

О.Н. Тюкавина, Е.А. Сурина, Л.Г. Гоголева, П.А. Феклистов

**СВЕТОВОЙ РЕЖИМ ЛЕСОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

Введение. Изучению освещенности под пологом леса по-прежнему уделяется большое внимание [Santos, Ferreira, 2020], поскольку увеличение доступности света тесно связано с ускорением роста деревьев, развитием древостоя и предварительного лесовозобновления [Sendall et al., 2018; Daryaei et al., 2019]. Уровень освещенности под пологом древостоя является стратегическим регулятором процессов, происходящих в лесном биогеоценозе [Bhadouria et al., 2018], ценной информацией, необходимой для управления лесами [Silva et al., 2012]. Понимание реакции конкретных видов на адаптацию и рост в условиях низкой освещенности поможет оценить реакции экосистем на глобальные изменения климата [Valladares, Niinemets, 2008; Lukina et al., 2020].

Каждый тип леса имеет собственные уникальные характеристики. Хвойные имеют более плотные кроны по сравнению с лиственными, вызывая большее затенение. Такой же эффект оказывают кроны молодых деревьев. С возрастом высота деревьев увеличивается, кроны становятся ажурными, повышая освещенность под пологом леса [Феклистов и др., 2024]. Во всех лесах потенциальная продолжительность появления солнечных бликов невелика (4-6 минут). Под полог леса через просветы между кронами деревьев может проникать значительное количество солнечной радиации, особенно в высоких широтах [Canham et al., 1990]. Световой режим в лесах изменяется в зависимости от сомкнутости крон деревьев, вертикального размещения листовой поверхности, метеорологических условий и силы ветра [Мартыненко, Дмитрук, 2009]. Также важно качество солнечной радиации, проходящей через полог леса [Matsuo et al., 2021; Zhen et al., 2022].

Минимальная освещенность для существования сосны составляет 3300 Лк, а для ели – 1000 Лк. Для молодых растений сосны оптимальная освещенность составляет 25-30% общей радиации на открытом месте [Веретенников, 2002], полнота древостоя должна быть не более 0,4-0,5 [Луганский и др., 1996]. При одинаковой интенсивности прореживания

смешанные насаждения имели наибольшую световую радиацию и наиболее сбалансированный спектральный состав [Su et al., 2024]. Максимальное количество жизнеспособного подроста отмечается при относительной к открытому месту освещенности от 15 до 60% [Феклистов, Шаньгина, 2014]. Во влажных регионах с умеренным климатом молодые деревья (за исключением некоторых видов, таких как сосны, лиственницы и осины) имеют оптимальный рост при относительной освещенности от 25 до 75% в зависимости от вида и экологических условий [Lee, 1978].

Правильное регулирование освещенности признано основным способом контроля за восстановлением и развитием леса, улучшения качества древесины и контроля за видовым составом растений лесного фитоценоза [Kim et al., 2019]. Для этого необходимо формирование базы данных по освещенности под пологом разнообразных насаждений и реакции всех компонентов леса на нее. Освещенность под пологом северотаежных и притундровых лесов изучена недостаточно.

Цель работы – оценка освещенности под пологом лесов арктической зоны Европейского Севера.

Материалы и методика исследования. Объектами исследования являлись сосняки, ельники и березняки разных лесорастительных условий Печорского лесничества (Республика Коми), Архангельского лесничества и Пинежского лесничества (Архангельская область) (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика насаждений

Taxation characteristics of plantings

Тип леса	Состав древостоя	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс воз- раста	Относи- тельная полнота
Притундровая зона					
Сосняк толокнянко- лишайниковый	10С+ЕедБ	4,3	7,4	2	0,32
Сосняк черничный	8С2Б	5,7	6,6	3	0,60
Ельник кустарничково- сфагновый	10Е	5,9	8,2	6	0,56
Ельник травяно-гипновый	9Е1Б	9,9	14,5	7	0,51
Ельник черничный	7ЕЗБ	10,2	14,2	10	0,64

Окончаие табл. 1

Тип леса	Состав древостоя	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс воз- раста	Относи- тельная полнота
Березняк черничный, 3 класс возраста	10Б	4,4	4,0	3	1,60
Березняк черничный, 8 класс возраста	6Б4Е	10,8	12	8	0,80
Березняк чернично-долго- мошный	10Б+ЕедС	6,4	6,9	4	0,67
Северотаежная зона					
Ельник черничный	8Е1С1Б	15,0	15,8	7	0,87
Ельник черничный	8Е1С1Б	16,6	18,7	8	0,78
Ельник черничный	8Е2Б	22	21	10	0,5
Ельник черничный	6Е4Б+СедОс	18,1	18,5	5	0,68
Ельник черничный	1С6Е3Б+Ос	19,6	19,3	5	0,72
Ельник черничный	1С5Е4БедЛц,Ос	16,3	15,4	4	0,83
Сосняк черничный	9С1БедЕ,Ос	17,9	16,1	6	0,93
Сосняк черничный	8С1Б1Ос+Е	18,6	18,4	6	1,00
Сосняк черничный	10С	22,0	28,0	13	0,70
Сосняк черничный	9С1Б	17,8	21,6	5	0,83
Сосняк брусничный	10С	17,2	15,8	5	0,77
Сосняк брусничный	10С+БедЕ	14,6	15,9	4	0,52
Сосняк брусничный	8С2БедЕ	17,3	16,9	5	0,56
Сосняк брусничный	8С1Е1Б+Ос	17,0	16,6	5	0,77
Сосняк лишайниковый	10С	18,0	21,0	6	0,60
Сосняк кустарничково- сфагновый	10С	10,5	13,1	5	0,69
Березняк черничный	2С3Е5Б+Лц едОс	16,8	16,4	4	0,77
Березняк черничный	1С3Е5Б1Ос	17,6	17,0	5	0,62

Исследования проводили в вегетационный период путем заложения временных пробных площадей по стандартным методикам¹ [Сукачев,

¹ ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки.

Зонн, 1961; Гусев, 2000]. Освещенность измеряли в 20 случайных точках пробной площади на высоте 1,3 м люксметром Ю-116 около полудня. Синхронно измеряли освещенность на открытом участке. Обработку данных проводили с помощью программ MS Excel 2010.

Результаты исследования и обсуждение. Освещенность под пологом притундровых лесов выше, чем в северотаежных лесах (табл. 2).

Таблица 2

Световой режим под пологом различных типов леса

Light mode under the canopy of different types of forest

Тип леса	Виды погоды	Освещенность, Лк	Изменчивость, %	Относительная освещенность, %
Притундровая зона				
Сосняк толокнянко-лишайниковый	Солнечно	47567±2060	19,4	66,7±2,9
	Ясно	32267±1573	21,8	66,4±3,2
	Облачно	20600±1200	26,1	72,9±4,2
Сосняк черничный	Солнечно	39000±2280	26,1	53,8±3,1
	Ясно	25433±787	13,8	48,0±2,4
	Облачно	8850±160	8,1	70,0±1,3
Ельник кустарничково-сфагновый	Солнечно	47400±2235	21,1	64,9±3,1
	Ясно	40000±1940	21,7	66,7±3,2
	Облачно	13233±720	24,3	67,0±3,6
Ельник травяно-гипновый	Солнечно	36400±2320	28,5	51,2±3,3
	Ясно	27600±1540	25,0	55,1±3,1
	Облачно	10483±304	13,0	62,7±1,8
Ельник черничный	Ясно	24200±1770	32,7	45,3±3,3
	Облачно	7600±400	23,5	40,6±2,1
Березняк черничный	Солнечно	28200±2530	40,1	38,6±3,5
	Ясно	13033±1000	34,3	29,6±2,3
	Облачно	5367±392	32,7	32,0±2,3
Березняк черничный	Ясно	21425±1320	27,6	44,2±2,7
	Облачно	8710±365	18,7	49,6±2,1
Березняк чернично-долгомошный	Ясно	17667±1467	37,1	33,6±2,8
	Облачно	5444±281	23,1	42,6±2,2

Окончание табл. 2

Тип леса	Виды погоды	Освещенность, Лк	Изменчивость, %	Относительная освещенность, %
Северо-таежная зона				
Ельник черничный	Солнечно	6767±289	19,1	9,7±0,4
	Облачно	3722±81	9,7	18,6±0,4
Ельник черничный	Солнечно	6667±331	22,2	9,5±0,5
	Облачно	2267±118	23,3	11,3±0,6
Ельник черничный	Солнечно	6099±281	20,6	8,2±0,4
Ельник черничный	Облачно	2362±113	21,3	7,4±0,4
Ельник черничный	Ясно	2600±140	24,1	4,5±0,2
Ельник черничный	Ясно	2800±149	23,8	5,0±0,3
Сосняк черничный	Солнечно	8943±659	33,0	12,8±0,9
	Облачно	3800±186	21,9	19,0±0,9
Сосняк черничный	Солнечно	10286±717	31,2	14,7±1,0
	Облачно	3900±256	29,4	19,5±1,3
Сосняк черничный	Солнечно	3931±314	35,7	5,3±0,4
Сосняк черничный	Облачно	4357±61	6,3	21,5±0,3
Сосняк брусничный	Ясно	4800±89	8,3	17,8±0,3
Сосняк брусничный	Облачно	9100±125	6,1	33,7±0,5
Сосняк брусничный	Облачно	8300±96	5,2	30,7±0,4
Сосняк брусничный	Ясно	3175±200	28,2	5,9±0,4
Сосняк лишайниковый	Солнечно	8090±459	25,4	10,9±0,6
Сосняк кустарничково-сфагновый	Облачно	5500±144	11,7	27,1±0,7
Березняк черничный	Ясно	5000±358	32,0	8,9±0,6
Березняк черничный	Солнечно	12700±340	12,0	16,9±0,5

Так, в ельниках черничных при ясной погоде освещенность больше в 3,6 раза ($t = 12,5$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$), при облачности – в 3,3 раза ($t = 12,7$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$). В сосняках черничных притундровой зоны в солнечную погоду освещенность выше в 4,3 раза ($t = 12,7$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$), при облачности – в 2,3 раза ($t = 20,6$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$) по сравнению с сосняками черничными северотаежной зоны; в березняках черничных в

ясную погоду – в 4,3 раза ($t = 12,0$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$). К солнечной погоде относили освещенность открытого места выше 60 тыс. Лк; к ясной погоде – выше 30 тыс. Лк до 60 тыс. Лк; к облачной – менее 30 тыс. Лк.

Изменчивость освещенности притундровых и северотаежных лесов составляет до 40%. Наименьшие значения отмечаются при облачной погоде.

Относительная освещенность (освещенность под пологом леса в процентах к открытому месту) под пологом притундровых лесов выше, чем в северотаежных лесах. Так, в ельниках черничных при ясной погоде относительная освещенность больше в 4,7 раза ($t = 10,7$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); при облачности – в 3,6 раза ($t = 13,4$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$). В сосняках черничных притундровой зоны в солнечную погоду относительная освещенность выше в 4,2 раза ($t = 12,7$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); при облачности – в 3,7 раза ($t = 32,3$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$) по сравнению с сосняками черничными северотаежной зоны; в березняках черничных в ясную погоду – в 5 раз ($t = 12,8$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$).

Большая пропускная способность полога притундровых лесов относительно солнечной энергии обусловлена меньшей высотой (табл. 1) и сомкнутостью крон. Так, в притундровой зоне в березняке черничном при относительной полноте древостоя 0,8 сомкнутость крон составляет 0,34, в сосняке черничном при относительной полноте 0,6 сомкнутость крон – 0,4, в ельнике кустарничково-сфагновом при относительной полноте 0,56 сомкнутость крон – 0,14, в ельнике травяно-гипновом при относительной полноте 0,51 сомкнутость крон – 0,39, в ельнике черничном при относительной полноте 0,64 сомкнутость крон – 0,31. В северотаежном районе в ельнике черничном при относительной полноте древостоя 0,68 сомкнутость крон составляет 0,71, при относительной полноте 0,83 сомкнутость крон – 0,85. В северотаежных лесах сомкнутость крон практически в 2 раза больше, чем в притундровых. В притундровых лесах на подпологовую освещенность оказывает влияние сомкнутость крон ($r = -0,75$ при $t = 4,8$), а не относительная полнота ($r = -0,34$ при $t = 1,1$).

Отмечается тенденция увеличения доли пропускаемой под полог солнечной энергии в пасмурную погоду, несмотря на то, что абсолютная величина освещенности выше в солнечную погоду. Так, в притундровой зоне в сосняке толокнянко-лишайниковом подпологовая освещенность в облачную погоду сократилась в 2,3 раза по сравнению с солнечной, а относительная освещенность увеличилась на 6,2% ($t = 12,0$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); в сосняке черничном – в 4,4 раза и на 16,2% соответственно ($t = 4,8$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); в ельнике травяно-гипновом – в 3,5 раза и на 11,5% соот-

ветственно ($t = 3,1$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); в березняке чернично-долгомошном – в 3,2 раза и на 9% соответственно ($t = 2,5$ при $t_{st}=2,0$; $p = 0,95$). В ельнике черничном и березняке черничном данные изменения не значимы. Теснота связи между подпологовой относительной освещенностью на высоте 1,3 м и освещенностью открытого участка обратная значимая, высокая – в березняке чернично-долгомошном ($r = -0,80$ при $t = 9,4$) и ельнике травяно-гипновом ($r = -0,87$ при $t = 15,7$); значительная – в ельнике черничном ($r = -0,61$ при $t = 4,2$); умеренная – в сосняке толокнянко-лишайниковом, березняке черничном.

В северотаежной зоне в сосняке черничном подпологовая освещенность в облачную погоду сократилась в 2,5 раза по сравнению с солнечной, а относительная освещенность увеличилась на 5,5% ($t = 2,9 - 4,9$ при $t_{st}=2,7$; $p = 0,99$); в ельнике черничном – в 1,8-2,9 раза и на 1,8-8,9% соответственно ($t = 2,3 - 15,9$ при $t_{st} = 2,0$; $p = 0,95$). В пасмурную погоду на кроны деревьев падает только рассеянная радиация, отраженная от облаков и крон деревьев. В ясную погоду поверхность крон освещается еще и прямыми лучами, которые частично отражаются и поглощаются, а частично проходят сквозь кроны в виде бликов. Продолжительность действия рассеянного света гораздо больше, чем у прямых лучей [Шаповалова, 2015].

Влияние типа леса неоднозначно. Это связано с большим разнообразием факторов, влияющих на подпологовую освещенность, и сложностью с подбором объектов, характеризующихся однородностью по большинству факторов. Так, согласно исследованиям [Feklistov et al, 2021], освещенность уменьшается от кромки соснового леса до расстояния 10 м, елового – до расстояния около 6 м, после чего остается постоянной. Максимальные же значения средней освещенности в табл. 2 в северотаежных лесах характерны для пробных площадей, заложенных на расстоянии 10 м от кромки леса. На расстоянии 40 м от кромки леса средняя подпологовая освещенность в солнечный день близка к освещенности в облачный день на пробных площадях, находящихся на расстоянии 20 м. В северотаежном районе при облачной погоде наибольшая освещенность характерна для сосняков кустарничково-сфагновых (5500 Лк), затем по мере ее снижения располагаются сосняки черничные (3800–4400 Лк), ельники черничные (2100–3800 Лк). Данные насаждения характеризуются относительной полнотой более 0,68. Сосняки брусничные при данных погодных условиях, но со средней относительной полнотой 0,55, отличаются наибольшими значениями освещенности (8000–9000 Лк). В солнечный день освещенность в сосняках черничных составляет 6000-10300 Лк, ельниках черничных – 6000-

7000 Лк. Максимальная освещенность отмечается в березняке черничном при относительной полноте 0,62.

В притундровых лесах наибольшая подпологовая освещенность отмечается в ельниках кустарничково-сфагновых и сосняках толокнянково-лишайниковых. Чем дальше отклоняются условия произрастания от оптимальных, тем меньше развитие кроны и ниже ее сомкнутость. Но на освещенность под пологом притундровых лесов оказывает влияние участие березы в составе насаждения независимо от типа леса (рис. 1).

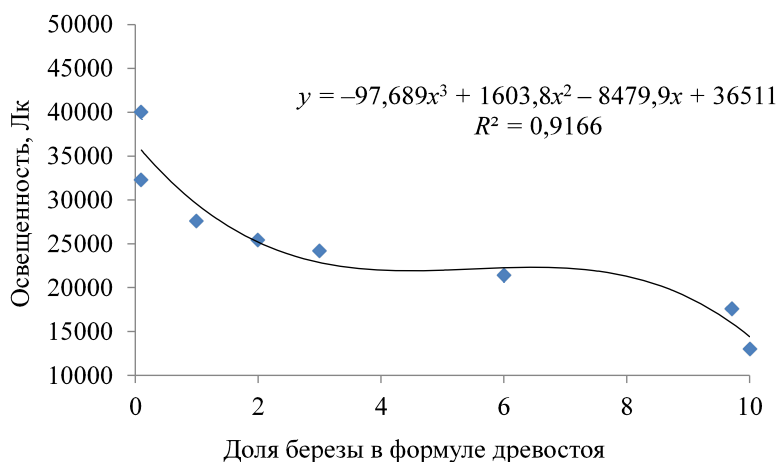


Рис. 1. Влияние доли березы в составе насаждения на освещенность под его пологом при ясной погоде в притундровой зоне

Fig. 1. The effect of the proportion of birch in the composition of the plantation on the illumination under its canopy in clear weather in the forest tundra

Влияние доли березы в составе насаждения на освещенность под его пологом при ясной погоде в притундровой зоне можно описать полиномиальной функцией третьей степени (рис. 1). Чем больше доля участия березы в составе древостоя, тем ниже освещенность. Модель построена при условии $0 \leq x \leq 10$.

Заключение. Отличием светового режима притундровых лесов от северо-таежных является высокая проникаемость полога. Относительная освещенность на высоте 1,3 м под пологом различных типов притундровых лесов и при разных видах погоды превышает относительную освещенность в

северотаежных лесах в 3,6-5 раз. В результате здесь формируются более высокие уровни освещенности. Большая проникаемость полога в притундровых лесах обусловлена сомкнутостью крон. При схожей с северотаежными лесами относительной полноте древостоя сомкнутость крон ниже практически в 2 раза. Доля пропускаемой под полог солнечной энергии в пасмурную погоду больше, чем в солнечную, на 2-16%. Влияние типа леса на подпологовую освещенность неоднозначно. Помимо вида погоды необходимо учитывать дальность от кромки леса. В притундровых лесах на освещенность влияет доля березы в составе древостоя.

Сведения о финансировании исследования. Работа проведена по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований, регистрационный номер темы – 123032700030-9; в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (№ гос. рег. – 125021902596-8).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Веретенников А.В. Физиология растений: учебник. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 272 с.

Гусев И.И. Таксация древостоя: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2000. 71 с.

Луганский Н.А., Залесов С.В., Шавровский В.А. Лесоведение: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТА, 1996. 373 с.

Мартыненко В.П., Дмитрук Л.Б. Основы фитоценологии. Учебно-методический комплекс. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова, 2009. 108 с.

Сукачёв В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 227 с.

Феклистов П.А., Бруева Ж.А., Верховцева Е.П., Болотов И.Н. Особенности микроклимата под пологом северотаежных сосняков разных типов леса // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2024. Т. 28, № 5. С. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-30-41.

Феклистов П.А., Шаньгина Н.П. Экологические факторы естественного возобновления под пологом ельников черничных. Архангельск: ИДСАФУ, 2014. 114 с.

Шапалова А.А. Экология растений. Саратов: Саратовский источник, 2015. 80 с.

Bhadouria R., Srivastava P., Singh S., Singh R., Raghubanshi A., Singh J.S. Effects of light, nutrient and grass competition on growth of seedlings of four tropical tree species // Indian Forester. 2018. Vol. 144, no. 1. P. 54–65.

Canham C.D., Denslow J.S., Platt W.J., Runkle J.R., Spies T.A., White P.S. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests // Canadian Journal of Forest Research. 1990. Vol. 20, no. 5. P. 620-631. DOI:10.1139/x90-084.

Daryaei A., Sohrabi H., Puerta-Piñero C. How does light avail ability affect the aboveground biomass allocation and leaf morphology of saplings in temperate mixed deciduous forests? // New for. 2019. Vol. 50, no. 3. P. 409–422. DOI:10.1007/s11056-018-9666-0.

Feklistov P., Sobolev A., Barzut O., Neverov N. Illuminance under canopy in different types of forest in the northern taiga // Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2021. Vol. 63, no. 2. P. 112–115. DOI: 10.2478/ffp-2021-0012.

Kim D.-H., Son S.-W., Suh G.-U., Jung J.-Y., Lee J.-Ch., Kim P.-G. Analysis of the Light Condition in the Forest Stand // Journal of Agriculture & Life Science. 2019. Vol. 53, no. 5. P. 75-82. DOI: 10.14397/jals.2019.53.5.75.

Lee R. Forest microclimatology. N.-Y.: Columbia University Press New York, 1978. 276 p.

Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., Gornov A., Tebenkova D., Knyazeva S., Bakhmet O., Kryshen A., Shashkov M. Linking forest vegetation and soil carbon stock in northwestern Russia // Forests. 2020. Vol. 11, no. 9. P. 979. DOI: 10.3390/f11090979.

Matsuo T., Martinez-Ramos M., Bongers F., van der Sande M.T., Poorter L. Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession // J. Ecol. 2021. Vol. 109, no. 8. P. 2871-2884. DOI:10.1111/1365-2745.13680.

Santos V.A.H.F., Ferreira M.J. Are photosynthetic leaf traits related to the first-year growth of tropical tree seedlings? A light-induced plasticity test in a secondary forest enrichment planting // For. Ecol. Manag. 2020. Vol. 460. Art. no. 117900. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117900.

Sendall K.M., Reich P.B., Lusk C.H. Size-related shifts in carbon gain and growth responses to light differ among rainforest ever greens of contrasting shade tolerance // Oecologia. 2018. Vol. 187, no. 3. P. 609-623. DOI:10.1007/s00442-018-4125-3.

Silva D.D., Balandier P., Boudon F., Marquier A., Godin Ch. Modeling of light transmission under heterogeneous forest canopy: an appraisal of the effect of the precision level of crown description // Annals of Forest Science. 2012. Vol. 69. P. 181–193. DOI: 10.1007/s13595-011-0139-2.

Su Sh., Jin N., Wei X. Effects of thinning on the understory light environment of different stands and the photosynthetic performance and growth of the reforestation species *Phoebe bournei* // Journal of Forestry Research. 2024. Vol. 35. P. 6. DOI:10.1007/s11676-023-01651-0.

Valladares F., Niinemets Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences // Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2008. Vol. 39. P. 237–257. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506.

Zhen S.Y., van Iersel M.W., Bugbee B. Photosynthesis in sun and shade: the surprising importance of far-red photons // *New Phytol.* 2022. Vol. 236, no. 2. P. 538–546. DOI: 10.1111/nph.18375.

References

Bhadouria R., Srivastava P., Singh S., Singh R., Raghubanshi A., Singh J.S. Effects of light, nutrient and grass competition on growth of seedlings of four tropical tree species. *Indian Forester*, 2018, vol. 144, no. 1, pp. 54–65.

Canham C.D., Denslow J.S., Platt W.J., Runkle J.R., Spies T.A., White P.S. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, vol. 20, no. 5, pp. 620–631. DOI:10.1139/x90-084.

Daryaei A., Sohrabi H., Puerta-Piñero C. How does light avail ability affect the aboveground biomass allocation and leaf morphology of saplings in temperate mixed deciduous forests? *New for.*, 2019, vol. 50, no. 3, pp. 409–422. DOI: 10.1007/s11056-018-9666-0.

Feklistov P., Sobolev A., Barzut O., Neverov N. Illuminance under canopy in different types of forest in the northern taiga. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 2021, vol. 63, no. 2, pp. 112–115. DOI: 10.2478/ffp-2021-0012.

Feklistov P.A., Brueva Zh.A., Verkhovtseva E.P., Bolotov I.N. Microclimate features under canopy of north taiga pine forests of different types. *Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 30–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-30-41. (In Russ.)

Feklistov P.A., Shangina N.P. Ecological factors of natural regeneration under the canopy of blueberry spruce forests. Arkhangelsk: IDSAFU, 2014. 114 p. (In Russ.)

Gusev I.I. Taxation of tree stands: a textbook. Arkhangelsk: AGTU, 2000. 71 p. (In Russ.)

Kim D.-H., Son S.-W., Suh G.-U., Jung J.-Y., Lee J.-Ch., Kim P.-G. Analysis of the Light Condition in the Forest Stand. *Journal of Agriculture & Life Science*, 2019, vol. 53, no. 5, pp. 75–82. DOI: 10.14397/jals.2019.53.5.75.

Lee R. Forest microclimatology. New York: Columbia University Press New York, 1978. 276 p.

Lugansky N.A., Zalesov S.V., Shavrovsky V.A. Forest science: textbook. Yekaterinburg: UGLTA, 1996. 373 p. (In Russ.)

Lukina N., Kuznetsova A., Tikhonova E., Smirnov V., Danilova M., Gornov A., Tebenkova D., Knyazeva S., Bakhmet O., Kryshen A., Shashkov M. Linking forest vegetation and soil carbon stock in northwestern Russia. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 9, p. 979.

Martynenko V.P., Dmitruk L.B. Fundamentals of phytocenology. Educational and methodical complex. Vitebsk: Masherov Vitebsk State University, 2009. 108 p. (In Russ.)

Matsuo T., Martinez-Ramos M., Bongers F., van der Sande M.T., Poorter L. Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession. *J. Ecol.*, 2021, vol. 109, no. 8, pp. 2871–2884. DOI:10.1111/1365-2745.13680.

Santos V.A.H.F., Ferreira M.J. Are photosynthetic leaf traits related to the first-year growth of tropical tree seedlings? A light-induced plasticity test in a secondary forest enrichment planting. *For. Ecol. Manag.*, 2020, vol. 460, art. no. 117900. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117900.

Sendall K.M., Reich P.B., Lusk C.H. Size-related shifts in carbon gain and growth responses to light differ among rainforest ever greens of contrasting shade tolerance. *Oecologia*, 2018, vol. 187, no. 3, pp. 609–623. DOI:10.1007/s00442-018-4125-3.

Shapovalova A.A. Plant ecology. Saratov: Saratov Source, 2015. 80 p. (In Russ.)

Silva D.D., Balandier P., Boudon F., Marquier A., Godin Ch. Modeling of light transmission under heterogeneous forest canopy: an appraisal of the effect of the precision level of crown description. *Annals of Forest Science*, 2012, vol. 69, pp. 181–193. DOI: 10.1007/s13595-011-0139-2.

Su Sh., Jin N., Wei X. Effects of thinning on the understory light environment of different stands and the photosynthetic performance and growth of the reforestation species *Phoebe bournei*. *Journal of Forestry Research*, 2024, vol. 35, pp. 6. DOI:10.1007/s11676-023-01651-0.

Sukachev V.N., Zonn S.V. Methodological guidelines for the study of forest types. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961. 227 p. (In Russ.)

Valladares F., Niinemets Ü. Shade tolerance a key plant feature of complex nature and consequences. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 2008, vol. 39, pp. 237–257.

Veretennikov A.V. Plant physiology: textbook. Voronezh: VGLTA, 2002. 272 p. (In Russ.)

Zhen S.Y., van Iersel M.W., Bugbee B. Photosynthesis in sun and shade: the surprising importance of far-red photons. *New Phytol.*, 2022, vol. 236, no. 2, pp. 538–546. DOI: 10.1111/nph.18375.

Материал поступил в редакцию 15.08.2025

Тюкавина О.Н., Сурина Е.А., Гоголева Л.Г., Феклистов П.А. Световой режим лесов арктической зоны Европейского Севера // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 256. С. 159–173. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.159-173

В статье приведена оценка освещенности под пологом лесов арктической зоны Европейского Севера. Уровень освещенности под пологом древостоя является стратегическим регулятором процессов, происходящих в лесном биогеоценозе, ценной информацией, необходимой для управления лесами,

особенно в условиях изменяющегося климата. Правильное регулирование освещенности признано основным способом контроля за восстановлением и развитием леса. Для этого необходимо формирование базы данных по освещенности под пологом разнообразных насаждений и реакции всех компонентов леса на нее. Недостаточно изучена освещенность под пологом северотаежных и притундровых лесов. Исследования проводили в вегетационный период в сосняках, ельниках и березняках Печорского (Республика Коми), Архангельского и Пинежского (Архангельская область) лесничеств. Освещенность измеряли на высоте 1,3 м около полудня. Отличием светового режима притундровых лесов от северотаежных является высокая проницаемость полога. Относительная освещенность на высоте 1,3 м под пологом различных типов притундровых лесов и при разных видах погоды превышает относительную освещенность в северотаежных лесах в 3,6-5 раз. В результате здесь формируются более высокие уровни освещенности. Большая проницаемость полога в притундровых лесах обусловлена сомкнутостью крон. При схожей с северотаежными лесами относительной полноте древостоя сомкнутость крон ниже практически в 2 раза. Доля пропускаемой под полог солнечной энергии в пасмурную погоду больше, чем в солнечную, на 2–16%. Влияние типа леса на подпологовую освещенность неоднозначно. Помимо вида погоды необходимо учитывать дальность от кромки леса. В притундровых лесах на освещенность влияет доля березы в составе древостоя.

Ключевые слова: освещенность под пологом леса, относительная освещенность, притундровые леса, северотаежные леса.

Tyukavina O.N., Surina E.A., Gogoleva L.G., Feklistov P.A. The light regime of the forests of the Arctic zone of the European North. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 256, pp. 159–173 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.256.159-173

The article provides an assessment of the illumination under the canopy of the forests of the Arctic zone of the European North. The level of illumination under the canopy of a stand is a strategic regulator of the processes occurring in the forest biogeocenosis, valuable information necessary for forest management, especially in a changing climate. Proper regulation of illumination is recognized as the main way to control the restoration and development of forests. To do this, it is necessary to create a database on the illumination under the canopy of various plantings and the reaction of all components of the forest to it. The illumination under the canopy of the North taiga and tundra forests has not been sufficiently studied. The research was carried out during the growing season in pine forests, spruce forests and birch forests of Pechora (Komi Republic), Arkhangelsk and Pinezhsky (Arkhangelsk region) forest districts. The illumination was measured at a height of 1.3 m around noon. The difference between the light regime of tundra forests and North taiga forests is the high

permeability of the canopy. The relative illumination at an altitude of 1.3 m under the canopy of various types of tundra forests and under different types of weather exceeds the same value in the North taiga forests by 3.6-5 times. As a result, higher levels of illumination are formed here. The high permeability of the canopy in tundra forests is due to the closeness of the crowns. With a relative abundance of trees similar to the Northern taiga forests, the crown closure are almost 2 times lower. The share of solar energy transmitted under the canopy in cloudy weather is 2-16% more than in sunny weather. The influence of the type of forest on the sub-ecological illumination is ambiguous. In addition to the type of weather, it is necessary to take into account the distance from the edge of the forest. In tundra forests, the proportion of birch in the composition of the stand affects the illumination.

Key words: illumination under the forest canopy, relative illumination, forest tundra, northern taiga forests.

ТЮКАВИНА Ольга Николаевна – ведущий научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства; профессор кафедры биологии, экологии и биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, доктор сельскохозяйственных наук, доцент. Researcher ID: H-2336-2019. ORCID: 0000-0003-4024-6833. SPIN-код: 5120-2525.

163062, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия. E-mail: o.tukavina@narfu.ru

TYUKAVINA Olga N. — DSc (Agriculture), Leading Researcher of the Northern Research Institute of Forestry; Professor of the Department of Biology, Ecology and Biotechnology of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Associate Professor. Researcher ID: H-2336-2019. ORCID: 0000-0003-4024-6833. SPIN-code: 5120-2525.

163062, Nikitova str. 13. Arkhangelsk. Russia. E-mail: o.tukavina@narfu.ru

СУРИНА Елена Анатольевна – ведущий научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0002-8159-8977. SPIN-код: 159131. WOS ResearcherID: AAD-6192-2019. Scopus AuthorID: 57329896400.

163062, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия. E-mail: surina_ea@sevniilh-arh.ru

SURINA Elena A. – PhD (Agricultural), Leading Researcher, Northern Research Institute of Forestry. ORCID: 0000-0002-8159-8977. SPIN-code: 159131. WOS ResearcherID: AAD-6192-2019. Scopus AuthorID: 57329896400.

163062, Nikitova str. 13. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.minin@sevniilh-arh.ru

ГОГОЛЕВА Людмила Георгиевна – научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства, кандидат сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0002-4876-892X. SPIN-код: 1061011. WOS ResearcherID: ABE-1664-2020. Scopus AuthorID: 57219987384.

163062, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия. E-mail: lesovod@sevniilh-arh.ru

GOGOLEVA Ludmila G. – PhD (Agricultural), Researcher, Northern Research Institute of Forestry. ORCID: 0000-0002-4876-892X. SPIN-code: 1061011. WOS ResearcherID: ABE-1664-2020. Scopus AuthorID: 57219987384.

163062. Nikitova str. 13. Arkhangelsk. Russia. E-mail: lesovod@sevniilh-arh.ru

ФЕКЛИСТОВ Павел Александрович – главный научный сотрудник лаборатории приарктических лесных экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Researcher ID: AAC-2377-2020. ORCID: 0000-0001-8226-893X. SPIN-код: 4825-2695.

163000, Никольский пр., д. 20, г. Архангельск, Россия. E-mail: pfeklistov@yandex.ru

FEKLISTOV Pavel A. – DSc (Agricultural), Chief Researcher at the Laboratory of Arctic Forest Ecosystems of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Professor. Researcher ID: AAC-2377-2020. ORCID: 0000-0001-8226-893X. SPIN-code: 4825-2695.

163000. Nikolsky av. 20. Arkhangelsk. Russia. E-mail: pfeklistov@yandex.ru