

УДК633.877.1

ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ КЕРНОВ ИЗ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ ПО КАТЕГОРИЯМ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ

А.А. КОЛЕСНИКОВА, доц. Поволжского ГТУ, канд. техн. наук ⁽¹⁾,
Т.Ф. ХАЙБРАХМАНОВА, Поволжский ГТУ⁽¹⁾

kolesnikovaaa@volgatech.net, tanzilya-0311@yandex.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
424029, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

Техногенное загрязнение природной среды может привести к весьма существенным экологическим последствиям. По учетным деревьям, произрастающим на определенной территории, возможен анализ ее экологического состояния. В результате исследований ученых было выявлено, что среди произрастающих деревьев наиболее чувствительна воздействию внешней неблагоприятной среды пихта. Степень экологической устойчивости, механизмы адаптации деревьев к неблагоприятным факторам внешней среды можно охарактеризовать при изучении их водного режима. Влажность древесины зависит от впитывающей способности растущих деревьев. Исследовались шесть деревьев в возрасте 60–69 лет с разными категориями санитарного состояния, произрастающие вдоль канавы, по которой весной стекают талые воды. Поздней осенью были извлечены образцы-керы на уровне 1,3 м с северной и южной сторон ствола. Влажность древесины определялась в процессе высвобождения влаги до комнатно-сухого состояния. Анализируется влияние категории санитарного состояния на влажность древесины в растущем и в комнатно-сухом состоянии. Наблюдается тесная связь категории состояния с изменением влажности древесины с северной стороны ствола (со стороны загрязняющей канавы). С ухудшением категории санитарного состояния деревьев наблюдается тенденция уменьшения влажности древесины в растущем состоянии, что свидетельствует о различной впитывающей способности. По графикам изменения влажности в процессе сушки резкое снижение влажности древесины происходит в первые двое суток, что свидетельствует о беспрепятственном удалении свободной влаги. Удаление связанной воды из здорового дерева более продолжительное и затруднительное, чем из нездорового дерева. Полученные закономерности изменения влажности древесины в процессе сушки для деревьев разных категорий санитарного состояния позволяют прогнозировать технологические режимы сушки в процессе деревопереработки, а также целенаправленно – по качеству – использовать по назначению.

Ключевые слова: древесина, пихта сибирская, влажность древесины в растущем состоянии, влажность древесины в комнатно-сухом состоянии, категория санитарного состояния.

При стремительном развитии промышленной индустрии техногенное загрязнение природной среды может привести к весьма существенным экологическим последствиям [1].

Наибольшему влиянию загрязняющих выбросов подвержены живые организмы. По учетным деревьям, произрастающим на определенной территории, возможен анализ ее экологического состояния. По внешним признакам: усыханию по стволу и кроне, ослабленности – деревья можно разделить на категории санитарного состояния [2, 3], которые меняются от здорового к нездоровому.

Среди деревьев наиболее чувствительна к воздействию внешней неблагоприятной среды пихта сибирская [4–6]. Реагируя на атмосферные выбросы, экологические и другие факторы, хвоя пихты желтеет.

Степень экологической устойчивости, механизмы адаптации деревьев к неблагоприятным факторам внешней среды можно оха-

актеризовать изучением их водного режима [7, 8]. Водный режим дерева меняется как в течение вегетационного периода, так и в самом стволе. При исследовании влажности восьми растущих деревьев ели в течение вегетационного периода двух лет наименьшие значения наблюдаются в сентябре – ноябре (26–32 %) [9]. Распределение влажности в стволах деревьев ели по среднегодовым данным для заболони равно 122 %, а для ядра – 38 % [10].

Т а б л и ц а 1

Количество деревьев пихты по категориям санитарного состояния
The number of fir trees by the sanitary state categories

Категории	Количество, шт.
1	26
2	17
3	13
4	9
5	23
6	72

Лесотаксационная характеристика выдела
Stratum forest taxational characteristics

№ выдела	Площадь, га	Состав. Подрост, подлесок, покров, почва, рельеф, особенности выдела. Отметка о порослевом происх. Наим. катег. незалес. земель. Характеристика лесных культур. Кадастровая оценка	Ярус	Высота яруса	Возраст	Бонитет	Тип леса ТЛУ
19	1,5	6СЗЕП+Б; подлесок – БРК Р средний; тип ландшафта – закрыт. гориз. сом; класс эстетич. оценки – 1; санитар.-гиг. оценка – высокая; класс устойчивости – 2; деградация лесной среды – 1	1	25	70	1	СЛК В2

Характеристика деревьев
Trees characteristics

№ дерева	Возраст, лет	Высота дерева, м	Диаметр в комле, см	Диаметр на уровне 1,3 м, см
9	66	23,6	50	37
6	20	6,5	7,5	7
4	62	20,2	42	30
3	60	20,2	29	23
5	58	12,6	17	14,5
7	60	23,1	32	30

Влажность древесины растущих деревьев зависит от их впитывающей способности, которая может зависеть от состояния самого дерева или от категории санитарного состояния. В одинаковых условиях роста у различных деревьев она может быть разной. Кроме того, процесс усыхания древесины для здорового и нездорового дерева может протекать также по-разному.

Цель статьи – исследование изменения влажности древесины растущих деревьев разных категорий санитарного состояния в процессе кондиционирования.

На территории 19 выдела 68 квартала Кортинского лесничества, (табл. 2) [11] был проведен подсчет деревьев пихты по категориям санитарного состояния.

Для исследования были отобраны по визуальным признакам шесть деревьев 60–69 лет с разными категориями санитарного состояния. Учетные деревья произрастают вдоль канавы, по которой весной стекают талые воды. Недалеко от истока канавы расположены очистные сооружения канализации.

Поздней осенью, когда влажность древесины у деревьев в здоровом состоянии отличается незначительно, из деревьев с северной (со стороны канавы) и южной сторон на уровне 1,3 м были извлечены керны. Раны от извлечения кернов замазывались садовым варом. Извлеченные из дерева керны укладывались в пробирки, закупоривались и доставлялись в лабораторию. Общее число кернов 12 шт. Характеристика деревьев представлена в табл. 3.

У кернов измерялась масса через каждые сутки в процессе высвобождения влаги до приобретения постоянного значения при комнатных условиях среды (температура $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и влажность $W = 65 \pm 5\%$). Продолжительность естественного высыхания измерялась сутками, поэтому первый замер проводился через 1,1 сут. после момента извлечения керна из дерева. Масса образцов измерялась на электронных весах с точностью 0,0005 г. По разности масс по прямому методу [12] определялась влажность древесины, %, в растущем состоянии W_n , в комнатно-сухом состоянии, W_k , табл. 4.

**Влажность древесины в растущем и комнатно-сухом состоянии
по категориям санитарного состояния**

Wood moisture in the growing trees and dry wood conditions according to the sanitary state categories of the trees

№ дерева	Категория санитарного состояния, n	Расстояние от дерева до канавы, L , м	Влажность древесины в растущем состоянии, W_n , %		Влажность древесины в комнатно-сухом состоянии, W_k , %	
			Северная сторона ствола	Южная сторона ствола	Северная сторона ствола	Южная сторона ствола
9	1	43,7	79,9	66,7	6,1	7,9
6	2	2,5	73,5	96,3	5,5	5,5
4	3	15,5	81,0	68,2	8,9	9,7
3	4	15,5	68,2	87,5	5,7	7,7
5	5	13,5	41,8	46,3	6,0	7,0
7	6	25	32,6	50,0	6,7	6,8

Т а б л и ц а 5

**Параметры формулы изменения влажности в растущем состоянии
образцов от категории санитарного состояния**

Formula parameters of the growing samples moisture changes according to the sanitary state categories

Параметры формулы	Показатели	
	Северная сторона ствола	Южная сторона ствола
A	100,65585	84,44922
B	-0,14200	-0,07885
S	12,095	23,239
R	0,85	0,43

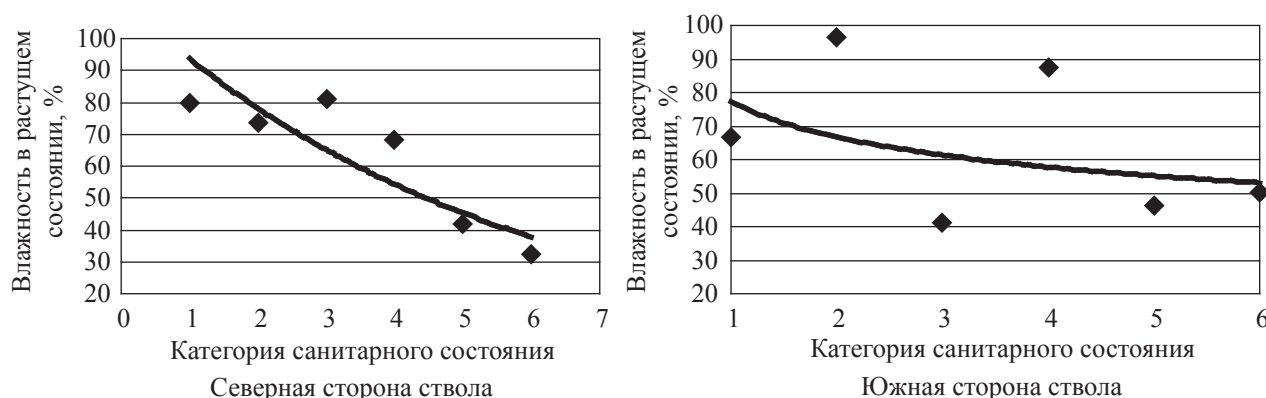


Рис. 1. График зависимости влажности в растущем состоянии от категории санитарного состояния
Fig. 1. Schedule of the moisture dependence of growing trees on their sanitary state categories

Показатели свойств, полученные в процессе эксперимента, обрабатывались в программной среде CurveExpert и получены зависимости показателей от времени сушки.

Общая формула изменения влажности $W_n(n)$ в растущем состоянии для разных деревьев в зависимости от изменения категории санитарного состояния для обеих сторон ствола имеет вид

$$W_n = a \exp(bn), \quad (1)$$

где a , b – параметры формулы (табл. 5),
 n – категория санитарного состояния (табл. 2),
 S – сумма квадратов отклонений,
 r – коэффициент корреляции.

График зависимости формулы (1) приводится на рис. 1.

С южной стороны ствола разброс показателей больше, чем с северной стороны. Низкий коэффициент корреляции ($r = 0,43$) свиде-

Параметры формулы изменения влажности в процессе сушки образцов деревьев № 5-с и № 6-с

Moisture changing formula parameters of wood samples, trees № 5-c and № 6-c, during the drying process

Параметры формулы	Показатели	
	Дерево № 6-с	Дерево № 5-с
<i>A</i>	82,486111	36,047714
<i>B</i>	-18,20266	-3,850193
<i>C</i>	-1,3772839	-0,32424529
<i>D</i>	7,3283627	6,0870767
<i>S</i>	2,199	0,739
<i>R</i>	0,99	0,99

Изменение влажности от времени сушки

Moisture changing depending on the drying time

Время сушки τ, сутки	Влажность образца-керна дерева № 6-с, %			Влажность образца-керна дерева № 5-с, %		
	<i>W'</i>	<i>W</i>	Δ, %	<i>W'</i>	<i>W</i>	Δ, %
1,1	73,53	73,53	0,00	41,79	41,77	0,05
2,16	7,05	7,33	-3,91	9,19	9,83	-6,97
3,13	9,86	7,33	25,69	8,29	7,32	11,77
4,12	9,83	7,33	25,48	7,80	6,68	14,40
5,16	9,72	7,33	24,61	6,20	6,43	-3,79
6,05	6,27	7,33	-16,86	6,30	6,34	-0,66
8,09	5,99	7,33	-22,36	6,22	6,25	-0,34
8,99	5,89	7,33	-24,42	5,55	6,23	-12,27
9,9	5,82	7,33	-25,92	5,94	6,22	-4,71
15,05	5,52	7,33	-32,85	6,00	6,23	-3,71

тельствует о том, что с южной стороны ствола влияние категории состояния на изменение влажности незначительное. Более тесная связь ($r = 0,85$) для этих деревьев с северной стороны ствола (со стороны канавы). С ухудшением категории санитарного состояния наблюдается тенденция уменьшения влажности древесины в растущем состоянии.

Влажность древесины пихты в растущем состоянии определяет впитывающую способность древесины, ее водный режим в процессе роста. Впитывающая способность здоровых деревьев регулируется самим деревом, клетками проводящих тканей заболони, сердцевинных лучей, порами в клеточных стенках, поэтому в них поддерживается водный баланс, необходимый для их жизнедеятельности. При нарушении проводящих функций в худших категориях санитарного состояния происходит водный дисбаланс в стволе, чем можно объяснить низкие значе-

ния показателей влажности (5, 6 категории). Однако нарушение проводящих функций у разных деревьев в связи с их различным состоянием жизнедеятельности может отличаться даже в различных частях по высоте и радиусу ствола (локальные нарушения), чем можно объяснить высокое значение влажности дерева № 3 с южной стороны ствола (со стороны склона), а визуальные характеристики 4-й категории.

Изменение влажности древесины в процессе сушки приводится на примере здорового и нездорового деревьев (рис. 2): дерево № 6 – вторая категория санитарного состояния (здоровое дерево), дерево № 5 – пятая категория санитарного состояния (нездоровое дерево).

В зависимости от времени естественного высыхания τ (кондиционирования в комнатных условиях) влажность изменяется по закону

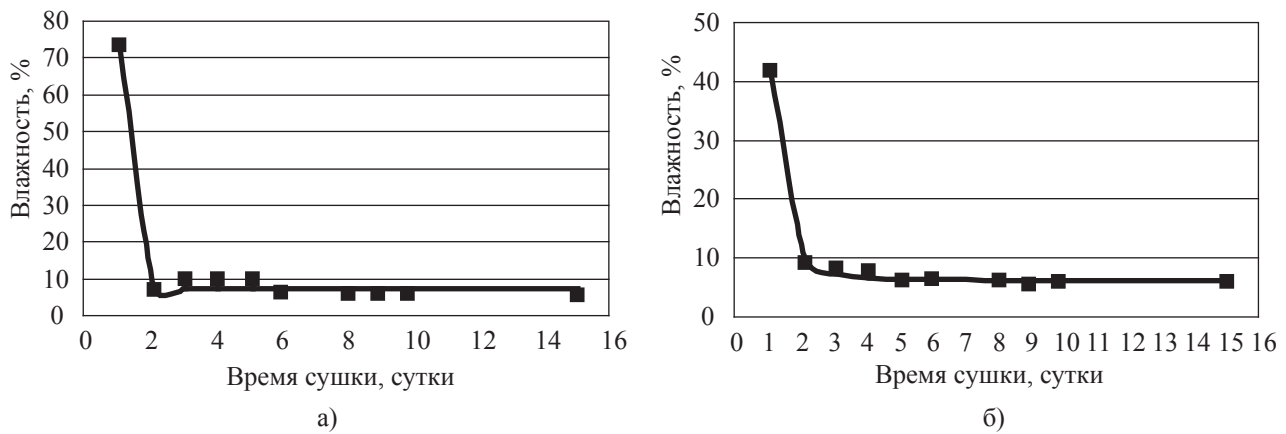


Рис. 2. График изменения влажности в процессе сушки: а) дерево № 6-с, б) дерево № 5-с.
Fig. 2. Schedule of the moisture changing during the drying process

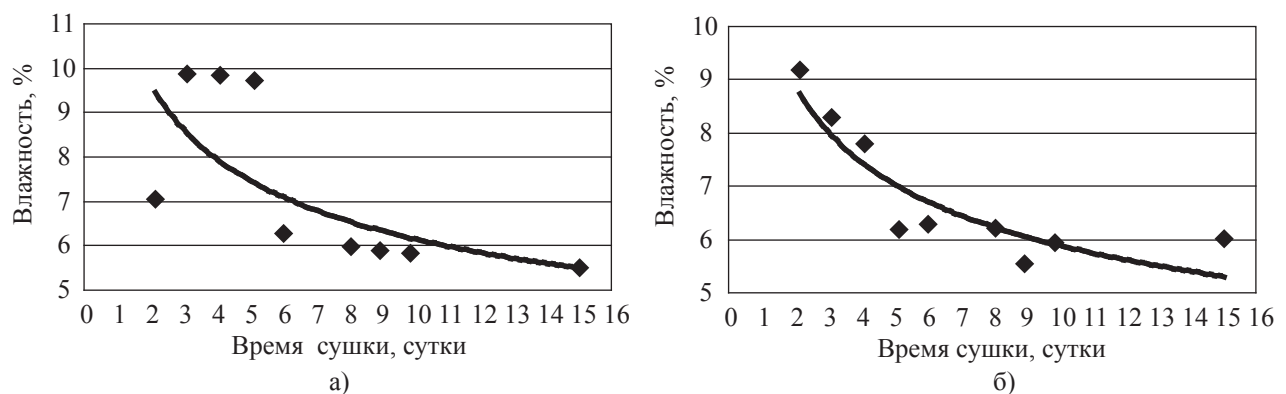


Рис. 3. График колебательных изменений влажности в процессе сушки: а) дерево № 6-с, б) дерево № 5-с
Fig. 3. Schedule of the vibrational moisture changing during the drying process

$$W = at^b \exp(-ct) + d, \quad (2)$$

где a , b , c , d – параметры формулы (табл. 6),
 S – сумма квадратов отклонений,
 r – коэффициент корреляции.

Перед закономерностью экспоненциальной гибели указано одно число, которое показывает начальную влажность керна.

Фактические и расчетные значения влажности керна, а также значения относительной погрешности (%) приведены для здорового дерева № 6-с 2-й категории и отмирающего дерева № 5-с 5-й категории (табл. 7).

Относительная погрешность формулы (2) определяется как

$$\Delta = 100(|y' - y|/y'), \quad (3)$$

где y' , y – фактические и расчетные значения исследуемых показателей.

Максимальная относительная погрешность $\Delta_{\max}$, которая в табл. 5 подчеркнута, характеризует минимальную допустимую доверительную вероятность $100 - \Delta_{\max}$.

Значение доверительной вероятности по табл. 5 для формулы (2): для дерева № 6-с (здоровое) не ниже $100 - 32,85 = 67,15\%$; для дерева № 5-с (нездоровое) не ниже $100 - 14,40 = 85,6\%$.

По обоим графикам резкое снижение влажности древесины происходит в первые двое суток, что свидетельствует о беспрепятственном удалении свободной влаги. Удаление связанной воды более продолжительное и затруднительное, о чем свидетельствуют графики колебательных изменений влажности в период 2–15 суток (рис. 3).

Разброс показателей влажности определяется по формуле

$$\Delta W = 100(W_{\max} - W_{\min})/W_{\max}, \quad (4)$$

где $W_{\max}$, $W_{\min}$ – максимальное и минимальное значение колеблющейся комнатной влажности древесины.

При удалении связанной воды разброс значений по влажности ($\Delta W = 44,1\%$) для

здорового дерева (№ 6-с) больше, чем для нездорового дерева (№ 5-с) – $\Delta W = 39,6 \%$. Значение влажности на 15-е сутки для здорового дерева $W = 7,33 \%$, что также больше, чем для нездорового – $W = 6,23 \%$.

Таким образом, древесина нездорового дерева подвергается сушке лучше, чем древесина здорового дерева.

Выводы

1. С ухудшением категории санитарного состояния дерева его впитывающая способность уменьшается.

2. Удаление связанной воды из здорового дерева более продолжительное и затруднительное, чем из нездорового дерева.

3. Полученные закономерности изменения влажности древесины в процессе кондиционирования для деревьев разных категорий санитарного состояния позволяют прогнозировать технологические режимы сушки в процессе деревопереработки, а также целенаправленно – по качеству – использовать их по назначению.

Библиографический список

1. Глобальная экологическая перспектива ГЕО₄. Окружающая среда для развития. Резюме для лиц, принимающих решения. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, первое издание. – Найроби, Кения. – 2007. – 36 с.
2. Об утверждении санитарных правил в лесах, расположенных на территории Московской области. [Приказ

- федеральной службы лесного хозяйства № 5 от 12 января 1999 года.: зарег. в Мин-во юстиций РФ 15 марта 1999 г.]. – М.: 1999. – 43с.
3. Алексеев, И.А. Лесное товароведение с основами древесиноведения: Учебное пособие / И.А. Алексеев, О.И. Полубояринов. – Йошкар-Ола, 2006. – 406 с.
4. Воронин, В.И. Влияние сероорганических компонентов атмосферных выбросов на пихту сибирскую / В.И. Воронин, М.К. Соков // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 62–71.
5. Рунова, Е.М. Влияние техногенного загрязнения на состояние хвойных древостоев: дис. ... докт. с/х наук / Рунова Елена Михайловна. – Братск, 2001. – 373 с.
6. Сухарева, Т.А. Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения / Т.А. Сухарева // Лесной журнал. – 2013. – № 6. – С. 19–28.
7. Карасев, В.Н. Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период / В.Н. Карасев, М.А. Карасева // Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 37–42.
8. Чернышенко, О.В. Экофизиологические аспекты водного обмена растущего дерева / О.В. Чернышенко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1998. – № 1. – С. 116–120.
9. Вакин, А.Т. К методике определения влажности непродушенной древесины / А.Т. Вакин // Лесной журнал. – 1959. – № 1. – С. 126–131.
10. Колесникова, А.А. Метод отбора резонансной древесины ели в растущем состоянии: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Колесникова. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 1998. – 262с.
11. Об утверждении лесоустроительной инструкции. [Приказ Министерства природных ресурсов № 31 от 06 февраля 2008 года.: зарег. в Мин-во Юстиций РФ 12 мая 2008 г.]. – М.: 2008. – 57с.
12. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
13. Miller P.R., Me Bride J.R. Effects of air pollutants on forests. In.: Responses of plants to air pollution / Eds. J.B. Mudd, T.T. Kozlowski // New York: Akademie Press. – 1975. – p. 195–235.

DYNAMICS OF MOISTURE OF WOOD FROM ABIES KERN BY SANITARY STATE CATEGORIES

Kolesnikova A.A., Assoc. Prof. Volga State University of Technology, Ph.D. (Tech)⁽¹⁾; **Khaibrakhmanova T.F.**, Volga State University of Technology⁽¹⁾

kolesnikovaaa@volgatech.net, tanzilya-0311@yandex.ru

⁽¹⁾ Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, Russia Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Volga State University of Technology», Lenin Square, 3, Yoshcar-Ola, 424029, Russia

Technogenic environmental pollution can lead to a serious ecological effect. It is possible to analyze the ecological state of a certain area according to the condition of the experimental trees growing in this area. The researches of different scientists showed that among all growing trees abies is affected by adverse environment the most. The degree of environmental sustainability and the mechanisms of trees adaptation to adverse environmental factors can be characterized by the studying of their plant moisture status. Wood moisture content depends on the imbibing capacity of the growing trees. Six trees aged 60-69 years of different sanitary state categories and growing along the ditch in which the spring melt-water flows down were investigated. Core-samples were taken late autumn at the level of 1,3 meters from the northern and southern sides of a tree trunk. Wood moisture content was determined during the procedure of wood drying to the ambient moisture level. The influence of the sanitary state category on the wood moisture content of growing trees and dry wood was analyzed. There is a close connection between the category of the state and the change of wood moisture content on the north side of the stem (which is the part closer to the polluting ditch). With the deterioration of sanitary condition category of the trees among the growing trees there is a tendency of the wood moisture content to reduce, indicating their different imbibing capacity. According to the wood moisture

content changing schedules during the drying process in the first two days there is a sharp decrease of wood moisture content, which demonstrates unhampered discharge of free moisture. The process of the removal of attached water from a healthy tree is longer and more difficult than from an unhealthy one. The received regularities of wood moisture changing during the drying process for trees of different sanitary state categories make it possible to predict the process parameters of drying in the course of woodworking industry and also purposefully – on quality – to use them for designated purpose.

Keywords: wood, abies sibirica, green moisture, service moisture content, category sanitary state.

References

1. *Global'naya ekologicheskaya perspektiva GEO4. Okruzhayushchaya sreda dlya razvitiya. Rezyume dlya lits, prinyimayushchikh resheniya. Programma Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy po okruzhayushchey среде, pervoe izdanie* [Global environment Outlook GEO4. Environment for development. Summary for decision makers. United Nations environment programme, first edition], Nairobi, Kenya, 2007, 36 p.
2. *Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil v lesakh, raspolozhennykh na territorii Moskovskoy oblasti* [On approval of sanitary rules in the forests located on the territory of Moscow region]. The order of the Federal service of forestry No. 5 dated January 12, 1999: registered in the Ministry of justice of the Russian Federation on March 15, 1999, Moscow: 1999, 43 p.
3. Alekseev I.A. Poluboyarinov O.I. *Lesnoe tovarovedenie s osnovami drevesinovedeniya* [Forestry Wood-merchandising with the basics], MarGTU, Yoshkar-Ola, 2006, 406 p.
4. Voronin V.I. *Vliyanie seroorganicheskikh komponentov atmosferykh vybrosov na pikhtu sibirskuyu* [The impact of atmospheric emissions of organic sulfur components of Abies Sibirica]. *Lesovedenie* [Forest science], Moscow, 2005, № 2, pp. 62-71.
5. Runova E.M. *Vliyanie tekhnogenogo zagryazneniya na sostoyanie khvoynykh drevostoev*. Diss. dokt. s.-kh. nauk [Influence of technogenic pollution on coniferous stands. Dr. Agr. Sci. Diss.]. Bratsk, 2001, 373 p.
6. Sukhareva T.A. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika mikroelementnogo sostava khvoynykh derev'ev i pochvy v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya* [Spatio-temporal dynamics of trace-element composition of coniferous trees and soil in industrial pollution]. Bulletin of Higher Educational Institutions. *Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 2013, № 6, pp. 19-28.
7. Karasev, V.N. *Osobennosti vodnogo rezhima derev'ev eli evropeyskoy v ranneve-senny period* [Features of the water regime of spruce trees in early spring]. Bulletin of Higher Educational Institutions. *Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 2011, № 1, pp. 37-42.
8. Chernyshenko, O.V. *Ekofiziologicheskie aspekty vodnogo obmena rastushchego dereva* [Ecophysiological aspects of water metabolism growing tree]. Moscow state forest university bulletin - *Lesnoy vestnik*, Moscow, 1998, № 1, pp 116-120.
9. Vakin, A.T. *K metodike opredeleniya vlazhnosti neprosushennoy drevesiny* [By the method of determining moisture unseasoned wood]. Bulletin of Higher Educational Institutions. *Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 1959, № 1, pp. 126–131.
10. Kolesnikova A.A. *Metod otbora rezonansnoy drevesiny eli v rastushchem sostoyanii*. Diss. cand. s.-kh. nauk [The method of selecting a resonant spruce wood in a growing state. Cand. Agr. Sci. Diss.]. MarGTU. Yoshkar-Ola, 1998. 262 p.
11. *Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii* [On approval of the forest management manual]. The order of the Ministry of Natural Resources No. 31 of February 6, 2008. registered in the Ministry of justice of the Russian Federation on May 12, 2008, Moscow, 2008, 57 p.
12. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science the basics of Commodity science forest], Moscow: MGULPubl, 2001, 340 p.
13. Miller P.R., Me Bride J.R. Effects of air pollutants on forests. In.: Responses of plants to air pollution / Eds. J.B. Mudd, T.T. Kozlowski // New York: Akademie Press. 1975. p. 195-235.