

УДК 630*164.5

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИСТВЫ ДРЕВОСТОЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЕЕ МАССЫ

Ю. В. Карпечко

Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Показана роль ряда природных факторов в формировании листвы. При конкретном значении осредненных для региона климатических показателей продуктивность древостоя зависит от характеристик, определяющих тип леса и влияющих на плодородие почв. С повышением (снижением) продуктивности древостоя отмечается снижение (увеличение) удельной массы листвы. Изменения удельной массы листвы при изменении продуктивности древостоя на 1 класс бонитета в условиях Южной Карелии составляют для средневозрастного древостоя в зависимости от породы в среднем 5–20%. На территории, занятой преимущественно лесами, рост и развитие древостоя каждого типа леса лимитируется энергетическим ресурсом. С этим фактором связано преобразование удельной массы листвы. При перемещении с севера на юг и возрастании радиационного баланса увеличивается доля листового аппарата древостоя, что сопровождается улучшением бонитета конкретного типа леса. Большие изменения происходят с древостоями, произрастающими в лучших лесорастительных условиях. Преобразования структуры древостоя приводят к тому, что при одинаковом классе бонитета листвы может быть больше у древостоя, растущего в худших условиях, но при больших величинах радиационного баланса. Максимальных значений показатель класса бонитета достигает при значениях радиационного баланса 1400–1600 МДж/(м² год). В качестве основных параметров в методах расчета массы листвы часто используются таксационные характеристики древостоя. При создании унифицированного для различных лесорастительных условий лесной зоны метода расчета массы листвы необходимо учитывать факторы среды и тип леса.

Ключевые слова: тип леса; древостой; класс бонитета; транспирация; радиационный баланс.

Yu. V. Karpechko. ENVIRONMENTAL EFFECTS ON FOLIAGE FORMATION IN A TREE STAND AND METHODS FOR CALCULATING ITS MASS

The article reveals the role of environmental factors in foliage formation. For a given value of region-averaged climatic characteristics, the stand productivity depends on the forest site conditions, which predetermine the forest type and soil fertility. An increase (decrease) in the productivity of the stand is accompanied by a decrease (increase) in the specific mass of foliage. Changes in the specific mass of foliage when the productivity of the stand changes by 1 stand quality class in south Karelian conditions amount to an average of 5–20% for a middle-aged stand, depending on the tree species. In a predominantly forested area, the growth and development of a tree stand of each forest type are constrained by energy availability. Changes in the specific mass of foliage are related to this factor. As the radiation balance grows in the north-to-south direction, the share of

foliage in the stand increases, and the quality class of the forest type is improved accordingly. Greater changes happen in tree stands growing in better site conditions. As a result of these changes it may be that within the same stand quality class there will be more foliage in a stand growing under poorer site conditions but at higher radiation balance values. The quality class reaches a maximum where the radiation balance is 1400–1600 MJ/(m² year). As a rule, the methods of calculating foliage mass use the tree stand valuation characteristics as the main parameters. To develop a foliage mass estimation method unified for different climatic and site characteristics in the given forest zone one should take into account the environmental factors and the forest type.

Key words: forest type; stand; stand quality class; transpiration; radiation balance.

Введение

Листва является составной частью общей фитомассы древостоя и органом, где осуществляются необходимые для роста и развития дерева процессы. (Термин «листва» часто, как и в данной работе, используется для обозначения ассимиляционных органов листовенного и хвойного древостоя.) Листовой аппарат древостоя оказывает огромное влияние на экологическое состояние залесенных территорий, преобразуя химический состав атмосферных осадков, окружающего древостой атмосферного воздуха и изменяя микроклимат. Пологом леса, большая часть которого представлена именно листвой, трансформируются характеристики солнечной радиации и атмосферных осадков. Масса листового аппарата лесного участка как составная часть общей фитомассы древостоя представляет интерес при исследовании круговорота химических элементов и воды в лесу. Она является важным параметром при расчете транспирации древостоем и в целом суммарного испарения с леса, а также при решении практических задач по оценке изменения стока [Кайбияйнен, 1986; Крестовский, 1986; Карпечко, Бондарик, 2010; Карпечко, 2016]. Масса листвы может использоваться в качестве основного параметра для расчета массы питающих растение тонких корней [Helmisaari et al., 2007].

Из-за сложностей определения массы листвы в поле возникает необходимость разработки методов ее расчетов. Вопросы оценки массы листвы рассматриваются во многих работах [Лесотаксационный..., 1980; Marklund, 1987; Bartelink, 1996; Kellomäki, 1999; Grote, 2002; Socha, Wezyk, 2007; Liu, Westman, 2009; Repola, 2009]. Основными предикторами расчетных методов являются порода, высота дерева, диаметр ствола, запас стволовой древесины. Наиболее часто используемые в практике методы описаны в работах [Лесотаксационный..., 1980; Marklund, 1987; Уткин и др., 1997], однако точность расчетов по ним не всегда является приемлемой,

что отмечается в статье [Helmisaari et al., 2007]. В этой связи целью данной работы является анализ влияния лесорастительных условий на формирование листвы, методов расчета ее массы и рассмотрение возможностей их улучшения.

Влияние факторов среды на формирование листвы древостоя

Лес, и дерево в частности, представляют собой открытые биологические системы, поэтому возникает вопрос о влиянии на структурную организацию размеров и массы органов дерева, в том числе и листвы, а также факторов среды. К факторам среды относятся характеристики, формирующие лесорастительные условия (климатические, орографические, гидрологические и почвенные (ОСТ 56-108-98)).

Основными климатическими характеристиками, формирующими разнообразие растительного покрова и его продуктивность, являются радиационный баланс и радиационный индекс сухости (отношение радиационного баланса к затратам энергии, необходимой для испарения осадков) [Будыко, 1971]. Факторы среды определяют формирование органов дерева и, следовательно, продуктивности древостоя, однако механизмы влияния различных лесорастительных условий на формирующие растения процессы различаются. Это определяет необходимость детального рассмотрения влияния отдельных факторов на особенности формирования листвы.

Влияние плодородия почв и продуктивности древостоя на формирование листвы

При конкретных значениях радиационного баланса в качестве характеристики продуктивности древостоя исследуемого региона принимается класс бонитета. Бонитет древостоя объективно отражает плодородие почв, определяемое климатическими и почвенно-грунтовыми факторами. В работе [Карпечко, Мясникова,

2014] показана тесная зависимость между полученной расчетами концентрацией азота в переносимой по растению воде (элемента, который лимитирует продуктивность растений на севере бореальных лесов [Mälkönen et al., 1990; Федорец, Бахмет, 2003]) и показателем бонитета. Средняя за год концентрация азота в воде была получена как отношение годового выноса азота из почвы на формирование прироста фитомассы к транспирации [Карпечко, Мясникова, 2014]. В этом случае влияние лесорастительных условий на формирование листового аппарата можно выяснить при анализе связи класса бонитета с массой листы. Построенные зависимости между удельной массой листы (отношением массы листы к приросту фитомассы) средневозрастного древостоя и показателями бонитета представлены на рис. 1. Для удобства выполнения анализов классы бонитета заменены нами на показатели бонитета. Традиционно применяемые обозначения классов бонитета Ia, I, ... V, Va заменены арабскими цифрами 7, 6, ..., 2, 1 [Карпечко, Бондарик, 2010].

Зависимости построены с использованием данных, приведенных в монографиях [Казимиров, Морозова, 1973; Казимиров и др., 1977, 1978] для сосняков, ельников и березняков Южной Карелии. Данные зависимости достаточно убедительно иллюстрируют, что повышение продуктивности средневозрастного древостоя сопровождается снижением удельной массы листы. Это снижение при улучшении бонитета на один класс для средневозрастного древостоя составляет в зависимости от породы в среднем 5–20%.

Приведенные зависимости, полученные на основании эмпирических данных, подтверждаются следующими рассуждениями. Количество воды, транспирируемое при приросте единицы фитомассы (E_{T1}), можно определить как произведение массы листы на коэффициент транспирационной активности [Крестовский, 1986; Карпечко, Бондарик, 2010]. Это произведение можно приравнять к равенству, определяющему необходимость объема транспирации для формирования прироста при нужном количестве

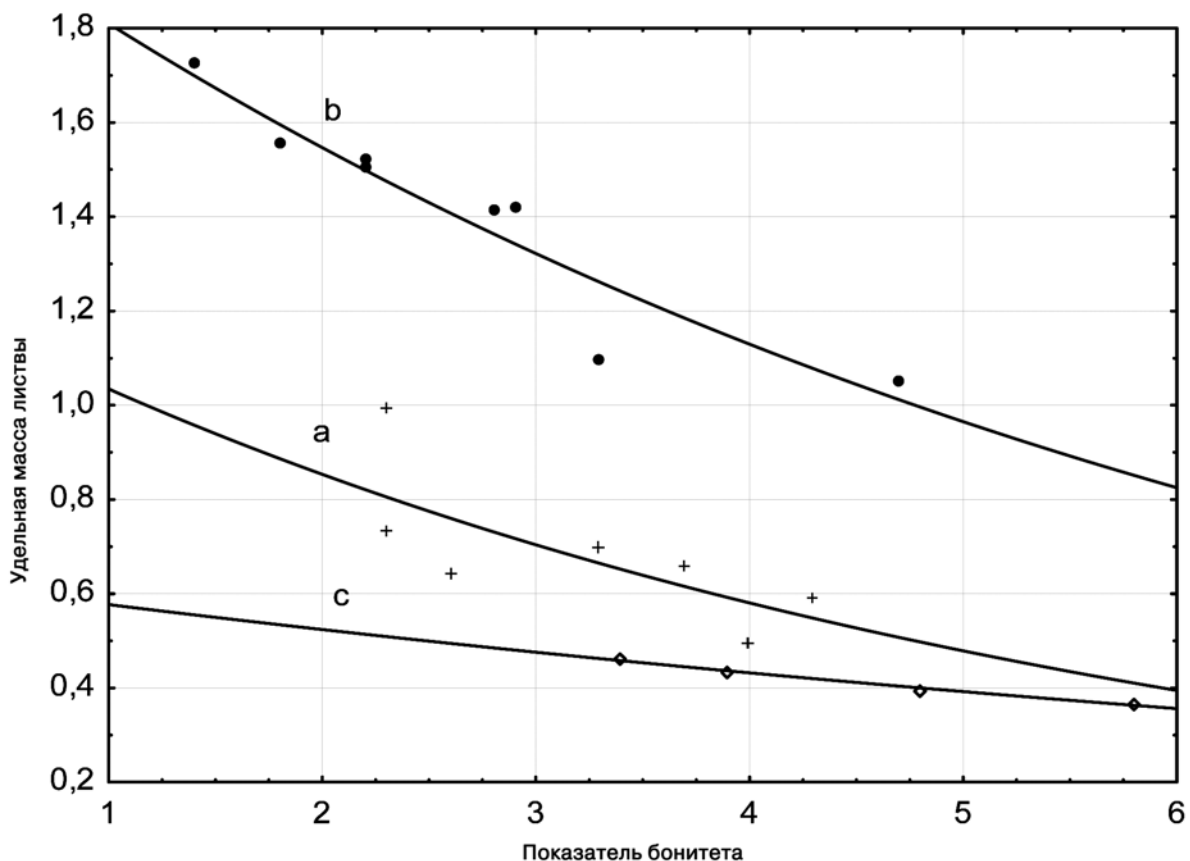


Рис. 1. Зависимость удельной массы листы от показателя бонитета (а – сосняк, б – ельник, с – березняк)

Fig. 1. The dependence of the specific mass of foliage on the stand quality index (a – pine forest, b – spruce forest, c – birch forest)

минерального вещества и его концентрации в транспирационном потоке:

$$E_{ti} = m_{fr1} K_{tr} = 100P_{i1}/C_i, \quad (1)$$

где m_{fr1} – масса листы, необходимая для осуществления всех процессов при построении единицы фитомассы, т/га; K_{tr} – коэффициент транспирационной активности; P_{i1} – количество i -го минерального вещества, необходимого для формирования прироста единицы фитомассы, кг/га; C_i – концентрация i -го минерального вещества в транспирационном потоке, мг/л.

Учитывая результаты многочисленных полевых наблюдений, обобщенных О. И. Крестовским [1986], и исследования Л. К. Кайбияйна [1986], можно с большой долей вероятности принимать постоянными коэффициенты транспирационной активности для конкретных пород древостоя. Также можно предположить, что для прироста единицы фитомассы требуется конкретное количество i -го минерального вещества, лимитирующего в данных условиях рост растения. Следовательно, основываясь на равенстве (1), можно сделать вывод, что удель-

ная транспирация и удельная масса листы снижаются с увеличением концентрации питательных веществ (повышением плодородия почв, улучшением бонитета и повышением продуктивности древостоя) в потребляемой растением из почвы воде. Увеличение концентрации элементов в транспирационном потоке с улучшением бонитета отмечено в работах [Сазонова и др., 2009; Карпечко, Мясникова, 2014].

Роль энергетического фактора в формировании продуктивности древостоя и листового аппарата

Кроме орографических, гидрологических и почвенных факторов, определяющих лесорастительные условия конкретного региона, на продуктивность древостоя влияет также солнечная радиация (энергетический фактор), которая относится к основным климатообразующим факторам. Зависимость показателя бонитета (характеристика бонитета) от типа леса и радиационного баланса представлена на рис. 2.

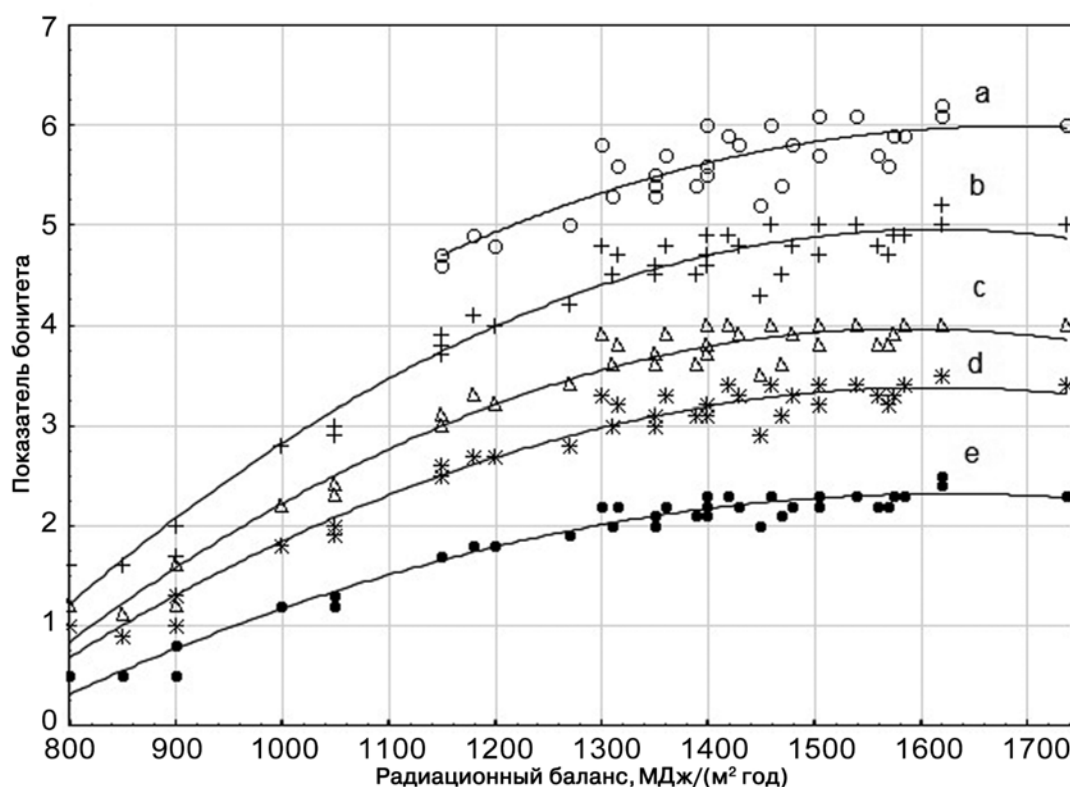


Рис. 2. Зависимости показателей класса бонитета различных типов ельников от радиационного баланса (а – ельник кисличный, б – ельник черничный, с – ельник брусничный, д – ельник долгомошный, е – ельник сфагновый)

Fig. 2. The dependence of the stand quality index of various types of spruce trees on the radiation balance (a – oxalis spruce forest, b – bilberry spruce forest, c – lingonberry spruce forest, d – polychitrichum spruce forest, e – sphagnum spruce forest)

Этот рисунок был построен с использованием информации о продуктивности ельников в пределах лесной зоны европейской части России, приведенной в работе [Производительность..., 1991]. Значения радиационного баланса за год для конкретного региона взяты из работы [Атлас..., 1985]. Линии на графике проходят с учетом точек, соответствующих осредненному показателю бонитета конкретного типа леса (лес с однородными лесорастительными условиями) конкретной территории, характеризующейся определяющим функционирование ландшафтов количеством энергии.

Тесные связи между радиационным балансом и показателем бонитета конкретного типа леса свидетельствуют о том, что продуктивность древостоя в лесной зоне лимитируется энергетическим фактором. Это подтверждается и другими исследователями, использующими в качестве характеристики энергетического фактора температуру воздуха [Молчанов, 1976; Moren, Pertti, 1994].

Лимитирующая роль энергетического фактора в процессах, определяющих рост и развитие древостоя, зависит от особенностей климатических условий лесной зоны, одним из показателей которых является радиационный индекс сухости. В работе [Будыко, 1971] показано, что для регионов, занятых преимущественно лесами, радиационный индекс сухости изменяется от 0,3 до 1,0, что свидетельствует о достаточном увлажнении территории.

Наибольшим откликом на энергетический фактор характеризуются древостои, произрастающие в лучших лесорастительных условиях (ельник кисличный, ельник черничный) (рис. 2).

Повышение продуктивности древостоя при постоянстве коэффициента транспирационной активности (см. выше) может происходить за счет увеличения массы листвы, создающей возможность большего водопотребления и потребления питательных веществ, а также за счет улучшения плодородия почв. Поскольку каждый тип леса характеризуется, как это можно оценить по отраслевым стандартам (Стандарт отрасли ОСТ 56-108-98), однородными почвенно-гидрологическими условиями и одинаковым положением в рельефе местности, наличие элементов питания в почвах каждого типа леса мало зависит от географического положения участка леса. Об этом свидетельствуют также описания типов леса в работе [Производительность..., 1991]. Следовательно, при перемещении с севера на юг и обратно концентрация элементов питания в транспирационном потоке каждого типа леса меняется мало. В этом случае повышение продуктивно-

сти древостоя возможно только за счет увеличения массы листвы, о чем и свидетельствуют литературные источники. В работе [Сазонова и др., 2011] показано, что при перемещении с севера на юг увеличивается удельная масса листвы и проводимость ксилемы, это увязывается также с отмеченным в работе [Цельникер и др., 2002] ростом индекса листовой поверхности для одинаковых типов леса при продвижении с севера до 54–58° с. ш. Для этих широт средний радиационный баланс составляет 1400–1600 МДж/(м² год) и соответствует максимальным показателям классов бонитета каждого типа леса (рис. 2).

Повышение продуктивности древостоя за счет роста количества листвы определяет возможность того, что при одинаковом классе бонитета листвы будет больше у древостоя, растущего в худших условиях, но при больших поступлениях солнечной радиации.

Из всего вышеизложенного следует, что на наличие соответствия между размерами проводящих систем и масс листвы влияют лесорастительные условия, включающие радиационный баланс – энергетический ресурс территории. Это необходимо учитывать при разработке методов расчета масс листвы.

Методы расчета листового аппарата

Из-за сложности измерения массы листвы в полевых условиях [Усольцев, Залесов, 2005] возникает необходимость в расчетных методах. В большинстве своем они основываются на поиске связей между массой листвы и количественными показателями частей дерева и древостоя. Эти связи обусловлены особенностями структурной организации, размеров и масс органов, создающими оптимальные условия для функционирования всего дерева [Сазонова и др., 2011]. Связи устанавливаются между массой листвы с одной стороны, запасом стволовой древесины, или диаметром ствола, или площадью поперечного сечения древостоя с другой стороны [Лесотаксационный..., 1980; Marklund, 1987; Уткин и др., 1997].

На связи между запасом стволовой древесины и массой листвы основывается метод, представленный в работе [Уткин и др., 1997]. При этом не учитывается связь массы листвы с интенсивностью прироста фитомассы, хотя возрастная динамика интенсивности прироста в значительной степени связана с динамикой массы листвы. Это приводит к существенным ошибкам. Средняя относительная ошибка, полученная для разного возраста и разной

продуктивности сосняков (общее число используемых для оценки участков – 41), произрастающих в Карелии, составила 70 %.

В северных регионах достаточно широкое применение имеет метод, разработанный в Швеции [Marklund, 1987; Kellomäki, 1999; Helmisaari et al., 2007]. В качестве основного предиктора в нем используется диаметр дерева на высоте груди. При этом слабо учитывается влияние возраста на связь этой характеристики с листвой, что также приводит к значительным ошибкам расчета.

Более обоснованный метод определения количества древесной зелени и листвы (определенная часть древесной зелени) был создан в Институте леса Карельского филиала АН СССР (далее ИЛ) под руководством Н. И. Казиминова. Его параметры получены для древостоя, произрастающего в Карелии, и он был рекомендован для широкого использования при решении практических задач [Лесотаксационный..., 1980].

Выраженная в табличном виде зависимость между удельным запасом древесной зелени конкретной породы (масса зелени по отношению к запасу стволовой древесины) и средней высотой древостоя была нами формализована. Для расчета массы листвы формула представлена в удобном для практического использования виде [Карпечко, Бондарик, 2010]:

$$m_{lr} = MKc \exp(-dh), \quad (2)$$

где m_{lr} – масса листового аппарата в свежем виде, т/га; M – запас стволовой древесины, м³/га; h – средняя высота древостоя, м; K – коэффициент, показывающий долю хвои (листвы) в общем запасе древесной зелени и равный для сосны 0,78, для ели – 0,60, для березы – 0,56; c , d – коэффициенты регрессии, равные соответственно для сосны 0,29 и 0,10, для ели – 0,81 и 0,1, для березы – 0,30 и 0,08.

К недостаткам данного метода, как и вышепредставленных, относится то, что не учитывается влияние на формирование листвы условий произрастания. В уравнении (2) зависимость удельной массы листвы от продуктивности учитывается в некоторой степени тем, что в качестве одного из аргументов используется зависящая от класса бонитета высота древостоя.

Для более полного учета продуктивности древостоя при расчете листвы в работе [Карпечко, Мясникова, 2012] предложен метод, разработанный с использованием опубликованных, в основном в работах В. А. Усольцева [1998, 2007], данных о биометрических харак-

теристиках древостоев. Этот метод разработан на основе предложенного в ИЛ [Лесотаксационный..., 1980], описанного формулой (2). В качестве характеристики продуктивности используется показатель бонитета. Эмпирическая формула имеет вид:

$$m_d = a M \exp(-h(b - c \ln(Kl + 1))), \quad (3)$$

где m_d – масса сухой листвы, т га⁻¹; Kl – показатель бонитета; a , b и c – коэффициенты регрессии, равные соответственно для сосняков – 0,15, 0,213 и 0,063, для ельников – 0,165, 0,128 и 0,033 и для березняков – 0,067, 0,14 и 0,026.

Для перехода от массы сухой листвы к свежесрубленной можно использовать коэффициенты, предложенные в справочнике [Лесотаксационный..., 1980]. Значения коэффициентов: для сосны – 0,48, для ели – 0,46 и для березы – 0,43.

К расчету количества листвы можно подойти, основываясь на наличии связи массы листвы с запасом древостоя и его приростом. Эту связь можно выразить следующим уравнением:

$$m = a M + b \Delta M, \quad (4)$$

где a – коэффициент, характеризующий удельную массу листвы, пропорциональную запасу стволовой древесины; M – запас стволовой древесины; ΔM – текущий прирост запаса стволовой древесины; b – коэффициент, характеризующий удельную массу листвы, пропорциональную приросту стволовой древесины.

Концептуальной основой такого подхода является уравнение Г. Ф. Хильми [1957], предложенное им для определения транспирации древостоем. При ее расчете он предложил условно разделять транспирационный поток на две части, одна из которых обеспечивает функционирование стволовой древесины, а вторая – ее прирост. В работе [Карпечко, 2010] была продемонстрирована состоятельность этого подхода и возможность использования разработанного на его основе метода для решения практических задач.

При расчете массы хвои по (4) используются данные о запасе стволовой древесины и о его приросте, приведенные в таксационных описаниях участков леса. Метод определения коэффициентов a и b предложен в статье [Карпечко, Мясникова, 2014].

По опубликованным данным установлены зависимости коэффициентов от бонитета. Эти зависимости описываются экспоненциальными уравнениями:

$$a = c \exp(-d Kl),$$

$$b = k \exp(-l Kl),$$

где c , d , k и l – коэффициенты регрессии, равные для сосняков соответственно 0,024, 0,275, 0,930 и 0,113 и для ельников – 0,051, 0,274, 1,650 и 0,115.

Расчеты по уравнению (4) позволяют учитывать влияние продуктивности древостоя на листовую аппарат и получить его возрастную динамику в различных лесорастительных условиях.

При оценке точности расчетов массы листы описанными выше методами использовались собранные по литературным источникам измеренные значения массы листы для различных по условиям произрастания участков (152 для сосняков, 318 для ельников и 93 для

березняков). Средние относительные ошибки расчетов (отношение разницы между измеренными и расчетными значениями к измеренным, в процентах) для сосны и ели по формулам (2), (3), (4) составляют соответственно 9, –9, 22 и 24, –2, 22. Для березы ошибки расчетов по формулам (2) и (3) составляют –31 и 0.

При оценке точности определения массы листы для различного по продуктивности древостоя ряды данных были разделены по классам бонитета. Для каждой из полученных таким образом групп древостоя получены относительные ошибки расчетов, и их величины приведены в таблице.

Относительные ошибки расчета массы хвои для древостоя различной продуктивности (1 по формуле (2); 2 по формуле (3) и 3 по формуле (4)), %

Relative errors in calculating the weight of needles for different stands productivity (1 by equation (2); 2 by equation (3) and 3 by equation (4)), %

Класс бонитета Stand quality class	Показатель бонитета Stand quality index	Относительная ошибка, % Relative error, %					
		Сосняк Pine forest			Ельник Spruce forest		
		1	2	3	1	2	3
Vб	0	–43	7	18	–95	–29	–10
Va	1	–41	–24	6	–46	–5	8
V	2	–22	–16	11	–13	9	22
IV	3	2	–4	19	9	8	23
III	4	12	–1	22	13	3	21
II	5	17	–11	22	25	0	24
I	6	27	–10	31	35	–4	24
Ia	7				40	–7	23

Для средних по продуктивности участков расчеты листы по всем анализируемым методам дают, по нашему мнению, вполне приемлемые результаты, учитывая невысокую точность полевых методов определения всех характеристик древостоя.

При использовании метода, разработанного в ИЛ (2) [Лесотаксационный..., 1980], расчеты для древостоя, растущего в худших условиях, дают завышенные результаты, а для высокопродуктивных участков леса – заниженные.

Наименьшие почти для всех классов бонитета ошибки получены при расчете по эмпирической формуле (3). Нужно отметить, что вполне приемлемые результаты получаются и при использовании формулы (4). Это объясняется тем, что поскольку при разработке формул (3) и (4) использовались опубликованные данные, собранные в пределах всей лесной зоны, следовательно, учитывалось влияние на массу листы продуктивности древостоя и опосредованно учитывалось влияние солнечной радиации. Однако анализы показыва-

ют, что степень влияния солнечной радиации на продуктивность древостоя и на удельную массу листы зависит от типа леса. Отсюда следует, что при создании унифицированного для различных лесорастительных, в том числе и климатических, условий лесной зоны метода расчета массы листы должен учитываться, наряду с обозначенными выше показателями, тип леса.

Заключение

Формирование листы в значительной степени зависит от лесорастительных условий. С улучшением бонитета на один класс удельная масса листы средневозрастного древостоя снижается в условиях Карелии в зависимости от породы на 5–20 %.

Продуктивность древостоя лесной зоны конкретного типа леса лимитируется энергетическим фактором. Рост продуктивности при продвижении с севера на юг обусловлен увеличением удельной массы листы.

Наиболее точным из существующих методов расчета массы листвы, по нашему мнению, является метод, в котором учитывается продуктивность древостоя. Для создания улучшенного метода расчета массы листвы необходимо учитывать характеристики древостоя, факторы среды и тип леса.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Литература

- Атлас СССР*. М.: ГУГК, 1985. 260 с.
- Будыко М. И.* Климат и жизнь. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 472 с.
- Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С., Иванчиков А. А., Морозова Р. М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М., Куликова В. К.* Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.
- Кайбияйнен Л. К.* Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. IV. Общие характеристики водного режима в разных экологических условиях // *Лесоведение*. 1986. № 4. С. 70–75.
- Карпечко Ю. В.* Влияние рубок на сток с лесопокрытой части водосбора Онежского озера // *Труды КарНЦ РАН*. 2016. № 5. С. 13–20. doi: 10.17076/lim285
- Карпечко Ю. В.* Расчетный метод определения транспирации древостоем // *Лесоведение*. 2010. № 5. С. 65–71.
- Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л.* Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
- Карпечко Ю. В., Мясникова Н. А.* Особенности формирования листового аппарата и транспирации хвойного древостоя // *Ученые записки ПетрГУ. Серия «Естественные и технические науки»*. 2014. № 4(141). С. 78–84.
- Карпечко Ю. В., Мясникова Н. А.* Расчет фитомассы древостоя // *Ученые записки ПетрГУ. Серия «Естественные и технические науки»*. 2012. № 4(125). С. 77–81.
- Крестовский О. И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 118 с.
- Лесотаксационный справочник*. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.
- Молчанов А. А.* Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976. 168 с.
- Производительность еловых насаждений по типам леса (экологические нормативы)*. Научные рекомендации. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1991. 44 с.
- Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б.* Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 208 с.
- Сазонова Т. А., Придача В. Б., Колосова С. В.* О содержании элементов минерального питания в ксилемном соке // *Растительные ресурсы*. 2009. Т. 45, вып. 1. С. 113–171.
- Усольцев В. А.* Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложение. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с.
- Усольцев В. А.* Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.
- Усольцев В. А., Залесов С. В.* Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.
- Уткин А. И., Ермолова Л. С., Замолодчиков Д. Г.* Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесообразующих пород России // *Лесоведение*. 1997. № 3. С. 74–78.
- Федорец Н. Г., Бахмет О. Н.* Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 240 с.
- Хильми Г. Ф.* Теоретическая биогеофизика леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 206 с.
- Цельникер Ю. Л., Малкина И. С., Завельская Н. А.* Географические аспекты фотосинтеза у лесных деревьев России // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. Т. XVIII. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. С. 81–108.
- Bartelink H. H.* Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir // *Forest Ecol. Manag.* 1996. Vol. 86, no. 1–3. P. 193–203.
- Grote R.* Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species // *Silva Fennica*. 2002. No. 36(4). P. 779–788.
- Helmisaari H.-S., Derome J., Nöjd P., Kukkola M.* Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands // *Tree Physiol.* 2007. Vol. 27. P. 1493–1504.
- Kellomäki S.* Calculation of foliage mass and foliage area. Biogenic VOC emissions and photochemistry in the boreal regions of Europe, Air Pollution Research Report 70, Commission of the European Communities, Luxembourg. 1999. P. 113–125.
- Liu C., Westman C. J.* Biomass in a Norway spruce–Scots pine forest: a comparison of estimation methods // *Boreal Environ. Res.* 2009. No. 14. P. 875–888.
- Mälkönen E., Derome J., Kukkola M.* Effects of nitrogen inputs on forest ecosystems. Estimation based on long-term fertilization experiments // *Acidification in Finland* / Eds. P. Kauppi, P. Anttila, K. Kenttämies. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. P. 325–347.
- Marklund L. G.* Biomass functions for Norway spruce in Sweden / Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Survey. 1987. Report 43. P. 1–127.

Moren A.-S., Pertti K. L. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land // *Studia Forestalia Suecica*. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences. 1994. No. 194. P. 19.

Repola J. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland // *Silva Fennica*. 2009. No. 43(4). P. 625–647.

References

Atlas SSSR [Atlas of the USSR]. Moscow: GUGK, 1985. 260 p.

Budyko M. I. *Klimat i zhizn'* [Climate and life]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971. 472 p.

Fedorets N. G., Bakhmet O. N. Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedinenii ugleroda i azota v lesnykh pochvakh [Ecological features of transformation of carbon and nitrogen compounds in forest soils]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 240 p.

Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zhabchenko S. S., Ivanchikov A. A., Morozova R. M. Obmen veshchestv i energii v osnovnykh lesakh Evropeiskogo Severa [Exchange of substances and energy in the pine forests of the European North]. Leningrad: Nauka, 1977. 304 p.

Kazimirov N. I., Morozova R. M. Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii [Biological cycle of substances in spruce forests of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1973. 176 p.

Kazimirov N. I., Morozova R. M., Kulikova V. K. Organicheskaya massa i potoki veshchestv v bereznyakh srednei taigi [Organic mass and flows of substances in birch forests of the middle taiga]. Leningrad: Nauka, 1978. 216 p.

Kaibiyainen L. K. Sbalansirovannost' sistemy vodnogo transporta u sosny obyknovЕННОI. IV. Obshchie kharakteristiki vodnogo rezhima v raznykh ekologicheskikh usloviyakh [The balance of the water transport system in the pine. IV. General characteristics of water regime in different ecological conditions]. *Lesovedenie* [Forest Sci.]. 1986. No. 4. P. 70–75.

Karpechko Yu. V. Vliyaniye rubok na stok s lesopokrytoi chasti vodosbora Onezhskogo ozera [Logging effects on runoff from the forested part of the catchment of Lake Onega]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 13–20. doi: 10.17076/lim285

Karpechko Yu. V. Raschetnyi metod opredeleniya transpiratsii drevostoev [Calculation method for determining tree stand transpiration]. *Lesovedenie* [Forest Sci.]. 2010. No. 5. P. 65–71.

Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. Hidrologicheskaya rol' lesokhozyaistvennykh i lesopromyshlennykh rabot v taezhnoi zone Evropeiskogo Severa Rossii [The hydrological role of forestry and forest industry in the taiga zone of the European North of Russia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 225 p.

Karpechko Yu. V., Myasnikova N. A. Osobennosti formirovaniya listovogo apparata i transpiratsii khvoynogo drevostoya [Features of formation of leaf apparatus and transpiration of coniferous stand]. *Uch. zapiski PetrGU. Ser. Estestv. i tekhn. nauki* [Sci. Notes PetrSU. Ser. Nat. Tech. Sci.]. 2014. No. 4(141). P. 78–84.

Karpechko Yu. V., Myasnikova N. A. Raschet fitomassy drevostoya [Calculation of forest phytomass].

Socha J., Wezyk P. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine // *Eur. J. Forest Res.* 2007. No. 126. P. 263–270.

Поступила в редакцию 22.10.2020

Uch. zapiski PetrGU. Ser. Estestv. i tekhn. nauki [Sci. Notes PetrSU. Ser. Nat. Tech. Sci.]. 2012. No. 4(125). P. 77–81.

Khil'mi G. F. Teoreticheskaya biogeofizika lesa [Theoretical forest biogeophysics]. Moscow: AN SSSR, 1957. 206 p.

Krestovskii O. I. Vliyaniye vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek [The effect of felling and reforestation on water resources of rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 117 p.

Lesotaksatsionnyi spravochnik [Forest inventory reference book]. Moscow: Lesn. prom-st', 1980. 288 p.

Molchanov A. A. Dendroklimaticheskie osnovy prognozov pogody [Dendroclimatic bases of weather forecasts]. Moscow: Nauka, 1976. 168 p.

Proizvoditel'nost' elovykh nasazhdenii po tipam lesa (ekologicheskie normativy) [Productivity of spruce stands by forest type (environmental standards)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1991. 44 p.

Sazonova T. A., Bolondinskii V. K., Pridacha V. B. Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika sosny obyknovЕННОI [Ecological and physiological description of Scots pine]. Petrozavodsk: Verso, 2011. 208 p.

Sazonova T. A., Pridacha V. B., Kolosova S. V. O sodержanii elementov mineral'nogo pitaniya v ksilemnom soke [On the content of mineral nutrition elements in xylem juice]. *Rast. resursy* [Plant Resources]. 2009. No. 45(1). P. 113–121.

Tsel'niker Yu. L., Malkina I. S., Zavel'skaya N. A. Geograficheskie aspekty fotosinteza u lesnykh derev'ev Rossii [Geographical aspects of photosynthesis in forest trees in Russia]. *Probl. ekol. monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Probl. of ecol. monitoring and modeling of ecosystems]. Vol. XVIII. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002. P. 81–108.

Usol'tsev V. A. Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoi Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozhenie [Biological productivity of forests in Northern Eurasia: methods, database and its application]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. 637 p.

Usol'tsev V. A. Formirovaniye bankov dannykh o fitomasse lesov [Formation of forest phytomass data banks]. Ekaterinburg: UrO RAN, 1998. 541 p.

Usol'tsev V. A., Zalesov S. V. Metody opredeleniya biologicheskoi produktivnosti nasazhdenii [Methods for determining the biological productivity of plantings]. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2005. 147 p.

Utkin A. I., Ermolova L. S., Zamolodchikov D. G. Konversionnyye koeffitsienty dlya opredeleniya ploshchadi listovoi poverkhnosti nasazhdenii osnovnykh lesobrazuyushchikh porod Rossii [Conversion coefficients for determining the area of the leaf surface of the main

forest-forming species of Russia]. *Lesovedenie* [Forest Sci.]. 1997. No. 3. P. 74–78.

Bartelink H. H. Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecol. Manag.* 1996. Vol. 86, no. 1-3. P. 193–203.

Grote R. Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species. *Silva Fennic.* 2002. No. 36(4). P. 779–788.

Helmisaari H.-S., Derome J., Nöjd P., Kukkola M. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Physiol.* 2007. Vol. 27. P. 1493–1504.

Kellomäki S. Calculation of foliage mass and foliage area. Biogenic VOC emissions and photochemistry in the boreal regions of Europe, Air Pollution Research Report 70, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1999. P. 113–125.

Liu C., Westman C. J. Biomass in a Norway spruce–Scots pine forest: a comparison of estimation methods. *Boreal Environ. Res.* 2009. No. 14. P. 875–888.

Mälkönen E., Derome J., Kukkola M. Effects of nitrogen inputs on forest ecosystems. Estimation based on long-term fertilization experiments. *Acidification in Finland*. Eds. P. Kauppi, P. Anttila, K. Kenttämies. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. P. 325–347.

Marklund L. G. Biomass functions for Norway spruce in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Survey. 1987. Report 43. P. 1–127.

Moren A.-S., Pertti K. L. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica*. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences. 1994. No. 194. P. 19.

Repola J. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennic.* 2009. No. 43(4). P. 625–647.

Socha J., Wezyk P. Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *Eur. J. Forest Res.* 2007. No. 126. P. 263–270.

Received October 22, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Карпечко Юрий Васильевич

ведущий научный сотрудник, д. г. н.
Институт леса КарНЦ РАН, Федеральный
исследовательский центр «Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: yukarpechko@yandex.ru
тел.: +79114101398

CONTRIBUTOR:

Karpechko, Yury

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: yukarpechko@yandex.ru
tel.: +79114101398