

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИКРОКЛИМАТА В ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА**

*А.Н. Соболев**, *П.А. Феклистов***

*Соловецкий музей-заповедник
(Архангельская область, Приморский район, пос. Соловецкий)

**Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
(г. Архангельск)

В сосновом и еловом насаждениях Соловецкого архипелага измерены значения освещенности и температуры поверхности растений. Оценено различие этих показателей на нескольких ярусах (на высоте 1,3 м, в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах) в количественном отношении (в абсолютных и относительных величинах, вычислена изменчивость). Измерения проводили по мере удаления от ствола деревьев в северном и южном направлениях. Отмечены более высокая изменчивость освещенности в ельнике, ее наиболее равномерное распределение по вертикали на уровне травяно-кустарничкового яруса и максимальная изменчивость на уровне мохово-лишайникового яруса. Выявлено, что важную роль в терморегуляции на нижних ярусах в ельнике играет древесный ярус, а в сосняке – мохово-лишайниковый ярус. Для еловых насаждений характерно незначительное уменьшение температуры от полога кроны к «окну» и в травяно-кустарничковом, и в мохово-лишайниковом ярусе. В сосняке в мохово-лишайниковом ярусе наблюдается рост температур как по отношению к травяно-кустарничковому ярусу, так и от полога к «окну». Анализ изменчивости скорости ветра выполняли в криволесье из березы извилистой с примесью других пород. Эти лесные насаждения формируются при интенсивном ветровом воздействии, доминируют вдоль морского побережья и играют важную защитную роль. Измерения проводили на разном расстоянии от берега моря – до 100 м от опушки леса. Выяснено, что скорость ветра на этом расстоянии уменьшалась более чем в 3 раза – в среднем от 1,72 до 0,48 м/с, а амплитуда – в 2–7 раз.

Ключевые слова: *леса Соловецкого архипелага, травяно-кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый ярус, микроклимат лесных насаждений, освещенность, температура поверхности растений, скорость ветра на побережье.*

Контактное лицо: Феклистов Павел Александрович, *адрес:* 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; *e-mail:* feklisov@narfu.ru

Для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А. Изменчивость микроклимата в лесных насаждениях Соловецкого архипелага // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 3. С. 245–254. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.245

Арктический регион представлен протяженной береговой линией и многочисленными островами, в его пределах находится северная граница леса. Лесные насаждения Арктики играют важную защитную роль, преобразуя негативное климатическое, погодное воздействия и формируя более благоприятный микроклимат.

Цель нашей работы – оценить изменчивость микроклимата в прибрежных и островных лесных насаждениях Арктики, их защитную функцию. Исследование проводили в островных фитоценозах, отличающихся характером роста и развития [1], что определяет его научную новизну. Соловецкие острова являются объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО, леса отнесены к защитным, имеющим научное или историческое значение, что придает высокую значимость исследованию.

В настоящее время существует ряд работ, посвященных исследованию лесных насаждений Соловецкого архипелага, изучению микроклиматических условий и влияния климата на лесные сообщества [2–8]. В то же время, при определенной изученности природы Соловецких островов, многие важные вопросы по исследованию лесных насаждений: влияние на них различных факторов (климатических, геофизических и космических) и их изменчивость внутри растительных сообществ в зависимости от состава и структуры – остались малоизученными или только обозначенными.

Материалы и методы. В основу исследований положен метод временных пробных площадей, которые закладывали в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями [9–10] с учетом требований ГОСТ 16128–70¹ и ОСТ 56-69–83².

Работу проводили в 2015–2016 годах на трех пробных площадях: квартал 153, выделы 13, 18, 24 (по данным лесоустройства 2003 года).

Освещенность и температуру исследовали в сосновом (7С3Е+Б, Ос, диаметр 17,2 см, высота 10,9 м, полнота 0,51, возраст – 92 года, бонитет – Va, запас 68 м³) и еловом (7Е2Б1Ос, диаметр 19,7 см, высота 12,9 м, полнота 0,49, возраст – 80 лет, бонитет – V, запас 83 м³) насаждениях (составляют более 3/4 лесов архипелага) черничного типа леса (62,1 % лесной территории). Изменение ветра изучали в фитоценозе березы извилистой (6Бср1Ив1Ос2Е+Р, диаметр 12,0 см, высота 8,0 м, полнота 0,70, возраст – 80 лет, бонитет – Va, запас 60 м³), формирующей защитный пояс вдоль побережья островов.

Освещенность и температуру поверхности в пределах лесных насаждений измеряли в северном и южном направлении от стволов деревьев главной породы (было отобрано по 28 деревьев пропорционально ступеням толщины). Замеры выполняли через каждый метр от ствола дерева до конца кроны и в «окне» (открытом пространстве между деревьями), в 3–7-кратной повторности на уровне груди (1,3 м)³, в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах при помощи люксметра «ТКА-Люкс» (г. Санкт-Петербург) с точностью до 0,01 кЛк и дистанционного измерителя температуры (пирометра) «Testo 830-T4» (Германия) с точностью до 0,1 °С. Измерения проводили в ясную, облачную и пасмурную погоду (в ясную погоду – реже из-за неравномерности распределения освещенности в пределах лесных сообществ) в течение 15 дней. Всего было сделано около 9 тыс. замеров.

Анализ изменения скорости ветра проводили на 17 непроवेशенных ходовых линиях, проложенных перпендикулярно побережью. Измерения выполняли по мере удаления от берега моря: на границе суши и моря (открытое пространство); на опушке леса; на 10, 30, 50 и 100 м от опушки в глубь леса. Скорость ветра измеряли при помощи термоанемометра LV-110 («КИМО», Франция) с точностью до 0,01 м/с на

¹ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М., 1971. 23 с.

²ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1984–01–01. М., 1984. 60 с.

³Измерение температуры поверхности на высоте 1,3 м проводилось только для стволов деревьев с южной и северной стороны.

высоте 2 м в неоднократной (до 40–60 раз) повторности в каждой точке. Всего было сделано почти 4 тыс. замеров.

Все математико-статистические расчеты выполняли на основе общепринятых методов и рекомендаций [11]. Обработку материала проводили с использованием пакета программ «Microsoft Office» и программы «Statistica 10».

Результаты и обсуждение

Освещенность. Анализ полученных данных выявил, что освещенность в сосняке колебалась: на открытом пространстве – от 11,35 до 92,95 кЛк (в среднем 28,93 кЛк), внутри сообщества – от 0,25 до 53,22 кЛк (в среднем 6,69 кЛк, что составило 23,1 % от значения на открытой местности). В ельнике она изменялась: на открытом пространстве – от 4,81 до 64,64 кЛк (в среднем 21,54 кЛк), внутри сообщества – от 0,04 до 65,64 кЛк (в среднем 3,30 кЛк, или 15,3 % от значения на открытой местности). Таким образом, освещенность под пологом елового леса сокращалась в большей степени, чем в сосновом сообществе. Это связано с особенностями темнохвойных еловых насаждений, которые создают большее затенение внутри сообщества.

Изменение освещенности в отношении горизонтальной проекции кроны деревьев (под пологом кроны, в т. ч. около ствола, на краю кроны, и в «окнах» древостоя) имело следующий характер (табл. 1, см. с. 248). Минимальные средние значения освещенности наблюдались под пологом кроны: в сосняке они составляли от 3,70 до 6,07 кЛк (на северной стороне от стволов они были незначительно больше или сопоставимы по отношению к южной), в ельнике – от 1,06 до 2,97 кЛк (здесь они были выше на южной стороне или сопоставимы по отношению к северной). В пределах кроны наименьшие значения были зафиксированы около стволов деревьев (3,51–5,54 кЛк в сосняке и 0,97–2,51 кЛк в ельнике). От ствола дерева к концу кроны происходило увеличение освещенности: в сосняке – на 34,5–61,0 % в южном направлении от ствола и на 20,9–39,3 % в северном направлении; в ельнике – на 16,0–

92,2 % в южном направлении и на 81,6–112,2 % в северном. В «окне» древесного полога отмечен еще более значительный рост освещенности по отношению к кроне деревьев: в сосняке – на 82,1–118,9 % в южном направлении и на 36,7–50,1 % в северном направлении; в ельнике – на 31,1–217,7 % в южном направлении и на 142,8–264,2 % в северном направлении. В сосняке освещенность изменялась в большей степени в южном направлении (как по ярусам, так и в целом), в ельнике – в северном. В результате в сосняке освещенность на границе кроны и в «окне» была значимо выше на юге, чем на севере; в ельнике – наоборот. В целом освещенность была выше в сосняке.

В сосновом насаждении под пологом кроны (в т. ч. около ствола) освещенность в травяно-кустарничковом ярусе была незначительно выше, чем на высоте 1,3 м (на 2,3–3,5 %). В конце кроны и в «окне», наоборот, она была выше на высоте 1,3 м на 3,7–14,5 % по отношению к травяно-кустарничковому ярусу. В ельнике под пологом кроны (в т. ч. около ствола) освещенность была также больше в травяно-кустарничковом ярусе (превышение здесь достигало уже 10,9–49,0 %). В конце кроны и в «окне», как и в сосняке, освещенность была выше на высоте 1,3 м (на 5,2–16,8 %). Причина подобного распределения освещенности – расположение ярусов по отношению к кронам деревьев (около ствола и под кроной большее затенение создается на уровне 1,3 м, в «окне» – наоборот). Более высокая разница в освещенности между травяно-кустарничковым ярусом и высотой 1,3 м в ельнике обусловлена большим затенением крон ели. По средним значениям освещенность незначительно выше на высоте 1,3 м, чем в травяно-кустарничковом ярусе. Изменчивость освещенности в травяно-кустарничковом ярусе (в среднем 68,6 % для сосняка и 86,4 % для ельника) ниже, чем на высоте 1,3 м (в среднем 72,3 % для сосняка и 110,2 % для ельника); здесь она достигает минимума по отношению к другим ярусам, из чего следует, что освещенность в этом ярусе наиболее равномерна.

Таблица 1

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСВЕЩЕННОСТИ В СОСНОВО-ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА**

Расположение точки измерения по отношению к стволу и кроне дерева	На высоте 1,3 м		Травяно-кустарничковый ярус		Мохово-лишайниковый ярус	
	М, кЛк	С, %	М, кЛк	С, %	М, кЛк	С, %
<i>Сосняк черничного типа</i>						
В южном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:						
около ствола	5,90	61,5	6,07	60,1	3,70	79,1
в конце кроны	5,36	72,0	5,54	72,1	3,51	93,3
в «окне»	9,50	87,8	8,16	64,0	5,39	90,1
<i>Среднее на юг</i>	12,92	88,8	11,05	91,0	7,04	116,0
<i>Среднее на юг</i>	9,44	79,4	8,43	71,7	5,38	95,0
В северном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:						
около ствола	5,92	82,9	6,06	79,5	3,86	81,1
в конце кроны	5,35	91,2	5,53	87,0	3,79	80,0
в «окне»	8,25	56,1	7,57	61,8	4,67	81,7
<i>Среднее на север</i>	8,89	56,6	8,56	55,1	5,28	74,2
<i>Среднее на север</i>	7,69	65,2	7,40	65,5	4,61	79,0
<i>Ельник черничного типа</i>						
В южном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:						
около ствола	2,11	107,5	2,97	125,9	1,28	82,2
в конце кроны	1,69	86,3	2,51	57,4	1,19	89,0
в «окне»	4,06	69,7	3,85	62,8	1,48	60,1
<i>Среднее на юг</i>	6,72	83,0	5,74	44,3	1,68	57,9
<i>Среднее на юг</i>	4,30	86,7	4,19	77,7	1,48	66,7
В северном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:						
около ствола	2,20	130,3	2,16	57,4	1,06	55,0
в конце кроны	1,79	154,5	1,98	67,7	0,97	63,6
в «окне»	4,00	116,0	4,58	120,8	2,18	153,1
<i>Среднее на север</i>	8,02	154,8	6,67	107,0	2,58	94,9
<i>Среднее на север</i>	4,74	133,7	4,47	95,1	1,94	101,0

Примечание: М – среднее значение освещенности; С – изменчивость.

В мохово-лишайниковом ярусе освещенность существенно понижалась по отношению к травяно-кустарничковому ярусу: в сосняке она была ниже на 31,5–39,0 %, в ельнике – на 50,8–70,8 %. В среднем она уменьшилась с 7,91

до 4,99 кЛк в сосняке и с 4,33 до 1,71 кЛк в ельнике. По направлению от ствола к «окну» освещенность понижалась более значительно: в сосняке она уменьшилась около ствола на 1,74–2,03 кЛк, а в «окне» – на 3,28–4,01 кЛк;

в ельнике – на 1,01–1,32 кЛк и 4,06–4,09 кЛк соответственно. Более значительное понижение освещенности от ствола к «окну» в мохово-лишайниковом ярусе связано с более активным развитием травяно-кустарничкового яруса (за счет увеличения его освещенности). Изменчивость освещенности на уровне мохово-лишайникового яруса больше (в среднем 87,0 % в сосняке и 83,9 % в ельнике), чем на вышележащих ярусах; здесь она достигает максимальных значений, что связано со сложной структурой напочвенного покрова, высоким разнообразием его проективного покрытия.

В сосновом насаждении изменчивость освещенности под пологом кроны была ниже в южном направлении (60,1–79,1 % при среднем 66,9 %), чем в северном (79,5–82,9 % при среднем 81,2 %). В ельнике, наоборот, в южном направлении (82,2–125,9 % при среднем 105,2 %) она в большинстве случаев была больше, чем в северном (55,0–130,3 % при среднем 80,9 %). Далее, к концу кроны и «окну» в сосняке в южном направлении изменчивость росла (до 88,8–116,0 % в «окне» при среднем 98,6 %), а в северном – снижалась (до 55,1–74,2 % в «окне» при среднем 62,0 %). В ельнике наблюдалось обратное явление: в южном направлении изменчивость уменьшалась (до 44,3–83,0 % в «окне» при среднем 61,7 %), а в северном – увеличивалась (до 94,9–154,8 % в «окне» при среднем 118,9 %). В результате в сосновом насаждении на краю кроны и в «окне» изменчивость освещенности была значительно выше в южном направлении, чем в северном; в еловом насаждении – наоборот. Подобная динамика изменчивости, скорее всего, связана со структурой этих лесных насаждений. Конкретные причины еще предстоит выяснить. В целом изменчивость освещенности выше в ельнике, что обусловлено его более сложной структурой. Изменчивость освещенности, по А.В. Тюрину [12], во всех случаях большая.

Температура. Температура поверхности стволов деревьев на высоте 1,3 м как в сосновых, так и в еловых насаждениях была выше на южной стороне. В сосняках на южной сто-

роне она изменялась от 7,6 до 24,0 °С (в среднем 14,2 °С), на северной – в пределах 7,3–18,9 °С (в среднем 13,1 °С). В ельниках на южной стороне она изменялась от 13,1 до 19,6 °С (в среднем 16,6 °С), на северной – в пределах 11,6–18,4 °С (в среднем 16,0 °С). Более высокая изменчивость температур в сосняке и ельнике зарегистрирована также на южной стороне стволов (23,9 и 10,9 % соответственно); на северной стороне она была равна 20,3 и 9,8 % соответственно. Для ельника была характерна более высокая температура и более низкая изменчивость, чем в сосняке.

Температура поверхности в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах в сосновом насаждении в среднем изменялась от 12,66 до 14,18 °С, в еловом насаждении – от 15,49 до 16,25 °С (табл. 2, см. с. 250). Изменчивость – средняя и составляет 22,1–27,8 % в сосняке и 10,2–13,7 % в ельнике, что свидетельствует об относительной стабильности температуры. Изменчивость была в 2 раза ниже в ельнике, что обусловлено его более сомкнутым пологом и более сложной структурой.

В сосняке под пологом кроны температура поверхности в южном направлении от ствола (13,20–13,93 °С) была выше, чем в северном (12,95–13,40 °С). В ельнике температуры под пологом крон имели сопоставимые значения в южном (15,83–16,03 °С) и северном (15,94–16,25 °С) направлениях. Для елового насаждения характерно незначительное уменьшение температуры от полога кроны к «окну» как в травяно-кустарничковом ярусе (на 1,0–2,9 % в южном направлении и на 0,4–1,6 % в северном), так и в мохово-лишайниковом (на 2,0–3,1 % в южном направлении и на 0,8–1,8 % в северном). Данное явление связано с защитной функцией кроны елей. В сосновом насаждении понижение температуры характерно только для травяно-кустарничкового яруса (на 0,6–1,7 % в южном направлении и на 0,8–2,2 % в северном); в мохово-лишайниковом ярусе, наоборот, наблюдался рост температур от полога к «окну» (на 0,3–1,8 % в южном направлении и на 1,4 % в северном). Подобные распределе-

Таблица 2

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ
В СОСНОВО-ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА**

Расположение точки измерений по отношению к стволу и кроне дерева	Травяно-кустарничковый ярус		Мохово-лишайниковый ярус	
	<i>M</i> , °С	<i>C</i> , %	<i>M</i> , °С	<i>C</i> , %
<i>Сосняк черничного типа</i>				
В южном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:				
около ствола	13,20	22,1	13,93	22,1
в конце кроны	13,24	22,3	13,95	23,0
в «окне»	12,98	23,8	13,97	22,5
<i>Среднее на юг</i>	13,11	24,7	14,18	23,3
<i>Среднее на юг</i>	13,10	23,5	14,02	22,6
В северном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:				
около ствола	12,95	24,2	13,40	24,2
в конце кроны	12,99	24,0	13,41	24,8
в «окне»	12,66	25,5	13,58	24,3
<i>Среднее на север</i>	12,84	24,8	13,39	27,8
<i>Среднее на север</i>	12,82	24,8	13,46	25,4
<i>Ельник черничного типа</i>				
В южном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:				
около ствола	15,95	12,1	16,03	12,4
в конце кроны	15,83	11,4	16,00	11,3
в «окне»	15,80	13,1	15,71	13,7
<i>Среднее на юг</i>	15,49	13,1	15,53	11,6
<i>Среднее на юг</i>	15,74	12,8	15,76	12,5
В северном направлении от ствола: под пологом кроны, в т. ч.:				
около ствола	15,98	10,2	15,94	10,6
в конце кроны	16,25	10,2	15,94	11,1
в «окне»	15,72	10,2	15,66	11,1
<i>Среднее на север</i>	15,92	11,2	15,81	10,6
<i>Среднее на север</i>	15,87	10,5	15,80	10,8

Примечание: *M* – среднее значение температуры; *C* – изменчивость.

ния температур связаны с активным развитием мохово-лишайникового яруса в условиях сухих светлых сосняков (в особенности на краю кроны и в «окне») и, соответственно, ростом защитных и регулирующих функций этого яруса (при снижении этих функций у соснового древостоя в сообществе). В ельнике измене-

ние температур было более выражено в южном направлении, в итоге в «окне» на южной стороне температуры были ниже, чем на северной. В сосняке в южном направлении спад температур в травяно-кустарничковом ярусе был меньше, чем в северном, а рост температур в мохово-лишайниковом ярусе, наоборот, больше.

В результате сохранились более высокие температуры на южной стороне от ствола. В целом температуры были выше в ельнике.

В вертикальном направлении в сосновом насаждении происходил небольшой рост температуры в мохово-лишайниковом ярусе (12,7–13,2 °С, в среднем 13,0 °С) по отношению к травяно-кустарничковому (13,4–14,2 °С, в среднем 13,7 °С) на 0,4–1,1 °С. Подобное явление отмечалось в 81 % случаев в южном направлении (в 10 % наблюдалось обратное) и в 71 % случаев в северном (в 22 % – обратное); в остальных случаях разница не была выявлена. Это свидетельствует об активном развитии мохово-лишайникового яруса в сосняке и его важной роли в тепловом балансе сообщества (об этом уже упоминалось выше). В ельнике средняя разница температур между травяно-кустарничковым и мохово-лишайниковым ярусами незначительна (до 0,1–0,3 °С), что указывает на существенную роль древесного яруса в терморегуляции. В южном направлении в 45 % случаев температура была выше в травяно-кустарничковом ярусе, в 53 % – в мохово-лишайниковом. В северном направлении наблюдалось обратное явление: в 61 % случаев температура была выше в травяно-кустарничковом ярусе, в 36 % – в мохово-лишайниковом. В остальных случаях разница не была выявлена.

Согласно корреляционному анализу в сосновом насаждении температура поверхности имеет прямую связь с освещенностью: для мохово-лишайникового яруса она значительная (коэффициент корреляции составляет 0,55–0,57), для травяно-кустарничкового – умеренная (коэффициент корреляции равен 0,33–0,36). Коэффициент синхронности [13] достаточно высок: для мохово-лишайникового яруса достигает 75–79 %, для травяно-кустарничкового – 60–67 %. Характер связи с наибольшей величиной достоверности аппроксимации отображается полиномиальной кривой второй степени (квадратным уравнением), близкой к прямой линии.

В еловом насаждении коэффициент корреляции между освещенностью и температурой как в целом для сообщества, так и для отдельных ярусов был крайне низок (колебался 0,04 до 0,18). Взаимосвязь между этими показателями на нижних ярусах установить не удалось.

Скорость ветра. Анализ изменения скорости ветра по мере удаления от берега моря выявил несколько закономерностей (табл. 3). Скорость ветра на берегу моря в разные дни (средняя по ходам) колебалась от 0,57 до 4,50 м/с, среднее значение за все дни составило 1,72 м/с, максимальные порывы достигали 7,50 м/с. По мере удаления от моря, на опушке

Таблица 3

**ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВОВ
ПО МЕРЕ УДАЛЕНИЯ ОТ БЕРЕГА МОРЯ (Соловецкий архипелаг)**

Показатель	Берег моря	Опушка (0 м)	Расстояние от опушки (лес), м			
			10	30	50	100
Средняя скорость ветра (по ходовым линиям/за все дни), м/с	0,57–4,50/ 1,72	0,49–3,47/ 1,19	0,34–2,89/ 0,87	0,27–2,41/ 0,85	0,33–1,36/ 0,70	0,25–0,96/ 0,48
Относительная (к берегу моря) скорость ветра, %	100,0	69,3	50,5	49,5	40,9	28,2
Стандартное отклонение	1,22	1,07	0,83	0,67	0,39	0,18
Коэффициент изменчивости, %	71,0	89,9	95,6	79,1	55,8	36,6
Максимальная скорость ветра (порывы), м/с	7,50	6,20	4,10	3,40	3,80	2,68

лесного насаждения произошло первое значительное снижение скорости ветра – на 30,7 % по сравнению с берегом. На расстоянии 10 м от опушки в лесном сообществе было отмечено второе существенное снижение скорости ветра – уже на 49,5 % по отношению к берегу моря (разница с предыдущим случаем составила 18,8 %). На 30 м от опушки леса изменений скорости ветра практически не наблюдалось, разница с предыдущим случаем составила всего 1 %. На 50 м от опушки отмечено небольшое снижение скорости ветра – на 59,1 % по отношению к берегу моря (разница с предыдущим случаем 8,6 %). На 100 м произошло третье значительное сокращение скорости ветра – на 71,8 % по отношению к берегу моря (разница с предыдущим случаем 12,7 %).

Амплитуда колебания скорости ветра, выраженная через абсолютные показатели стандартного (квадратичного) отклонения, также непрерывно уменьшалась по направлению от берега моря (1,22 м/с) к опушке (1,07 м/с) и дальше в глубь леса (0,18 м/с на 100 м). При этом произошло почти семикратное снижение данной величины. В свою очередь, изменчивость силы ветра (относительный показатель амплитуды) сначала росла при переходе от берега моря к расстоянию 10 м от опушки (здесь она достигла максимального значения в 95,6 %), а затем уменьшалась (минимального значения в 36,6 % она достигла на 100 м от опушки, где произошло почти двукратное ее снижение по отношению к берегу моря).

Заключение. Освещенность сокращалась под пологом соснового насаждения более чем в 4 раза по сравнению с открытым местом, елового – в 6,5 раза. Значения освещенности увеличивались от ствола дерева к «окну» в сосняке на

37–118 % и на 31–264 % в ельнике в зависимости от стороны света и яруса. В целом освещенность была выше в сосняке, а ее изменчивость – в ельнике, что обусловлено более сложной структурой ельника. Освещенность на высоте травяно-кустарничкового яруса наиболее равномерна, изменчивость здесь достигает минимума по отношению к другим ярусам. Освещенность на уровне мохово-лишайникового яруса минимальна, а изменчивость из-за сложной структуры напочвенного покрова максимальна.

Температура поверхности стволов деревьев и ее изменчивость на высоте 1,3 м как в сосновом, так и в еловом насаждении была выше на южной стороне. Более низкая изменчивость температуры поверхности стволов была свойственна ельнику.

Для елового насаждения характерно незначительное уменьшение температуры поверхности по ярусам от полога кроны к «окну», что связано с защитной функцией кроны елей. В связи с активным развитием мохово-лишайникового яруса в светлых сосняках (ростом его роли в регулировании температур) в пределах этого яруса происходит увеличение температуры поверхности от ствола к «окну» и по отношению к другим ярусам. В ельнике средняя разница температур поверхности между травяно-кустарничковым и мохово-лишайниковым ярусами незначительна (до 0,1–0,3 °С), а их изменчивость ниже в 2 раза, чем в сосняке. Это говорит о более значимой роли древесного яруса в терморегуляции в ельнике.

По мере удаления от берега моря происходило неравномерное снижение скорости ветра и ее амплитуды колебания: на расстоянии 100 м от берега скорость ветра уменьшилась более чем в 3 раза – от 1,72 до 0,48 м/с, а амплитуда – в 2–7 раз.

Список литературы

1. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск, 2010. 201 с.
2. Ловеллус Н.В., Соболев А.Н., Феклистов П.А. Черты единства в приросте сосны и ели на Соловецком архипелаге и факторы среды // Общество. Среда. Развитие. 2012. № 4. С. 262–267.

3. Ипатов Л.Ф., Косарев В.П., Проурзин Л.И., Торхов С.В. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск, 2009. 244 с.
4. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / под ред. Ю.Г. Шварцмана, И.Н. Болотова. Екатеринбург, 2007. 184 с.
5. Принцев А. Влияние ветра на Соловецкий лес // Соловецкие острова. 1926. № 1. С. 56–63.
6. Телицына Т.В. Климатические условия и лесная растительность Соловков // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. Архангельск, 2002. Вып. 8. С. 161–167.
7. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Световой режим в древостоях разного породного состава на Соловецких островах // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2013. № 3. С. 93–100.
8. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н. Механизмы формирования экстразональных биоценозов Соловецкого архипелага // Экология. 2005. № 5. С. 344–352.
9. Программа и методика биогеоценологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. М., 1966. 332 с.
10. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М., 1961. 144 с.
11. Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск, 2002. 112 с.
12. Тюрин А.В. Основы вариационной статистики в применении к лесоводству. М.; Л., 1961. 103 с.
13. Феклистов П.А. Экологические закономерности роста северотаежных сосняков как теоретическая основа повышения их продуктивности и рационального использования: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 1997. 40 с.

References

1. Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Lesnye nasazhdeniya Solovetskogo arhipelaga (struktura, sostoyanie, rost)* [Forest Plantations of the Solovetsky Archipelago (Structure, State, Growth)]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 201 p. (In Russ.)
2. Lovelius N.V., Sobolev A.N., Feklistov P.A. Cherty edinstva v priroste sosny i eli na Solovetskom arhipelage i faktory sredy [Features Unity in the Growth of Pine and Spruce at Solovetsky Archipelago and the Environmental Factors]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development], 2012, no. 4, pp. 262–267.
3. Ipatov L.F., Kosarev V.P., Prourzin L.I., Torkhov S.V. *Lesa Solovetskogo arhipelaga* [Forests of the Solovetsky Archipelago]. Arkhangelsk, SOLTI, 2009. 244 p. (In Russ.)
4. Shvartsman Yu.G., Bolotov I.N., eds. *Prirodnaya sreda Solovetskogo arhipelaga v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [The Natural Environment of the Solovetsky Archipelago under the Conditions of a Changing Climate]. Yekaterinburg, Ural Branch RAN Publ., 2007. 184 p. (In Russ.)
5. Printsev A. Vliyaniye vetra na Solovetskiy les [The Influence of Wind on the Solovetsky Forest]. *Solovetskie ostrova*, 1926, no. 1, pp. 56–63.
6. Telitsyna T.V. Klimaticheskie usloviya i lesnaya rastitel'nost' Solovkov [Climatic Conditions and Forest Vegetation of Solovki]. *Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noye ispol'zovanie prirodnnykh resursov: sb. nauch. tr.* [Protection of Environment and Rational Use of Natural Resources]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002, iss. 8, pp. 161–167. (In Russ.)
7. Feklistov P.A., Sobolev A.N. Svetovoy rezhim v drevostoyakh raznogo porodnogo sostava na Solovetskiykh ostrovakh [Light Conditions in Stands of Different Species Composition on the Solovetsky Islands]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2013, no. 3, pp. 93–100.
8. Shvartsman Yu.G., Bolotov I.N. Mekhanizmy formirovaniya ekstrazonal'nykh biotsenozov Solovetskogo arhipelaga [Mechanisms of the Formation of Extrazonal Biocenoses on the Solovetskiye Islands]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2005, no. 5, pp. 344–352.
9. Sukachev V.N., Dylis N.V., eds. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and Methodology of Biogeocenological Research]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 332 p. (In Russ.)
10. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Recommended Practices for the Forest Types Study]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1961. 144 p. (In Russ.)
11. Gusev I.I. *Modelirovaniye ekosistem* [Ecosystems Modeling]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 112 p. (In Russ.)
12. Tyurin A.V. *Osnovy variatsionnoy statistiki v primenenii k lesovodstvu* [Fundamentals of Variation Statistics as Applied to Forestry]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1961. 103 p. (In Russ.)

13. Feklistov P.A. *Ekologicheskie zakonomernosti rosta severotaezhnykh sosnyakov kak teoreticheskaya osnova povysheniya ikh produktivnosti i ratsional'nogo ispol'zovaniya*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Environmental Laws of Growth of North Taiga Pine Forests as a Theoretical Basis to Enhance Their Productivity and Rational Use: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yekaterinburg, 1997. 40 p.

DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.245

*Aleksandr N. Sobolev**, *Pavel A. Feklistov***

*Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve
(Solovetsky Village, Primorsky District, Arkhangelsk Oblast, Russian Federation)

**Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

MICROCLIMATE VARIABILITY IN FOREST STANDS OF THE SOLOVETSKY ARCHIPELAGO

The paper presents the measurements of illumination and surface temperature of plants in the pine and spruce plantations of the Solovetsky Archipelago. The difference in these values is estimated in several layers (at a height of 1.3 m, in the grass and shrub and moss-and-lichen layers) numerically (in absolute and relative values, the variability is calculated). The measurements are carried out with distance from the tree stem northerly and southerly. The higher variability of illumination in the spruce forest, its uniform vertical distribution at the level of the grass and shrub layer and the maximum variability at the moss-and-lichen layer are noted. The tree level plays an important role in thermoregulation in the lower layers of the spruce forest, and the moss-and-lichen layer – in the pine forest. For spruce stands, a slight decrease in temperature from the canopy of the crown to the “window” both in grass and shrub and moss-and-lichen layers is representative. The authors observe a temperature rise in the pine forest in the moss-and-lichen layer both in relation to the grass and shrub layer and from the canopy to the “window”. An analysis of the wind speed variability is carried out in the crook-stem forest of *betula tortuosa* mixed with other species. These forest plantations are formed when intensive wind action, dominate along the seacoast, and play an important protective role. The measurements are carried out at different distances from the seashore – up to 100 m from the border of the forest. The wind speed at this distance decreases more than 3 times – on average from 1.72 to 0.48 m/s, and the amplitude – by 2–7 times.

Keywords: forest of the Solovetsky archipelago, grass and shrub layer, moss-and-lichen layer, microclimate of forest plantations, illumination, plant surface temperature, wind speed on the coast.

Поступила 28.04.2017
Received on April 28, 2017

Corresponding author: Pavel Feklistov, address: Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: feclistov@narfu.ru

For citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A. Microclimate Variability in Forest Stands of the Solovetsky Archipelago. *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 245–254. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.245