Июнь, № 4 **Сельскохозяйственные науки** **2014**

УДК 630*161.19

ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ КАРПЕЧКО
доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
karp@nwpi.krc.karelia.ru

НАДЕЖДА АЛЕКСАНДРОВНА МЯСНИКОВА
гидролог, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
gold_dream@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТОВОГО АППАРАТА И ТРАНСПИРАЦИИ ХВОЙНОГО ДРЕВОСТОЯ*

Транспирация древостоем составляет большую часть суммарного испарения лесом. Ее определение для участка леса представляет собой сложную задачу. Процесс потребления древостоем воды из почвы тесно связан с минеральным питанием и формированием листового аппарата. Следовательно, рассмотрение взаимосвязи развития листового аппарата, транспирации и минерального питания древостоя различного возраста и произрастающего в различных лесорастительных условиях представляет интерес для уточнения расчета испарения. Целью работы является изучение влияния плодородия почв на формирование хвои и транспирацию древостоем. Статья подготовлена на основе анализа исследований различных авторов. Установлено, что с улучшением бонитета увеличивается концентрация азота в потребляемой древостоем из почвы воде. Повышение плодородия почв сопровождается снижением удельной массы хвои. Влияние продуктивности древостоя на массу хвои всего леса и на транспирацию зависит от класса бонитета и возраста. Для молодого и средневозрастного древостоя с улучшением бонитета повышается масса хвои и, следовательно, транспирация. Для спелого и перестойного древостоя эта тенденция может нарушаться. Предложен метод расчета массы хвои сосняков и ельников по запасу стволовой древесины и ее приросту.

Ключевые слова: класс бонитета, масса хвои, транспирация, минеральное питание

Функционирование лесных биогеоценозов определяется множеством взаимосвязанных процессов, к которым относится и транспирация древостоем. Транспирация составляет значительную часть суммарного испарения с леса, поэтому достоверность результатов при решении различных водохозяйственных и экологических задач во многом зависит от точности определения этой величины. К сожалению, установление транспирации при решении практических задач в большинстве случаев основывается на расчетных методах, поэтому при отсутствии возможностей экспериментального определения большую уверенность в достоверности вычисления для различных условий можно получить при анализе факторов, обусловливающих особенности ее формирования. С этой точки зрения рассмотрение взаимосвязи развития листового аппарата, транспирации и минерального питания древостоя различного возраста и произрастающего в различных лесорастительных условиях, чему посвящена данная работа, представляет несомненный интерес.

ЛИСТОВОЙ АППАРАТ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

Большинство существующих в настоящее время методов определения транспирации древостоем с участка леса основываются на массе листвы (хвои) [5]. В частности, для определения среднемноголетней величины транспирации за год используется формула, убедительно обоснованная многими исследователями:

$$E_{tr} = k_{tr} m, \quad (1)$$

где E_{tr} – транспирация воды древостоем, мм; m – масса листвы (хвои) в свежем виде, т/га; k_{tr} – коэффициент транспирационной активности, равный для сосны, ели и березы 19, 8,5 и 35 мм/т соответственно [5].

Вследствие того что листовой аппарат играет определяющую роль в формировании транспирации, изучение особенностей формирования листвы (хвои) дает возможность хотя бы качественно оценить расход воды лесом, произрастающим в различных условиях и на различных этапах его роста и развития.

Зависимость массы листвы (хвои) от условий произрастания древостоя вытекает из следующих рассуждений. Расход влаги на прирост единицы фитомассы, исходя из формулы (1), можно представить в следующем виде:

$$E_{tr1} = k_{tr} m_1, \quad (2)$$

где E_{tr1} – расход воды для осуществления прироста единицы фитомассы; m_1 – количество листвы (хвои), необходимое для осуществления всех процессов при построении единицы фитомассы.

© Карпечко Ю. В., Мясникова Н. А., 2014

Одной из функций транспирации, как известно, является снабжение растений минеральными веществами. Потребляемые растением из почвы в виде раствора минеральные вещества затрачиваются на рост. Очевидным свидетельством роста древостоя является увеличение его фитомассы. Наличие связи между транспирацией и приростом различных характеристик фитомассы показано в [7]. Количество влаги, необходимой для прироста единицы фитомассы, можно выразить следующим равенством:

$$E_{tr1} = P_{i1} / C_i, \quad (3)$$

где P_{i1} – количество *i*-го минерального вещества, необходимого для построения единицы фитомассы и лимитирующего в данных условиях рост растения; C_i – концентрация лимитирующего рост растения *i*-го минерального вещества в водном растворе, потребляемом растением из почвы.

Уравнение (3) справедливо для тех минеральных веществ, которые лимитируют рост растений в конкретных природных условиях. Из этого уравнения следует, что с уменьшением концентрации питательных веществ в потребляемом растением почвенном растворе должны возрастать затраты воды на прирост единицы фитомассы.

На основании уравнений (2) и (3) можно написать следующее равенство:

$$k_{tr} m_1 = P_{i1} / C_i. \quad (4)$$

Коэффициент транспирационной активности, как это показано многими исследователями, является постоянной величиной. Также можно утверждать, что для построения единицы фитомассы конкретной породы древостоя требуется определенное количество *i*-го минерального вещества. Это указывает на наличие между m_1 и C_i (равенство (4)) тесной связи, когда уменьшение концентрации вещества, лимитирующего рост растения, обусловливает увеличение количества листвы (хвои), необходимого для построения единицы фитомассы, и наоборот, увеличение концентрации минерального вещества в растворе определяет снижение удельного количества листвы.

Очевидно, что концентрация питательных веществ в почвенном растворе меняется в зависимости от плодородия почв, в качестве количественной характеристики которого служит класс бонитета. Улучшение бонитета (понижение класса бонитета) обусловливается повышением количества питательных веществ в почве. По мнению Н. Г. Федорец, О. Н. Бахмет [12], в условиях Карелии лимитирующим рост растений фактором является наличие доступных для растений соединений азота в почве.

Данные выводы подтверждаются следующим анализом. В [2], [3] приводятся величины годового поглощения минеральных веществ из почвы практически одновозрастными сосняками (45–66 лет) и ельниками (37–45 лет), произрастающими на различных по плодородию почвах. Наличие этой информации позволяет получить концентрацию азота в потребляемой древостоем воде по формуле:

$$C_i = 100 P_i / E_{tr}, \quad (5)$$

где C_i – концентрация *i*-го минерального вещества в потребляемой растением из почвы воде, мг/л; P_i – годовой вынос *i*-го минерального вещества из почвы на формирование прироста всей фитомассы, кг/га.

Транспирация воды древостоем определялась по (1), а необходимая для расчета масса хвои принималась измеренная из [2], [3]. Для удобства выполнения анализа классы бонитета нами преобразованы в показатели классов бонитета. Принятые обозначения Ia, I, …, V, Va заменены на арабские цифры 7, 6, …, 2, 1 [5].

Между концентрацией азота в расходуемой растением воде и показателем класса бонитета получены достаточно тесные связи, о чем свидетельствуют следующие оценки: изменчивость концентрации азота на 71 % для сосняка и на 93 % для ельника определяется вариацией класса бонитета. Надежность связей подтверждается и их графическим изображением (рис. 1). Все это свидетельствует о зависимости класса бонитета от наличия азота в почве и, соответственно, является подтверждением лимитирующей роли соединений азота в росте древостоя.

Повышение концентрации азота в поглощаемой из почвогрунтов сосняками и ельниками влаге с улучшением бонитета (снижением класса бонитета и увеличением показателя класса бонитета) в рассматриваемых пределах изменений классов бонитета (от Va-V до II) происходит по линейному закону. На построение единицы фитомассы ельником расходуется больше азота, что и показано на рис. 1. Улучшение условий роста на один класс бонитета соответствует увели-

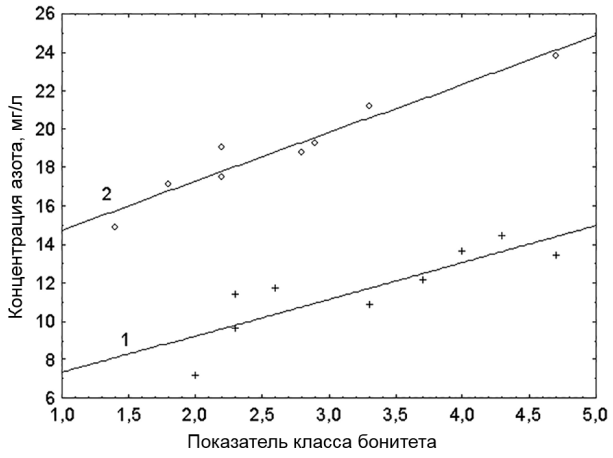

Рис. 1. Зависимость концентрации азота в потребляемой из почвы древостоем воде от показателя класса бонитета (1 – сосняк, 2 – ельник)

чению концентрации азота в потребляемой растением из почвы воде на 1,9 мг/л для сосняков и на 2,5 мг/л для ельников.

Некоторым подтверждением зависимостей (см. рис. 1) служат результаты исследований, приведенные в [9]. Авторами показано, что в вересковом сосняке, наиболее продуктивном из исследуемых древостоев (III,7 класс бонитета), концентрация азота в ксилемном соке составляла в разные годы 41,4 и 42,5 мг/л. В менее продуктивных сосняках – кустарничково-долгомошном (IV,4 класс бонитета) и лишайниковом (IV,4 класс бонитета) – ее значения составляли соответственно 28,6 и 31,7 мг/л.

Наличие линейных зависимостей, приведенных на рис. 1, предполагает существование связи не только между концентрацией азота в потребляемом древостоем почвенном растворе и массой хвои в соответствии с формулой (4), но и между этой массой хвои и показателем класса бонитета. Проверка этого вывода производилась также с использованием данных, приведенных в [2], [3]. При построении зависимости использовалась удельная масса хвои, полученная как частное от деления всей измеренной величины хвои на прирост общей фитомассы. Эта величина несколько отличается от количества хвои, необходимого для построения единицы фитомассы, так как прирост не является мерилом всех функций, осуществляемых листовым аппаратом. Однако в молодых и средневозрастных деревьях относительная доля прироста фитомассы достаточно велика и прирост играет значительную роль в функционировании всего древостоя, следовательно, можно полагать, что для этих возрастных категорий результаты анализа, полученные с использованием рассчитанной таким образом массы хвои, не будут противоречить уравнению (4).

Зависимости удельной массы хвои сосняков и ельников от показателя класса бонитета приведены на рис. 2. Данные зависимости можно принимать в качестве надежных свидетельств влияния условий роста леса и плодородия почв на удельную величину массы хвои. Зависимости на рис. 1 и 2 с конкретными параметрами относятся только к определенной возрастной категории. Однако общие характеристики трендов, по-видимому, являются справедливыми для всех возрастных категорий.

При этом нужно отметить, что при снижении удельной массы хвои с улучшением бонитета (повышение плодородия почв) тренд всей массы хвои в целом для лесного участка может иметь обратное направление. В наибольшей степени такое положение касается молодого и средневозрастного древостоя. Это объясняется тем, что улучшение условий роста древостоя сопровождается увеличением прироста и в целом фитомассы.

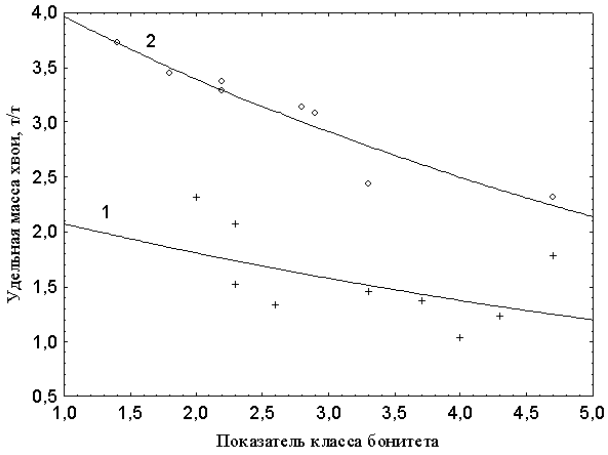

Рис. 2. Зависимость удельной массы хвои (отношение массы хвои к приросту фитомассы древостоя) от показателя класса бонитета (1 – сосняк, 2 – ельник)

Возрастная динамика прироста фитомассы и всех ее частей зависит от плодородия почв. Более интенсивный прирост наблюдается в высокопродуктивных лесах, в которых его наибольшее значение и максимальная величина хвои достигается в 50–70 лет. В худших условиях роста максимальная величина прироста фитомассы отмечается позже и увеличение массы хвои здесь продолжается до 100 лет и более.

Особенности развития сосняков в различных условиях их роста отмечены в [2]. Так, в наиболее продуктивном сосняке черничном (II–III классы бонитета) увеличение массы хвои происходит до 50 лет, а в сосняке брусничном (III–IV классы бонитета) такая тенденция отмечается до 80–90 лет. Эта особенность развития древостоя подтверждается и Э. П. Галенко [1], по мнению которой интенсивный прирост древесины в суровых северных условиях роста и развития древостоя наблюдается до 80–120 лет.

Снижение прироста в спелых и перестойных древостоях сопровождается снижением листового аппарата. Поскольку этот процесс в высокопродуктивных лесах начинается раньше, то при соответствующих условиях в спелых или перестойных лесах масса листвы (хвои) в них может быть ниже, чем в низкопродуктивных. Зависимостью роста и развития сосняков от условий произрастания объясняют тот факт, что абсолютная масса хвои до 100 лет больше в наиболее продуктивном сосняке черничном, а после 100 лет – в сосняке брусничном [2].

РАСЧЕТ МАССЫ ХВОИ СОСНЯКОВ И ЕЛЬНИКОВ

При отмечаемом снижении общей массы хвои в спелом и перестойном древостое удельные ее величины (отношение массы хвои к приросту фитомассы), как показывают расчеты на основании данных из [2], [3] для сосняков черничного и брусничного и ельника черничного, увеличиваются. Эти увеличения связаны с наличием

у листового аппарата других, кроме обеспечения прироста фитомассы, функций, роль которых увеличивается с возрастом. Такое положение позволяет рассматривать массу листового аппарата древостоя, усредненную для различных погодных условий и для конкретного возраста, как сумму из величин, пропорциональных общему количеству фитомассы и ее приросту. Данную сумму можно представить в следующем виде:

$$m = a_{\Sigma} \Sigma P + b_{\Sigma} \Sigma dP, \quad (6)$$

где ΣP – фитомасса древостоя; a_{Σ} – удельное количество листвы (хвои), соответствующее общей фитомассе древостоя; ΣdP – текущий прирост фитомассы древостоя; b_{Σ} – удельная масса листвы (хвои), соответствующая приросту всей фитомассы древостоя.

Под удельным количеством листового аппарата в данном случае понимается масса листвы (хвои), приходящаяся на единицу массы всей фитомассы древостоя в первом слагаемом, и масса листвы (хвои), приходящаяся на единицу массы прирастающей фитомассы древостоя во втором слагаемом.

Решение уравнения (6) с целью проверки адекватности расчетных величин массы листвы (хвои) измеренным значениям возможно при наличии данных о фитомассе древостоя и ее приросте, а также при возможности определения параметров a_{Σ} и b_{Σ}. Следует отметить, что фитомасса древостоя и ее прирост определяются только при специальных исследованиях, поэтому количество этих данных ограничено. Значительно больше данных о запасе стволовой древесины и его приросте. Поскольку большая часть фитомассы древостоя и ее прироста представлена стволовой древесиной, то и связи между соответствующими значениями можно рассматривать как достаточно тесные и прямо пропорциональные. Подтверждение тесноты связи между общей фитомассой древостоя и запасом стволовой древесины приводится, в частности, в [6]. Следовательно, вместо уравнения (6) можно использовать следующее уравнение:

$$m = a\, M + b\, dM, \quad (7)$$

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

Данные о запасе стволовой древесины и его приросте имеются в таксационных описаниях участков леса, поэтому для решения уравнения (7) необходимо только разработать метод определения коэффициентов a и b. Основой при разработке этого метода является равенство (4). Поскольку с ухудшением плодородия почв снижается удельная масса листового аппарата древостоя в целом, то можно предполагать, что такая же тенденция имеет место и для частей массы листвы (хвои), одна из которых пропорциональна запасу стволовой древесины, а другая – приросту его запаса.

Поиск зависимостей для сосняков и ельников между характеристиками удельной массы хвои (коэффициентами a и b) и бонитетом проводился в следующей последовательности. Из литературных источников были собраны данные о массе хвои, о запасе и приросте стволовой древесины сосняков и ельников, произрастающих в различных природных условиях. Основным источником информации являются работы В. А. Усольцева [10], [11]. Для каждой породы данные по запасу, приросту стволовой древесины и массе хвои были распределены по бонитетам (класс бонитета определялся по таблицам М. М. Орлова [8]). Ряд каждого i-го класса бонитета состоит не менее чем из 10 членов. Для каждого из i-х классов бонитета с использованием уравнения (7) определялись коэффициенты a и b. Сделано допущение, что для конкретного класса бонитета возраст древостоя не влияет на значения коэффициентов a и b. Это допущение не в полной мере соответствует действительности. Однако, как показывают оценки, возрастные тренды этих коэффициентов имеют различные направления. Значение коэффициента a с возрастом несколько снижается, а b – увеличивается, что снижает влияние принятого допущения на конечные результаты. Кроме того, нужно иметь в виду, что наибольшие отклонения средних значений коэффициентов возможны только для молодого древостоя, для всех остальных возрастных категорий это допущение не должно повлиять на точность расчетов.

По полученным значениям были построены зависимости коэффициентов от показателей классов бонитета (рис. 3, 4). На этих рисунках показано, что с улучшением бонитета сосняков

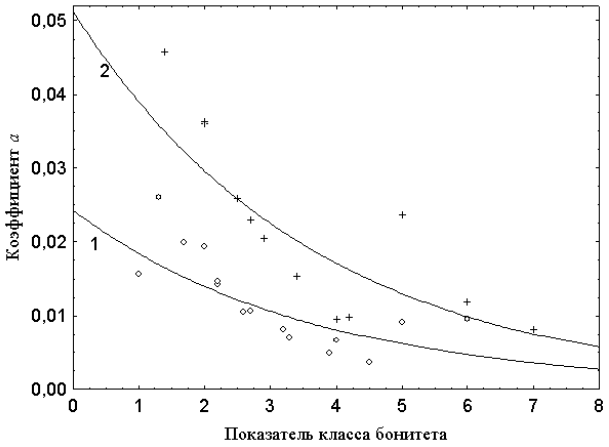

Рис. 3. Зависимость коэффициента, характеризующего удельную массу хвои, пропорциональную запасу стволовой древесины, от показателя класса бонитета (1 – сосна, 2 – ель)

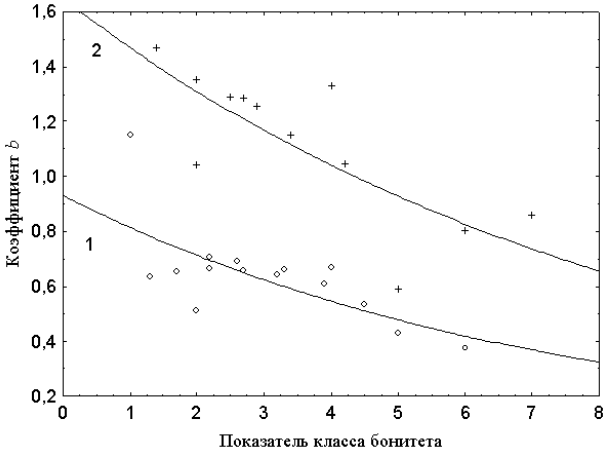

Рис. 4. Зависимость коэффициента, характеризующего удельную массу хвои, пропорциональную приросту стволовой древесины, от показателя класса бонитета (1 – сосна, 2 – ель)

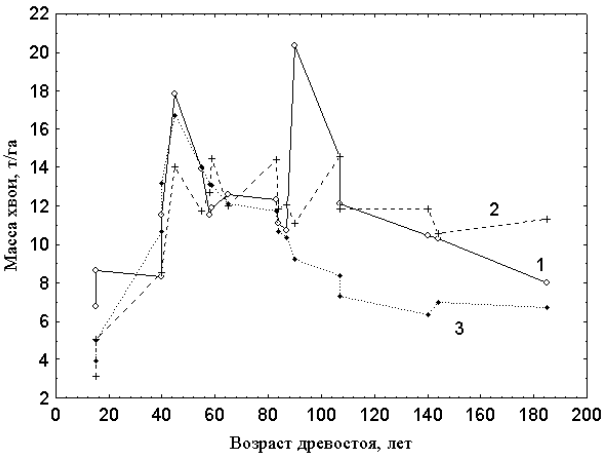

Рис. 5. Динамика измеренной (1) и рассчитанной (2) и (3) соответственно по предложенному уравнению (7) и по рекомендациям из [8] массы хвои сосняка черничного

и ельников коэффициенты, характеризующие удельную массу хвои, пропорциональную как запасу стволовой древесины, так и его приросту, снижаются и эта тенденция вполне удовлетворительно, учитывая точность определения массы хвои, описывается экспоненциальными уравнениями:

$$a = c \exp(-d\,Kl), \quad (8)$$

$$b = k \exp(-l\,Kl), \quad (9)$$

где a, b, k и l – коэффициенты регрессии, равные для сосняков соответственно 0,024, 0,275, 0,930, 0,133, для ельников – 0,051, 0,274, 1,650, 0,115; Kl – показатель класса бонитета.

С использованием системы уравнений (7)–(9) можно определять массу сухой хвои сосняков и ельников. Переход от массы сухой хвои к свежесрубленной осуществляется по зависимости:

$$m_{fr} = m_d / k, \quad (10)$$

где m_{fr} – масса свежесрубленной хвои, т/га$^{-1}$; m_d – масса сухой хвои, т/га$^{-1}$; k – коэффициент, показывающий долю сухого вещества в свежесрубленной хвое.

Значения коэффициента k для хвои рекомендуется принимать равными для сосны 0,48, для ели 0,46 [8].

Сравнение полученных по уравнению (7) результатов с данными, измеренными и рассчитанными по рекомендациям, приведенным в [8] (рис. 5), позволяет оценивать рассматриваемый подход к расчету количества листового аппарата положительно. Расчеты свидетельствуют, что для 96 % из 75 данных среднеквадратическое отклонение между измеренными и рассчитанными по (7) величинами для сосняка составляет 1,1 т/га, для 88 % из 66 данных для ельника – 3,3 т/га. Относительное отклонение для сосняка – 7 %, для ельника – 3 %.

По мере увеличения данных по запасу, приросту стволовой древесины и соответствующей им массе хвои параметры a и b необходимо уточнять.

Приведенные результаты анализа уравнения (7) подтверждают возможность использования предложенного в [4] метода для определения усредненного значения транспирации древостоя, в основу которого положен аналогичный подход разделения на две части всей воды, которая расходуется древостоем.

Анализ уравнения (7) позволяет сделать некоторые выводы о влиянии условий роста на формирование хвои и, следовательно, транспирации. Значение коэффициента b значительно больше, чем a, и эта разница увеличивается при улучшении условий роста. В частности, при переходе от класса бонитета Va к Ia превышение коэффициента b над коэффициентом a возрастает в три раза. Наряду с этим роль второго слагаемого из (7) увеличивается также при данных условиях и за счет роста интенсивности прироста стволовой древесины. Следовательно, возрастная динамика массы хвои высокопродуктивного древостоя в большей степени, чем низкопродуктивного, соответствует динамике прироста фитомассы, поэтому интенсивность как возрастания, так и снижения массы хвои с возрастом в высокопродуктивном древостое будет выше, чем в низкопродуктивном.

Из всего вышеизложенного вытекает, что в молодом и средневозрастном древостое масса хвои, а также транспирации будет увеличиваться с ростом продуктивности лесов. Поскольку в высокопродуктивном древостое масса хвои достигает максимальных значений раньше, чем в низкопродуктивном, и в дальнейшем с возрастом снижается достаточно интенсивно, то в спелых и перестойных древостоях следует ожидать изменения соотношения массы хвои. При этом расчеты для древостоев полноты единица показывают, что соотношения масс хвои и транспирации с возрастом

меняются, как правило, в высоко- и среднепродуктивных древостоях (до III–IV классов бонитета). В древостоях, продуктивность которых ниже V класса бонитета, вероятность изменения соотношения масс хвои с возрастом меньше, что объясняется низкими значениями прироста фитомассы в течение периода роста и развития и малыми величинами амплитуды его изменения.

ВЫВОДЫ

Существует линейная зависимость между концентрацией азота в потребляемой древостоем из почвы воде и классом бонитета. Улучшение бонитета леса соответствует увеличению концентрации азота. С улучшением бонитета леса удельная масса хвои (отношение всей массы хвои к приросту фитомассы) уменьшается, при этом изменение количества всей массы хвои древостоя зависит в значительной степени от его возраста. Для молодого и средневозрастного древостоя характерно увеличение массы хвои и, следовательно, транспирации с повышением продуктивности леса. В спелом и перестойном высоко- и среднепродуктивном древостое эта тенденция может нарушаться. Предложено уравнение для расчета массы хвои, основанное на ее зависимости как от прироста стволовой древесины, так и от ее запаса.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 13-05-98803.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галенко Э. П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 128 с.
2. Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С. и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
3. Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
4. Карпечко Ю. В. Расчетный метод определения транспирации древостоев // Лесоведение. 2010. № 5. С. 65–71.
5. Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
6. Карпечко Ю. В., Мясникова Н. А. Расчет фитомассы древостоя // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 4 (125). С. 77–81.
7. Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 118 с.
8. Лесотаксационный справочник. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.
9. Сазонова Т. А., Придача В. Б., Колосова С. В. О содержании элементов минерального питания в ксилемном соке // Растительные ресурсы. 2009. Вып. 1. Т. 45. С. 113–171.
10. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 635 с.
11. Усольцев В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.
12. Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 240 с.

Karpechko Yu. V., Institute of Northern Water Problems Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Myasnikova N. A., Institute of Northern Water Problems Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

CHARACTERISTIC FEATURES OF LEAF APPARATUS FORMATION AND TRANSPIRATION OF CONIFEROUS STAND

Transpiration of forest stand makes up a large fraction of the total forest evapotranspiration. Its estimation for a particular forest area is a challenging task. Consumption of the soil water by the forest stand is closely related to mineral nutrition and foliage formation. Therefore, a study of the relationship among foliage development, mineral nutrition, and transpiration of stands of different age and different growing conditions is needed for more accurate estimations of evapotranspiration. The aim of this work is to study the influence of soil fertility on the needles' formation and transpiration of forest stands This work is based on the analysis of other studies. It is shown that, as bonitet improves, concentration of nitrogen in the soil water consumed by stands increases. The increase of soil fertility is accompanied by the reduction of specific mass in needles. The influence of the stand productivity on the total mass of needles and on the transpiration of the forest depends on the bonitet class and age. For a young and middle-aged stand the mass of needles, and thus transpiration, increases as bonitet improves. This tendency may not persist for mature and overmature stands. The method of calculation of pine and spruce needle mass using the stem volume and its increment is proposed.

Key words: bonitet class, mass of needles, transpiration, mineral nutrition

REFERENCES

1. Galenko E. P. *Fitoklimat i energeticheskie faktory produktivnosti khvoynogo lesa Evropeyskogo Severa* [Phytoclimate and Energy Factors of the Coniferous Forest of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 128 p.
2. Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zyabchenko S. S. et al. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Exchange of Substances and Energy in the Pine Forests of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p.

3. Kazimirov N. I., Morozova R. M. *Biologicheskiy krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* [Biological Circulation of Substances in Spruce Forests of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 176 p.
4. Karpechko Yu. V. Calculation Method of Definition Transpiration of Stands [Raschetnyy metod opredeleniya transpiratsii drevostoev]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2010. № 5. P. 65–71.
5. Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. *Gidrologicheskaya rol' lesokhozyaystvennykh i lesopromyshlennykh rabot v taezhnoy zone Evropeyskogo Severa Rossii* [Hydrological role of forest management and forest industry activities in the taiga zone of Russian European North]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2010. 225 p.
6. Karpechko Yu. V., Myasnikova N. A. Calculation of Forest Phytomass [Raschet fitomassy drevostoya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2012. № 4 (125). P. 77–81.
7. Krestovskiy O. I. *Vliyanie vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek* [Effect of Forest Cutting and Regeneration on the Water Content of Rivers]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 118 p.
8. *Lesotaksatsionnyy spravochnik* [Directory of Forest Inventory]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 288 p.
9. Sazonova T. A., Pridacha V. B., Kolosova S. V. On the Content of Mineral Elements in Xylem Sap [O soderzhanii elementov mineral'nogo pitaniya v ksilemnom soke]. *Rastitel'nye resursy*. 2009. № 1. Vol. 45. P. 113–171.
10. Usol'tsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii*: *metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [Biological Productivity of Forests of Northern Eurasia: Methods, Database and its Applications]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 635 p.
11. Usol'tsev V. A. *Formirovanie bankov dannykh o fitomasse lesov* [Formation of Databases on the Phytomass of Forest]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 1998. 541 p.
12. Fedorets N. G., Bakhmet O. N. *Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedineniy ugleroda i azota v lesnykh pochvakh* [Ecological Features of Transformation of Carbon and Nitrogen Connections in Forest Soils]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2003. 240 p.

Поступила в редакцию 11.12.2013