 р. стало всихання деревостану у зв'язку з поширенням осередків верхівкового короїда з 2010 до 2020 рр. Досліджувані культури сосни ростуть у лісах наукового призначення (генетичних резерватах). Склад досліджуваного насадження – 9С31Бп. Вік насадження становить 70 років, повнота деревостану – 0,7, $H_{\text{ср.}}$ – 25 м, $D_{\text{ср.}}$ – 28 см, індекс типу лісу – $B_3\text{-}dC$, клас бонітету I, запас деревини – $250 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Відзначено пошкодження дерев хворобами, зокрема, слабку ступінь пошкодження (10%) дерев трутовиком звичайним.

Аналіз кернів (по 20 шт. з кожної ТПП), відібраних у 2020 р., здійснено стандартними дендохронологічними і статистичними методами (Битвинскас, 1974; Cook, & Kairiukstis, 1990; Горкавий, 2019).

Під час проведення перехресного датування з метою встановлення фактичної дати формування кожного річного кільця використано екстремальні величини приросту (надзвичайно вузькі або широкі шари річної деревини), а також кільця, які мають патологічну структуру (морозобійні, світлі фальшиві кільця тощо), які використовують для визначення коректності датування. Сегменти кернів, які не

підлягали датуванню, виключено з вибірки (Cook, & Kairiukstis, 1990). Для вивчення екстремальних значень радіального приросту застосовано поняття реперних років, коли величина річного кільця поточного року менша чи більша, ніж відповідна величина попереднього року, на 25%, та 75% дерев у вибірці мають однаковий тренд (Génova, 2012).

Методом стандартизації, тобто створенням деревно-кільцевих індексних хронологій методом 3-річних ковзних, вилучено вікові тренди з індивідуальних серій, що дало змогу здійснити дендрокліматичний аналіз (Битвинскас, 1974; Cook, & Kairiukstis, 1990).

Кореляційний аналіз використано для встановлення зв'язків між кліматом і радіальним приростом сосни. Для дендрокліматичного аналізу використано дані Житомирської метеостанції ($50^{\circ}15'53''$ пн.ш., $28^{\circ}40'36''$ сх.д., висота н.р.м. становить 228 м). Проаналізовано вплив місячних сум опадів та середньомісячних температур на радіальний приріст дерев з червня попереднього по серпень поточного років, а також зв'язки між приростом та гідротермічними індексами ГТК Селянінова, де-Мартонне та O_3 за Т.Т. Битвинскас (Битвинскас, 1974; Pellicone, Caloiero, & Guagliardi, 2019).

З метою встановлення порушень у насадженнях під впливом стрес-факторів, обчислено індекси зміни приросту (GC_i) для року пошкодження (t), які є універсальними для всіх деревних видів і типів лісорослинних умов (Bouriaud, & Pora, 2007):

$$GC_i = (Agr_2 - Agr_1) / (Agr_1 \times 100)$$

де Agr_1 – середньорічний приріст для періоду n_1 перед роком, для якого характерні стрес-фактори (t); Agr_2 – середньорічний приріст для періоду n_2 після дії стрес-фактора.

Вважається, що зміни приросту відбулися, коли індекс GC_i перевищив поріг 25%. Значне порушення в насадженні відбувається у випадку, коли $GC_i \geq 75\%$, середнє – в межах між 50 та 75%, а незначне – між 25 та 50% (Bouriaud, & Pora, 2007).

Результати (Results). Встановлено, що керни сосни, відібрані з боку лісу, мають вищу якість на відміну від кернів, які відібрано на менш освітленій північно-західній частині зрубу та більш освітленій – південно-східній, і які є надзвичайно крихкими. У 80% цих зразків відзначено наявність гнилі.

Відмінності динаміки радіального приросту сосни звичайної на межі зі зрубом і в лісі є результатом зміни освітлення та площі живлення дерев унаслідок суцільної рубки. У 2014-2017 рр., порівняно з 2005-2012 рр., радіальний приріст сосни збільшився на 20 і 17% на найбільш освітленій та менш освітленій ТПП (тобто відбулося «вивільнення» (*release*) радіального приросту сосни), тоді як на на контролі збільшення приросту відбулось лише на 3%. Після 2017 р. на освітлених ділянках тренд радіального приросту сосни почав зменшуватися, на відміну від контролю, де відзначено стабілізацію приросту (рис. 1).

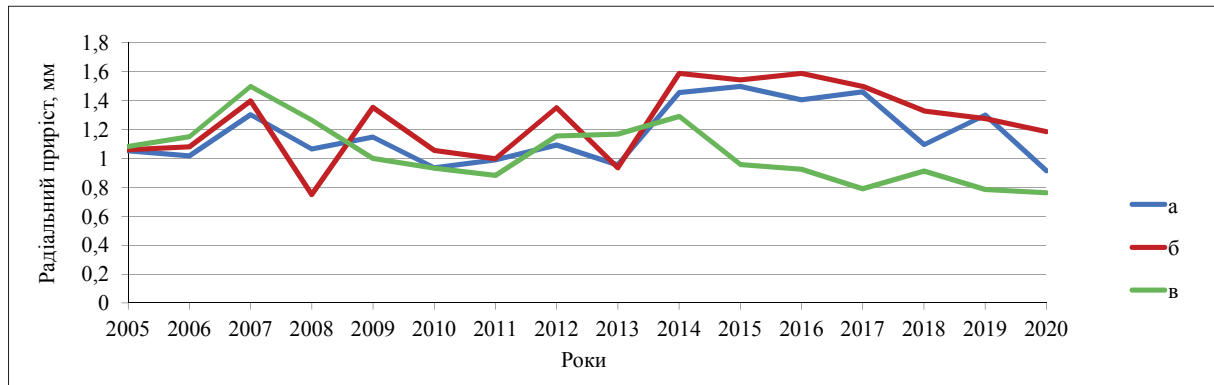


Рис. 1. Динаміка річного радіального приросту сосни звичайної на ТПП з різним рівнем освітлення поряд зі зрубом 2013 р. (а – менш освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більш освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс, контроль)

Fig. 1. The dynamics of radial increment of Scots pine on the trial plots with different illumination intensity near the 2013 cutover area (a – the less illuminated northwestern side of the cutover area; b – the more illuminated southeastern side of the the cutover area; c – the forest, control)

За період 2014-2020 рр. виявлено значущу відмінність у радіальному прирості дерев між найбільш освітленою ділянкою та контролем ($t_{\text{факт.}} 2,37 > t_{0,05} 1,76$). Перевищення значень річного радіального приросту на найбільш освітленій ділянці над відповідними значеннями на контролі за цей період становило 18%, на менш освітленій – 10%. Під час порівняння середніх величин ширини річних кілець для двох періодів 2005-2012 рр. та 2013-2020 рр. виявлено значущі відмінності для дерев, які ростуть на освітлених ТПП (а та б) (табл. 1).

Індекси зміни приросту (GC_i) для року пошкодження (t) обчислено для дерев ТПП з різним рівнем освітлення, що виражають ступінь порушення насаджень і які обчислено для 2010-2012 та 2014-2016 років. Виявлено, що після рубки 2013 р. незначні порушення відбулися на ТПП з різним рівнем освітлення, на відміну від контролю (табл. 2).

Вплив клімату на річну деревину сосни звичайної з різним рівнем освітлення. Реперні роки. Виявлено роки мінімального (2008, 2010, 2011, 2013) та максимального (2007, 2009, 2012 та 2014) радіального приростів сосни звичайної. Встановлено значущі реперні роки мінімального приросту – 2008 та 2013 для більш освітленої південно-східної сторони зрубу та з боку лісу.

Упродовж років з мінімальним приростом спостерігався дефіцит опадів: взимку випало 78,4 мм за норми 127,1 мм (на 38% нижче норми); упродовж вегетаційного періоду – 282,9 мм опадів за норми 315,7 мм, тобто на 10% нижче норми. В окремі місяці опадів випало на 34% менше норми, річних – на 21% нижче норми (482,8 мм за рік за норми 611,6 мм).

Депресії приросту виникали також внаслідок недостатньої кількості опадів взимку (табл. 3).

Таблиця 1. Статистична характеристика річного радіального приросту сосни звичайної на ТПП з різним рівнем освітлення поряд зі зрубом 2013 року

Table 1. Statistical characteristics of annual radial increment of Scots pine on the trial plots with different illumination intensity near the 2013 cutover area

Місце відбору зразків	Статистичні чинники	2006-2012 рр.	2014-2020 рр.	Достовірність різниці між середніми значеннями радіального приросту за 2006-2012 рр. та 2014-2020 рр.	
				$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{теор.}}$
а	$A_{\text{сер.}}$ мм / м	1,08±0,05	1,31±0,08	2,39 _{0,05}	1,76
	σ	0,12	0,22		
	σ^2	0,01	0,05		
б	$A_{\text{сер.}}$ мм / м	1,14±0,09	1,43±0,06	2,64 _{0,05}	1,76
	σ	0,24	0,16		
	σ^2	0,06	0,03		
в	$A_{\text{сер.}}$ мм / м	1,13±0,07	1,17±0,0,06	0,45 _{0,05}	1,76
	σ	0,18	0,16		
	σ^2	0,03	0,02		

Примітка. а – менш освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більш освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс, контроль; $A_{\text{сер.}}$ – середнє значення ширини шару річної деревини; м – помилка середнього значення ширини шару річної деревини; σ – стандартне квадратичне відхилення; σ^2 – дисперсія

Таблиця 2. Індекси змін ширини шарів річної деревини сосни звичайної поряд зі зрубом 2013 року
Table 2. Indices of changes in radial increment of Scots pine next to the 2013 cutover area

Місце відбору зразків	A _{сер.} , мм / m		GC _i , %	Ступінь порушення
	2010-2012 pp.	2012-2014 pp.		
а	1,01±0,05	1,45±0,07	44,4	Незначне порушення
б	1,13±0,07	1,57±0,08	38,8	Незначне порушення
в	0,99±0,08	1,06±0,05	6,7	Зміни в прирості не відбулися

Примітка. а – менш освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більш освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс, контроль; GC_i – індекс зміни приросту після порушення деревостану внаслідок суцільної рубки 2013 р.; A_{сер.} – середнє значення ширини шару річної деревини; m – помилка середнього значення шару річної деревини

Таблиця 3. Роки мінімального приросту сосни звичайної в умовах з різним рівнем освітлення
за період 2006-2020 pp.

Table 3. Years of minimum radial increment of Scots pine in the conditions with different illumination intensity for the period 2006-2020

Роки	Відмінність між значеннями ширини річних кілець року мінімального приросту та попереднім роком, %			Відмінність між значеннями ширини річних кілець року мінімального приросту та попереднім роком, мм			Причини депресії та сплеску радіального приросту сосни
	а	б	в	а	б	в	
2008	18	46	30	0,24	0,65	0,44	Дефіцит опадів взимку, випало 78,4 мм за норми 127,1 мм (на 38% нижче норми). Упродовж вегетаційного періоду (квітень-серпень) випало 282,9 мм опадів за норми 315,7 мм, тобто на 10% менше. Аномально тепла зима – середня температура склала -0,8 °C за норми -2,4 °C, тобто перевищення зимової температури понад норму склало 59%.
2010-2011	16	24	18	0,18	0,33	0,03	У 2010 р. холодна зима – -4,9 °C, за норми -2,0 °C (на 142,2 % нижче норми) та з недостатньою кількістю опадів (78,4 мм за норми 127,1 мм, тобто на 38% менше). У 2011 р. випало 482,8 мм опадів за рік за норми 611,6 мм, тобто на 21% нижче норми. У 2011 р. березневі температури були нижчими від норми (1,2 °C за норми 2,8 °C, тобто меншими на 56%).
2013	13	31	16	0,14	0,42	0,20	Аномально холодна зима, середня температура склала -3,6 °C за норми -2,0 °C, тобто на 75% нижче норми. Дефіцит опадів спостерігався в травні (45,0 мм за норми 65,5 мм та в серпні, відповідно, 33,9 та 51,5 мм, що менше норми на 34%)

Примітка. а – менш освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більш освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс

Причинами депресії радіального приросту були також аномальні теплі зими, коли середня температура становила -0,8 °C за норми -2,4 °C (перевищення зимової температури складало 59%) та занадто холодні зими -3,6 – -4,9 °C за норми -2,0 °C (на 75-142,2% нижче норми).

Встановлено значущі реперні роки максимального приросту: 2007 – для всіх ТПП, 2009, 2012 та 2014 – для освітлених ТПП. У роки максимального приросту відмічено оптимальне співвідношення тепла і вологи – температури упродовж гідрологічного року в середньому склали 9,3 °C. Водночас опадів випало впродовж вегетаційного періоду

400,6 мм порівннно з нормою 315 мм, тобто на 21% більше, а в окремі місяці це перевищення становило 35% (табл. 4).

Отже, найглибші депресії та найбільші сплески радіального приросту були характерними для найбільш освітленої ТПП. Упродовж квітня-серпня спостережено негативний вплив температур на радіальний приріст на контрольній ТПП, водночас на освітлених ТПП цей вплив був позитивним. Збільшення освітлення, ймовірно, спричинило підвищення температури ґрунту, внаслідок чого відбулося зменшення його вологості, що негативно вплинуло на приріст сосни.

Таблиця 4. Роки максимального приросту сосни звичайної в умовах з різним рівнем освітлення за період 2006-2020 рр.

Table 4. Years of maximum radial increment of Scots pine in the conditions of different illumination intensity for the period 2006-2020

Роки	Відмінність між значеннями ширини річних кілець року мінімального приросту та попереднім роком, %			Відмінність між значеннями ширини річних кілець року мінімального приросту та попереднім роком, мм			Причини високого радіального приросту сосни
	а	б	в	а	б	в	
2007	21,8	29,6	23,1	0,3	0,3	0,3	Сума опадів за гідрологічний рік становила 929,8 мм за норми 607 мм, тобто перевищила норму на 53%. Водночас взимку випало опадів на 59% більше від норми (відповідні величини становили 202 та 127 мм). Упродовж вегетаційного періоду (квітень-серпень) кількість опадів перевищила норму на 27% (402,4 мм за норми 315,7 мм).
2009	7,1	44,7	14,4	0,1	0,61	0,2	Сприятливе співвідношення тепла і вологи. Середня температура за гідрологічний рік становила 9,3 °С за норми 9,1 °С, що перевищило норму на 3%. Березневі температури були нижчими на 24% (відповідні величини становили 2,1 та 2,9 °С).
2012	9,3	26,3	25,0	0,1	0,40	0,3	Опади впродовж вегетаційного періоду (квітень-серпень) перевищили норму на 13%, тобто випало 706,6 мм за норми 611,6 мм. У серпні випало 110,6 мм за норми 78,6 мм (перевищення на 29%).
2014	34,5	41,2	27,0	0,5	0,70	0,4	Впродовж вегетаційного періоду (квітень-серпень) випало 400,6 мм опадів порівняно з нормою 315 мм, тобто перевищення становило 21%. У квітні-травні випало 162 мм за норми 104,9 мм, тобто перевищення складало 35%. Температура за гідрологічний рік склала 9,7 °С за норми 9,1 °С, тобто перевищення було незначним – 7%.

Примітка. а – менше освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більше освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс

Кореляційним аналізом між індексами радіального приросту сосни звичайної та кліматичними чинниками у 2006-2009 та 2012-2019 рр. виявлено найбільшу кількість значущих зв'язків для найбільш освітленої ділянки, що свідчить про найвищу чутливість дерев на ній до коливань погодних умов. Значущий додатний вплив температури впродовж ранньої весни, зими та гідрологічного року на річний радіальний приріст сосни встановлено для найбільш освітленої ТПП, тоді як для менше освітленої ТПП на приріст сосни позитивно вплинули лише березневі температури. Водночас на контрольній ТПП радіальний приріст дерев мав від'ємний зв'язок ($r = -0,47$, $P = 0,05$) із температурою серпня та додатний ($r = +0,79$, $P = 0,05$) – з температурою листопада попереднього року (рис. 2).

Позитивний вплив опадів на радіальний приріст дерев зменшувався зі збільшенням освітлення. На контрольній ТПП радіальний приріст мав додатні зв'язки з опадами за вересень попереднього року, березень поточного року та гідрологічний рік, а

на освітлених ділянках – від'ємні зв'язки з опадами жовтня та грудня попереднього року, тобто коефіцієнти кореляції (r) були в межах від -60 до +55 за рівня значущості $P = 0,05$. Кореляційним аналізом між індексами радіального приросту та опадами Житомирської метеостанції за 2006-2019 рр. встановлено значущий негативний вплив жовтневих і грудневих опадів попереднього року на радіальний приріст дерев для освітлених ТПП. Для дерев на контрольній ТПП виявлено позитивні кореляційні зв'язки за вересень попереднього року, березень поточного року та гідрологічний рік. Тобто, для контролю відмічено більш позитивний вплив опадів на радіальний приріст сосни, ніж для освітлених ТПП. З жовтня попереднього по лютий поточного року виявлено негативний вплив опадів на приріст для освітлених ділянок (за винятком січня для найбільш освітленої ТПП). Водночас на найкраще освітленій ТПП негативний вплив опадів тривав найдовше – з жовтня попереднього до квітня поточного року.

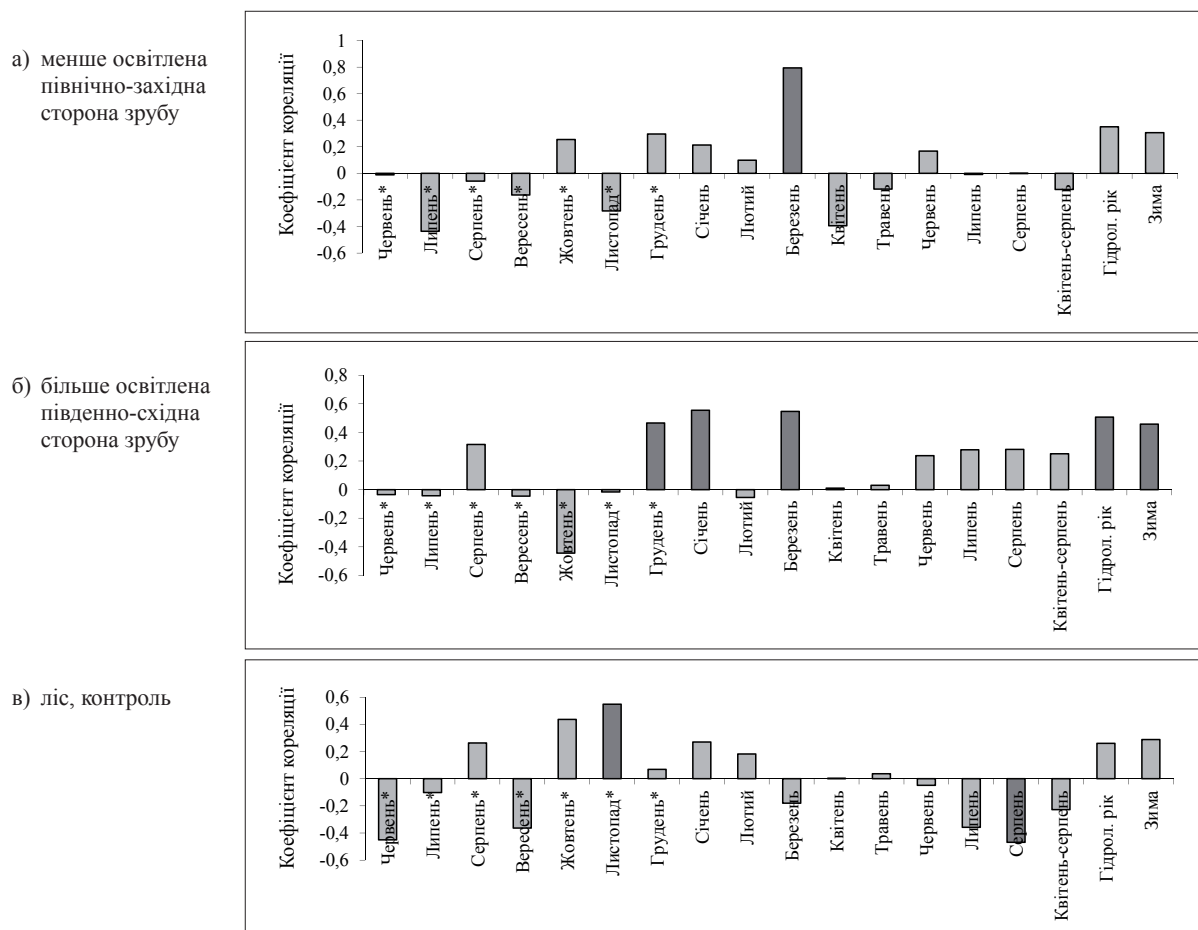


Рис. 2. Коефіцієнти кореляції між індексами річного радіального приросту сосни звичайної на ділянках з різним рівнем освітлення внаслідок суцільної рубки 2013 р. і температурами Житомирської метеостанції за 2006-2019 рр.
Примітка: * – місяці попереднього року, темно-сірі стовбчики – значущі коефіцієнти кореляції на рівні 0,05 значущості

Fig. 2. Correlation coefficients between radial increment indexes of Scots pine on plots with different illumination intensity due to clear felling in 2013 and temperatures at the Zhytomyr weather station for the period 2006-2019.
Note: * – months of the previous year, dark gray bars – significant correlation coefficients at the 0.05 significance level

Для контрольної ділянки встановлено позитивні кореляції між опадами та індексами радіального приросту за березень-червень. Вплив опадів місяців попереднього року (листопад та грудень) на приріст був сильнішим для більш освітлених ділянок. Це були від'ємні кореляції середньої сили. Для контролю встановлено значущий позитивний вплив опадів вересня попереднього на радіальний приріст поточного року (рис. 3).

Також досліджено взаємозв'язки між гідротермічними коефіцієнтами та індексами радіального приросту сосни звичайної, встановлено значущі середні негативні зв'язки між річним радіальним приростом деревини і гідротермічним коефіцієнтом зволоження Г.Т. Селянінова та індексом де Мартонне, які відображають гідротермічні умови поточного року. З комплексним гідротермічним показником Бітвінського O_3 , який відображає гідротермічні умови поточного і трьох попередніх років, виявлено значущий позитивний зв'язок із річним радіальним приростом для контрольної ділянки (табл. 5).

Таблиця 5. Кореляційні коефіцієнти між деревно-кільцевими хронологіями сосни звичайної, яка росте в умовах з різним рівнем освітлення, і гідротермічними коефіцієнтами

Table 5. Correlation coefficients between tree ring chronologies of Scots pine growing in the conditions with different illumination intensity and hydrothermal coefficients

Гідротермічні коефіцієнти		
а	б	в
Гідротермічний коефіцієнт зволоження Г.Т. Селянінова (ГТК)		
-0,27	-0,60*	0,28
Де Мартонне		
-0,36	-0,58*	-0,20
O_3		
0,12	0,11	0,47*

Примітка. * – значущість на рівні 0,05; а – менше освітлена північно-західна сторона зрубу; б – більше освітлена південно-східна сторона зрубу; в – ліс

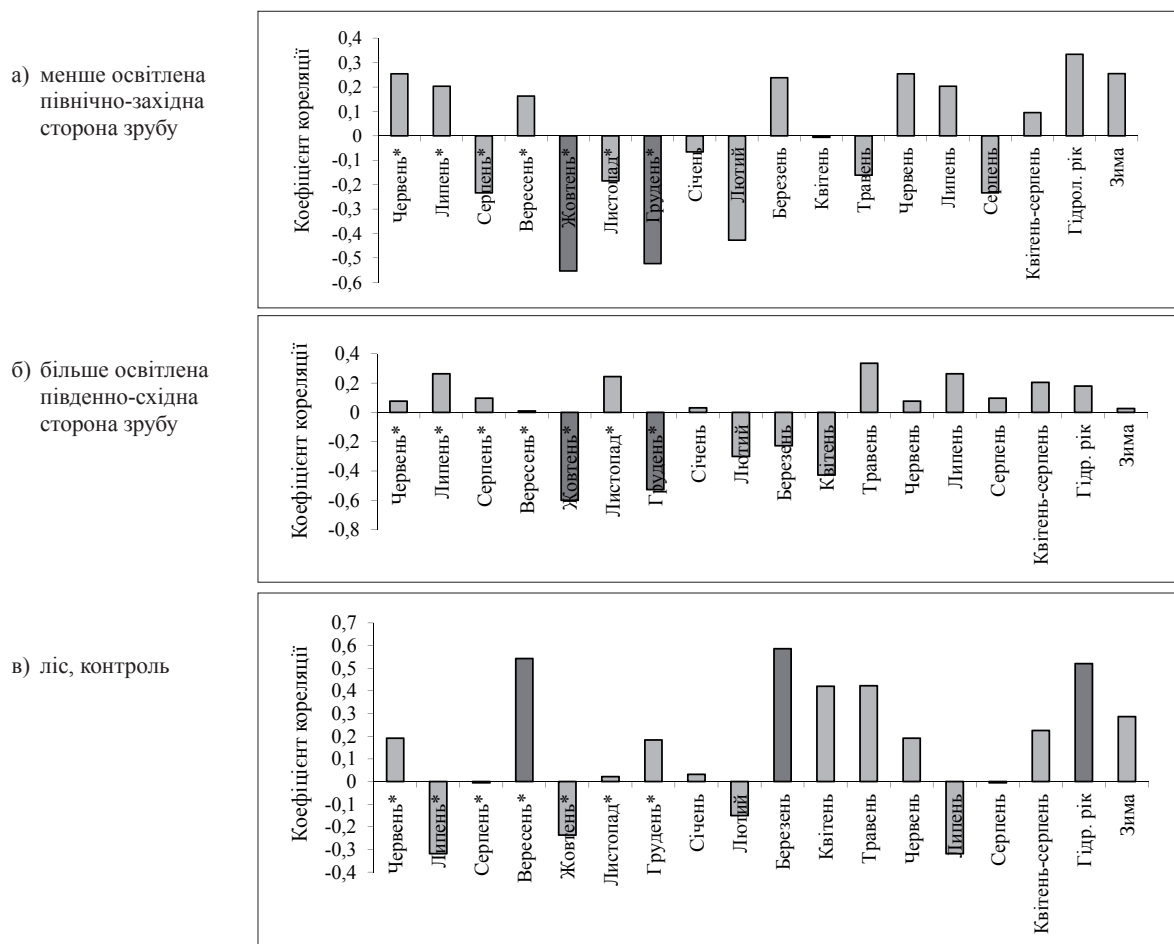


Рис. 3. Коефіцієнти кореляції між індексами річного радіального приросту сосни звичайної на ділянках з різним рівнем освітлення внаслідок суцільної рубки 2013 р. та опадами Житомирської метеостанції за 2006-2019 рр.
Примітка: * – місяці попереднього року, темно-сірі стовбчики – значущі коефіцієнти кореляції на рівні 0,05 значущості

Fig. 3. Correlation coefficients between radial increment indexes of Scots pine on plots with different illumination intensity as a result of clear felling in 2013 and precipitations at the Zhytomyr weather station for the period 2006-2019.
Note: * – months of the previous year, dark gray bars – significant correlation coefficients at the 0.05 significance level

Дискусія (Discussion). Стрес від посухи спричиняє зниження приросту дерев і продуктивності лісу, що може посилитися внаслідок потепління клімату (Samahero et al., 2018). Дослідженнями впливу клімату на радіальний приріст *Quersur robus* L. у Поліссі виявлено, що негативні реперні роки характеризуються дефіцитом опадів, посухами вегетаційного періоду, холодними або занадто теплими зимовими та ранньовесняними періодами, а позитивні – сприятливим для росту дерев співвідношенням тепла і вологи (Коваль, 2020). Дослідженнями радіального приросту *Pinus sylvestris* L. на північному заході Латвії встановлено, що основними кліматичними чинниками, які впливають на радіальний приріст дерев у реперні роки, були середня температура у лютому та кількість опадів у червні (Elferts, 2007).

У багатьох хвойних порід запаси вуглеводнів утворюються восени і зберігаються упродовж зими до початку росту дерев. Корсиканська сосна не здатна фіксувати значну кількість вуглецю під час

тепліх і сухих жовтневих погодних умов, що може спричинити зниження приросту дерев у наступному році через зменшення запасів вуглеводнів (Sun et al., 2021). У нашому дослідженні на освітлених ТПП встановлено, що недостатня кількість опадів у попередньому році негативно вплинула на радіальний приріст дерев в поточному році.

За результатами досліджень впливу клімату та порушень на ширину деревних кілець дуба звичайного і бука європейського у північній Іспанії, на основі точно датованих порушень встановлено відставання до шести років між появою порушення та сплесками приросту. Отже, наслідки порушень у деревно-кілецевих хронологіях не обов'язково синхронізуються з послідовністю сплесків приросту (Rozas, 2001).

Дослідженнями радіального приросту *Larix decidua* Mill. після катастрофічного шторму в 2004 р. у Словацьких Високих Татрах виявлено, що вивільнення приросту, яке було розраховано за індексом зміни приросту, залежало від діаметра, віку

та попереднього приросту дерева. Часовий лаг між роком події та роком реакції радіального приросту дерев на освітлення становив у середньому 4,6 року у багатовіковій групі дерев (Izworska et al., 2022). У нашому дослідженні реакція радіального приросту сосни на зміну освітлення відбулася у вигляді сплеску приросту на наступний рік після суцільної рубки, тобто у 2014 році.

У Монголії та Китаї дослідженнями радіального приросту сосни звичайної встановлено, що ріст природного лісу був тісно пов'язаний з кліматичними чинниками попереднього року, водночас, ріст плантаційних насаджень був тісно пов'язаний з кліматичними чинниками вегетаційного періоду поточного року (Sun et al., 2021). Нашими дослідженнями встановлено як вплив кліматичних чинників попереднього, так і поточного років на радіальний приріст дерев у культурах *Pinus sylvestris*.

У 10-річному насадженні *Pinus taeda* L. у південно-східній Оклахомі було проріджено ділянки на трьох рівнях: 5,8, 11,5 та 23 м²га⁻¹ (контроль). Темпи росту за діаметром були суттєво пов'язані з розміром дерева, водним потенціалом ґрунту і температурою повітря (Cregg et al., 1988). Тобто зміни радіального приросту сосни ладанної визначали кліматичні чинники, а ширину шарів деревини, як і в наших дослідженнях, визначало проріджування, яке вплинуло на світлові умови та збільшення площ живлення дерев.

Висновки (Conclusions). Про ослаблення дерев *Pinus sylvestris* на ділянках із різним ступенем освітлення після суцільної санітарної рубки в осередках верхівкового короїда в Поліссі свідчить підвищення залежності радіального приросту дерев від впливу кліматичних чинників на освітлених ділянках і крихкість кернів. Індекси зміни радіального приросту сосни звичайної (39-44%) на освітлених ділянках вказують на наявність порушення стабільного стану дерев внаслідок впливу верхівкового короїда та зміни режиму освітлення.

У роки мінімального радіального приросту сосни (2008, 2010, 2011, 2013) спостерігався дефіцит опадів (на 38% нижче норми взимку та на 10% – упродовж вегетаційного періоду), аномально високі температури упродовж зими, коли їх перевищення понад норму складало 59%, або низькі, коли вони були на 42-75% нижче норми. Найглибші депресії радіального приросту сосни виявлено на найбільш освітленій ділянці. Упродовж років максимального радіального приросту (2007, 2009, 2012 та 2014) температури упродовж гідрологічного року в середньому склали 9,3°C, водночас опадів випало на 21% більше, порівняно з нормою.

Список літератури (References)

Битвинскас, Т.Т. (1974). *Дендроклиматические исследования*. Ленинград: Гидрометеиздат [Bitvinskis, T. T. (1974). *Dendroclimatic research*. Leningrad: Gidrometeoizdat] (in Russian)

Горкавий, В.К. (2019). *Статистика*. Київ: Алерта [Horkavy, V.K. (2019). *Statistics*. Kyiv: Alerta] (in Ukrainian)

Коваль, І. М. (2020). Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату в Поліссі та Лісостепу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 64-73 [Koval, I.M. (2020). The response of *Quercus robur* L. radial growth to climate changes in Polissia and Forest Steppe. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 64-73. <https://doi.org/10.15421/412006>] (in Ukrainian)

Коваль, І. М., Бологов, О. В., Нусбаум, С. А., Юзвінський, Г. А. (2015). Радіальний приріст дуба звичайного та ясеня звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 126, 202-211 [Koval, I. M., Bologov, O. V., Nusbaum, S. A., & Yuzvinskyi, G. A. (2015). Radial increment of European oak and European ash trees as indicator of forest ecosystems condition in Novograd-Volynsky physiographic region. *Forestry and Forest Melioration*, 126, 202-211. Retrieved from <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/7/126-pdf>] (in Ukrainian)

Мешкова, В. Л. (2009). *Сезонное развитие хвое-листогрызущих насекомых*. Харьков: Планета-принт [Meshkova, V.L. (2009). *Seasonal development of foliage browsing insects*. Kharkov: Planeta-print] (in Russian)

Мешкова, В. Л., Кочетова, А. І., Зінченко, О. В. (2015). Верхівковий короїд *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) у північно-східному степу України. *Известия Харьковского энтомологического общества*, 23(2), 64-69 [Meshkova, V.L., Kochetova, A. I., & Zinchenko, O. V. (2015). The pine engraver beetle *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in the North Eastern Steppe of Ukraine. *The Kharkov Entomological Society Gazette*, 23(2), 64-69. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhet_2015_23_2_10] (in Ukrainian)

Andreieva, O. Y., & Goychuk, A. F. (2018). Spread of Scots pine stands decline in Korostyshiv Forest Enterprise. *Forestry and Forest Melioration*, 132, 148-154. Retrieved from <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/1>

Camarero, Julio J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Cantero, A., Sánchez-Salguero, R., Sánchez-Miranda, A., Granda, E., Serra-Maluquer, X., & Ibáñez, R. (2018). Forest Growth Responses to Drought at Short- and Long-Term Scales in Spain: Squeezing the Stress Memory from Tree Rings. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6. Number article 9. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00009>

Colombari, F., Battisti, A., Schroeder, L. M., & Faccoli, M. (2012). Life-history traits promoting outbreaks of the pine bark beetle *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in the south-eastern Alps. *European Journal Forest*

- Research, 131, 553-561. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0528-y>
- Bouriaud, O., & Popa, I. (2007). Dendrochronological reconstruction of forest disturbance history, comparison and parametrization of methods for Carpathian Mountains. *Analele ICAS*, 50, 135-151. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85047392240&origin=inward>
- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences*. Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis
- Cregg, B. M., Dougherty, P. M., & Hennessey, T. C. (1988). Growth and wood quality of young loblolly pine trees in relation to stand density and climatic factors. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(7), 851-858. <https://doi.org/10.1139/x88-131>
- Danneayrolles, V., Dupuis, S., Fortin, G., Leroyer, M., Römer, A., Terrail, R. ... Bergeron, Y. (2019). Stronger influence of anthropogenic disturbance than climate change on century-scale compositional changes in northern forests. *Nat Commun*, 10, 1265. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09265-z>
- Elferts, D. (2007). Scots pine pointer-years in north-western Latvia and their relationship with climatic factors. *Biology. Acta Universitatis Latviensis*, 723, 163-170. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/237650939_Scots_pine_pointer-years_in_northwestern_Latvia_and_their_relationship_with_climatic_factors
- Génova, M. (2012). Extreme pointer years in tree-ring records of Central Spain as evidence of climatic events and the eruption of the Huaynaputina Volcano (Peru, 1600 AD). *Climate of the Past*, 8, 751-764. <https://doi.org/10.5194/cp-8-751-2012>
- Izworska, K., Muter, E., Fleischer, P., & Zielonka, T. (2022). Delay of growth release after a windthrow event and climate response in a light-demanding species (European larch *Larix decidua* Mill.). *Trees*, 36(1), 427-438. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02218-4>
- Koval, I. (2013). Climatic signal in earlywood, latewood and total ring width of Crimean pine (*Pinus nigra Pallasiana*) from Crimean Mountains, Ukraine. *Baltic Forestry*, 19(2), 245-251. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143129819>
- Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, 57(2), 155-164. <https://doi.org/10.1051/forest:2000166>
- Nowacki, G. J., & Abrams, M. D. (1997). Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*, 67, 225-249. <https://doi.org/10.2307/2963514>
- Pellicone, G., Caloiero, T., & Guagliardi, I. (2019). The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy). *Journal of Maps*, 15(2), 788-796. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2019.1673840>
- Plewa, R., & Mokrzycki, T. (2017). Occurrence, biology, and economic importance of the sharp-dentated bark beetle *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) in Poland. *Sylvan*, 161(8), 619-629. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183042969>
- Rozas, V. (2001). Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Annals of Forest Science*, 58, 237-251. <https://doi.org/10.1051/forest:2001123>
- Siitonen, J. (2014). *Ips acuminatus* kills pines in southern Finland. *Silva Fennica*, 48, 1145. <https://doi.org/10.14214/sf.1145>
- Sun, S., Zhang, J., Zhou, J., Guan, C., Lei, S., Meng, P., & Yin, C. (2021). Long-Term Effects of Climate and Competition on Radial Growth, Recovery, and Resistance in Mongolian. *Pines Frontiers in Plant Science*, 12, 729935. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.729935>
- Wermelinger, B., Duelli, P., & Obrist, M. (2002). Dynamics of saproxylic beetles (Coleoptera) in windthrow areas in alpine spruce forests. *Forest Snow and Landscape Research*, 77(1-2), 133-148. Retrieved from <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:15303>

Radial increment of Scots pine next to the a place of clear cutting at the center of the ipid bark beetle outbreaks in Polissya

I. Koval¹, O. Andreeva²

Outbreaks of the ipid bark beetle (*Ips acuminatus*) have recently spread in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in many European countries, which is connected with climate change and anthropogenic load on forests. The response of stands to changes in the environment, in particular those associated with changes in the lighting regime and pest infestation, can be assessed by the tree radial increment.

The purpose of the study is to identify the peculiarities of changes in the radial increment of pine trees in areas with different illumination intensity after

¹ Iryna Koval – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Pushkinska st., Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38-063-282-19-95. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

² Olena Andreeva – PhD in Agricultural Sciences, Polissya National University, Associate Professor of the Faculty of Forestry and Ecology, 7 Stary bul., Zhytomyr, 10008, Ukraine. Tel.: +38-096-351-51-30. E-mail: andreeva-lena15@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0851-800X>

sanitation felling in the centers of the ipid bark beetle outbreaks in Polissia.

Three temporary test plots were established in a pine forest in moist fairly infertile pine site type – on the southeastern (most illuminated) and northwestern (least illuminated) sides of the clear felling area of 2013 at the center of the ipid bark beetle and in the forest (control). The analysis of increment cores (20 from each test plot), extracted in 2020, was carried out using standard dendochronological and statistical methods.

At the boundaries with the 2013 continuous sanitation felling, Scots pine cores sampled in 2020 are extremely fragile, unlike cores sampled in the forest. After cutting in 2013, during the period 2014-2017, compared to the period 2005-2012, pine radial increment increased by 20% and 17% in the most illuminated and the least illuminated test plots, but only by 3% in the control. After 2017, in the illuminated plots, pine radial increment began to decrease rapidly, in contrast to the control, where growth stabilization was noted. The years of minimum (2008, 2010, 2011, 2013) and maximum radial increment (2007, 2009, 2012 and 2014) of pine trees were identified. During the years with minimal increment, the radial increment was limited mainly by atmospheric precipitation, when the precipitation amount was by 38% below the norm in winter, by 10% below the norm during the growing season, the precipitation amount was by 34% less than the norm during some months, and the annual precipitation – by 21% below the norm.

Indices of change in growth (G_{Ct}) showed that disturbances in the pine stand occurred in the illuminated plots. Significant average negative correlation

coefficients were found between tree radial increment and the hydrothermal moisture coefficient of G.T. Selyaninov and the de Martonne index, which reflect the hydrothermal conditions of the current year. A significant positive relationship with the annual radial increment of the control trees was found with the Bitvinskas O_3 complex hydrothermal index, which reflects the hydrothermal conditions of the current and three previous years.

The most sensitive to climatic stress factors was the pine radial increment in the illuminated plots. The dependence of growth on winter temperatures and early spring temperatures increased with increasing illumination. A significant negative effect of the August temperature on the radial increment of the control pine was revealed. A positive relationship was found with the temperatures of November of the previous year, when the soil moisture was formed, which decreased in the illuminated plots. The positive influence of precipitation on the radial increment of trees weakened as the illumination of the stand increased.

So, it was established that the cores taken from the plots closest to the cutting place are fragile and have rotten elements. After clear cutting in 2013, an outburst in radial increment was observed in 2014 and which continued until 2017, after that it declined sharply in contrast to the control.

The dendroclimatic analysis showed an increase in the sensitivity of the pine radial increment depending on the increase in the illumination intensity.

Key words: *Pinus sylvestris* L.; *Ips acuminatus*; cores; outburst of growth; damage; dendrochronology; dendroclimatic analysis.