

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ
НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОВЕНИЕНЦИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ
НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСХОЗА**

Поплавская Л.Ф., Ребко С.В., Тупик П.В.

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»
(г. Минск, Республика Беларусь)*

В статье представлен анализ многолетних данных измерений прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации по данным метеорологической станции «Минск» за период с 1959 по 2020 гг. (62 года). Проанализировано изменение индексов ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провенциций во взаимосвязи с одновременным изменением индексов прямой и рассеянной солнечной радиации при произрастании климатических экотипов в географических лесных культурах на территории Березинско-Предполесского геоботанического района подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов Республики Беларусь. Показано погодичное влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различного географического происхождения прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на поверхность земли в регионе проведения исследований. Установлена умеренная корреляционная связь изменения индексов ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провенциций с индексами прямой радиации.

Все исследуемые климатические экотипы сосны обыкновенной можно разделить на две группы по степени влияния прямой солнечной радиации на радиальный прирост деревьев.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, климатический экотип, радиальный прирост, ширина годичного кольца древесины, солнечная радиация.*

**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF SOLAR RADIATION ON THE RADIAL
GROWTH OF SCOTS PINE OF VARIOUS PROVENIENCES GROWING
IN THE GEOGRAPHICAL FOREST CULTURES
OF THE NEGORELSKY EDUCATIONAL
AND EXPERIMENTAL FORESTRY ENTERPRISE**

Paplauskaya L.F., Rabko S.U., Tupik P.V.

The article presents an analysis of long-term measurement data of direct, diffuse and total solar radiation according to the Minsk meteorological station for the period from 1959 to 2020 (62 years). The change in the indices of the annual ring width of Scots pine wood of various provenances is analyzed in connection with the simultaneous change in the indices of direct and diffuse solar radiation during

the growth of climatic ecotypes in geographical forest plantations on the territory of the Berezinsko-Predpolessky geobotanical region of the hornbeam-oak-dark coniferous forest subzone of the Republic of Belarus. The year-by-year influence of direct and diffuse solar radiation coming to the earth's surface in the research region on the radial growth of Scots pine of various geographical origins is shown. A moderate correlation was established between the change in the indices of the annual ring width of Scots pine wood of different provenances and the indices of direct radiation. All the studied climatic ecotypes of Scots pine can be divided into two groups according to the degree of influence of direct solar radiation on the radial growth of trees.

Keywords: Scots pine, climatic ecotype, radial growth, width of annual wood ring, solar radiation.

ВВЕДЕНИЕ

Рост деревьев в лесонасаждении в высоту и по диаметру обеспечивается в основном благодаря органическим веществам, получаемым в результате фотосинтеза. Главным фактором внешней среды, влияющим на фотосинтез деревьев, является солнечный свет, действие которого зависит от его интенсивности и длительности освещения. Приходящая солнечная радиация играет важную роль в фотохимических и физико-географических процессах, происходящих на земной поверхности и в атмосфере, а также является одним из важнейших факторов климатических изменений [1–4].

Поступающая от Солнца на Землю радиация является единственной формой прихода лучистой энергии, определяющей энергетический баланс и термический режим Земли. Радиационная энергия, поступающая от всех других небесных тел, настолько мала, что не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на происходящие на Земле процессы теплообмена и массообмена. В соответствии с температурой излучающей поверхности Солнца максимум радиационной энергии наблюдается при длинах волн около 0,50 мкм, причем основная часть энергии, излучаемой Солнцем, приходится на интервал длин волн 0,3–2,0 мкм [5–8].

Радиация Солнца поглощается в атмосфере водяным паром и каплями воды, озоном, углекислым газом и пылью. Рассеяние солнечной радиации обуславливается как молекулами воздуха, так и различными примесями – пылью, водяными каплями и т.д. Прошедший через атмосферу поток прямой солнечной радиации зависит от прозрачности атмосферы, которая определяет длину пути солнечных лучей, а так же от расстояния Солнца до поверхности Земли. Наибольшее значение потока прямой радиации наблюдается при безоблачном небе и высокой прозрачности атмосферы. В таких условиях энергия её потока на перпендикулярную поверхность может достигать 1000–1200 Вт/м². Средние полуденные значения этого потока в средних широтах обычно равны 700–900 Вт/м². При уменьшении высоты Солнца в суточном ходе прямая солнечная

радиация заметно уменьшается в соответствии с возрастанием оптической массы пройденной ею атмосферы.

Сосна обыкновенная разного по географической широте происхождения проявляет различные требования к длине светового дня и к интенсивности освещения. Северные климатические экотипы характеризуются меньшим вегетационным периодом, но более длительным световым днем. В северных широтах продолжительность светового дня в июне достигает 21 ч. Южные климатотипы, наоборот, имеют длительный вегетационный период и более короткий световой день, продолжительностью до 14 ч. В районах, расположенных в пределах 50–60 ° с. ш., длина светового дня в июне колеблется в пределах 16–19 ч. Географические экотипы, произрастая в иных широтах, сохраняют свою периодичность и интенсивность роста. Так, северные климатотипы (архангельский, ленинградский, вологодский) раньше других начинают вегетационный период и раньше других его заканчивают. Южные климатотипы более теплолюбивые, поэтому для начала вегетации им необходима большая сумма положительных температур, которая в основном определяется солнечной радиацией.

По мнению В.Н. Киселёва с соавторами, в дендроклиматических исследованиях солнечной радиации как фактору изменчивости радиального прироста не уделяется должного внимания, при этом её участие в многолетнем ходе нарастания стволовой массы и жизненного состояния древостоя остается слабо изученным [9, 10].

По данным С.М. Матвеева [1], ежегодный прирост древесины по диаметру ствола сосновых древостоев умеренного климата имеет циклическую динамику. Прирост древостоев сосны обыкновенной в Центральной лесостепи Русской равнины полициклический: прослеживаются и накладываются циклы разных порядков, от 2–3-летних до вековых и многовековых. Причем наиболее заметен 10–12-летний цикл [11, 12], первопричиной которого является 11-летний цикл активности Солнца [13–15], также наиболее изученный и даже пронумерованный: первым считается период от минимума 1755 г. до минимума 1766 г., с 1996 г. начался 23-й период. Непрерывные наблюдения за солнечной активностью охватывают три столетия (1700–2000 гг.), за это время выделяются три вековых цикла солнечной активности. Эпохи минимума отмечены на рубеже веков (1700–1710-е; 1800–1820-е; 2000-е и, очевидно, 2010-е гг.). Эпохи максимума наблюдались в 1770–1780-е; в 1830–1840-е и 1870-е; в 1940–1950-е и 1970–1980-е гг. [13, 14].

Результаты исследований А.М. Митряйкиной [7] по изучению 23 видов хвойных и лиственных древесных пород свидетельствуют о перспективном использовании в дендрохронологических исследованиях коэффициента биоклиматического потенциала солнечной энергии, который характеризует климатические условия всего календарного года, в том числе и те значения осад-

ков и температуры, которые не зафиксированы при расчете гидротермического коэффициента Селянинова.

Многолетние циклические колебания режимов солнечной активности, по данным В.С. Симоненкова и В.А. Симоненковой [16], наряду с температурой и осадками вызывают синхронные колебания радиального прироста сосны обыкновенной.

Авторами М.В. Скомарковой, Е.А. Вагановым, К. Вирт и А.В. Кирдяновым [17] проведены дендроклиматические исследования годичных колец ели, пихты, сосны, березы и осины, произрастающих в подзоне средней тайги Центральной Сибири. Ими установлено, что в конкретных условиях Центральной Сибири влияние климатических факторов объясняет лишь не более 53,5 % в общей доле изменчивости величины радиального прироста.

А.М. Митрайкиной [6] были изучены максимально разнородные древесные спилы сосны обыкновенной и дуба черешчатого, а также индивидуальная и паратипиская изменчивость в динамике радиального прироста этих пород и особенности формирования годичных колец деревьев в условиях типичной лесостепи Среднерусской возвышенности. При этом установлено, что между солнечной активностью в пределах 11-летнего цикла и величиной радиального прироста исследуемых деревьев существует прямая связь со сдвигом максимума прироста от максимума солнечной активности в 1 год.

А.В. Тимофеев [18] в своей работе установил, что режимы основных экологических факторов – солнечной активности, температуры воздуха, увлажненности – имеют циклический характер и вызывают синхронные колебания радиального прироста сосны обыкновенной. Анализ научных работ многих исследователей [19–24] также показывает перспективность использования в дендроклиматических исследованиях представленных выше подходов по оценке влияния на радиальный прирост гелиоклиматических факторов. Таким образом, солнечная радиация (суммарная, рассеянная, прямая) оказывает существенное влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной в различных регионах произрастания.

Целью нашей работы является оценка влияния солнечной радиации на изменение радиального прироста сосны обыкновенной различного географического происхождения, произрастающей в географических лесных культурах на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – географические лесные культуры сосны обыкновенной, созданные в 1959 г. на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза (Дзержинский р-н Минской обл.) В.Г. Мишневым и Е.Д. Манцевичем в содружестве с Центральной контрольной станцией лесных семян и Белорус-

ской контрольной станцией лесных семян на площади 8,7 га. Для создания географических культур были получены семена из 200 пунктов территории стран бывшего Советского Союза. В результате отобрано 65 образцов семян из насаждений группы типов леса боры-зеленомошники, посев которых осуществлен в апреле 1958 г. в постоянном лесном питомнике Негорельского учебно-опытного лесхоза. По гранулометрическому составу почва на питомнике является связнопечасной.

Для получения одинаковой густоты стояния сеянцев в одной строке высевали одинаковое количество жизнеспособных семян на 1 п. м. После посева гряды покрывали мхом. До середины июля всходы отенялись драночными щитами. За сеянцами проводился уход, заключающийся в трехкратной прополке и рыхлении почвы. Площадь под географические культуры отведена в кв. 15 и представляла собой вырубку 1958 г., имеющую правильную конфигурацию, вытянутую с севера на юг. Осенью лесосека была раскорчевана и выравнена бульдозером, затем вспахана на глубину 25 см. В апреле 1959 г. площадь повторно выравнивалась бульдозером и бороновалась дисковыми боронами в два следа. Перед посадкой культур производилась окончательная планировка площади вручную с выборкой и сжиганием корней. Каждый климатический экотип сосны обыкновенной представлен на участке одной секцией площадью 0,1 га. Эти участки секций ограничены со всех сторон 2-метровой дорогой и остолблены. С западной стороны ко всему участку примыкает 4-метровая дорога. В настоящее время географические лесные культуры сосны обыкновенной произрастают на площади 4,4 га и представлены 44 сохранившимися климатипами. Диапазон происхождения семян сосны обыкновенной: 48°–62° с. ш. и 22°–111° в. д. и представлен 30 лесосеменными районами, выделенными в соответствии с «Лесосеменным районированием СССР» и представленными нами ранее в работе [25].

Для определения влияния солнечной радиации на радиальный прирост географических культур сосны обыкновенной нами были получены и проанализированы актинометрические данные по метеорологической станции «Минск» за период с 1959 по 2020 гг. Анализу были подвергнуты такие показатели как суммарная, рассеянная и прямая солнечная радиация за 62-летний период наблюдений. Для расчета индексов прямой солнечной радиации была определена средняя величина прямой солнечной радиации за анализируемый период, далее значения каждого конкретного анализируемого года соотносили со средней величиной прямой солнечной радиации.

Изменение ширины годичных слоев изучали по взятым из ствола деревьев кернам древесины. У каждого дерева было отобрано по 1 керну на высоте 1,3 м в направлении север-юг в октябре 2020 г. На участке секции в каждом климатипе были отобраны по 10 деревьев с хорошей очищаемостью стволов от сучьев, которые соответствовали средним показателям диаметра и высоты насаждения (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика деревьев сосны обыкновенной различного географического происхождения, отобранных для взятия кернов древесины

Климатический тип сосны обыкновенной	Континентальность климата, %	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Коэффициент формы
Архангельский	40–50	18,2	23,02±1,56	0,64
Ленинградский	38–45	18,2	31,42±0,66	0,26
Томский	60–70	23,8	32,28±0,76	0,50
Вологодский	42–50	19,1	23,24±0,71	0,55
Эстонский	35–36	26,4	35,00±0,75	0,61
Латвийский	35–36	27,0	31,02±0,74	0,52
Витебский	38–42	27,6	37,94±0,83	0,68
Минский	36–43	21,0	29,00±0,88	0,65
Ульяновский	60–64	22,4	24,44±0,38	0,64
Башкирский	44–57	24,5	25,12±1,19	0,69
Гродненский	36–43	23,4	25,20±0,91	0,66
Курский	49–55	24,1	29,90±0,58	0,50
Белгородский	49–55	26,4	26,86±0,69	0,74
Волгоградский	60–64	23,7	24,25±1,21	0,73
Ростовский	50–60	21,4	23,62±0,65	0,63
Хмельницкий	36–42	23,4	22,61±0,87	0,72
Полтавский	46–50	21,7	31,88±0,89	0,45

Для элиминирования возрастных трендов были рассчитаны индексы прироста древесины по формуле, предложенной Д.Е. Румянцевым [8]:

$$It = wt/w(j+5),$$

где It – индекс прироста древесины; wt – фактическая ширина годичного кольца, мм; $w(j+5)$ – скользящее сглаживание с 5-летним периодом.

Всего анализу было подвергнуто 170 кернов. Измерение ширины годичных колец выполняли по отсканированному на сканере HP ScanjetG4010 с разрешением изображения 1200 dpi рисунку в программном обеспечении QGIS с точностью 0,01 мм.

Обработка всех полученных значений показателей суммарной, рассеянной и прямой солнечной радиации, а также ширины годичных колец деревьев исследуемых климатических экотипов сосны обыкновенной и корреляционный анализ осуществлены в пакете программы *MO Excel*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изменения солнечной радиации за исследуемый период наблюдений показал значительные ее колебания по годам. Средний уровень суммарной радиации (Q) составил 3688,9 мДж/м², около 80 % которой приходится на период с апреля по октябрь (вегетационный период). Максимальный уровень суммарной радиации отмечен в 1963 г. и 2002 г., минимальный – в 1977 г. и 2020 г. (табл. 2).

Таблица 2 – Солнечная радиация по данным метеостанции «Минск»

Год	Суммарная солнечная радиация (Q), мДж/м ²	В т. ч. суммарная солнечная радиация за апрель-октябрь (Q), мДж/м ²	Рассеянная солнечная радиация (Q), мДж/м ²	Прямая солнечная радиация (Q), мДж/м ²
1	2	3	4	5
1959	3826	3136	1836	1990
1960	3703	3027	1973	1730
1961	3739	3012	2040	1699
1962	3611	2843	2116	1495
1963	4174	3369	1970	2204
1964	3808	3041	1988	1820
1965	3733	2951	2111	1622
1966	3721	3066	1962	1759
1967	3751	3125	2016	1735
1968	3781	3052	2051	1730
1969	3804	2901	1962	1842
1970	3512	2857	1963	1549
1971	3864	3203	2013	1851
1972	3601	2855	1884	1717
1973	3678	2909	1945	1733
1974	3535	2834	1998	1537
1975	3556	2897	1824	1732
1976	3758	3025	2089	1669
1977	3050	2490	1825	1225
1978	3188	2530	1874	1314
1979	3639	2911	1948	1691
1980	3291	2523	2071	1220
1981	3595	2852	2054	1541
1982	3547	2789	1960	1587
1983	3705	3005	2275	1430
1984	3421	2677	2150	1271
1985	3539	2839	2071	1468
1986	3608	2809	1990	1618
1987	3604	2751	2023	1581
1988	3583	2795	2075	1508
1989	3476	2903	1857	1619
1990	3520	2872	1993	1527
1991	3441	2806	1938	1503
1992	3684	3051	2196	1488
1993	3479	2724	1977	1502
1994	3645	2929	1929	1716
1995	3736	3037	1703	2033
1996	3739	2940	1738	2001
1997	3605	2961	1633	1972
1998	3448	2741	1654	1794
1999	4008	3273	1739	2269

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
2000	3637	2966	1911	1726
2001	3712	2907	1986	1726
2002	4087	3383	2042	2045
2003	3820	3090	2004	1816
2004	3698	3018	1939	1759
2005	3781	2948	1939	1842
2006	3938	3185	1901	2037
2007	3895	3175	2018	1877
2008	3769	3093	2034	1735
2009	3930	3306	1853	2077
2010	3797	2944	2061	1736
2011	4082	3241	1988	2094
2012	3748	3018	1817	1931
2013	3765	3028	1879	1886
2014	3832	2990	1779	2053
2015	3750	3058	1718	2032
2016	3625	3036	1636	1989
2017	3426	2861	1489	1937
2018	3838	3114	1771	2067
2019	3812	3073	1974	1838
2020	3075	2426	1436	1639

Максимальные и минимальные уровни радиации связаны с увеличением и уменьшением в эти периоды доли прямой радиации (рисунок 1). Так, в 1963 г., когда наблюдался максимум суммарной радиации, доля прямой радиации составила 52,8 %, а в 2017 г. – 56,5 %. По данным метеостанции «Минск», доля рассеянной радиации от общей суммарной составляет в среднем 52 %, однако по периодам это соотношение существенно меняется. В результате проведенных исследований по влиянию солнечной радиации на радиальный прирост сосны обыкновенной в географических лесных культурах (рисунок 2–17) была установлена положительная корреляция (таблица 3) между уровнем рассеянной радиации и шириной годичного слоя.

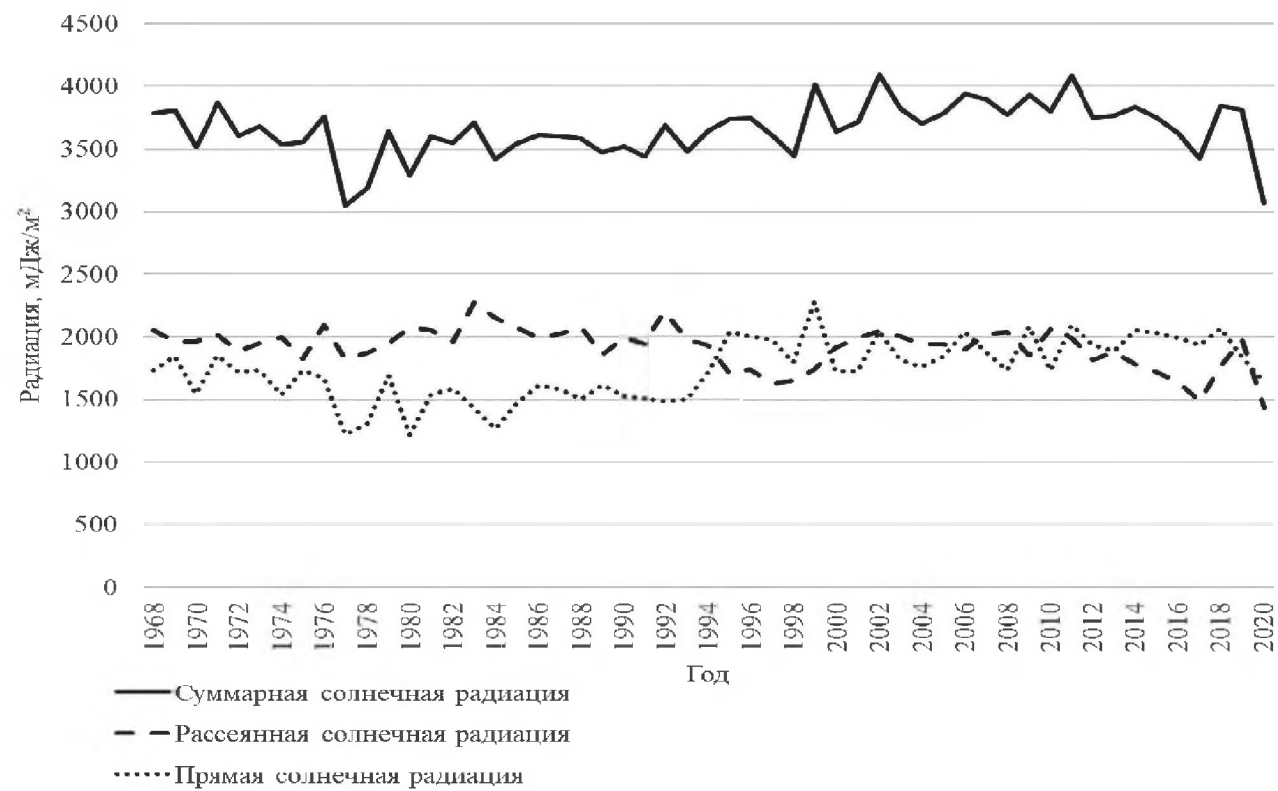


Рисунок 1 – Изменение суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации по годам исследований (данные метеостанции «Минск»)

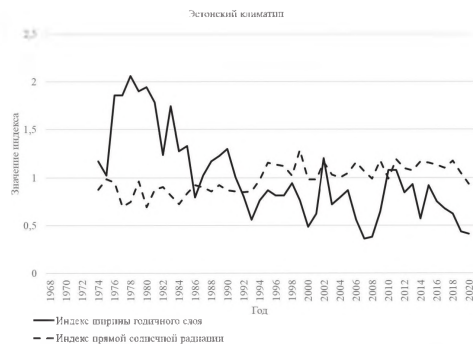


Рисунок 2 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя эстонского климатипа сосны обыкновенной

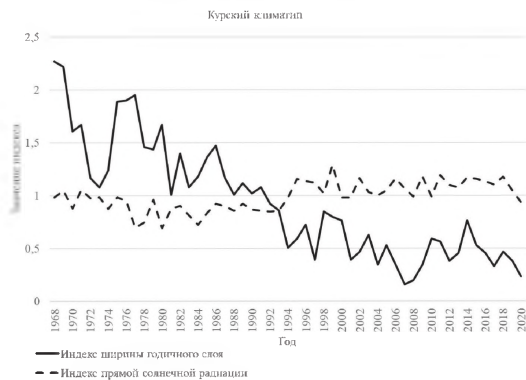


Рисунок 4 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя курского климатипа сосны обыкновенной

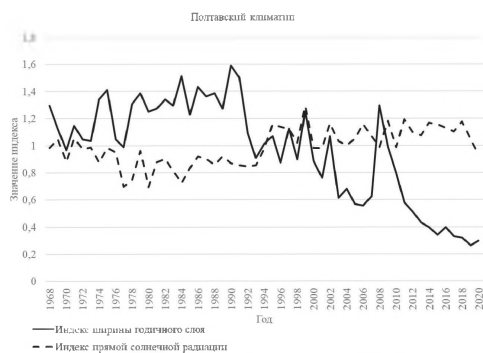


Рисунок 3 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя полтавского климатипа сосны обыкновенной

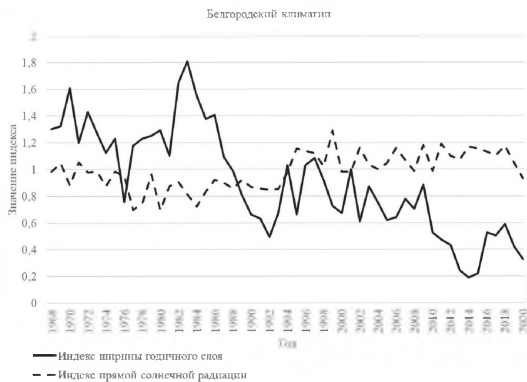


Рисунок 5 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя белгородского климатипа сосны обыкновенной

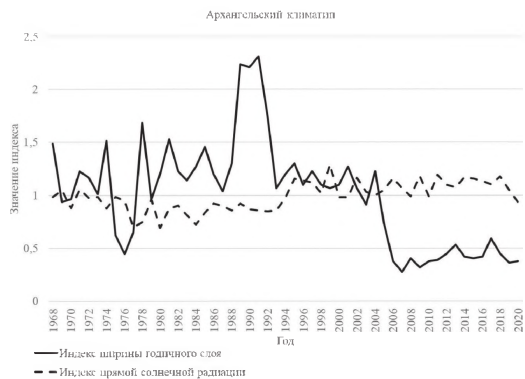


Рисунок 6 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя архангельского климатипа сосны обыкновенной

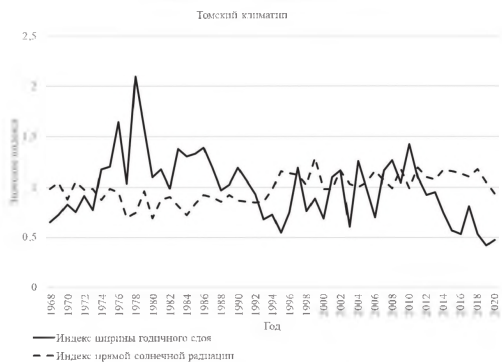


Рисунок 8 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя томского климатипа сосны обыкновенной

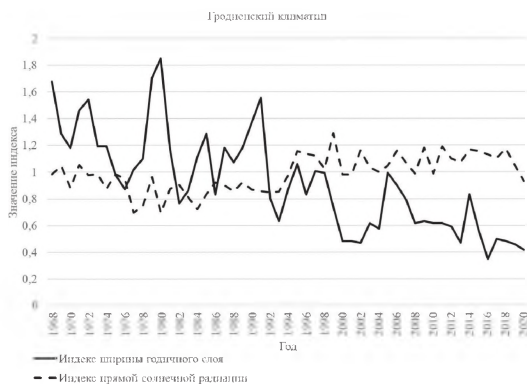


Рисунок 7 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя гродненского климатипа сосны обыкновенной

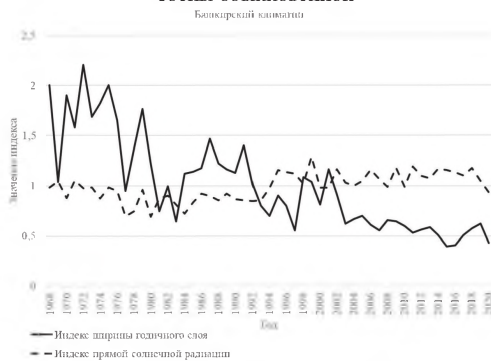


Рисунок 9 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя башкирского климатипа сосны обыкновенной

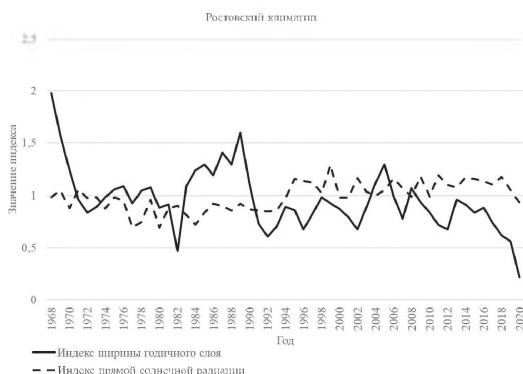


Рисунок 10 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя ростовского климатипа сосны обыкновенной

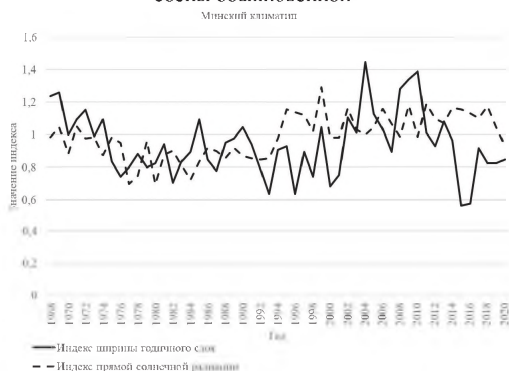


Рисунок 12 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя минского климатипа сосны обыкновенной

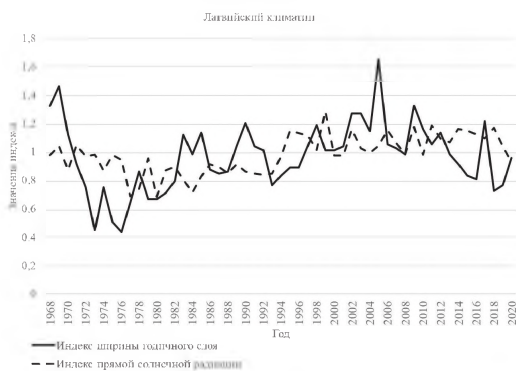


Рисунок 11 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя латвийского климатипа сосны обыкновенной

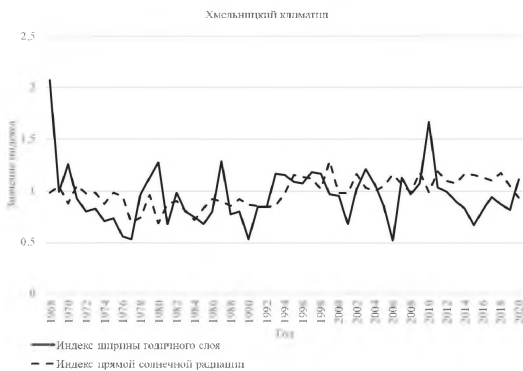


Рисунок 13 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя хмельницкого климатипа сосны обыкновенной

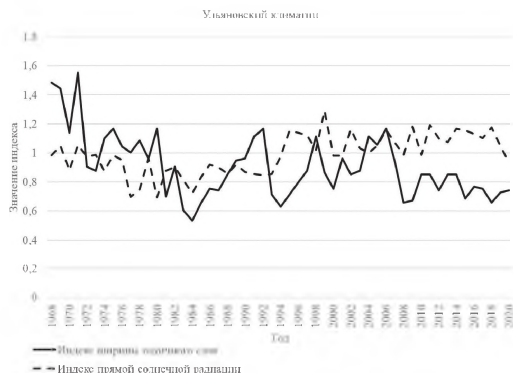


Рисунок 14 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя ульяновского климатипа сосны обыкновенной

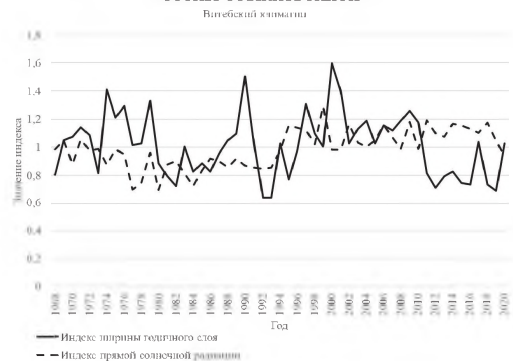


Рисунок 16 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя витебского климатипа сосны обыкновенной

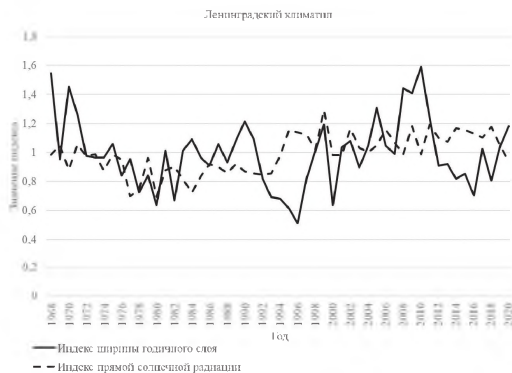


Рисунок 15 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя ленинградского климатипа сосны обыкновенной

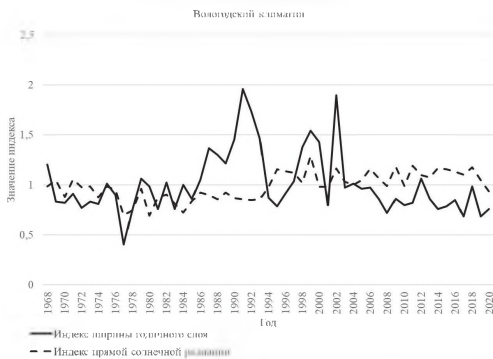


Рисунок 17 – Изменение индексов прямой солнечной радиации и ширины годичного слоя вологодского климатипа сосны обыкновенной

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя деревьев сосны обыкновенной и солнечной радиацией

Климатический экотип сосны обыкновенной	Континентальность климата, %	Коэффициент корреляции ширины годичного слоя		
		с рассеянной радиацией	с прямой радиацией	с суммарной радиацией
Эстонский	35–36	+0,45	–0,59	–0,40
Полтавский	46–50	+0,56	–0,50	–0,25
Курский	49–55	–0,07	–0,57	–0,41
Белгородский	49–55	+0,43	–0,54	–0,34
Архангельский	40–50	+0,36	–0,42	–0,30
Гродненский	36–43	+0,37	–0,49	–0,34
Томский	60–70	+0,49	–0,43	–0,19
Башкирский	44–57	+0,35	–0,40	–0,24
Волгоградский	60–64	+0,34	–0,25	–0,09
Ростовский	50–60	+0,27	–0,26	–0,17
Латвийский	35–36	–0,02	+0,26	+0,29
Минский	36–43	+0,16	–0,16	+0,31
Хмельницкий	36–42	–0,07	+0,05	+0,04
Ульяновский	60–64	–0,13	+0,19	–0,01
Ленинградский	38–45	+0,13	+0,10	+0,23
Витебский	38–42	+0,10	–0,03	+0,03
Вологодский	42–50	+0,10	–0,01	+0,01
Примечание: полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, статистически достоверно подтверждающие уровень корреляционной связи.				

Наиболее тесная положительная корреляционная связь обнаружена у полтавского климатипа (коэффициент корреляции $r = 0,56$). Томский, эстонский и белгородский климатипы также положительно реагируют на увеличение рассеянной радиации (коэффициенты корреляции соответственно равны $r = 0,49$, $0,45$ и $0,43$).

Величина прямой радиации также оказывает существенное влияние на прирост по диаметру сосны обыкновенной различного происхождения. Чем выше доля прямой радиации, тем ниже величины ширины годичных слоев деревьев, то есть радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной снижается (коэффициенты корреляции равны $r = -0,59$ (эстонский климатип), $r = -0,57$ (курский климатип), $r = -0,54$ (белгородский климатип), $r = -0,50$ (полтавский климатип), $r = -0,49$ (гродненский климатип), $r = -0,43$ (томский климатип), $r = -0,42$ (архангельский климатип) и $r = -0,40$ (башкирский климатип). Поиск наличия положительной или отрицательной корреляционной связи между индексами ширины годичного слоя древесины климатических экотипов сосны обыкновенной и индексами прямой солнечной радиации по годам наблюдений (r), со смещением на 1 (r_{-1}) и 2 (r_{-2}) года путем расчёта коэффициентов корреляции позволил выявить определенную закономерность (табл. 4).

Все исследуемые климатические экотипы сосны обыкновенной можно разделить на 2 группы по степени влияния прямой солнечной радиации на радиальный прирост деревьев.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между индексами ширины годичного слоя древесины деревьев сосны обыкновенной и прямой солнечной радиации

Климатический экотип сосны обыкновенной	Континентальность климата, %	Коэффициенты корреляции индексов ширины годичного слоя и индексов прямой солнечной радиации		
		в год проведения исследований (r)	со смещением на 1 год (r ₋₁)	со смещением на 2 года (r ₋₂)
Эстонский	35–36	–0,59	–0,60	–0,53
Полтавский	46–50	–0,55	–0,69	–0,64
Курский	49–55	–0,53	–0,53	–0,61
Белгородский	49–55	–0,53	–0,51	–0,53
Архангельский	40–50	–0,50	–0,57	–0,45
Гродненский	36–43	–0,47	–0,54	–0,59
Томский	60–70	–0,45	–0,52	–0,42
Башкирский	44–57	–0,41	–0,44	–0,44
Волгоградский	60–64	–0,28	–0,40	–0,24
Ростовский	50–60	–0,22	–0,34	–0,27
Латвийский	35–36	+0,19	+0,22	+0,37
Минский	36–43	+0,14	–0,01	+0,17
Хмельницкий	36–42	+0,10	+0,25	–0,01
Ульяновский	60–64	–0,10	–0,10	+0,01
Ленинградский	38–45	+0,06	+0,03	+0,31
Витебский	38–42	–0,04	+0,12	+0,10
Вологодский	42–50	–0,01	–0,15	–0,10
Примечание: полужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, статистически достоверно подтверждающие уровень корреляционной связи.				

К первой группе относятся климатические экотипы сосны обыкновенной, у которых статистически достоверно выявлена отрицательная корреляционная связь между индексами ширины годичного слоя древесины и индексами прямой солнечной радиации как по сравниваемым годам (r), так и со смещением на 1 (r₋₁) и 2 (r₋₂) года с сохранением уровня выявленной корреляционной связи. К таким провениенциям относятся климатические экотипы сосны обыкновенной эстонского (коэффициенты корреляции равны соответственно r = –0,59; r₋₁ = –0,60; r₋₂ = –0,53), полтавского (r = –0,55; r₋₁ = –0,69; r₋₂ = –0,64), курского (r = –0,53; r₋₁ = –0,53; r₋₂ = –0,61), белгородского (r = –0,53; r₋₁ = –0,51; r₋₂ = –0,53), архангельского (r = –0,50; r₋₁ = –0,57; r₋₂ = –0,45), гродненского (r = –0,47; r₋₁ = –0,54; r₋₂ = –0,59), томского

($r = -0,45$; $r_{-1} = -0,52$; $r_{-2} = -0,42$) и башкирского ($r = -0,41$; $r_{-1} = -0,44$; $r_{-2} = -0,44$) происхождений.

Ко второй группе относятся климатические экотипы сосны обыкновенной, у которых корреляционная связь между индексами ширины годичного слоя древесины и индексами прямой солнечной радиации как по сравнимым годам (r), так и со смещением на 1 (r_{-1}) и 2 (r_{-2}) года оказалась слабой, статистически недостоверной или практически отсутствует. К таким климатическим экотипам относится сосна ленинградского, вологодского, латвийского, минского, витебского, ульяновского, Волгоградского, ростовского и хмельницкого происхождений. Коэффициенты корреляции по годам исследований (r) и со смещением на 1 (r_{-1}) и 2 (r_{-2}) года колеблются среди климатипов изучаемой группы в пределах 0,01–0,40.

Полученные данные позволяют заключить, что менее подвержены колебаниям солнечной радиации экотипы из районов с климатическими условиями, близкими к условиям произрастания географических культур (континентальность климата в пределах 38–45 %), а также степные климатипы с континентальностью климата 60 %. Климатипы со средней континентальностью в пределах 46–55 %, а также климатипы, относящиеся к сибирскому и лапландскому подвиду сосны обыкновенной, отрицательно реагируют на увеличение доли прямой радиации. Исключение составляют эстонский и гродненский климатипы сосны обыкновенной, которые относятся к районам с мягким климатом, но подвержены влиянию прямой солнечной радиации. Эти климатипы относятся к Белорусскому (Западному) и Прибрежному лесосеменным районам, где выпадает большое количество осадков и преобладают дни с облачностью, то есть с большей долей рассеянной солнечной радиации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по влиянию солнечной радиации на радиальный прирост сосны обыкновенной различного географического происхождения выявлена положительная корреляция между уровнем рассеянной радиации и шириной годичного слоя древесины. Положительно реагируют на увеличение рассеянной радиации с выявленной умеренной положительной корреляционной связью климатипы сосны полтавского ($r = 0,56$), томского ($r = 0,49$), эстонского ($r = 0,45$) и белгородского ($r = 0,43$) происхождений.

Величина прямой солнечной радиации также оказывает существенное влияние на прирост по диаметру сосны обыкновенной различного происхождения. Чем выше доля прямой радиации, тем ниже значения величины ширины годичных слоев деревьев, то есть радиальный прирост деревьев сосны обыкновенной снижается: $r = -0,59$ (эстонский климатип), $r = -0,57$ (курский климатип), $r = -0,54$ (белгородский климатип), $r = -0,50$ (полтавский климатип), $r = -0,49$ (гродненский климатип), $r = -0,43$ (томский климатип), $r = -0,42$ (архангельский климатип) и $r = -0,40$ (башкирский климатип).

Определенная закономерность выявлена в результате поиска наличия положительной или отрицательной корреляционной связи между индексами ширины годичного слоя древесины климатических экотипов сосны обыкновенной и индексами прямой солнечной радиации по годам наблюдений, а также со смещением на 1 и 2 года. Все исследуемые климатические экотипы сосны обыкновенной можно разделить на 2 большие группы по степени влияния прямой солнечной радиации на радиальный прирост деревьев. К первой группе относятся климатические экотипы сосны обыкновенной, у которых статистически достоверно выявлена отрицательная корреляционная связь между индексами ширины годичного слоя древесины и индексами прямой солнечной радиации как по сравниваемым годам, так и со смещением на 1 и 2 года с сохранением уровней характера выявленной корреляционной связи. К таким провинциям относятся климатические экотипы сосны обыкновенной эстонского, полтавского, курского, белгородского, архангельского, гродненского, томского и башкирского происхождений.

Ко второй группе относятся климатические экотипы сосны обыкновенной, у которых корреляционная связь между индексами ширины годичного слоя древесины и индексами прямой солнечной радиации как по сравниваемым годам, так и со смещением на 1 и 2 года оказалась слабой, статистически недостоверной или практически отсутствует. К таким климатическим экотипам относятся сосна ленинградского, вологодского, латвийского, минского, витебского, ульяновского, волгоградского, ростовского и хмельницкого происхождения. Коэффициенты корреляции по годам исследований и со смещением на 1 и 2 года колеблются в пределах 0,01–0,40, что предопределяет слабый характер корреляционной связи.

Таким образом, менее подвержены колебаниям солнечной радиации экотипы из районов с климатическими условиями, близкими к условиям произрастания географических культур (континентальность климата в пределах 38–45 %), а также степные климатические экотипы с континентальностью климата 60 %. Климатические экотипы со средней континентальностью в пределах 46–55 %, а также климатические экотипы, относящиеся к сибирскому и лапландскому подвиду сосны обыкновенной, отрицательно реагируют на увеличение доли прямой радиации. Исключение составляют эстонский и гродненский климатические экотипы сосны обыкновенной, которые относятся к районам с мягким климатом, но подвержены влиянию прямой солнечной радиации. Эти климатические экотипы относятся к Белорусскому (Западному) и Прибрежному лесосеменным районам, где выпадает большое количество осадков и преобладают дни с облачностью, то есть с большей долей рассеянной солнечной радиацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев, С.М. Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности / С.М. Матвеев // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2005. – № 1–2. – С. 15–22.
2. Курейчик, Е.П. Закономерности распределения солнечной радиации по поверхности Земли / Е.П. Курейчик // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса». Секция «Дорожная климатология». – В 6 ч. – Ч. 3 / науч. рук. И. И. Леонович. – Мн.: БНТУ, 2013. – С. 26–30.
3. Матвеев, С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 272 с.
4. Матюшевская, Е.В. Гелиорадиационный фактор усыхания сосны в белорусском Полесье / Е.В. Матюшевская, В.Н. Киселев, С.В. Девгуть // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды: сборник материалов Годичного собрания Общ. физиологов растений России, Всеросс. научн. конф. с межд. участием и школы молодых ученых. В 2-х ч., Иркутск, 10–15 июля 2018 г. Часть II. – Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы Сиб. отд. Росс. акад. наук, 2018. – С. 1084–1088. – DOI 10.31255/978-5-94797-319-8-1084-1088. – EDN XYZTRJ.
5. Матюшевская, Е.В. Солнечная радиация как фактор усыхания сосновых лесов Белорусского Полесья / Е.В. Матюшевская, В.Н. Киселев, В.Н. Яротов // Лесное хозяйство: материалы докладов 84-й научно-техн. конф., посвященной 90-летию БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. – Мн.: БГТУ, 2020. – С. 47–49.
6. Митряйкина, А.М. Использование показателей климата и солнечной активности при проведении дендроклиматических исследований / А.М. Митряйкина // Вестник ВГУ. Серия: география, геоэкология. – 2005. – № 2. – С. 13–19.
7. Митряйкина, А.М. Геоэкологическая оценка влияния гелиоклиматических факторов на радиальный прирост деревьев / А.М. Митряйкина // Автореф. дисс. канд. географ. наук. – Белгород, 2006. – 24 с.
8. Румянцев, Д.Е., Воробьева, Н.С. Влияние солнечной активности на рост осины в условиях мордовского заповедника / Д.Е. Румянцев, Н.С. Воробьева // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. – 2023. – Т. 34. – № 1–2. – С. 128–142.
9. Солнечная радиация как экологический фактор на верховых болотах / В.Н. Киселёв [и др.]. // Весці БДПУ. Серыя 3. – 2012. – № 1. – С. 52–58.
10. Хвойные леса Беларусии в современных климатических условиях / В.Н. Киселёв [и др.]. – Мн.: Право и экономика, 2010. – 202 с.
11. Матвеев, С.М. Дендрохронология: учеб. пособие / С.М. Матвеев. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2001. – 88 с.

12. Таранков, В.И. Цикличность прироста сосны обыкновенной в восточно-европейской лесостепи / В.И. Таранков, Л.Б. Лазуренко // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 12–19.
13. Скрыбин, М.П. Дубовые леса и вековые циклы в природных условиях / М.П. Скрыбин // Восстановление и повышение производительности дубрав лесостепи: науч. записки Воронеж. лесотехн. ин-та. – Воронеж, 1960. – Т. 20. – С. 211–217.
14. Эйгенсон, М.С. Солнце, погода и климат / М.С. Эйгенсон. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 229 с.
15. Douglass, A.E. Climatic cycles and tree growth / A.E. Douglass. – Washington: Carnegie Inst., 1936. – Vol. 3. – 289 p.
16. Симоненков, В.С., Симоненкова, В.А. Влияние климатического и биотического факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в очагах массового размножения сосновых пилильщиков / В.С. Симоненков, В.А. Симоненкова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 217–225.
17. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири / М.В. Скомаркова [и др.]. // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.06.014>.
18. Тимофеев, А.В. Динамика прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) под влиянием естественных и антропогенных факторов в условиях лесостепного Поволжья: дисс. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2003. – 275 с.
19. Яротов, А.Е. Итоги исследования изменчивости радиального прироста сосны на территории Беларуси / А.Е. Яротов // Вестник БГУ. – 2008. – Сер. 2, № 1. – С. 105–108.
20. Кутявин, И.Н., Манов, А.В. Дендроклиматический анализ радиального прироста сосны (*Pinus sylvestris* L.) на европейском северо-востоке России / И.Н. Кутявин, А.В. Манов // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. Т. 86. – № 4. – С. 547–562.
21. Румянцев, Д.Е., Черакшев, А.В. Анализ динамики радиального прироста в 445-летней древесно-кольцевой хронологии сосны из Прибайкальского национального парка / Д.Е. Румянцев, А.В. Черакшев // Лесохозяйственная информация. – 2018. – № 1. – С. 41–49.
22. Значение экспозиции склонов для роста лиственницы Гмелина в мерзлотных условиях Средней Сибири. Различия в динамике радиального прироста деревьев на склонах северной и южной экспозиции / А.В. Беньковская [и др.]. // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 4. – С. 18–29. DOI: 10.15372/SJFS20150402.
23. Бочаров, А.Ю. Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай) / А.Ю. Бочаров // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2009. – Т. 2. – № 1. – С. 30–37.
24. Неверов, Н.А. Радиальный рост сосны обыкновенной в условиях северной тайги / Н.А. Неверов, З.Б. Чистова, А.Л. Минеев // Известия ВУЗов. Лесной

журнал. – 2022. – № 6. – С. 193–205. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-6-193-205>.

25. Характеристика происхождения исходного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» // С.В. Ребко [и др.]. // Ботаника (Исследования). 2024. – Вып. 54. – С. 213–225.

26. Матвеев, С.М., Румянцев, Д.Е. Дендрохронология: учеб. пособие, 2-е изд., перераб и доп. / С.М. Матвеев, Д.Е. Румянцев. – Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2013. – 140 с.

27. Тишин, Д.В., Чижилова, Н.А. Дендрохронология / Д.В. Тишин, Н.А. Чижилова. – Казань: Казанский университет, 2018. – 34 с.

Статья поступила в редколлегию 30.04.2025 г.



УДК 630*28:635.86

ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОГО РОСТА БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА *AURICULARIA NIGRICANS* НА РАЗЛИЧНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Родионов С.Ф.¹, Трухопонец В.В.²

¹ГНУ «Институт леса НАН Беларуси»

(г. Гомель, Беларусь)

²ГТУ им. Ф.Скорины

(г. Гомель, Беларусь)

В работе приведены данные об исследовании особенностей вегетативного роста итамов *Auricularia nigricans* (Sw.) Birkebak [= *A. polytricha* (Mont.) Sacc.] на различных питательных средах и растительных субстратах в лабораторных условиях. Отмечены итамовые различия вегетативного роста и плодоношения культур *Auricularia* spp. из коллекции итамов грибов ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» (FIB) на исследуемых субстратах. Изучена динамика вегетативного роста *A. nigricans* на питательных средах, а также среднесуточная скорость роста мицелия на измельченных растительных субстратах.

Ключевые слова: *Auricularia nigricans*, Вегетативный рост, Питательные среды, Растительные субстраты, Культивирование грибов, Мицелий, Итамовые различия.