

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛИМАТА ПОД ПОЛОГОМ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛЕСА

П.А. Феклистов^{1✉}, Ж.А. Бруева², Е.П. Верховцева², И.Н. Болотов¹

¹ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

pfeklistov@yandex.ru

Приведены результаты исследования метеофакторов под пологом леса в разных типах северотаежных основных насаждений Архангельской области в древостоях чистых по составу или с небольшой примесью других пород. Рассмотрена подробная методика измерения метеофакторов: освещенности с использованием люксметра «ТКА-Люкс», метеометра МЭС-200 для измерения температуры воздуха, влажности воздуха и скорости ветра. Приведена таксационная характеристика изученных сосняков определенной инструментальным методом. Представлены результаты дисперсионных анализов по влиянию типа леса на метеофакторы под пологом леса. Установлено, что в целом тип леса существенно влияет почти на все показатели микроклимата. Выявлено, что под пологом леса складывается свой климатический режим, что соответственно влияет на все нижние ярусы растительности и отчасти на древостой. Показано, что освещенность и ветер выше в сосняке кустарничково-сфагновом, а температура воздуха выше в сосняке черничном, влажность воздуха одинакова. Установлено, что при сравнении близких типов леса сосняков черничных и черничных влажных метеофакторы близки (равны) за исключением влажности воздуха, она выше в сосняке черничном влажном. Выявлено, что метеорологические факторы под пологом сосняков существенно отличаются от таковых на открытом месте. Показаны отличия метеофакторов по сравнению с открытым местом: освещенность меньше и составляет 21...22 % от открытого места, скорость ветра — 46...76 %, температура воздуха — 92...97 %, влажность воздуха выше и составляет 124...132 %. Установлено, что одно дерево в древостое при существующей густоте задерживает 12...21 лкс света. Проанализировано изменение метеофакторов под пологом леса и до высоты 1,3 м от поверхности земли. Получено, что с высоты 1,3 м от поверхности земли скорость ветра к уровню напочвенного покрова снижается на 10...40 %, освещенность — на 24 %, а температура воздуха несколько повышается до 1,3 °С.

Ключевые слова: метеофакторы, микроклимат, тип леса, температура, освещенность, влажность, скорость ветра

Ссылка для цитирования: 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

Северотаежные сосняки существуют в условиях довольно сурового климата с коротким вегетационным периодом, коротким летом и холодной зимой. Климат района умеренно континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой, короткой весной с неустойчивыми температурами, относительно коротким умеренно теплым увлажненным летом, продолжительной и ненастной осенью.

Среднегодовая температура воздуха +0,8 °С при абсолютном максимуме +35 °С в июле и абсолютном минимуме –48 °С в январе. Среднегодовое количество осадков — 670 мм. Продолжительность вегетационного периода 140 сут. Мощность снежного покрова 68 см. Относительная влажность воздуха 82 %.

Период с отрицательными значениями температуры воздуха длится 215 сут., с температурой –5° — 145 сут., ниже –10° — 98 сут. Период с

положительными значениями температуры продолжается 145 сут., выше 5° — 125 сут., выше 10° — 70 сут.

В целом климатические условия района исследования являются очень суровыми для произрастания и развития древесной растительности в целом и сосняков в частности, отражаясь на всех жизненных процессах, протекающих в основных фитоценозах: на фотосинтезе, дыхании, транспирации, поглощении и передвижении веществ, росте и развитии и в конечном итоге на продуктивности. Данные климатические условия можно принять за константу, поскольку именно они формируют среду произрастания. При этом основные биогеоценозы в свою очередь влияют на микроклимат внутри сообщества, перераспределяя метеофакторы и изменяя их.

Под пологом леса, в том числе в основных насаждениях, формируется микроклимат, существенно отличающийся от климата окружающей открытой местности. На это указывали классики

отечественного лесоводства [1–3]. Микроклимат под пологом леса связан с составом, возрастом, состоянием насаждений, ярусностью, сомкнутостью крон деревьев (полнотой) и прохождением ими фенологических стадий развития. Кроме того, на микроклимат леса оказывают влияние рельеф, экспозиция склона, крупные озера, водохранилища и другие факторы [4, 5]. Климатические факторы воздействуют на все ярусы растительности [6]. При этом важное значение имеет также тип леса, что подтверждают исследования российских и зарубежных авторов [7–12].

Однако научные работы, посвященные оценке влияния различных типов леса на микроклимат под пологом леса, немногочисленны. Известны материалы по микроклимату в ельниках [13], на участках рубок ухода или добровольно выборочных рубок [14, 15]. Проведение подобных исследований имеют существенное значение для обеспечения устойчивого экосистемного управления лесами, особенно в условиях изменяющегося климата [16]. К тому же климатические факторы влияют на сезонное развитие хвойных и фитомассу, продуктивность, запас [17–19], а также на прирост древесины [20, 21], естественное возобновление [22] и адаптационную способность [23].

Каждый тип леса имеет собственные уникальные характеристики, воздействующие на микроклимат. Например, хвойные породы имеют более плотную крону по сравнению с лиственными. Такая крона создает затенение и, соответственно, снижает температуру под пологом леса. В результате микроклимат отличается большими прохладой и влажностью. Напочвенный покров также зависит от типа леса. Например, в хвойных

лесах широко развит мохово-лишайниковый ярус, который хорошо приспособлен к прохладным и влажным условиям. Наоборот, в лиственных лесах напочвенный покров может состоять из трав и кустарников, которые лучше приспособлены к более теплым и сухим условиям [24, 25].

Микроклимат зависит также от возраста деревьев. Молодые деревья обычно имеют плотную крону, которая создает более затененное пространство под пологом леса, что влияет на освещенность, температуру и влажность атмосферного воздуха. С возрастом деревья становятся выше, их крона становится менее плотной, что позволяет большему объему света проникать под полог леса и улучшать микроклимат [26, 27].

Микроклимат под пологом леса изменяется в зависимости и от погодных условий. Осадки в виде дождя, снега, а так же ветер могут изменять температуру и влажность воздуха, освещенность под пологом леса и на поверхности почвы, что либо прямо, либо косвенно влияет на рост и развитие растительности, прежде всего на молодые растения.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей микроклимата под пологом сосняков различных типов в сосновых насаждениях северной тайги в Архангельской области.

Материалы и методы

Для изучения влияния типа леса на микроклимат под пологом древостоев были заложены пробные площади в сосновых насаждениях, чистых по составу или с небольшой примесью других пород в различных типах леса: сосняках черничных,

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика древостоя пробных площадей

Taxation characteristics of the stand in the sample plots

№ пробной площади	Тип леса	Состав древостоя	Средний диаметр ствола, см	Средняя высота дерева, м	Полнота		Возраст, лет	Класс бонитета	Запас древесины, м ³ /га
					абсолютная, м ² /га	относительная, усл. ед.			
1	Сосняк черничный влажный	9С1Б	19,2	17,6	26,9	0,79	90	IV	234
2	Сосняк черничный	9С1Б	21,6	17,8	28,2	0,83	88	IV	246
4	Сосняк черничный	9С1Ос+Б	20,4	17,3	27,8	0,87	86	IV	287
3	Сосняк кустарничково-сфагновый	10С ед. Б	13,1	10,5	16	0,69	89	V	87
5	Сосняк кустарничково-сфагновый	10С	11,1	10,0	19,3	0,88	66	V	104
8	Сосняк осоково-хвощево-сфагновый осушенный у канала	9С1Б ед .Ос.	16,7	15,9	20,1	0,64	73	IV	159
9	Сосняк осоково-хвощево-сфагновый осушенный в межканальном пространстве	10С ед.Б	13,5	13,9	20,7	0,71	69	IV	144

сосняках черничных влажных, сосняках кустарничково-сфагновых и в сосняках осоково-хвощево-сфагновых осушенных. Возрастной диапазон древостоев составляет 70...90 лет, что не сильно отличает их друг от друга и позволяет сравнивать. Подобрать идентичные древостои в реальных условиях весьма проблематично, скорее всего, невозможно (табл. 1).

Пробные площади расположены в Приморском районе Архангельской области на уровне 64°33' северной широты. Условия летнего периода в тайге дифференцированы зонально, а изотермы имеют особенность к субширотному расположению.

Исследован живой напочвенный покров, характерный для пробных площадей (табл. 2).

В табл. 2 видны виды-доминанты, которые послужили основанием для названий типа леса наряду с древесным ярусом. В черничных типах леса в травяно-кустарничковом ярусе доминантами, безусловно, являются черника, брусника, а в мохово-лишайниковом ярусе — зеленые мхи. Проективное покрытие черники составляет 66...70 %. В сосняках кустарничково-сфагновых осушенных видовой состав травяно-кустарничкового яруса представлен черникой, голубикой, багульниковом, кассандрой, карликовой березкой и другими видами, которые в совокупности составляют около 40 % состава, а мохово-лишайникового яруса — сфагновыми мхами в количестве 70...77 % состава. Отличаются по составу осушенные сосняки. В результате осушения уменьшилось проективное покрытие сфагновых мхов, однако увеличилось покрытие зеленых мхов, а в травяно-кустарничковом ярусе появилась брусника (отчасти в названии типа леса отдали приоритет первоначальному состоянию).

Закладка пробных площадей осуществлялась в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями [28–34]. Кроме того, использовался справочник [35]. Был выполнен комплекс работ по лесоводственному, таксационному и геоботаническому описанию пробных площадей. Тип леса определяли с помощью лесотипологической схемы, применяющейся в лесоустройстве и основанной на эдафитоценологической классификации В.Н. Сукачева [29].

Степень различий или сходства растительных сообществ либо выборок с точки зрения их видового состава можно оценить относительно объективно с помощью индексов Жаккара (I_J) и Серенсена — Чекановского (I_S), применяющихся при изучении живого напочвенного покрова. Эти индексы равны 1 (или 100 % в случае выражения их через проценты) в случае полного совпадения видов сообществ и равны 0, если выборки различны и не включают в себя общих видов, т. е.

$$I_J = \frac{c}{(a+b-c)}100;$$

$$I_S = \frac{2c}{(a+b)}100,$$

где a — число видов в первом описании;

b — число видов во втором описании;

c — число видов, общих для двух сравниваемых сообществ.

Чем меньше общих видов в сообществах, тем выше бета-разнообразие.

Освещенность была измерена портативным люксметром «ТКА-Люкс», на высоте 1,3 м от поверхности земли и на уровне напочвенного покрова (травяно-кустарничкового яруса) — выносным приемником.

Температуру и влажность воздуха, а также скорость ветра измеряли прибором контроля параметров воздушной среды метеометра МЭС-200, других метеофакторов — в одно и то же время — в промежутке между 12.00 и 15.00 — синхронно, поскольку была необходимость выявления связи между факторами и их влияния на растительность нижних ярусов.

Полученные данные обработаны с помощью пакета программ Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

Выделение типа леса по методике В.Н. Сукачева, как правило, не вызывает затруднений, особенно в случае, когда есть подробное описание верхних и нижних ярусов биогеоценоза и известны виды доминанты. При оценке воздействия того или иного типа леса на климатические факторы требуются более объективные критерии по имеющимся фитоценозам, поэтому был выполнен анализ с индексами Жаккара и Серенсена. Наиболее близкими выделенными типами леса стали сосняк черничный и сосняк черничный влажный. По расчетам получены следующие данные: $I_J = 43$ %; $I_S = 60$ %, т. е. согласно первому общих видов менее 50 %, а по второму — чуть более 50 %. Поскольку различаются наборы видов и степень увлажнения участков, выделение этих типов леса оправдано.

Сравнение сосняка черничного влажного с сосняком кустарничково-сфагновым показало, что индексы здесь, соответственно, равны $I_J = 42$ %; $I_S = 59$ %, т. е. ценозы также различаются. Если сравнить сосняки осоково-хвощево-сфагновые осушенные на разном удалении от осушительного канала, получим следующие индексы: $I_J = 67$ %; $I_S = 80$ %, что однозначно свидетельствует об одном типе леса.

В целях определения зависимости микроклимата под пологом древостоя от типа леса провели

**Среднее проективное покрытие (%) растений напочвенного покрова
по пробным площадям**

Average projective cover (%) of ground vegetation in sample plots

№	Вид	Проективное покрытие, %						
		Номер пробной площади						
		1	2	3	4	5	8	9
Травяно-кустарничковый ярус								
1	Голубика <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	–	0,1	4,4	0,1	5	–	–
2	Брусника <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	3,7	9,7	0,8	10	1	11,5	13,0
3	Черника <i>Vaccinium myrtillus</i> L.	66,4	68,0	22,5	70	2	1,0	0,1
4	Майник двулистный <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt	–	–	–	2	–	–	–
5	Хвощ лесной <i>Equisetum sylvaticum</i> L.	12,6	–	–	–	–	12,3	14,3
6	Иван-чай узколистый <i>Chamaenerion angustifolium</i> Hill	–	–	–	1	–	–	–
7	Седмичник европейский <i>Trientalis eugoraea</i> L.	–	–	–	1	–	–	–
8	Ожика волосистая <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	0,1	–	–	1	–	–	–
9	Водяника черная <i>Empetrum nigrum</i> L.	–	–	4,4	–	2	–	0,5
10	Осока <i>Carex</i> L.	4,8	–	0,1	–	–	6,7	5,2
11	Морошка обыкновенная <i>Rubus chamaemorus</i> L.	0,3	–	11,7	–	10	0,1	–
12	Горошек мышиный <i>Vicia cracca</i> L.	–	–	–	–	–	0,1	–
13	Багульник <i>Ledum palustre</i> L.	0,5	0,1	5,2	0,1	15	–	1,4
14	Марьянник лесной <i>Melampyrum silvaticum</i> L.	–	2,6	–	2	–	–	–
15	Подбел обыкновенный <i>Andromeda polifolia</i> L.	–	–	0,6	–	3	–	–
16	Пушица влагалищная <i>Eriophorum vaginatum</i> L.	–	–	4,8	–	6	–	–
17	Клюква болотная <i>Oxycoccus palustris</i> Hill.	–	–	0,2	–	4	–	–
18	Вереск обыкновенный <i>Calluna vulgaris</i> Salisd.	–	–	0,2	–	4	–	–
19	Береза карликовая <i>Betula nana</i> L.	–	–	3,0	–	20	–	–
20	Касандра болотная <i>Chamaedaphne calyculata</i> (L.) Moench	–	–	0,4	–	5	–	–
Мохово-лишайниковый ярус								
21	Плеуроциум Шребери <i>Pleurozium schreberi</i> Willd.ex Brid.	5,5	14,0	1,0	26	5	6,8	20,0
22	Кукушкин лен обыкновенный <i>Polytrichum commune</i> Hedw.	20,5	1,8	3,2	1	5	3,6	0,1
23	Дикранум метловидный <i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	–	–	–	5	–	6,4	6,1
24	Сфагнум <i>Sphagnum</i> L.	19,0	–	77,0	–	70	2,0	2,5
25	Гилокониум блестящий <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.	0,9	5,0	–	25	–	–	–
26	Ритидиладельфус трехгранный <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst.	–	1,5	–	5	–	–	–

Влияние типов леса — сосняка черничного и сосняка кустарничково-сфагнового на освещенность под пологом леса

Influence of forest types as bilberry pine and sphagnum shrubby pine on illumination under the forest canopy

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий Фишера F	Значение критерия Фишера, критическое для уровня значимости 0,05
Межгрупповая	1 875 000	1	1875000	19,17	4,19
Внутригрупповая	2 738 667	28	97809		
Итого	4 613 667	29	—		

дисперсионный анализ по всем метеофакторам и пробным площадям. Например, влияние типа леса на освещенность под пологом в сосняке черничном и кустарничково-сфагновом в полуденные часы однозначно четко проявляется (табл. 3).

Критерий Фишера расчетный значительно выше табличного значения для уровня значимости 0,05 (см. табл. 3).

В дальнейшем такая детализация результатов дисперсионного анализа приводиться не будет, будет приведен только рассчитанный критерий Фишера и его критическое значение для уровня значимости 0,05.

Критерий Фишера расчетный и для освещенности, и для температуры воздуха, и для скорости ветра всегда выше критического значения при уровне значимости 0,05. В то же время ни один из изученных типов леса не влияет на влажность воздуха (рис. 1).

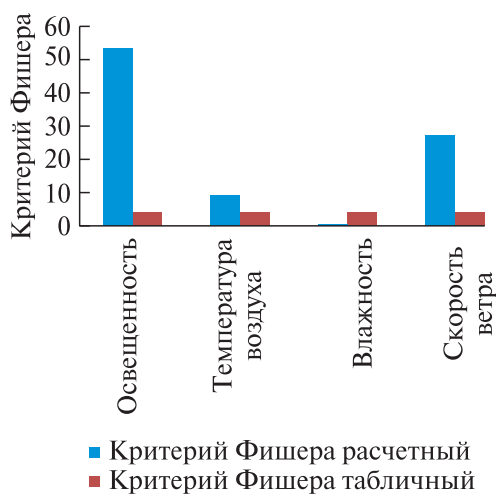


Рис. 1. Критерий Фишера для разных метеофакторов при сравнении под пологом сосняка черничного и сосняка кустарничково-сфагнового

Fig. 1. Fisher's criterion for different meteorological factors when comparing under canopy of blueberry pine and sphagnum shrub pine forests

Освещенность под пологом сосняка кустарничково-сфагнового выше и составляет $5500 \pm 143,73$ лк, а в сосняке черничном $4357 \pm 60,87$ лк, температура воздуха, наоборот, выше в сосняке черничном и ниже в сосняке кустарничково-сфагновом и соответственно равна $19,56 \pm 0,34$ и $18,51 \pm 0,09$ °С. Ветер под пологом сильнее в сосняке кустарничково-сфагновом и составляет $0,48 \pm 0,03$ м/с, в сосняке черничном — $0,30 \pm 0,03$ м/с. Разница есть, но в то же время очевидно, что в обоих типах леса ветер крайне слабый. Влажность в сосняке черничном и сосняке кустарничково-сфагновом составляет $70,57 \pm 4,50$ % и $70,85 \pm 0,86$ % соответственно.

Если же сравнивать два близких между собой типа леса сосняк черничный влажный и сосняк черничный, то можно заключить, что тип леса не влияет на метеофакторы под пологом леса, за исключением влажности воздуха (рис. 2). В сосняке черничном влажном содержание влаги в воздухе составляет $75,14 \pm 0,38$ %, а в сосняке черничном — $70,57 \pm 1,20$ %. По-видимому, более влажная почва при прочих равных условиях в сосняке черничном влажном способствует повышенной влажности воздуха. Однако разница в 5 % тем не менее близка к точности измерения.

Если сравнить метеофакторы под пологом в разных типах леса с теми же показателями на открытом месте, то освещенность под пологом леса в черничных типах леса составляет всего 21...22 % освещенности вне леса, а в сосняке кустарничково-сфагновом — 27 %, что не сильно отличается от таковой в сосняках черничных (табл. 4).

Температура воздуха на высоте 1,3 м от поверхности земли под пологом сосняков очень близка к таковой на открытом месте и лишь на несколько процентов ниже. Влажность воздуха в сосняке выше и составляет 124...132 % по сравнению с открытым местом, т. е. воздух здесь всегда влажный, по-видимому, вследствие невысокой скорости ветра под пологом, нежели на открытом

месте. Таким образом, под пологом леса создается своеобразный микроклимат, отличающийся от микроклимата открытых пространств.

Из табл. 4 видно, что большая часть света, падающего на древостои, задерживается их пологом. Так как густота всех древостоев известна, то можно рассчитать, сколько света задерживает одно дерево: от 12 до 21 лк (в середине июля). Зависимость количества задерживаемого света от густоты древостоя близка к функциональной (рис. 3). Осенью (в октябре) наблюдалась подобная зависимость, с той лишь разницей, что количество света, задержанного одним деревом, уменьшилось.

Сравнение освещенности под пологом леса летом и осенью представляет определенный интерес, особенно в одних и тех же условиях и в одно и то же время суток. Осенью полог древостоев задерживает света меньше, чем в середине лета: если летом он задерживает 73...79 % падающего света, то осенью 57...72 % (табл. 5), что происходит, вероятно, по двум причинам — вследствие отмирания части ассимиляционного аппарата и изменения угла падения солнечных лучей в результате вращения Земли вокруг Солнца.

В сосняке осоково-хвощево-сфагновом осушенном на микроклимат повлиял осушительный канал: заметно увеличились параметры деревьев (высота и диаметр ствола), уменьшилась полнота (пробная площадь № 8) (см. табл. 1) по сравнению с межканальным пространством (пробная площадь № 9). По данным на 19.09.2023 г., освещенность под пологом вблизи осушительного канала была почти в 2 раза выше, чем в межканальном пространстве — соответственно 3300 и 1873 лк. На температуру и влажность воздуха положение по отношению к осушителю не повлияло, а скорость ветра вблизи канала была выше и составила 0,53 м/с против 0,37 м/с в межканальном пространстве.

Немаловажное значение имеют экологические факторы на уровне травяно-кустарничкового яруса, влияющие на видовой состав растений напочвенного покрова, поскольку именно здесь происходит первоначальное развитие всходов древесных пород и мелкого подроста. Анализ метеофакторов на высоте травяно-кустарничкового яруса по сравнению с метеофакторами на высоте 1,3 м от поверхности земли и в различные даты вегетационного периода показал, что фактически не изменяется влажность воздуха. Во все даты измерений (с 08.07.2023 г. по 08.10.2023 г.) в разных типах леса она изменялась незначительно — в пределах 66...75 %. При сравнении ее на разных высотах от поверхности земли — от высоты травяно-кустарничкового яруса до 1,3 м от поверхности земли — влажность воздуха отличалась

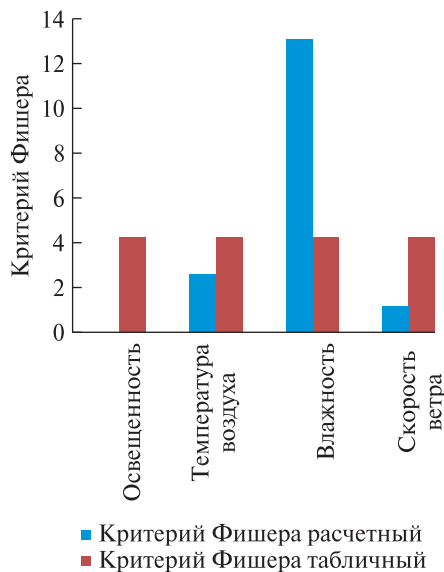


Рис. 2. Критерий Фишера для разных метеофакторов при сравнении под пологом сосняка черничного влажного и сосняка черничного

Fig. 2. Fisher's criterion for different meteorological factors when comparing under the canopy of bilberry pine wet and bilberry pine forests

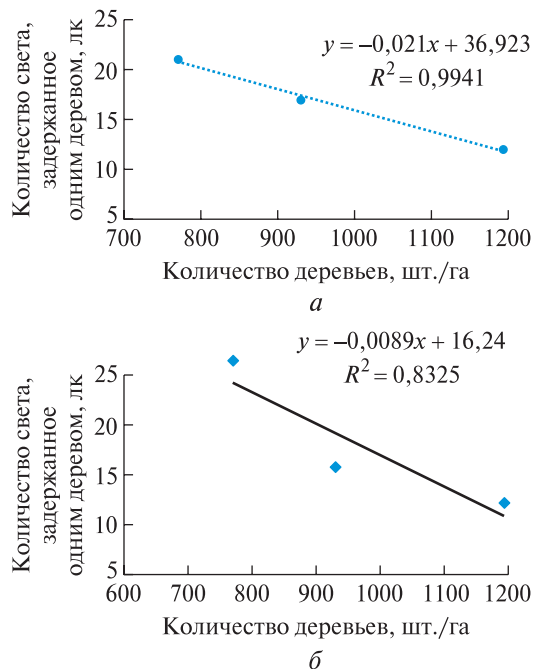


Рис. 3. Зависимость количества света, задержанного одним деревом, от густоты древостоя: а — 13.07.2023 г.; б — 08.10.2023 г.

Fig. 3. Dependence of the amount of light delayed by one tree on stand density: а — 13.07.2023; б — 08.10.2023

не более чем на 1 %, в некоторых случаях была одинаковой, т. е. находилась в пределах точности измерения прибора.

Другие факторы, в частности скорость ветра, по мере снижения высоты измерения с высоты

Т а б л и ц а 4

Метеофакторы под пологом в разных типах леса
Meteorological factors under the canopy in different forest types

Метеофактор	Открытое место	Сосняк черничный влажный	Сосняк черничный	Сосняк кустарничково-сфагновый
Освещенность, лк	20300 ± 37	4414 ± 314 (22)	4357 ± 61 (21)	5500 ± 144 (27)
Температура воздуха, °С	20,2 ± 0,24	19,0 ± 0,04 (94)	19,5 ± 0,34 (97)	18,5 ± 0,09 (92)
Влажность воздуха, %	57 ± 03	75 ± 0,4 (132)	70,6 ± 1,2 (124)	70,9 ± 0,2 (124)
Скорость ветра, м/с	0,63 ± 0,06	0,30 ± 0,02 (48)	0,29 ± 0,03 (46)	0,48 ± 0,03 (76)

Примечание. В скобках указан процент (%) от открытого места.

Т а б л и ц а 5

Свет, задержанный пологом леса
Light delayed by the forest canopy

Номер пробной площади	Тип леса	Густота древостоя, шт./га	Освещенность под пологом леса, лк	Задержанная пологом освещенность		Свет, задержанный одним деревом, лк
				лк	%	
13.07.2023 г.						
1	Сосняк черничный влажный	930	4792	15866	78	17
2	Сосняк черничный	770	4357	15943	79	21
3	Сосняк кустарничково-сфагновый	1194	5500	14800	73	12
08.10.2023 г.						
1	Сосняк черничный влажный	930	5323	6451	57	7
2	Сосняк черничный	770	3091	8073	72	10
3	Сосняк кустарничково-сфагновый	1194	3640	7573	67	6

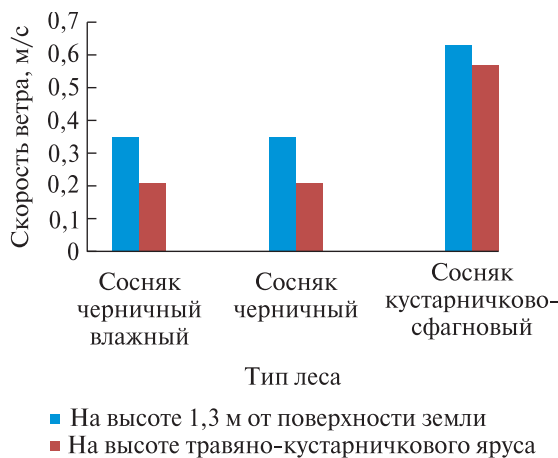


Рис. 4. Скорость ветра на разной высоте под пологом леса
Fig. 4. Wind speed at different heights under the forest canopy

1,3 м от поверхности земли к напочвенному покрову претерпевали заметные изменения. Измерения были проведены в сосняках черничных влажных, сосняках черничных, сосняках брусничных, сосняках кустарничково-сфагновых, сосняках осоково-хвощево-сфагновых осушенных. Везде скорость ветра снижалась к высоте травяно-кустарничкового яруса на 10...40 % (рис. 4), за исключением единственного случая в сосняке

брусничном, когда ветра практически не было, т. е. скорость ветра составляла 0,03 и 0,05 м/с, что находится в пределах точности измерения прибора. В среднем скорость ветра под пологом леса на высоте 1,3 м от поверхности земли составила 0,41 м/с, на высоте травяно-кустарничкового яруса 0,26 м/с.

Подобным образом снижалась освещенность с высоты 1,3 м от поверхности земли к высоте травяно-кустарничкового яруса. В среднем освещенность под пологом леса на высоте 1,3 м от поверхности земли в разные даты измерения изменялась от 1683 лк до 5323 лк, в среднем составила 3778 лк, на высоте напочвенного покрова — от 1500 до 3910 лк, в среднем — 2880 лк.

Практически однозначные выводы можно сделать по температуре воздуха. На уровне напочвенного покрова температура воздуха всегда выше на протяжении вегетационного периода и лишь в его конце (по нашим данным, на 08.10.2023 г.) температура равна (рис. 5). На первый взгляд, различия не особенно велики и находятся в пределах от десятых долей градуса до 1,3 градуса, однако с учетом эффекта накопления суммы эффективных температур для прохождения разных жизненных циклов эти различия могут иметь важное значение.

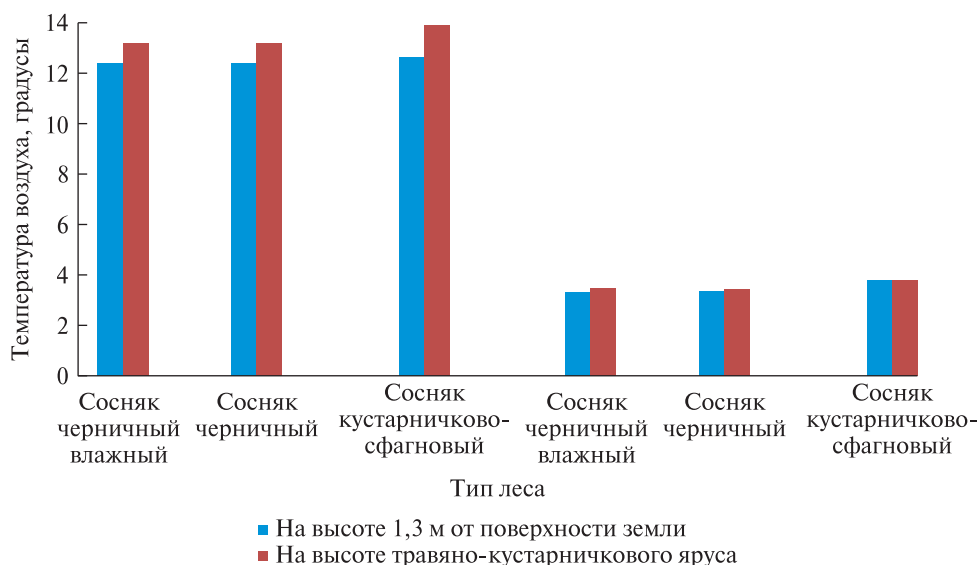


Рис. 5. Температура воздуха на разной высоте под пологом сосняков (первые три столбика слева на 08.07.2023 г. и остальные три на 08.10.2023 г.)

Fig. 5. Air temperature at different heights under the pine forest canopy (first three bars on the left dated 08.07.2023 and the other three dated 08.10.2023)

Выводы

1. Тип леса влияет на параметры метеофакторов под пологом леса: на освещенность, температуру воздуха и скорость ветра. Освещенность и ветер выше в сосняке кустарничково-сфагновом, а температура воздуха выше в сосняке черничном. Влажность воздуха одинакова. При сравнении близких типов леса сосняков черничных и черничных влажных метеофакторы близки (равны), за исключением влажности воздуха — она выше в сосняке черничном влажном.

2. Метеофакторы под пологом сосняков разных типов леса существенно отличаются от показателей на открытом месте. Освещенность меньше и составляет 21...22 % относительно открытого места, скорость ветра — 46...76 %; температура воздуха — 92...97 %; влажность воздуха выше и составляет 124...132 %.

3. Густота древостоев снижает освещенность, в частности, одно дерево задерживает 12...21 лк.

4. Параметры метеофакторов отличаются на высоте 1,3 м от поверхности земли и на уровне травяно-кустарничкового яруса. Скорость ветра к уровню напочвенного покрова снижается на 10...40 %, освещенность — на 24 %, температура воздуха несколько повышается — до 1,3 °C.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (Номер государственной регистрации — 122011400384-2).

Список литературы

- [1] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 456 с.
- [2] Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 600 с.
- [3] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная пром-сть, 1980. 408 с.
- [4] Бех И.А., Калинин А.М., Таран И.В. Лес и жизнь. Кемерово: Кн. изд-во, 1986. 157 с.
- [5] Косарев В.П., Андриющенко Т.Т. Лесная метеорология с основами климатологии / под ред. Б.В. Бабилова. СПб.: Лань, 2009. 287 с.
- [6] Банщикова Е.А., Буторова О.Ф. Реакция кустарничковых видов растений монгольской флоры на воздействие климатических факторов Восточного Забайкалья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, 2019. 3(55). С. 174–184. DOI 10/32786/2071-9485-2019-0-22
- [7] De Frenne P., Lenoir J., Luoto M., Scheffers B.R., Zellweger F., Aalto J., Ashcroft M.B., Christiansen D.M., Decocq G., De Pauw K., Govaert S., Greiser C., Gril E., Hampe A., Jucker T., Klimes D.H., Koelemeijer I.A., Lembrechts J.J., Marrec R., Meeussen C., Ogée J., Tyystjärvi V., Vangansbeke P., Hylander K. Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda // Glob Chang Biol, 2021, no. 27(11), pp. 2279–2297.
- [8] De Pauw K., Depauw L., Calders K., Caluwaerts S., Cousins S.A.O., De Lombaerde E., De Frenne P. Urban forest microclimates across temperate Europe are shaped by deep edge effects and forest structure // Agricultural and Forest Meteorology, 2023, v. 341, p. 109632.
- [9] Haesen S., Lembrechts J.J., De Frenne P., Lenoir J., Aalto J., Ashcroft M.B., Kopecký M., Luoto M., Maclean I., Nijs I., Niittynen P., van den Hoogen J., Arriga N., Brūna J., Buchmann N., Čiliak M., Collalti A., De Lombaerde E., Descombes P., Gharun M., Goded I., Govaert S., Greiser C., Grelle A., Gruening C., Hederová L., Hylander K., Kreyling J., Kruijt B., Macek M., Máliš F., Man M., Manca G., Matula R., Meeussen C., Merinero S., Miner-

- bi S., Montagnani L., Muffler L., Ogaya R., Penuelas J., Plichta R., Portillo-Estrada M., Schmeddes J., Shekhar A., Spicher F., Ujházyová M., Vangansbeke P., Weigel R., Wild J., Zellweger F., Van Meerbeek K. ForestTemp — Sub-canopy microclimate temperatures of European forests // *Glob Chang Biol.*, 2022, v. 28(23), pp. 7157–7158.
- [10] Launiainen S. Canopy processes, fluxes and microclimate in a pine forest // *Report Series in Aerosol Science*, 2011, v. 117, 55 p.
- [11] Pradeep S., Gcs N. Microclimate Variability Under Forest Canopies Along an Altitudinal Gradient in Western Himalaya // *Environmental analysis and Ecology studies*, 2024, no. 11(3), pp. 1286–1292.
DOI:10.31031/EAES.2023.11.000765
- [12] Битюков Н.А., Шагаров Л.М. Температура и влажность воздуха под пологом буковых лесов бассейна реки Мзымта // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*, 2013. № 5 (177). С. 65–67.
- [13] Чертовский В.Г. Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесная пром-сть, 1978. 176 с.
- [14] Чибисов Г.А., Нефедова А.И. Рубки ухода и фитоклимат. Архангельск: Изд-во СевНИИЛХ, 2007. 265 с.
- [15] Феклистов П.А., Торбик Д.Н. Изменение экологических факторов в связи с рубками ухода в северной тайге. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 213 с.
- [16] 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, t. 11, no. 9, p. 979.
- [17] Kishchenko I.T. Dynamics of the isoenzyme composition of peroxidase and pigments in the needles of the introduced species of *Picea* (L.) Karst. in the taiga zone (Karelia) // *Arctic Environmental Research*, 2019, t. 19, no. 4, pp. 129–138.
- [18] Хлюстов В.К., Наумов В.Д., Каменных Н.Л., Ганихин А.М. Взаимосвязь продуктивности лесных насаждений с возрастом и геоморфологией почв // *Теория и практика современной аграрной науки. Сборник IV нац. (Всерос.) науч. конф. с междунар. участием. Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного аграрного университета*, 2021. С. 429–432.
- [19] Grabovskii V.I., Zamolodchikov D.G. The effect of climate parameters on mean growing stock in Russian forests // *Contemporary Problems of Ecology*. 2019, t. 12, no. 7, pp. 675–681.
- [20] Чудаков А.В. Влияние метеофакторов на формирование древесины ели и сосны в зеленомошных типах леса: дис. ... канд. с.-х. наук, 06.03.02. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2020. 199 с.
- [21] Данчева А.В., Залесов С.В., Муканов Б.М. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны в ленточных борах Прииртышья // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 2. С. 5–10.
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-5-10
- [22] Тетюхин С.В. Некоторые закономерности соотношения h/d в сосняках, произрастающих на территории Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы VI Всерос. науч.-техн. конф.* СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2021. С. 191–194.
- [23] Галдина Т.Е., Хазова Е.П. Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной // *Лесотехнический журнал*, 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 35–42.
DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
- [24] Панарин И.И. Леса Прибайкалья (типы леса, микроклимат, характеристика лесообразующих пород). М.: Наука, 1979. 263 с.
- [25] Пономарева Т.И. Влияние лесосошения на лесорастительные условия сосняков кустарничково-сфагновых северотаежного района Архангельской области: дис. ... канд. с.-х. наук, 06.03.02. Архангельск, САФУ, 2022, 180 с.
- [26] Рунова Е.М., Савченкова В.А. Влияние вырубок на особенности микроклимата в условиях среднего Приангарья // *Актуальные проблемы лесного комплекса*, 2010. № 26. С. 41–44.
- [27] Соболев А.Н., Феклистов П.А. Изменчивость микроклимата в лесных насаждениях Соловецкого архипелага // *Arctic Environmental Research*, 2017. № 3. С. 245–254
- [28] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- [29] Сукачев В.Н., Дылис Н.В. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука, 1966. 332 с.
- [30] Третьяков С.В., Коптев С.В., Наквасина Е.Н., Бахтин А.А., Ильинцев А.С., Богданов А.П., Кекишева Ю.Е. Лесная таксация. Ч. 4. Закладка и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ. Архангельск: Изд-во САФУ, 2023. 119 с.
- [31] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. 13 с.
- [32] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
- [33] Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных с ее приложениями. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. 636 с.
- [34] Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: Изд-во НИИХимии, СПбГУ, 2002. 240 с.
- [35] Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск: Госкомитет СССР по лесному хозяйству, 1986. 357 с.

Сведения об авторах

Феклистов Павел Александрович[✉] — д-р с.-х. наук, профессор, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук», pfeclistov@yandex.ru

Бруева Жанна Алексеевна — аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ)

Верховцева Елена Павловна — ассистент кафедры биологии, экологии и биотехнологии, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ)

Болотов Иван Николаевич — д-р биол. наук, член-кор. РАН, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук», inepas@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.04.2024.

Одобрено после рецензирования 31.05.2024.

Принята к публикации 22.08.2024.

MICROCLIMATE FEATURES UNDER CANOPY OF NORTH TAIGA PINE FORESTS OF DIFFERENT TYPES

P.A. Feklistov^{1✉}, J.A. Brueva², E.P. Verkhovtseva², I.N. Bolotov¹

¹Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20, Nikolsky av., 163020, Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

pfeclistov@yandex.ru

The studies were conducted in different types of pine plantations in the North taiga region of the Arkhangelsk region, which are pure in composition or with a small admixture of other species. The measurement of meteorological factors was carried out at a height of 1,3 m and at the level of the grass-shrub layer. For this purpose, a luxmeter «ТКА-Lux» was used, and measurements of air temperature, air humidity and wind speed were carried out using a meteorological meter MES-200. The taxational characteristics of the studied pine forests are given. The results of the analysis of variance on the effect of forest type on the meteorological factors under the forest canopy are presented. It has been established that, in general, the type of forest significantly affects almost all indicators of the microclimate. It was revealed that under the canopy of the forest, its climatic regime is composed, which accordingly affects all the lower tiers of vegetation and partly on the stand. The illumination and wind are higher in the shrub-sphagnum pine, and the air temperature is higher in the blueberry pine. The humidity of the air is the same. When comparing similar forest types of blueberry and blueberry moist pine forests, the meteorological factors are close (equal) with the exception of air humidity, it is higher in blueberry moist pine, it is shown that meteorological factors under the canopy of pine forests differ significantly from those in the open area. The strongest influence affects the illumination. It is smaller and makes up 21...22 % of the open area, the wind speed is 46...76 %, the air temperature is 92...97 %, but the humidity is higher and is 124...132 %. One tree in the stand with the existing density retains 12...21 lux of light. It is established that the parameters of meteorological factors change with altitude. From a height of 1.3 m, the wind speed to the ground cover level decreases by 10...40 %, illumination by 24 %, and the air temperature rises slightly to 1,3 °C.

Keywords: meteorological factors, microclimate, forest type, temperature, illumination, humidity, wind speed

Suggested citation: Feklistov P.A., Brueva Zh.A., Verkhovtseva E.P., Bolotov I.N. *Osobennosti mikroklimata pod pologom severotaezhnykh sosnyakov raznykh tipov lesa* [Microclimate features under canopy of north taiga pine forests of different types]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 30–41.

DOI: 10.18698/2542-1468-2024-5-30-41

References


- [1] Morozov G.F. *Uchenie o lese* [The Science of the Forest]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1949, 456 p.
- [2] Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1955, 600 p.
- [3] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forest Science]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1980, 408 p.
- [4] Bekh I.A., Kalinin A.M., Taran I.V. *Les i zhizn'* [Forest and Life]. Kemerovo: Knizhnoe izd-vo [Book Publishing House], 1986, 157 p.
- [5] Kosarev V.P., Andryushchenko T.T. *Lesnaya meteorologiya s osnovami klimatologii* [Forest Meteorology with the Basics of Climatology]. Ed. B.V. Babikov. St. Petersburg: Lan', 2009, 287 p.
- [6] Bانشchikova E.A., Butorova O.F. *Reaksiya kustarnichkovykh vidov rasteniy mongol'skoy flory na vozdeystvie klimaticheskikh faktorov Vostochnogo Zabaykal'ya* [Response of dwarf shrub plant species of the Mongolian flora to the impact of climatic factors of Eastern Transbaikalia]. *Izvestiya NV AUK*, 2019, no. 3(55), pp. 174–184. DOI 10/32786/2071-9485-2019-0-22

- [7] De Frenne P., Lenoir J., Luoto M., Scheffers B.R., Zellweger F., Aalto J., Ashcroft M.B., Christiansen D.M., Decocq G., De Pauw K., Govaert S., Greiser C., Gril E., Hampe A., Jucker T., Klings D.H., Koelemeijer I.A., Lembrechts J.J., Marrec R., Meeussen C., Ogée J., Tyystjärvi V., Vangansbeke P., Hylander K. Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Glob Chang Biol*, 2021, no. 27(11), pp. 2279–2297.
- [8] De Pauw K., Depauw L., Calders K., Caluwaerts S., Cousins S.A.O., De Lombaerde E., De Frenne P. Urban forest microclimates across temperate Europe are shaped by deep edge effects and forest structure. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, v. 341, p. 109632.
- [9] Haesen S., Lembrechts J.J., De Frenne P., Lenoir J., Aalto J., Ashcroft M.B., Kopecký M., Luoto M., Maclean I., Nijs I., Niittynen P., van den Hoogen J., Arriga N., Brúna J., Buchmann N., Čiliak M., Collalti A., De Lombaerde E., Descombes P., Gharun M., Goded I., Govaert S., Greiser C., Grelle A., Gruening C., Hederová L., Hylander K., Kreyling J., Kruijt B., Macek M., Máliš F., Man M., Manca G., Matula R., Meeussen C., Merinero S., Minerbi S., Montagnani L., Muffler L., Ogaya R., Penuelas J., Plichta R., Portillo-Estrada M., Schmeddes J., Shekhar A., Spicher F., Ujházyová M., Vangansbeke P., Weigel R., Wild J., Zellweger F., Van Meerbeek K. ForestTemp — Sub-canopy microclimate temperatures of European forests. *Glob Chang Biol*, 2022, v. 28(23), pp. 7157–7158.
- [10] Launiainen S. Canopy processes, fluxes and microclimate in a pine forest // Report Series in Aerosol Science, 2011, v. 117, 55 p.
- [11] Pradeep S., Gcs N. Microclimate Variability Under Forest Canopies Along an Altitudinal Gradient in Western Himalaya // Environmental analysis and Ecology studies, 2024, no. 11(3), pp. 1286–1292. DOI:10.31031/EAES.2023.11.000765
- [12] Bitjukov N.A., Shagarov L.M. *Temperatura i vlazhnost' vozdukhha pod pologom bukovykh lesov basseyna reki Mzymta* [Air temperature and humidity under the canopy of beech forests in the Mzymta River basin]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [News of universities. North Caucasian region. Series: Natural sciences], 2013, no. 5 (177), pp. 65–67.
- [13] Chertovskiy V.G. *Elovye lesa evropeyskoy chasti SSSR* [Spruce forests of the european part of the USSR]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1978, 176 p.
- [14] Chibisov G.A., Nefedova A.I. *Rubki ukhoda i fitoklimat* [Thinnings and phytoclimate]. Arkhangelsk: SevNIIH, 2007, 265 p.
- [15] Feklistov P.A., Torbik D.N. *Izmenenie ekologicheskikh faktorov v svyazi s rubkami ukhoda v severnoy tayge* [Changes in environmental factors due to thinnings in the northern taiga]. Arkhangelsk: NArFU, 2011, 213 p.
- [16] 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, t. 11, no. 9, p. 979.
- [17] Kishchenko I.T. Dynamics of the isoenzyme composition of peroxidase and pigments in the needles of the introduced species of *Picea* (L.) Karst. in the taiga zone (Karelia). *Arctic Environmental Research*, 2019, t. 19, no. 4, pp. 129–138.
- [18] Khlyustov V.K., Naumov V.D., Kamennykh N.L., Ganikhin A.M. *Vzaimosvyaz' produktivnosti lesnykh nasazhdeniy s vozrastom i geomorfologiyey pochv* [Relationship between forest productivity and soil age and geomorphology]. *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki. Sbornik IV natsional'noy (Vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Theory and practice of modern agricultural science. Proceedings of the IV national (All-Russian) scientific conference with international participation]. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University, 2021, pp. 429–432.
- [19] Grabovskii V.I., Zamolodchikov D.G. The effect of climate parameters on mean growing stock in Russian forests. *Contemporary Problems of Ecology*. 2019, t. 12, no. 7, pp. 675–681.
- [20] Chudakov A.V. *Vliyaniye meteofaktorov na formirovaniye drevesiny eli i sosny v zelenomoshnykh tipakh lesa* [The influence of meteorological factors on the formation of spruce and pine wood in green moss forest types]. Dis. Cand. Sci. (Agric.), 06.03.02. St. Petersburg, SPbGLTU, 2020, 199 p.
- [21] Dancheva A.V., Zalesov S.V., Mukanov B.M. *Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na radial'nyy prirost sosny v lentochnykh borakh Priirtysh'ya* [Climatic factors influence on radial pine growth in ribbon pine forests in the Irtysh land]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-5-10
- [22] Tetyukhin S.V. *Nekotorye zakonomernosti sootnosheniya h/d v sosnyakakh, proizrastayushchikh na territorii Lisinskoy chasti uchebno-opyt'nogo lesnichestva Leningradskoy oblasti* [Some patterns of the h/d ratio in pine forests growing on the territory of the Lisinsky part of the educational and experimental forestry of the Leningrad region]. *Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie. Materialy VI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: policy, industry, science, education. Proceedings of the VI All-Russian scientific and technical conference]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2021, pp. 191–194.
- [23] Galdina T.E., Khazova E.P. *Vliyaniye klimatogeograficheskikh faktorov na adaptatsionnyuyu sposobnost' sosny obyknovennoy* [Influence of climatic and geographic factors on the adaptive capacity of Scots pine]. *Forestry journal*, 2020, v. 10, no. 3 (39), pp. 35–42.
- [24] Panarin I.I. *Lesnaya Pribaykal'ya (tipy lesa, mikroklimat, kharakteristika lesoobrazuyushchikh porod)* [Forests of the Baikal region (Forest types, microclimate, characteristics of forest-forming species)]. Moscow: Nauka, 1979, 263 p.
- [25] Ponomareva T.I. *Vliyaniye lesoosusheniya na lesorastitel'nye usloviya sosnyakov kustarnichkovo-sfagnovykh severotaezhnogo rayona Arkhangel'skoy oblasti* [Effect of forest drainage on forest growth conditions of dwarf shrub-sphagnum pine forests in the northern taiga region of the Arkhangelsk region]. Dis. Cand. Sci. [Agric.] 06.03.02. Arkhangelsk, NArFU, 2022, 180 p.
- [26] Runova E.M., Savchenkova V.A. *Vliyaniye vyrubok na osobennosti mikroklimata v usloviyakh srednego Priangar'ya* [Effect of felling on the features of the microclimate in the conditions of the middle Angara region]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2010, no. 26, pp. 41–44.
- [27] Sobolev A.N., Feklistov P.A. *Izmenchivost' mikroklimata v lesnykh nasazhdeniyakh Solovetskogo arhipelaga* [Microclimate variability in forest stands of the Solovetsky Archipelago]. *Arctic Environmental Research* [Arctic Environmental Research], 2017, no. 3, pp. 245–254.
- [28] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost', 1982, 552 p.
- [29] Sukachev V.N., Dylis N.V. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and methodology of biogeocenological studies]. Moscow: Nauka, 1966, 332 p.

- [30] Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Nakvasina E.N., Bakhtin A.A., Il'intsev A.S., Bogdanov A.P., Kekisheva Yu.E. *Lesnaya taksatsiya. Ch. 4. Zakladka i opisaniye probnykh ploshchadey pri provedenii nauchnykh issledovaniy i podgotovke vypusknykh kvalifikatsionnykh rabot* [Forest taxation. Part 4. Laying out and description of sample plots during scientific research and preparation of final qualifying works]. Arkhangelsk: NArFU, 2023, 119 p.
- [31] Gusev I.I. *Taksatsiya drevostoya* [Taxation of forest stand]. Arkhangelsk: Izd-vo AGTU [Publishing house of ASTU], 2000, p. 13.
- [32] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodical instructions for the study of forest types]. Moscow: AN SSSR [USSR Academy of Sciences], 1961, 144 p.
- [33] Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh s ee prilozheniyami* [Biological productivity of forests of Northern Eurasia: methods, database with its applications]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 636 p.
- [34] Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: Publishing House of the Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, 2002, 240 p.
- [35] *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severo-vostoka Evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Inventory Handbook for the North-East of the European Part of the USSR]. Arkhangelsk: USSR State Forestry Committee, 1986, 357 p.

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration no. – 122011400384-2).

Authors' information

Feklistov Pavel Aleksandrovich  — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pfeklistov@yandex.ru

Brueva Zhanna Alekseevna — pg., Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU)

Verkhovtseva Elena Pavlovna — Assistant of Department of Biology, Ecology and Biotechnology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NArFU)

Bolotov Ivan Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, inepras@yandex.ru

Received 10.04.2024.

Approved after review 31.05.2024.

Accepted for publication 22.08.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest