

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ ПО СЕЧЕНИЮ СТВОЛА ДЕРЕВА В ЕЛЬНИКАХ ЧЕРНИЧНЫХ

П.А. Феклистов¹, А.В. Грязькин², И.Н. Болотов¹, О.Н. Тюкавина³

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики УрО РАН им. Н.П. Лаверова, 163000, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 23

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

³ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

o.tukavina@narfu.ru

Рассмотрено изменение влажности древесины по сечению стволов ели, проанализировано влияние возраста деревьев и диаметра ствола на влажность древесины. Исследования проведены в Архангельском лесничестве, в ельниках черничных разных классов возраста (с IV по VIII). Заложено 10 пробных площадей в чистых древостоях или с небольшой примесью березы и сосны. Для изучения влажности древесины стволов ели на каждой пробной площади отобрали 15 учетных деревьев (всего 150). Влажность древесины определяли на кернях, последовательно разделенных на 5-ти миллиметровые отрезки. Образцы древесины взвешивали на торсионных весах ВТ-500 и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С до абсолютно сухого состояния. Рассчитывали относительную влажность древесины. В результате проведенных исследований установлена влажность заболонной (от 44,8 до 45,9 %) и ядровой древесины ели (от 32,2 до 36,1%). Выявлены две модели изменения количества воды на разном расстоянии от камбия. Для большинства деревьев (78–98 %) характерна четко выраженная водопроводящая зона, влажность древесины которой максимальна на расстоянии до 25 мм от камбия, после чего она резко снижается. Водопроводящая зона представлена примерно 40...50 наружными годичными кольцами. Вторая модель характеризуется плавным снижением влажности древесины по радиусу от периферии к центру ствола. Такая модель изменения влажности древесины в поперечном сечении ствола встречается редко в основном у молодых деревьев. С увеличением диаметра ствола влажность заболонной древесины уменьшается. Значимого различия во влажности водопроводящей зоны стволов елей разного класса возраста не выявлено. Влажность заболонной древесины уменьшается от шейки корня до 1,5 м по высоте ствола изменяясь от 52 ... 53 % до 49,0 ... 49,5 %.

Ключевые слова: влажность древесины, ель обыкновенная, ядровая древесины, заболонная древесина, класс возраста, диаметр

Ссылка для цитирования: Феклистов П.А., Грязькин А.В., Болотов И.Н., Тюкавина О.Н. Распределение влаги по сечению ствола дерева в ельниках черничных // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 2. С. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-35-40

Вода имеет первостепенное значение в жизнедеятельности дерева, ценность ее чрезвычайно многогранна. Для нормального функционирования живая ткань дерева должна быть достаточно снабжена водой [1–4], которая необходима для фотосинтеза, растворяет многочисленные вещества, образующиеся в растении, перемещает минеральные элементы по ксилеме ствола, поддерживает определенное тургорное давление в живых клетках и таким образом сохраняет их форму, в замыкающих клетках устьиц определяет их состояние (закрыты или открыты) и соответственно, осуществляет газообмен и, наконец, транспирация, т. е. испарение воды наземными частями растений, и особенно через устьица, приводит в действие механизмы поглощения веществ и передвижения воды по растению. Несмотря на важность водного режима для жизнедеятельности и продуктивности деревьев, он изучен недостаточно, хотя издавна привлекал внимание исследователей на родине лесоводства — в Германии [5].

Вода, находящаяся в ксилеме, имеет важное значение, поскольку от ее содержания зависит водообеспечение ассимиляционного аппарата, а он, в свою очередь, обеспечивает фотосинтез и формирование органических веществ, т. е. продуктивность как отдельных деревьев, так и древостоев в целом. Кроме того, эта вода обеспечивает транспирацию, от ее количества зависит степень открытия устьиц в хвое [6]. Наличие и изменение содержания воды в ксилеме может быть показателем водного баланса, т. е. ее приходом и расходом. [7].

Расход определяется транспирацией. Если он выше, чем приход, количество влаги в ксилеме ствола уменьшается, и наоборот [7]. Вода, находящаяся в ксилеме ствола, может перемещаться в молодые побеги, что позволяет деревьям переносить засушливый период за счет внутренних запасов воды в стволе в течение всего месяца [1]. Следовательно, содержание воды в древесине, выражающееся в виде ее влажности, и в зависимости от протяженности в поперечном сечении

заболони, позволяет оценивать физиологическую активность дерева, а также его способность переносить экстремальные условия. Некоторые авторы указывали на зависимость содержания влаги в стволах деревьев от их состояния и устойчивости к неблагоприятным факторам [2, 4, 8–10], на изменение содержания воды в стволах в зависимости от высоты деревьев, удаленности от камбия, времени суток, сезона года [8, 11–16].

Особенно следует отметить, что мало изучены региональные особенности водного режима ели. Имеются сведения о влажности ядра и заболони для ельников черничных [17], однако показатели влажности приведены относительно сухой массы, что затрудняет восприятие и оценку.

Влажность древесины и хвои нас интересовала с точки зрения функционирования деревьев для объяснения ростовых процессов. Известно, что вода движется по стволу по внешним периферийным годичным кольцам или по заболонной древесине. Однако размеры водопрводящей поверхности или зоны площади сечения деревьев практически неизвестны. Приводятся только отдельные общие сведения [7] по редко встречающимся в нашей стране породам [18]. На проведение воды наружными годичными кольцами указывал Б.С. Чудинов [19].

Принцип сбалансированности системы водного транспорта, сформулированный в виде пайп-модели [20, 21], а также заключение о том, что вода проводится столькими годичными кольцами ксилемы, сколько имеется живых мутовок [22], представляется чрезмерно упрощенным для физиологического объяснения проведения воды. Последнее никак не согласуется с известным положением о связи очищения ствола от сучьев с низкой освещенностью, т. е. является результатом существования ветвей в условиях освещенности ниже компенсационного пункта [1]. Вопросы о содержании воды, ее проведении по сечению ствола изучены недостаточно, особенно с позиций географии [18] и применительно к отечественным древесным породам.

В исследованиях за рабочую гипотезу был принят тот факт, что часть сечения ствола, которая имеет наибольшую влажность, является водопрводящей зоной в первую очередь.

Цель работы

Цель работы — изучение влажности древесины по сечению ствола в ельниках черничных и влияния на показатели влажности возраста деревьев и диаметра стволов.

Материалы и методы

Для изучения были подобраны ельники черничные разного возраста в Архангельском лесни-

честве (Приморский район Архангельской обл., северная подзона тайги). На 10 пробных площадях, заложенных в чистых древостоях или с небольшой примесью березы и сосны, были взяты 15 учетных деревьев на каждой пробной площади (всего 150) для изучения влажности древесины. Для этого возрастным буровом отбирались образцы древесины — керны, которые подразделялись на фрагменты через каждые 5 мм, впоследствии они взвешивались на торсионных весах ВТ-500, высушивались в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 105 °С и снова взвешивались. По этим данным рассчитывалась влажность древесины в процентах относительно сырого веса.

Результаты и обсуждение

Оценка результатов проводилась с помощью методов математической статистики [23–24].

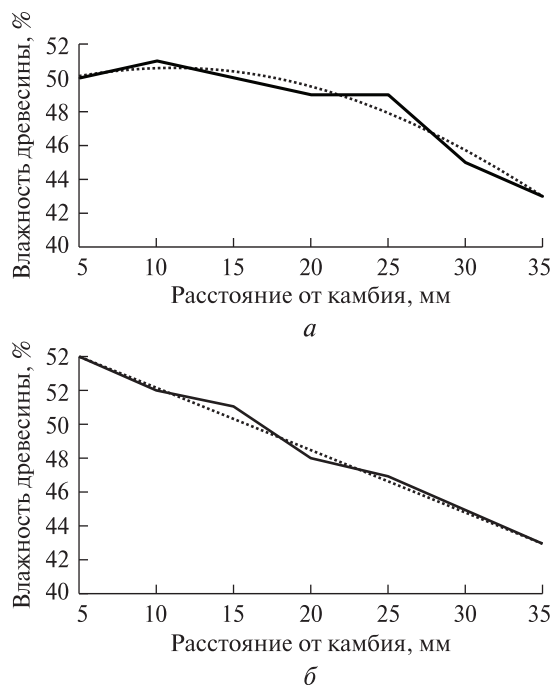


Рис. 1. Модели изменения количества воды на разном расстоянии от камбия: а — модель с выраженной водопрводящей зоной; б — модель с плавным снижением влажности по радиусу ствола

Fig. 1. Models of changes in the amount of water at different distances from the cambium: a — a model with a clear water-conducting zone; б — model with a smooth decrease in moisture along the radius of the trunk

Детальное изучение распределения влажности по сечению ствола у 150 деревьев ели свидетельствует о том, что характер этого распределения очень сходен, но можно выделить две модели (рис. 1). Их объединяет неизменное уменьшение влажности древесины от периферии (наружных годичных колец) к центру ствола. Но в первой модели вблизи камбия

Т а б л и ц а 1

Содержание влаги в заболонной части ксилемы
ствола деревьев разных классов возраста, %Moisture content in the sapwood part of the xylem
of tree trunks of different age classes, %

Расчетный показатель	Возрастная группа дерева (класс возраста)				
	IV	V	VI	VII	VIII
Среднее значение	44,8	45,2	45,8	45,9	45,9
Ошибка среднего значения	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Среднеквадратичное отклонение	2,5	1,9	1,6	2,7	2,5
Коэффициент изменчивости	5,8	4,1	3,6	5,9	5,4
Достоверность	224	226	458	229	229

Т а б л и ц а 2

Содержание влаги в ядровой части ксилемы
ствола деревьев разных классов возраста, %Moisture content in the core part of the xylem of tree
trunks of different age classes, %

Расчетный показатель	Возрастная группа дерева (класс возраста)				
	IV	V	VI	VII	VIII
Среднее значение	36,1	35,6	34,7	32,2	32,2
Ошибка среднего значения	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Среднеквадратичное отклонение	4,1	4,2	3,5	2,8	5,5
Коэффициент изменчивости	11,3	11,8	10,2	8,9	10,7
Достоверность	180	178	347	322	161

Т а б л и ц а 3

Дисперсионный анализ влияния фактора диаметра ствола на влажность древесины

Dispersion analysis of the influence of the trunk diameter factor on wood moisture

Источник вариации	Дисперсия	Число степеней свободы	Сила влияния и ее ошибка	Критерий Фишера расчетный	Критерий Фишера критический при уровне значимости 0,05
Между групп	672,50	6	0,97 ± 0,018	64,32	3,22
Внутри групп	17,42	10			
Итого:	689,92	16			

влажность древесины составляет 50...51 %, несколько снижаясь до 49 % на расстоянии от камбия 25 мм, а затем наблюдается ее отчетливое уменьшение. Следовательно, можно предположить, что водопроводящая функция ксилемы наиболее выражена до расстояния 25 мм от камбия. Это примерно 40...50 наружных годовичных колец. Воду проводят, прежде всего, трахеиды, располагающиеся в узком внешнем кольце, внешний диаметр которого соответствует диаметру ствола без коры, а внутренний — на 25 мм меньше него. Трахеиды, расположенные ближе к центру постепенно утрачивают функцию проведения воды. Такой характер присущ для деревьев ели разного возраста: для древостоев VII класса возраста наблюдается у 97 % деревьев, для VI — у 98, для V — у 92, для IV — у 78 %. Подобные результаты были получены для сосны — у большинства деревьев наибольшая влажность наблюдалась в 20-миллиметровой зоне, прилегающей к камбию [25]. Иной характер распределения влаги наблюдался во второй модели — постоянное снижение ее содержания в древесине от камбия к сердцевине. Эта модель характерна для древостоев IV класса возраста, а также и у отдельных деревьев в других возрастных группах.

Влажность древесины постепенно уменьшается по мере удаления от камбия, т. е. нет четко

выраженной водопроводящей зоны. При этом возрастает значение периферийных годовичных колец.

Влажность для учетных деревьев разного класса возраста представлена в табл. 1. В среднем влажность заболони IV класса возраста составляет 44,8 %, VI — 45,8, VII — 45,9, VIII — 45,9 %. Все показатели достоверны, критерий Стьюдента во много раз превышает критическое значение для уровня значимости 0,05. Наблюдается некоторый тренд изменения влажности по классам возраста, но различия между средними значениями по классам возраста по критерию Стьюдента недостоверны.

Влажность внутренней (ядровой) части деревьев составляет от 32 до 36 % в зависимости от возраста деревьев (табл. 2). Имеется четко выраженный тренд: чем выше класс возраста, тем меньше влажность. Однако следует отметить, что различия во влажности недостоверны между деревьями IV и V классов возраста, так же, как и между деревьями VII и VIII классов возраста. В то же время различия достоверны при сравнении V и VI; VI и VII классов возраста.

Проведение воды осуществляется по годовичным кольцам (по ксилеме). При этом, вероятнее всего, важен не возраст, а диаметр ствола дерева, хотя понятно, что он прямо связан с возрастом. Однако от диаметра ствола дерева зависит еще и площадь годовичного кольца (колец), по которому



Рис. 2. Изменение влажности древесины при удалении от шейки корня

Fig. 2. Change in moisture content of wood with distance from the root collar

проходит ток воды. Проверка показала, что влажность древесины изменяется в зависимости от диаметра ствола дерева. Установлено, что влажность заболонной части уменьшается с увеличением этого диаметра, что подтверждает дисперсионный анализ (табл. 3). Как он показал, фактор диаметра (ступень толщины) определяет влажность древесины. Критерий Фишера составляет 64,32, что больше табличного значения (3,2 для уровня значимости 0,05).

Влажность с 12-й по 24-ю ступень толщины уменьшается примерно на 17 %.

Влажность ксилемы изменяется с высотой взятия образца. Самая влажная древесина у шейки корня, затем она уменьшается и стабилизируется на высоте от земной поверхности 1,5...3 м (рис. 2), изменяясь от 52...53 % до 49,0...49,5 %. К сожалению, на высоте более 3 м от земной поверхности были затруднения с отбором образцов, поэтому данных нет.

Выводы

У абсолютного большинства деревьев (78–98 %) влажность древесины наибольшая у периферийной части ксилемы, примерно на расстоянии 25 мм от камбия, после чего ее значение резко снижается. Это соответствует 40...50 наружным годичным кольцам. Влажность этой части древесины находится в пределах от 49 до 50 %, что фактически свидетельствует о ней как о водопроницающей поверхности.

У части более молодых деревьев (2...22 %) влажность древесины снижается от периферии к центру ствола фактически по прямой — от 54 % и ниже — и водопроницающая поверхность не выражена.

В среднем влажность заболонной части древесины изменяется от 44,8 до 45,9 %, а ядровой — от 32,2 до 36,1 %.

Влажность заболонной части уменьшается с увеличением диаметра ствола дерева.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (проект № 0409-2019-0039; № ГР ААА-А-118-118011690221-0).

Список литературы

- [1] Веретенников А.В. Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: Изд-во ВГЛА, 1987. 255 с.
- [2] Сенькина С.Н. Водный режим сосны и ели в фитоценозах Севера. Екатеринбург: Редакционно-издательский отдел УрО РАН, 2013. 104 с.
- [3] Шатерникова А.Н., Терехов Ф.И. Передвижение воды в стволах подсоченных сосен // Исследование по лесному хозяйству. М.;Л.: Гослесбуиздат, 1952. С. 26–51.
- [4] Чжан С.А., Пузанов О.А. Особенности распределения влаги в стволах деревьев, в зонах длительного технического воздействия // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5, № 4 (20). С. 16–25.
- [5] Бюсен М. Строение и жизнь наших лесных деревьев. М.;Л.: Гослесбуиздат, 1961. 424 с.
- [6] Иванов Л.А. Свет и влага в жизни наших древесных пород. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 60 с.
- [7] Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1974. 421 с.
- [8] Карасев В.Н., Карасева М.А. Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период // Лесной журнал, 2011. № 1. С. 37–42.
- [9] Тюкавина О.Н., Чуркина Ю.В. Влажность древесины тополя бальзамического // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета, 2015. № 6. С. 89–94.
- [10] Платонов А.Д., Курьянова Т.К., Макаров А.В. Распределение влаги по стволу дерева пораженного огнем // Лесотехнический журнал, 2011. № 3 (3). С. 27–31.
- [11] Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды и пути их решения. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 96 с.
- [12] Вакин А.Т. К методике определения влажности непросушенной древесины // Лесной журнал, 1959. № 1. С. 126–131.
- [13] Феклистов П.А., Тюкавина О.Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках. Архангельск: Издательский дом САФУ, 2014. 179 с.
- [14] Brough D.W., Jones H.G., Grace J. Diurnal changes water content of the stems of apple trees, as influenced by irrigation // Plant Cell Environ, 1986, no. 9, pp. 1–7.
- [15] Schulze E.D., Beck E., Muller-Hohenstein K. Plant ecology. Springer: Berlin-Heidelberg, 2005, 440 p.
- [16] Senelwa K., Sims R.E.H. Fuel Characteristics of Shot Rotation Forest Biomass // Biomass and Bioenergy, 1999, v. 17 (2), pp. 127–140.
- [17] Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Худяков В.В., Третьяков С.В., Мерзленко М.Д., Гельфанд Е.Д. Влажность древесины деревьев ели в черничном типе леса // ИВУЗ Лесной журнал. 2012, № 2. С. 53–57.
- [18] Крамер П.Д., Козловский Е.Е. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. 462 с.
- [19] Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 270 с.
- [20] Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T. A quantitative analysis of plant form — the pipe model theory // Japanese J. of Ecology, 1964, v. 14, no. 3, 1. Basic analysis, pp. 97–105.
- [21] Усольцев В.А. Применение инвариантных взаимосвязей при оценке массы крон деревьев. Екатеринбург: Изд-во Уральского лесотехнического института, 1993. Ч. 1. 37 с.
- [22] Кайбияйнен Л.К., Хари П., Сазонова Т.А., Мякеля А. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвон // Лесоведение, 1986. № 1. С. 31–37.

- [23] Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2016. 123 с.
- [24] Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесохозяйственной информации. М.: Лесная пром-сть, 1978. 270 с.
- [25] Тюкавина О.Н., Феклистов П.А. Формирование водопроводящей зоны ствола при адаптации деревьев сосны к водному режиму почв // Проблемы лесоведения и лесоводства: Материалы III Мелеховских чтений посвященных 100-летию со дня рождения И.С.Мелехова, Архангельск, 15–16 сентября 2005. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. С. 67–70.

Сведения об авторах

Феклистов Павел Александрович — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаборатории экологии популяций и сообществ Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики УрО РАН им. Н.П. Лаверова, pfeklistov@yandex.ru

Грязькин Анатолий Васильевич — д-р биол. наук, профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, lesovod@bk.ru

Болотов Иван Николаевич — д-р биол. наук, член-кор. РАН, директор Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики УрО РАН им. Н.П. Лаверова, inepras@yandex.ru

Тюкавина Ольга Николаевна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, o.tukavina@narfu.ru

Поступила в редакцию 24.12.2020.

Принята к публикации 27.01.2021.

MOISTURE DISTRIBUTION OVER TREE TRUNK CROSS-SECTION IN BILBERRY SPRUCE FORESTS

P.A. Feklistov¹, A.V. Gryazkin², I.N. Bolotov¹, O.N. Tyukavina³

¹N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

²S.M. Kirov Saint-Petersburg State Forestry University, 5, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg, Russia

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article considers the change in the moisture content in the wood along the cross-section of spruce trunks, it also analyzes the influence of the trees age and the diameter of the trunk on the wood moisture content. The research was carried out in the Arkhangelsk Forestry in the bilberry spruce forests of different age classes (from IV to VIII). 10 trial plots were laid in clear stands or with a small mixture of birch and pine. To study the moisture content of spruce trunks, 15 sample trees (150 in total) were selected for each trial plot. The wood moisture content was determined on cores sequentially divided into 5-millimeter segments. Wood samples were weighed on a VT-500 torsion balance and dried in a drying cabinet at a temperature of 105 °C to a completely dry state. The relative moisture of wood was calculated. As a result of the conducted studies, the moisture of sapwood (from 44,8 to 45,9 %) and heartwood (from 32,2 to 36,1 %) was established. Two models of changes in the amount of water at different distances from the cambium were identified. The majority of trees (78–98 %) are characterized by a well-defined water supply zone, the moisture content of which is maximum at a distance of up to 25 mm from the cambium, after which it decreases sharply. The water supply zone is represented by approximately 40...50 outer annual rings. The second model is characterized by a gradual decrease in wood moisture along the radius from the periphery to the center of the trunk. Such a model of changes in the moisture content of wood in the cross-section of the trunk is rare, mainly in young trees. As the trunk diameter increases, the moisture content of sapwood decreases. There was no significant difference in the sapwood moisture of spruce trunks of different age classes. The sapwood moisture decreases from the root neck to 1.5 m in height of the trunk, varying from 52...53 % to 49,0...49,5 %.

Keywords: wood moisture content, Norway spruce, heartwood, sapwood, tree age class, diameter

Suggested citation: Feklistov P.A., Gryazkin A.V., Bolotov I.N., Tyukavina O.N. *Raspredelenie vlagi po secheniyu stvola dereva v el'nikakh chernichnykh* [Moisture distribution over tree trunk cross-section in bilberry spruce forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 35–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-35-40

References

- [1] Veretennikov A.V. *Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii* [Plant physiology with basic biochemistry]. Voronezh: Voronezh State Forestry Academy Publishing House, 1987, 255p.
- [2] Sen'kina S.N. *Vodnyy rezhim sosny i eli v fitotsenozakh Severa* [Water regime of pine and spruce in phytocenoses of the North]. Yekaterinburg: Editorial and Publishing Department UrD RAN, 2013, 104 p.

- [3] Shaternikova A.N., Terekhov F.I. *Peredvizhenie vody v stvolakh podsochennykh sosen* [The movement of water in trunks of pine trees podmazannykh]. Issledovanie po lesnomu khozyaystvu [Forestry research]. Moscow; Leningrad: State forest paper publishing house, 1952, pp. 26–51.
- [4] Chzhan S.A., Puzanov O.A. *Osobennosti raspredeleniya vlagi v stvolakh derev'ev, v zonakh dlitel'nogo tekhnicheskogo vozdeystviya* [Features of moisture distribution in tree trunks, in areas of long-term technical impact]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest engineering journal], 2015, v. 5, no. 4 (20), pp. 16–25.
- [5] Byusgen M. *Stroenie i zhizn' nashikh lesnykh derev'ev* [Structure and life of our forest trees]. Moscow; Leningrad: State forest paper publishing house, 1961, 424 p.
- [6] Ivanov L.A. *Svet i vlaga v zhizni nashikh drevesnykh porod* [Light and moisture in the life of our tree species]. Moscow; Leningrad: Publishing house AN SSSR, 1946, 60 p.
- [7] Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G.-I. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1974, 421 p.
- [8] Karasev V.N., Karaseva M.A. *Osobennosti vodnogo rezhima derev'ev eli evropeyskoy v rannevesenniy period* [Features of the water regime of European spruce trees in the early spring period]. Lesnoy zhurnal [Forest journal], 2011, no. 1, pp. 37–42.
- [9] Tyukavina O.N., Churkina Yu.V. *Vlazhnost' drevesiny topolya bal'zamicheskogo* [Humidity of balsamic poplar wood]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific notes of Petrozavodsk state University], 2015, no. 6, pp. 89–94.
- [10] Platonov A.D., Kur'yanova T.K., Makarov A.V. *Raspredelenie vlagi po stvolu dereva porazhennogo ognem* [Distribution of moisture on the trunk of a tree affected by fire]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest engineering journal], 2011, no. 3 (3), pp. 27–31.
- [11] Izrael' Yu.A. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoy sredy i puti ih resheniya* [Ecology and control of the state of the natural environment and ways to solve them]. Leningrad: Hydrometeorological publishing house, 1983, 96 p.
- [12] Vakin A.T. *K metodike opredeleniya vlazhnosti neprosushennoy drevesiny* [To the method of determining the moisture content of untreated wood]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 1959, no. 1. pp. 126–131.
- [13] Feklistov P.A., Tyukavina O.N. *Osobennosti assimilyatsionnogo apparata, vodnogo rezhima i rosta derev'ev sosny v osushennykh sosnyakakh* [Features of the assimilation apparatus, water regime and growth of pine trees in drained pine forests]. Arkhangel'sk: Publishing house SAFU, 2014, 179 p.
- [14] Brough D.W., Jones H.G., Grace J. Diurnal changes water content of the stems of apple trees, as influenced by irrigation. *Plant Cell Environ*, 1986, no. 9, pp. 1–7.
- [15] Schulze E.D., Beck E., Muller-Hohenstein K. *Plant ecology*. Springer: Berlin-Heidelberg, 2005, 440 p.
- [16] Senelwa K., Sims R.E.H. Fuel Characteristics of Shot Rotation Forest Biomass. *Biomass and Bioenergy*, 1999, v. 17 (2), pp. 127–140.
- [17] Ovsyannikova N.V., Feklistov, P.A. Khudyakov V.V., Tret'yakov, S.V. Merzlenko M.D., Gel'fand E.D. *Vlazhnost' drevesiny derev'ev eli v chernichnom tipe lesa* [Wood moisture of spruce trees in the blueberry forest type]. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2012, no. 2, pp. 53–57.
- [18] Kramer P. D., Kozlovskiy E.E. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1983, 462 p.
- [19] Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [The water in the wood]. Novosibirsk: Nauka [The science. Siberian Department], 1984, 270 p.
- [20] Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K., Kira T. A quantitative analysis of plant form — the pipe model theory. *Japanese J. of Ecology*, 1964, v. 14, no. 3, 1. Basic analysis, pp. 97–105.
- [21] Usol'tsev V.A. *Primenenie invariantnykh vzaimosvyazey pri otsenke massy kron derev'ev* [Application of invariant relationships in estimating the crown mass of trees]. P. 1. Yekaterinburg: Publishing house of the Ural forestry engineering Institute, 1993, 37 p.
- [22] Kaybiyaynen L.K., Khari P., Sazonova T.A., Myakelya A. *Sbalansirovannost' sistemy vodnogo transporta u sosny obyknovnoy. III. Ploshchad' provodyashchey ksilemy i massa khvoi* [Balance of the water transport system in Scots pine. III. Area of conducting xylem and weight of needles], Lesovedenie [Forest science], 1986, no. 1. pp. 31–37.
- [23] Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennykh issledovaniy* [Statistical processing of forest research materials]. Saint Petersburg: Publishing house of the Polytechnic University, 2016, 123 p.
- [24] Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Metody i tekhnika obrabotki lesokhozyaystvennoy informatsii* [Methods and techniques for processing forestry information]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1978, 270 p.
- [25] Tyukavina O.N., Feklistov P.A. *Formirovanie vodoprovodyashchey zony stvola pri adaptatsii derev'ev sosny k vodnomu rezhimu pochv* [Formation of the trunk water supply zone when pine trees adapt to the water regime of soils]. Problemy lesovedeniya i lesovodstva: Materialy III Melekhovskikh chteniy posvyashchennykh 100-letiyu so dnya rozhdeniya I.S. Melekhova [Problems of forest science and forestry: Materials of III Melekhov readings dedicated to the 100th anniversary of the birth of I. S. Melekhov]. Arkhangel'sk, September 15–16, 2005. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk State Technical University Publishing House, 2005, pp. 67–70.

Authors' information

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Principal Investigator of the Lab for Ecology of Populations and Communities, p.feklistov@narfu.ru

Gryaz'kin Anatoliy Vasil'evich — Dr. Sci. (Biology), Professor of the S.M. Kirov Saint-Petersburg State Forestry University, lesovod@bk.ru

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

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

Received 24.12.2020.

Accepted for publication 27.01.2021.