

С.А.Комолова, Н.В.Лебедева

**К ИЗУЧЕНИЮ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХВОИ
ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ (PICEA ABIES (L.)KARST) НА ВАЛААМСКОМ
АРХИПЕЛАГЕ**

S.A.Komolova, N.V.Lebedeva

**INVESTIGATION NEEDLES MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF
COMMON SPRUCE (PICEA ABIES (L.) KARST) IN VALAAM ARCHIPELAGO**

Изучены взаимосвязи между морфометрическими характеристиками хвои ели европейской и факторами экотопа и фитоценоза на Валаамском архипелаге. Показано, что в двух исследованных типах леса сухая масса и толщина хвои меньше в нижних ярусах древостоя. Впервые получены значения продолжительности жизни хвои для ели на о. Валаам.

Ключевые слова: морфометрические характеристики хвои, продолжительность жизни хвои, ель европейская, еловые и сосново-еловые леса, Валаамский архипелаг, мониторинг

Relationships between common spruce morphometric parameters and factors of ecotope and phytocenosis were studied in Valaam archipelago. The decrease needles dry weight and thickness from crown to shrub layer are shown in two forest types. The needles age for spruce was described in Valaam for the first time.

Key words: morphometric characteristics of needles, needles age, common spruce (Picea abies (L.)Karst), spruce and pine-spruce forests, Valaam archipelago, monitoring

Среди процессов, которые определяют строение, динамику и продукционные свойства древостоев, важное значение имеют структурно-функциональные перестройки в кронах деревьев. Это изменения, связанные с сезонной динамикой в лесных сообществах, возрастной динамикой разных видов деревьев. Крона дерева является целостной и сбалансированной системой, которая выполняет функцию продуцирования органического вещества. Непосредственно этот процесс осуществляется в листьях. В таёжной зоне на Северо-западе России, где преобладают ель и сосна, особое внимание должно быть уделено изучению хвои как индикатору важнейших физиологических и биопродукционных процессов. Морфометрические характеристики хвои отражают динамику развития древостоя, в связи с этим, наиболее интересные и важные данные могут быть получены в ходе долговременных мониторинговых исследований на стационарных пробных площадях.

Еловые леса являются одним из наиболее ценных объектов для изучения структуры и динамики наземных экосистем. В отношении ели накоплен наибольший объём научной информации по сравнению с другими древесными породами [Казимиров, 1971; Трескин, 1983; Дыренков, 1984]. На Европейском Севере ельники являются основным, зональным типом растительности и характеризуются наибольшей устой-

чивостью [Толмачёв, 1954]. Обширность ареалов ели европейской и ели сибирской даёт возможность выполнить широкие географические сопоставления результатов исследований и опыта хозяйствования [Дыренков, 1984; Озолинчюс, 1996; Усольцев, 2007]. Для биоиндикации хвойных пород в разных регионах России, Европы часто используют морфологические признаки, которые подразделяют на макрокопические и микрокопические. К макрокопическим изменениям относят изменение окраски хвои, некрозы, опадение хвои, изменение размеров органов, изменение направления роста, ветвления и др.; к микрокопическим изменениям — изменения на тканевом и клеточном уровнях [Sutinen, 1990; Вишнякова, 2009]. На загрязнённых территориях сокращается продолжительность жизни хвои, уменьшается длина и масса ассимилирующих органов хвойных пород [Lehtio at all., 1980, Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, 1988; Сухарева, Лукина, 2004; Ots at all, 2011].

На морфометрическую структуру хвои оказывают влияние различные экологические факторы. Среди них можно выделить две большие группы: экотопические и фитоценотические. Экотопический фактор понимается нами как воздействие элемента абиотической среды, независимое от характеристик фитоценоза, на растения. Как экотопический фактор могут выступать свет, вода, кислотность почвенного раствора и т.п. Среда проявляет себя как совокупность экологических факторов. Под фитоценотическими факторами нами подразумеваются воздействия живых организмов друг на друга.

Данное исследование является частью проекта по мониторингу водных и наземных сред, проводимого Учебно-научной станцией «Валаам» РГГМУ на территории природного парка «Валаамский архипелаг» [Степанова, Воякина, 2002; Степанова и др., 2010]. Хвойные леса Валаамского архипелага сохраняют черты девственных таёжных лесов и характеризуются значительным возрастом древостоя (до 300 лет). Во второй половине XX века была выполнена общая характеристика лесов архипелага сотрудниками Института леса Карельского филиала АН СССР [Кучко и др., 1989]. Удалённость от центров атмосферного загрязнения и относительная ненарушенность позволяет использовать леса Валаама как модельные с точки зрения взаимоотношения их продуктивности и других параметров с естественными экологическими факторами. Существует ряд работ, посвящённых исследованию динамики сосновых и сосново-еловых лесов Валаама, разнообразию типов леса архипелага [Герасименко, Комолова, 1993.; Герасименко и др., 1995]. Для интродуцированных видов хвойных на Валааме проводили дендрохронологические исследования [Ловелиус, 1999]. Изучение морфометрических характеристик хвои ели на архипелаге проводится впервые.

Цель данной работы — оценка влияния факторов среды обитания на морфометрические характеристики хвои ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) на Валаамском архипелаге. В ходе исследования авторы решали следующие задачи:

1. анализ морфометрических параметров хвои и побегов ели на двух выбранных участках
2. выявление воздействия экотопических и фитоценологических факторов среды обитания на морфометрические параметры хвои ели.
3. характеристика продолжительности жизни хвои.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в июне и сентябре 2010г. на территории природного парка «Валаамский архипелаг» на двух пробных площадях (Рис.1).



Рис.1 Схема размещения пробных площадей на Валаамском архипелаге.

Первая площадь (№1) является участком для долговременных мониторинговых исследований, она расположена в 20 м от берега Ладожского озера и представляет собой Елово-сосняк разнотравно-вересково-зеленомошный. Названия выделенных типов леса даны по динамической системе типологии [Герасименко и др., 1995]. Почвенный покров в данном типе леса неоднороден и представлен торфянисто-перегнойной почвой на выходах массивно-кристаллических пород и бурозёмом грубогумусированным. Вторая пробная площадь (№2) выбрана для сопоставления результатов исследований, она удалена от берега Ладожского озера и расположена внутри большого лесного массива (Ельник чернично-сфагново-зеленомошный). Почва перегнойная на озёрных песках (Табл.1).

На каждой пробной площади были отобраны почвенные образцы для химических анализов. Определено содержание органического углерода по методу Тюрина

в горизонте A_1 , произведена оценка рН водного и соляного растворов каждого горизонта (Табл.1) [Теория и практика химического анализа почв, 2006].

Для определения возраста у мониторинговых деревьев были взяты керны древесины. Определен бонитет по площади сечения ствола [Ипатов, Мирин, 2008]. На каждом участке было выполнено полное геоботаническое описание. Для древостоя определены высота, состав, сомкнутость крон, окружность и диаметр стволов, сумма площадей поперечных сечений стволов, количественно оценено возобновление древостоя. Был описан подросток, травяно-кустарничковый и моховой ярусы, отмечено количество валежа, особенности микрорельефа и следы антропогенной деятельности.

Для взятия проб хвои на пробных площадях было выбрано по три средних по таксационным показателям дерева первого и второго яруса ели и три средних дерева подростка [Лебедева, Комолова, 2010]. С каждого дерева с помощью секатора для обрезки было взято по три образца с ветвей второго порядка, среднего размера, из средней части кроны в пределах азимута 45 – 315 градусов [Трескин, 1983]. Сбор хвои проводили при относительно одинаковых погодных условиях, каждый сбор сопровождался измерением влажности и температуры воздуха на высоте 50 см и 200 см от земли и измерением скорости ветра (Табл. 1).

Для анализа в лаборатории хвоя была взята за два последних (2008 и 2009) года прироста с ветвей второго порядка. Для каждого года отбирали по 8 хвоинок (хвоя одного витка спирали) [Фрей, Иваск, 1983] из средней части годичного побега. В основном, для анализа была взята хвоя теневого типа. У каждой хвоинки была измерена длина, ширина и толщина, измерен общий вес 8 отобранных хвоинок с каждого года прироста. Всего было проанализировано 1880 хвоинок. Для выяснения значений показателя веса сухого вещества была произведена сушка хвои (режим сушки 24 часа в сушильном шкафу при 200 С), затем взвешивание. В литературе указывается режим сушки при 105 С, нами был выяснен коэффициент усушки. Было произведено взвешивание и сушка 20 образцов при 105 С, а затем в соответствие сырым весам этих образцов были сопоставлены сырые и сухие веса уже имеющихся образцов, высушенных при 200 С. Оказалось, что режим сушки при 200 С и при 105 С практически не сказывается на конечном весе. При пересчете веса при сушке 200 С в вес при 105 С разница получилась в тысячных долях грамма.

Таблица 1

Средние характеристики экотопа пробных площадей о. Валаам.

Месяц наблюдения	Микроклиматические				Почвенные (горизонт A_1)					
	t возд*, °С		Влажность воздуха*, %		рН(водный)		рН(соляной)		Содержание С, %	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
июнь	13.6	15.2	64	54	3.8	4.4	2.9	3.3	21.6	31.7
сентябрь	14.5	14.0	87	89	3.7	4.1	2.8	3.1	20.2	26.9

*измерения проводили на высоте 2 метра

S1 – пробная площадь №1 (Елово-сосняк разнотравно-вересково-зеленомошный);
S2 – пробная площадь №2 (Ельник чернично-сфагново-зеленомошный).

Таблица 2

Средние характеристики елового древостоя на пробных площадях о. Валаам

	Высота, м		Диаметр ствола, см		Возраст, годы		Бонитет, класс*	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1 ярус	16.5	21	21.2	32.9	136	135	2.35	4.04
2 ярус	12	15	13.1	18.3	66	110	1.39	2.02
подрост	5.5	3	6.1	4.3	30	25	--	--
Сомкнутость крон					0.5	0.8		
Продолжительность жизни хвои, годы					9-12	11-15		

*бонитет оценен по площади сечения ствола [Ипатов, Мирин, 2008],

S1 - пробная площадь №1;

S2 – пробная площадь №2

Результаты и обсуждение

По средним значениям полученных в полевых условиях величин, опираясь на литературные данные, были выбраны шесть параметров для последующего математического анализа: сухой вес восьми хвоинок, длина годичного прироста, охвоенность побега (количество хвоинок на единицу прироста), индекс ОГП (охвоенность годового прироста), содержание влаги (в процентах от массы сухой хвои), толщина хвои.

Параметр охвоенности побега в Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном (участок 1) для всех ярусов практически не изменяется и составляет в среднем 15,5 хвоинок на сантиметр прироста побега (Рис.2).

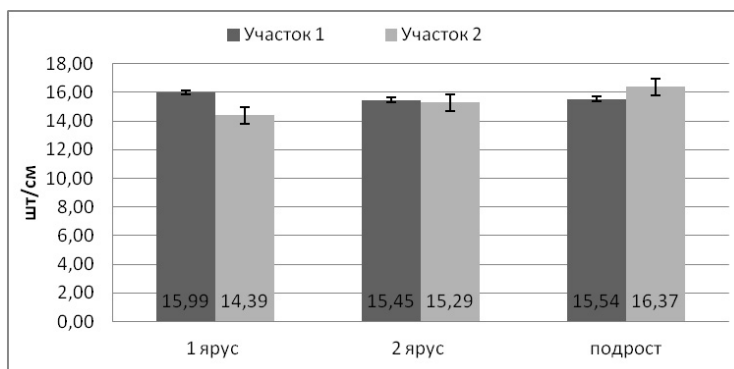


Рис.2. Средняя охвоенность годового прироста ели разных ярусов на двух участках о. Валаам (шт./см).

В Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном (участок 2) мы видим некоторое увеличение параметра охвоенности от первого яруса к подросту. По-видимому, это является проявлением особенности биотопа и экотопа второго исследованного участка леса: там в нижних пологах значительно темнее (сомкнутость крон древостоя 0.8),

территория закрыта от сильных ветров с Ладogi. При мониторинговых исследованиях в Вишерском заповеднике Пермского края используют показатель охвоенности побега в течении длительного времени. По данным летописи природы этого заповедника показатель охвоенности побега для ели сибирской составляет 12.4 шт./см. Большая охвоенность годовичного побега в данном случае, вероятно свидетельствует о том, что на Валааме в целом более благоприятные условия для произрастания ели.

Индекс ОГП (Охвоенность годового прироста): Для того чтобы оценить прирост в динамике, т.е. по отношению к предыдущему году прироста, уральскими экологами предложен показатель, названный индексом охвоенности годового прироста:

$$\text{ОГП} = L_{\text{прош}} \cdot N_{\text{тек}} / L_{\text{тек}},$$

где $L_{\text{прош}}$ – прирост прошлого года, $N_{\text{тек}}$ – количество хвоинок на приросте текущего года, $L_{\text{тек}}$ – прирост текущего года [Ворончихина, 2010].

Формирование зачатков хвои на следующий год происходит в конце вегетационного сезона текущего года. Этот показатель хорошо отражает связь предыдущего с текущим годом прироста. Индекс ОГП также используют на Урале для подсчета экономического ущерба от действующих предприятий, поставляющих загрязняющие вещества в атмосферу и со сточными водами [Ворончихина, 2010]. На изучаемых участках был рассчитан индекс ОГП для 2010 года прироста. Средние значения показателя охвоенности годового прироста по разным участкам леса и ярусам представлены на рисунке 3.

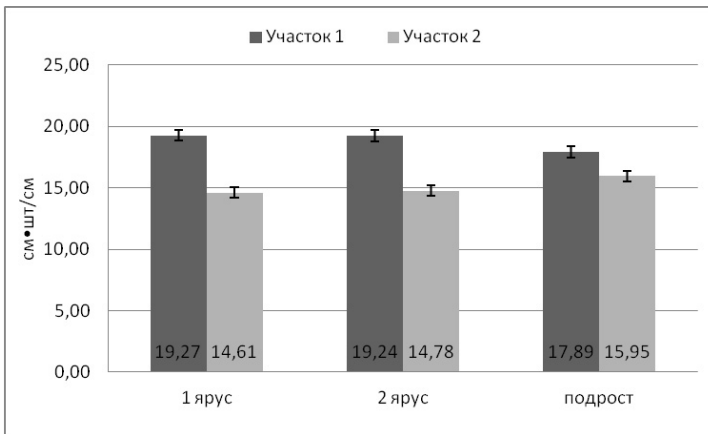


Рис .3. Средняя охвоенность годового прироста ели разных ярусов на двух участках о. Валаам (см • шт/см).

Для первого участка ОГП в среднем составляет 18, а для второго – 16. Отсюда можно заключить, что эффективность образования новой хвои в Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном (участок 1) выше, чем в Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном (участок 2).

Удельная листовая поверхность (УЛП). Данный параметр рассчитывали по формуле:

$$S / W_{\text{сух}},$$

где S - площадь поверхности хвои, W - сухой вес хвои. [Уткин, Ермолова, Уткина, 2008].

УЛП является экофизиологическим показателем, характеризующим как потенциальную интенсивность фотосинтеза, так и продуктивность фотосинтеза при учете продолжительности ассимиляционного периода и возрастной структуру листы вечнозеленых растений. Для определения площади поверхности хвои была использована формула вида:

$$LA_n = 4\pi \left[(a \cdot b \cdot c) / 8 \right]^{2/3},$$

где a, b, c – длина, ширина и толщина хвоинки .

Измерения параметров проводили в июне и сентябре. Для большинства из них смена сезона года не сказывается на количественной характеристике параметра. Для выявления наличия или отсутствия достоверных различий между рядами, полученными в июне и сентябре был проведен анализ влияния фактора сезона сбора материала на значения исследуемых параметров (по величине корреляционных отношений, полученных в дисперсионном анализе). Результат анализа представлен в таблице 3.

Корреляционное отношение рассчитывали по формуле:

$$\eta^2 = D_{\text{общ}} / D_{\text{межгрупповая}},$$

где $D_{\text{общ}}$ – общая дисперсия параметра, $D_{\text{межгрупповая}}$ – дисперсия между группами, т.е. между массивами данных, полученных в июне и сентябре.

Таблица 3

Корреляционные отношения внутри параметров хвои ели, полученных в полевых условиях (П1 – первая площадь, П2 – вторая площадь).

	УЛП	Длина прироста	Охвоенность	Сухой вес	Насыщенность влагой	Толщина
П1 08 09	0.01	0.05	0.02	0.04	0.01	0.01
П2 08 09	0.00	0.04	0.00	0.04	0.04	0.02
П1 08 09S (сентябрь)	0.02	0.07	0.07	0.06	0.09	0.02
П2 08 09S (сентябрь)	0.00	0.00	0.10	0.01	0.01	0.01
П1 Июнь Сентябрь	0.04	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01
П2 Июнь Сентябрь	0.06	0.00	0.05	0.19	0.03	0.01

Было выявлено, что роль фактора сезона сбора материала в варьировании исследованных параметров хвои и побегов крайне мала, что позволило объединить данные июньского и сентябрьского сборов в единый массив.

В ходе данного исследования была предпринята попытка количественно оценить влияние экологических и фитоценологических факторов на морфометрическую структуру хвои. Для оценки средних значений величин, полученных в лаборатории, из-за небольшой длины рядов применялся квантильный анализ.

Различия в параметрах хвои между пробными площадями отражают реакцию, в основном, на экологические различия. По-видимому, ведущими в этом случае факторами являются влажность почвы (уровень грунтовых вод), валовое содержание оснований (в первую очередь Са, К, Mg) и средняя скорость ветра над верхушками крон. Для оценки влияния экологических факторов был выбран признак «площадка», а для оценки фитоценологических факторов влияния – положение в системе ярусов.

Для оценки связи выбранных параметров хвои с признаками «ярус» и «площадка» был проведен однофакторный дисперсионный и корреляционный анализы между параметрами хвои и тремя признаками: ярус, в котором находится дерево, год прироста и пробная площадь (тип леса). В данном случае, в качестве результативного признака выступают параметры хвои: длина годичного прироста, удельная площадь поверхности (УЛП), охвоенность годичного побега, насыщенность влагой, сухая масса и толщина хвои, а в качестве контролируемого фактора категории яруса, площадки и года прироста (Табл. 4). Было выявлено, что самыми устойчивыми параметрами хвои ели в нашем исследовании являются длина прироста, охвоенность, сухая масса и толщина хвои.

Таблица 4

Описательная статистика интегральных параметров хвои и побегов ели.

Статистический параметр	УЛП, г/см ²	Длина прироста, см	Охвоенность побега, шт/см	Сухой вес, г	Влагоёмкость, %	Толщина, мм
Среднее	113.1	4.9	15.5	0.019	58.3	0.5
Стандартная ошибка	1.5	0.1	0.2	0.0	0.5	0.0
Медиана	109.9	4.8	15.2	0.018	59.4	0.5
Стандартное отклонение	22.6	1.4	2.8	0.016	8.0	0.1
Дисперсия выборки	512.3	1.9	8.0	0.007	64.0	0.0
Экссесс	1.2	0.3	1.1	0.4	12.3	0.0
Асимметричность	0.8	0.4	0.7	0.8	-2.6	0.7
Интервал	130.2	8.2	17.7	0.035	71.5	0.6
Минимум	62.5	1.4	8.6	0.006	5.6	0.3
Максимум	192.7	9.6	26.3	0.041	77.1	0.9

Результат однофакторного дисперсионного анализа представлен в таблице 5, (недостовверные связи выделены жирным). Наибольшую реакцию среди изученных параметров хвои и побегов ели в этой выборке на исследованные комплексные факторы показали сухая масса и толщина хвоинок. На различиях в сухой массе хвои больше сказываются особенности экотопических условий двух участков, а толщину хвои определяет преимущественно положение особи ели в системе ярусов (прямой фактор – освещенность в средней части кроны ели). Охвоенность побега и влагонасыщенность хвои практически не зависят от исследованных комплексов факторов. Для оценки линейности связи был проведен анализ коэффициента детерминации между параметрами хвои и тремя признаками: ярус, в котором находится дерево, год прироста и разные участки (тип леса) (Табл. 6.).

Таблица 5

Влияние комплекса факторов, связанных с положением дерева в ярусе, типе леса и возрастом побега, на параметры побега и хвои ели (в числителе – χ^2 , в знаменателе – уровень значимости).

Параметр	Ярус	Год	Участок	Σ^*
УЛП	9/0.00	4/0.01	8/0.00	21
Длина прироста	5/0.01	0/0.68	5/0.00	10
Охвоенность побега	1/0.24	1/0.23	0/0.42	2
Сухая масса	22/0.00	3/0.02	270.00	51
Насыщенность влагой	1/0.33	2/0.04	1/0.23	4
Толщина	45/0.00	0/0.72	20/0.00	64

* суммарная доля варьирования признака, вызванная изученными факторами

Таблица 6.

Влияние комплекса факторов, связанных с положением дерева в ярусе, типе леса и возрастом побега, на параметры побега и хвои ели (R^2).

Параметр	Ярус	Год	Участок	Σ^*
УЛП	8	4	7	19
Длина прироста	4	0	5	9
Охвоенность побега	1	1	0	2
Сухой вес	17	3	21	41
Насыщенность влагой	1	2	1	3
Толщина	30	0	17	46

* суммарная доля варьирования признака, вызванная изученными факторами

При сопоставлении таблиц видно, что зависимости параметров хвои от исследованных факторов близки к линейным, об этом говорят близкие по уровню значения корреляционное отношение и коэффициент детерминации.

В Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном (участок 1) продолжи-

тельность жизни хвои деревьев первого яруса по всем направлениям кроме северного в среднем равна 10 лет. Северное направление роста характеризуется малой продолжительностью жизни хвои (до трёх лет). Второй ярус этого же участка имеет продолжительность жизни хвои в среднем равную 11 годам по всем направлениям. Подрост на этом участке характеризуется сильным угнетением ветвей с севера и запада. Хвоя у исследованных деревьев на этих направлениях практически отсутствует. В восточном и южном направлениях хвоя держится на ветвях подроста в Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном до девяти лет.

В Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном (участок 2) хвоя держится на деревьях первого яруса в целом на два-три года дольше, чем на участке 1. Северное направление, также как и на участке 1 имеет короткую продолжительность жизни хвои и составляет два-три года. Второй ярус на втором участке характеризуется продолжительностью жизни хвои равной 11-12 годам по всем направлениям роста. Продолжительность жизни хвои подроста в Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном невысока и по всем направлениям, кроме западного и восточного (хвоя у исследованных деревьев на этих направлениях практически отсутствует) составляет семь-девять лет. В целом, можно говорить о большей продолжительности жизни хвои ели на втором участке, чем на первом. По-видимому, эта разница обусловлена рядом особенностей экотопа, в частности, она может быть в какой-то мере обусловлена разницей в световом режиме. Сомкнутость крон древостоя на первом и втором участке 0.5 и 0.8 соответственно.

По данным многих исследований высокая продолжительность жизни хвои является показателем экологической чистоты территории [Ярмишко, 1990]. По нашим данным, продолжительность жизни хвои ели на Валааме составляет в среднем 9-12 лет, максимальная – 15 лет, при указываемой в литературе характерной продолжительности жизни для ели 11 лет [Онучин, Спицына, 1995].

Заключение

В результате исследования было выявлено, что наиболее устойчивыми параметрами среди изученных являются: длина годовичного прироста ели, охвоенность побега, сухая масса и толщина хвои. Влияние яруса, условия экотопа и различия между разными годами прироста в большей степени обуславливают варьирование сухого веса и толщины хвои. Выявлено, что такие параметры, как охвоенность побега, длина годовичного прироста, насыщенность хвои влагой и удельная листовая поверхность хвоинки (УЛП) зависят очень незначительно от изученных экотопических и фитоценологических факторов и от года прироста. Вероятно, что данные параметры зависят от климатических характеристик года закладки хвоинок на побеге, воздействия соседних деревьев на изучаемой территории, особенностей популяции ели на Валааме, других неучтённых факторов.

Впервые установлены для Валаамского архипелага следующие значения параметров хвои ели: в Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном при сомкнутости крон 0.8 – толщина хвои 0.5 мм, сухой вес восьми хвоинок 0.016 г; в Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном при сомкнутости 0.5 - толщина хвои 0.59 мм, сухой вес восьми хвоинок 0.022 г. Эти различия подтверждаются и особенностями

возрастной структуры древостоя двух участков и разными средними оценками бонитета ели (Табл.2). В Ельнике чернично-сфагново-зеленомошном средняя жизненность ели выше. Данные характеристики хвои ели могут быть использованы как базовые при мониторинговых исследованиях в лесах Валаама.

Впервые получены значения продолжительности жизни хвои для ели на исследованной территории. Выявлено, что продолжительность жизни хвои ели на Валаамском архипелаге выше приводимых в литературе значений для других районов и составляет в среднем около 11, максимальная выявленная продолжительность жизни хвои составляет 15 лет.

Выводы

1. В двух исследованных типах леса сухая масса и толщина хвои достоверно меньше в нижних ярусах древостоя, чем в верхних. Положение дерева в ярусе влияет на сухую массу и толщину хвои через различия в освещенности.
2. Экологические условия, в которых развиваются исследуемые сообщества, отражаются на изменении отобранных параметров хвои. На участке с сильно выраженным микрорельефом, с выходом скал, с более кислой и более бедной гумусом почвой в Елово-сосняке разнотравно-вересково-зеленомошном толщина и сухой вес хвоинки выше по сравнению с Ельником чернично-сфагново-зеленомошным, расположенным в пониженной центральной части архипелага.

Литература

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. — М.: Мир, 1988. — 348 с.
2. Вишнякова С.В. Лесоводственно-экологические особенности видов темнохвойных в посадках г.Екатеринбурга: автореф.дисс.-... канд.с.-х.наук. — Екатеринбург, 2009. — 23 с.
3. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты. — Пермь, ЕНИ ПГУ, 2010. — 162 с.
4. Герасименко Г.Г., Комолова С.А. Сосновые леса Валаамского архипелага // Вестн. СПбГУ. 1993, Сер.3, вып.1, с. 45-55.
5. Герасименко Г.Г., Комолова С.А., Прошкина Ю.В. О развитии сосново-еловых лесов Валаамского архипелага // Бот.Журн. 1995, Т.80, №8, с. 19-28.
6. Дыренков С.А. Структура и динамика таёжных ельников. — Л.: Наука, 1984. — 176 с.
7. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза. Методические рекомендации. — СПб., 2008. — 70 с.
8. Казимиров Н.И. Ельники Карелии. — Л.: Наука, 1971. — 140 с.
9. Кучко А.А. и др. Экосистемы Валаама и их охрана. — Петрозаводск: Карелия, 1989. — 199 с.
10. Лебедева Н.В., Комолова С.А. Мониторинг лесных участков на территории Валаамского архипелага: первый этап программы исследований. В Сб. Географическое изучение территориальных систем. Тез.докл. IV Всероссийской научно-практ. Конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Кн.1.- Пермь, 2010, с. 264-268.
11. Ловелиус Н.В. Дендроиндикация состояния хвойных на о.Валаам // Изв. Рус.геогр. о-ва. 1999, Т.131, вып.5, с.83-90.
12. Озолинчюс Р. Хвойные. Морфогенез и мониторинг. — Каунас, 1996. — 338 с.
13. Онучин А.А., Спицына Н.Т. Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. 1995, №5, с. 48-58.
14. Степанова А.Б., Воякина Е.Ю. Современное состояние акватории Валаамского архипелага, Ладожское озеро. В Сб. Труды IV Международного симпозиума по Ладожскому озеру, 2-6 сентября 2002. — Великий Новгород-СПб., 2003, с.256-259.
15. Степанова А.Б., Шарафутдинова Г.Ф., Воякина Е.Ю. Гидрохимические особенности малых озёр о. Валаам // Учёные записки РГГМУ. 2010, №12, с. 97-110.

16. Сухарева Т.А., Лукина Н.В. Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградиационной сукцессии лесов // Лесоведение. 2004, №2, с. 36-43.
17. Теория и практика химического анализа почв /Л.А.Воробьёвой. – М., 2006. – 299 с.
18. Толмачёв А.И. К истории возникновения и развития темнохвойной тайги. – М.- Л., 1954. – 156 с.
19. Трескин П.П. Анализ структуры ассимиляционного аппарата кроны ели / Факторы регуляции экосистем еловых лесов. – Л.: Наука, 1983, с. 97-111.
20. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Методы, база данных и её приложения. – Екатеринбург, 2007. – 635 с.
21. Уткин А.И., Ермолова Л.С., Уткина И.А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование. – М.: Наука, 2008. – 291 с.
22. Фрей Д.М., Иваск М.М. Морфологическая изменчивость и калорийность хвоинок ели европейской вдоль годичного побега // Лесоведение. 1983, №, с.63-67.
23. Черненкова Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. – М., 2002. – 191 с.
24. Ярмишко В.Т. Состояние ассимиляционного аппарата сосны / Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова., Л., 1990, с. 55-64.
25. Lehtio H., Junttilainen J., Jantunen M. Visible injuries and sulphur contents of the needles of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in the city of Kuopio and around two factories in Central Finland // Ann.Bot.Fennici. 1980, №17, p. 1-6.
26. Ots K., Indriksons A., Varnagiryte-Kabasinskiene I. at all. Changes in the canopies of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* under alkaline dust impact in the industrial region of Northeast Estonia // Forest ecology and management. 2011, 262(2), p. 82-87.
27. Sutinen S. Structural changes in needle tissue of spruce trees from a damaged areas in southern Finland // Scand. J. For.Res. 1990, V.5, №3, p. 403-412.

Авторы выражают искреннюю благодарность к.б.н. Мирину Д.М. и к.б.н. Степановой А.Б. за всестороннюю поддержку и консультации при выполнении исследования.