

Влияние этого элемента проявляется в снижении ширины годичных приростов ксилемы, уменьшении частоты сосудов и особенно площади их поперечных сечений.

По данным Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. (1989) избыточная или токсичная концентрация хрома в зрелых тканях листьев находится в диапазоне – 5–30 мг/кг сухой массы. Такая же концентрация определена в листьях березы повислой в нарушенных насаждениях Красноярской лесостепи. Ответная реакция на повышение концентрации хрома проявляется в уменьшении ширины годичных приростов древесины, некотором увеличении частоты сосудов при уменьшении их просветов.

Стронций довольно распространен в земной коре и значительно варьирует по содержанию в почве и в растениях. О токсичности стронция для растений немного сведений, и растения по толерантности к этому элементу сильно различаются (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989, Кулагин, Шагиева, 2005). В нашей работе выявлено, что содержание стронция на поверхности листьев колеблется в пределах 7–300 мг/кг сухой массы, внутри – 15–800 мг/кг сухой массы. Влияние этого элемента отмечено только на размер просвета сосудов, уменьшающийся при увеличении концентрации стронция.

Таким образом, ослабленное состояние техногенно нарушенных березовых древостоев Красноярской лесостепи обусловлено многолетним накоплением пыли и тяжелых металлов. Внешние проявления ослабления сопровождаются изменениями количества и структуры прироста древесины в стволах деревьев. Влияние тяжелых металлов на ростовые процессы проявляется на уровне тенденций к снижению ширины годичных приростов ксилемы, изменению частоты ксилемных лучей, уменьшению размеров просветов сосудов. Таким образом, продуктивность деревьев и древостоев в целом снижается под действием загрязнения тяжелыми металлами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Из-во С.-Петербур. у-та, 2011. – 368 с.
2. Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой / Ж Детри. – М.: Прогресс, 1973. – 380 с.
3. Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК №6229-91.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Кулагин А.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А.А. Кулагин, Ю.А. Шагиева. – М.: Наука, 2005. – 190 с.
6. Рентгенофлуоресцентный метод анализа: методические указания к лабораторным работам / А.А. Комиссаренков, С.Б. Андреев / ГОУВПО СПб ГТУ РП. – СПб., 2008. – 36 с.
7. Санитарные правила в лесах Российской Федерации; введены 27.01.98. №1458. – М., 1998.
8. Скрипальщикова Л.Н. Пылеулавливающие свойства лесных экосистем в лесостепных районах Средней Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Скрипальщикова Л.Н. – Красноярск, 1997. – 19 с.
9. Строение и развитие тканей ствола *Betula pendula* (Betulaceae) в условиях антропогенного загрязнения / В.В. Стасова, Л.Н. Скрипальщикова, О.Н. Зубарева, А.И. Татаринцев // Растительные ресурсы.– 2011. – Выпуск 2. – Т. 47. – С. 66–75.
10. Broadley M.R., White P.J., Hammond J.P., Zelko I., Lux A. Zinc in plant // *New phytologist*. – 2007. – V.173. – P. 677–702.
11. Welch R.M. Micronutrient nutrition of plants // *Cri. Rev. Plant Sci*. – 1995. – Vol.14(1). – P.49–82.

УДК 630.811

#### КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ДРЕВЕСИНЫ

**Б.Н. Уголев**

д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО МГУЛ, г. Мытищи, РФ  
[ugolev@mgul.ac.ru](mailto:ugolev@mgul.ac.ru)

**Г.А. Горбачева**

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО МГУЛ, г. Мытищи, РФ  
[gorbacheva@mgul.ac.ru](mailto:gorbacheva@mgul.ac.ru)

**С.Ю. Белковский**

аспирант, ФГБОУ ВПО МГУЛ, г. Мытищи, РФ  
[belkovskiy@ro.ru](mailto:belkovskiy@ro.ru)

*В статье приведены результаты исследований, показывающие целесообразность применения показателей эффекта памяти формы полимеров для древесины.*

Доминантным признаком умных материалов является «эффект памяти формы». Этот эффект заключается в том, что упомянутые материалы после принудительного изменения формы способны восстанавливать свою первоначальную форму в результате возвращения исходного физического состоя-



Как следует из схемы (см. рис. 1) замороженная деформация (отрезок 4-9) представляет собой разницу между упруго-эластическими деформациями древесины при начальной и конечной влажности (абсциссы точек 1 и 5).

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{ev1} - \varepsilon_{ev2} \quad (3)$$

Используя положения модели гигро(термо)-механических деформаций древесины, можно получить выражения для расчета показателей эффекта памяти формы при однократном изменении температуры или влажности нагруженной древесины. Величина доли обратимых деформаций  $R_r$  определяется следующим образом:

$$R_r = \frac{\varepsilon_{evp} - \varepsilon_p}{\varepsilon_{evp}}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{evp}$  – величина общей гигро(термо)-механической деформации;

$\varepsilon_p$  – остаточные пластические деформации  $\varepsilon_r = \varepsilon_c = \varepsilon_p$ .

Доля фиксированных (сет) деформаций  $R_f$  вычисляется по формуле:

$$R_f = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{evp}} = \frac{\varepsilon_f + \varepsilon_p}{\varepsilon_{evp}}. \quad (5)$$

Замороженные деформации являются носителями эффекта памяти древесины.

Величина замороженной деформации определяется через показатели эффекта памяти следующим образом:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{evp}(R_r + R_f - 1). \quad (6)$$

На рис. 2 показана схема взаимосвязи показателей эффекта памяти формы для полимеров и для древесины. Отрезок 0-1 – медленное нагружение при  $\theta_1$ , образуются все три вида деформаций; 1-1 – охлаждение при  $\sigma = \text{const}$  до  $\theta_2$ ; 1-2 – разгрузка при  $\theta_2$ ; 2-3 – нагревание при  $\sigma = 0$ .

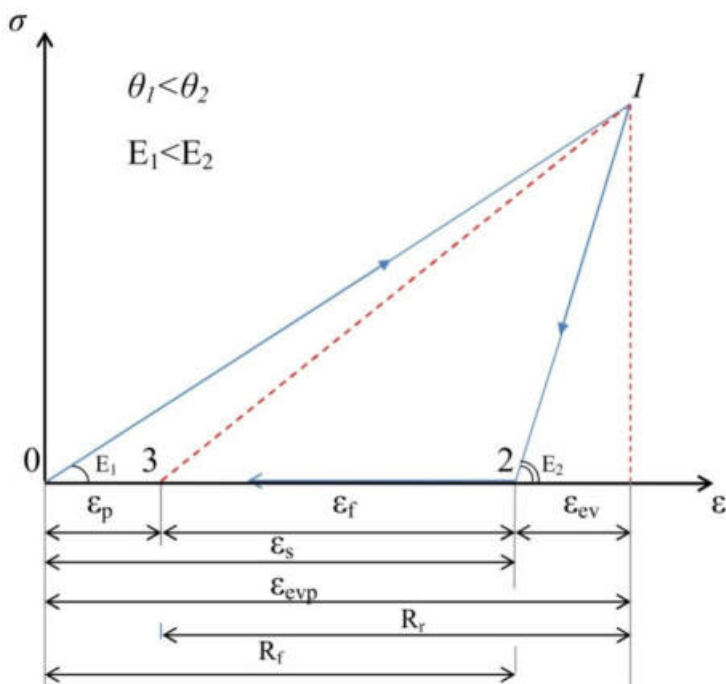


Рис. 2. Показатели эффекта памяти формы полимеров, характеризующие деформационные превращения древесины

Ранее были проведены исследования эффекта памяти древесины при охлаждении нагруженной древесины при испытаниях на изгиб на образцах из древесины березы, а также на изогнутых образцах лущеного и строганого шпона [1]. Данная методика была использована для экспериментальных исследований эффекта памяти древесины на изогнутых образцах шпона при изменении температуры и влажности. Были использованы образцы строганого, лущеного и файн-лайн шпона из древесины березы, бука, сосны и обече. Температура изменялась в пределах 0–100 °С, влажность 0–150 %.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние древесной породы и вида шпона на показатели эффекта памяти при изменении температуры

Показатели эффекта памяти древесины	Статистические показатели	Порода, вид шпона		
		Сосна, строганый	Бук, строганый	Обече, файн-лайн
$R_r^t$ вдоль волокон	$\bar{x}$	0,9244	0,9729	0,5721
	$\pm s$	0,0844	0,0137	0,0509
	$v; \%$	9,2	1,4	8,8
$R_r^t$ поперек волокон	$\bar{x}$	0,5438	0,7824	0,4331
	$\pm s$	0,1766	0,0170	0,1670
	$v; \%$	32	2,1	38
$R_f^t$ вдоль волокон	$\bar{x}$	0,5776	0,5044	0,8055
	$\pm s$	0,0624	0,0640	0,11
	$v; \%$	10,8	12,6	13,5
$R_f^t$ поперек волокон	$\bar{x}$	0,7180	0,7793	0,7011
	$\pm s$	0,1720	0,1854	0,0374
	$v; \%$	23,4	23,3	5,3

Сравнительная оценка показателей  $R_r^t$  и  $R_f^t$  при изменении температуры и влажности показана на рис. 3 и рис. 4.

Полученные данные свидетельствуют, что показатели  $R_r^t$ , отражающие способность древесины восстанавливать исходную форму при изменении температуры, в направлении вдоль волокон для образцов строганого шпона из сосны и бука имеют довольно высокие значения (0,9244–0,9729). При изменении влажности для всех видов шпона отмечены также высокие значения  $R_r^w$  (0,789–0,948). В направлении поперек волокон показатели  $R_r^t$  и  $R_r^w$  ниже, что объясняется особенностями технологии изготовления шпона (наличие лушительных, сушильных трещин, клеевых швов). В реконструированном шпоне способность запоминать исходную (постоянную) форму проявляется в меньшей мере. Низкие значения показателей  $R_f^t$  шпона файн-лайн обусловлены многостадийной предшествующей технологической обработкой, наличием клеевых соединений.

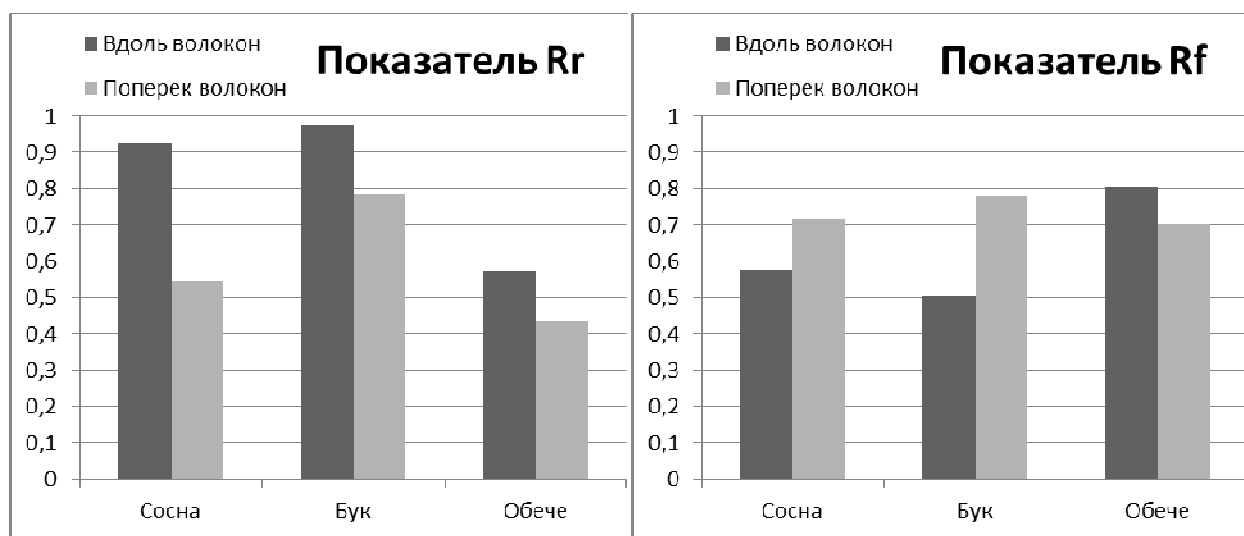


Рис. 3. Средние значения показателей  $R_r^t$  и  $R_f^t$

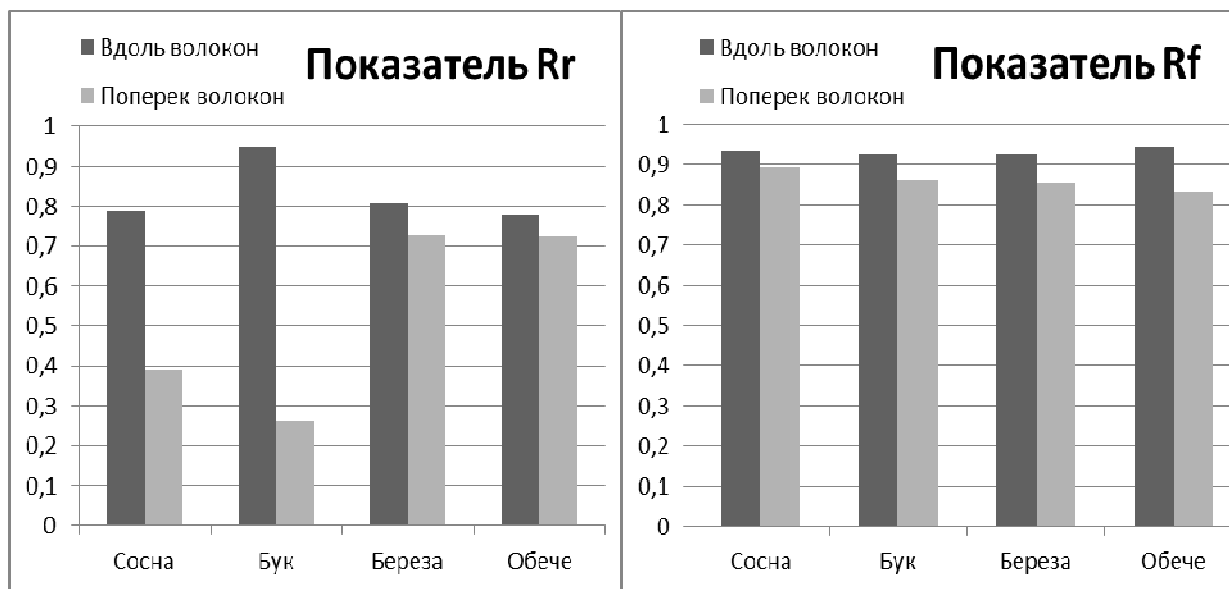


Рис. 4. Средние значения показателей  $R_r^w$  и  $R_f^w$

Показатели  $R_f^w$ , характеризующие способность запоминать временную форму, в направлении вдоль волокон и поперек для всех пород и видов шпона имеют также высокие значения (0,923–0,943 и 0,833–0,8927, соответственно). При изменении температуры показатели  $R_f^t$  несколько ниже.

Таким образом, проведенные исследования показывают целесообразность определения количественных характеристик эффекта памяти формы для сравнительной оценки эффекта памяти натуральной древесины и перспективных древесных нанокompозитов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачева Г.А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры: дис. ... канд. техн. наук / Горбачева Г.А.; МГУЛ. – М., 2004. – 198 с.
2. Каюмов Р.А. Прогнозирование деформации во времени полимерных материалов с памятью формы при различной температуре / Р.А. Каюмов, Д.Е. Страхов // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 2 (16). – С. 196–199.
3. Полимер с памятью в четыре формы <http://www.nature.com/nature/journal/v464/n7286/full/nature08863.html>.
4. Уголев Б.Н. Контроль напряжений при сушке древесины / Б.Н. Уголев, Ю.Г. Лапшин, Е.В. Кротов. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 208 с.
5. Уголев Б.Н. Метод исследования реологических свойств древесины при переменной влажности / Б.Н. Уголев // Заводская лаборатория. – 1961. – №27:2. – С.199–203.
6. Уголев Б.Н. Нанотехнологии и наноматериалы в лесном комплексе: монография / Б.Н. Уголев. – М.:ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2011. – 221 с.
7. Hiltz J. A.. Shape Memory Polymers. Literature Review. Technical Memorandum DRDC Atlantic TM 2002-127 August 2002.
8. Lendlein A., Kelch S. Shape-Memory Polymers. Reviews. Angew. Chem. Int. Ed. 2002, 41, 2034 – 2057.
9. Schuh C., Schuh K., Lechmann M. C., L. Garnier, Kraft A. Shape-Memory Properties of Segmented Polymers Containing Aramid Hard Segments and Polycaprolactone Soft Segments. Polymers 2010, 2, 71-85; doi:10.3390/polym2020071
10. Ugolev B.N. Academy lecture «Wood as natural smart material» [Электронный ресурс] / Boris Ugolev. – Режим доступа: [http://www.iaws-web.org/files/file/2009-SaintPetersburg\\_academy\\_lecture\\_ugolev.pdf](http://www.iaws-web.org/files/file/2009-SaintPetersburg_academy_lecture_ugolev.pdf)
11. Ugolev B.N. General laws of wood deformation and rheological properties of hardwood // Wood Science and Technology. – 1976. – Vol. 10(3). – P. 169–181.

УДК 630.812.2

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ НАГРУЗКИ И ВЛАЖНОСТИ НА ВЕЛИЧИНУ ЗАМОРОЖЕННОЙ УСУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

**Б.Н. Уголев**

докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО МГУЛ, г. Мытищи, РФ