

УДК 539.4
doi 10.18101/2306-2363-2016-4-42-47

© Ю. Г. Скурыдин, А. Д. Насонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Методом динамического механического анализа исследованы температурные зависимости динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь таких лиственных пород, как осина и береза. Изучены релаксационные процессы в лиственной древесине. Проведено сравнение ее вязкоупругих свойств с аналогичными характеристиками других древесных пород. Дана оценка структурных различий в древесине разных пород.

Ключевые слова: динамический модуль сдвига, вязкоупругие свойства древесины, релаксационные процессы, тангенса угла механических потерь, динамический механический анализ, древесина.

Y. G. Skurydin, A. D. Nasonov

STUDY OF HARDWOOD VISCOELASTIC PROPERTIES

The temperature dependences of dynamic shear modulus and mechanical loss tangent of hardwoods like birch and aspen were studied by dynamic mechanical analysis. Relaxation processes in hardwood were investigated. The comparison of its viscoelastic properties with the similar characteristics of other tree species was carried out. The structural differences in the wood of different breeds were estimated.

Keywords: dynamic shear modulus, viscoelastic properties of wood, relaxation processes, mechanical loss tangent, dynamic mechanical analysis, hardwood.

В практике применения древесины открытым остается вопрос, как зависят эксплуатационные характеристики древесины от ее возраста, породы, условий произрастания и других природных факторов. Весьма актуальна также проблема влияния структуры древесины на ее физические свойства. Неясно, как изменяются ее физические свойства при эксплуатации в условиях высоких температур, влажности, и т.д. Очевидно, что решение этих вопросов невозможно без использования современных высокоэффективных физических методов.

Объект и метод исследования

Одним из методов изучения свойств древесины является динамический механический анализ [1, 2]. Следует отметить, что до настоящего времени, несмотря на высокую информативность, этот метод крайне редко использовался для исследования характеристик нативной древесины. Причем его применение отмечено для весьма ограниченного спектра древесных пород и без однозначной четкой интерпретации полученных результатов [3, 4]. Несмотря на это, на предварительном этапе нами были получены данные, позволяющие строить обоснованные предположения о природе химических связей и морфологии древесного комплекса [5-7]. Представляется интересным проведение

эксперимента по нахождению температурной зависимости динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь для древесины других, не изученных ранее этим методом пород.

В качестве объекта исследования выбрана древесина осины обыкновенной, как обычной лесообразующей породы, встречающейся во многих регионах. Сравнение проводится с аналогичными данными для древесины березы, полученными нами ранее [5, 6].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Типичные кривые температурных зависимостей динамического модуля сдвига (G') и тангенса угла механических потерь ($Tg\delta$) древесины березы и осины (вдоль волокон) показаны на рис. 1, 2. Посредством анализа первой и второй температурных производных определены границы температурных переходов и температура максимума их интенсивности, которая выбрана нами на основании [8] как показатель точного положения процесса. Обнаружено, что в древесине обеих пород имеется три области, характеризующиеся резким уменьшением величины G' по абсолютному значению — в интервале температур до 70°C , $180\text{-}225^\circ\text{C}$ и $235\text{-}265^\circ\text{C}$. До настоящего времени сведения, имеющиеся в литературе об идентификации этих температурных переходов, весьма противоречивы и зачастую основаны лишь на предположениях. Ряд авторов [3, 4] ранее обнаруживали релаксационные переходы в древесине березы в областях до 70°C , $170\text{-}220^\circ\text{C}$, но доказательств их связи с молекулярной подвижностью каких-либо компонентов древесины не приводилось. В более ранних работах [5, 6] мы сделали первую попытку обосновать интерпретацию результатов ДМА — измерений древесины березы вдоль волокон. Данная работа является продолжением данного направления. Как и в древесине березы, наиболее вероятно, что в древесине осины релаксационный переход при температуре $\sim 70^\circ\text{C}$ носит мультиплетный характер и отображает суперпозицию размораживания локальной подвижности цепей макромолекул целлюлозы, стеклования ее аморфной части [3, 8] а также лигнина и гемицеллюлоз, пластифицированных водой, всегда присутствующей в древесине. Возможно, что данный переход обусловлен стеклованием низкомолекулярного лигнина. Следует отметить, что и для древесины березы, и древесины осины нет существенного различия ни в положении, ни в ширине этого перехода. Тем не менее, интенсивность перехода, о которой можно судить по первой температурной производной динамического модуля сдвига (dG'/dt), у осины гораздо больше (рис. 1-2). По-видимому, причиной этого являются различия в химическом составе и, в большей степени, морфологии данных пород.

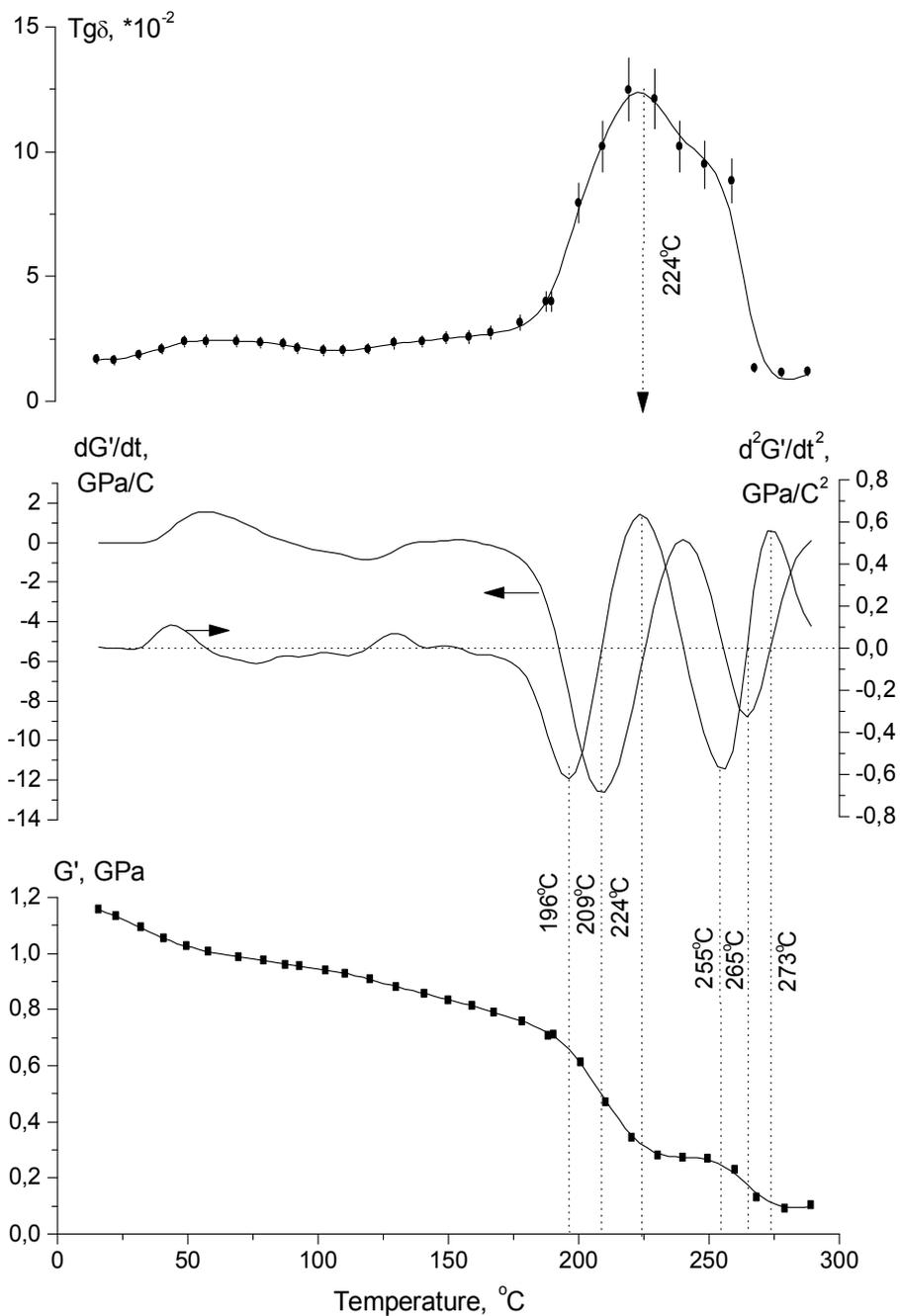


Рис. 1. Температурные зависимости динамического модуля сдвига, первой и второй температурной производной, тангенса угла механических потерь древесины березы вдоль волокон

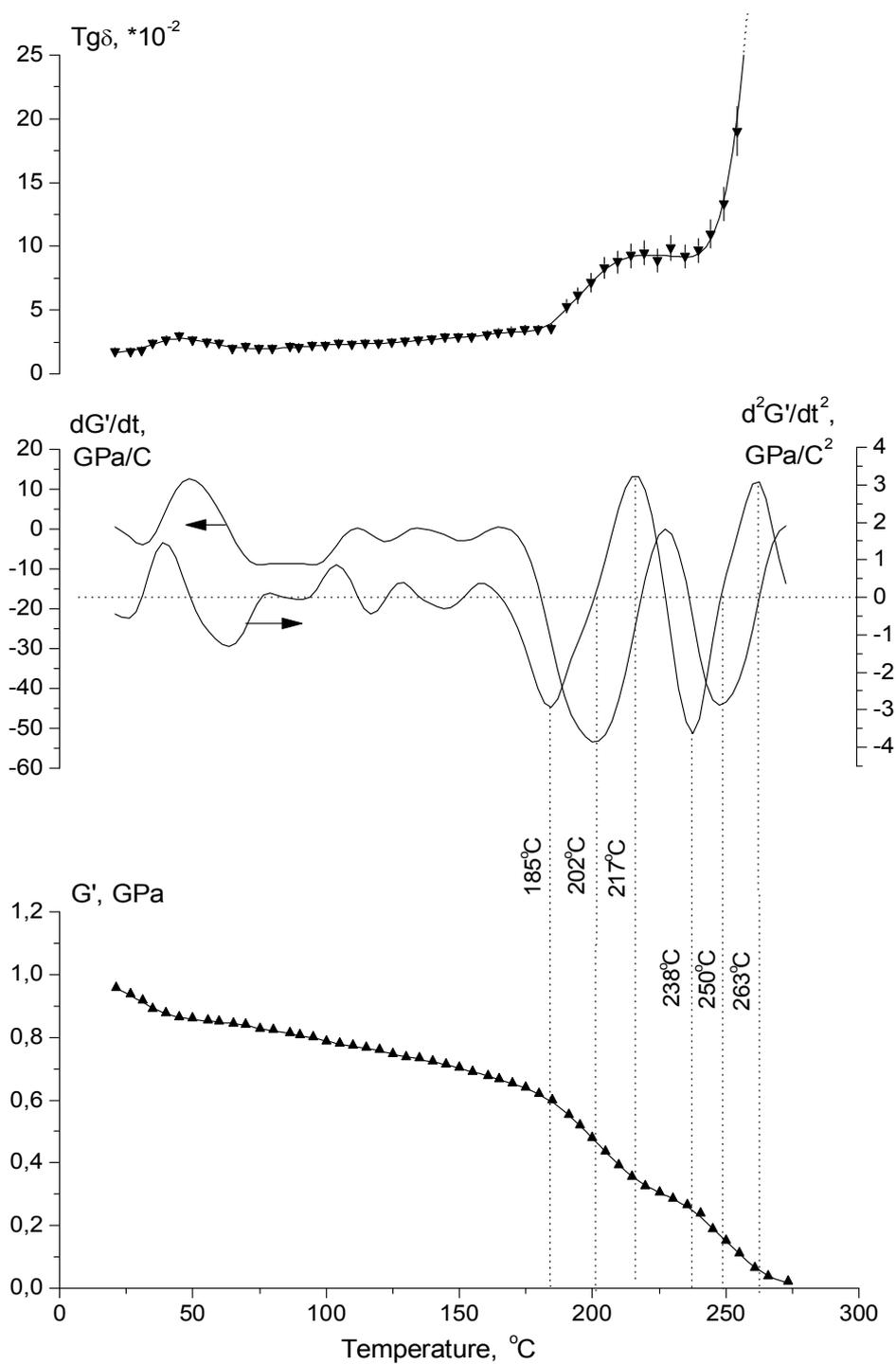


Рис. 2. Температурные зависимости динамического модуля сдвига, первой и второй температурной производной, тангенса угла механических потерь древесины осины вдоль волокон

Область температур 180-225°C характеризует переход лигноцеллюлозного комплекса из стеклообразного в высокоэластическое состояние [3-5], который обнаруживается при более низких температурах, чем в чистой целлюлозе [6, 8] из-за включения в сегментальную подвижность целлюлозы гибкоцепных фрагментов гемицеллюлоз и лигнина. Максимум на кривой температурной зависимости $Tg\delta$ для древесины осины и березы совпадает с температурой выхода из зоны соответствующего перехода. Специфичной особенностью является смещение температуры перехода в область более низких температур у древесины осины. При этом несколько увеличивается ширина переходной области, т.е. интервал температур, соответствующий данному переходу, и существенно больше становится его интенсивность (-13 и -50 ГПа/°C у древесины березы и осины соответственно). Обоснованием такой отличительной особенности видится различие в соотношении высокомолекулярных компонентов в изученных образцах. Очевидно, что большее число низкомолекулярных составляющих древесины осины, меньшая длина фибрилл целлюлозы приводит к более глубокой структурной пластификации, сопровождающейся снижением температуры стеклования и увеличением ширины области перехода. Суммарно большее число молекул, вовлеченных в процесс одновременно, приводит к росту кооперативности и, соответственно, интенсивности процесса.

Ранее высокотемпературный переход при 235-265°C не обсуждался, что вероятно связано с недостаточной чувствительностью экспериментальных установок при измерениях в высокотемпературной области. Основываясь на результатах работы [9], можно заключить, что в этом интервале температур происходит плавление кристаллических областей целлюлозы. Примечательно, что плавление кристаллитов в древесине осины сопровождается существенно большими, нежели в древесине березы механическими потерями. Смещение области плавления кристаллитов в древесине осины в сторону низких температур, увеличение ширины и интенсивности процесса обусловлено вышеупомянутыми причинами.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о древесине осины и березы как о сложном лигноуглеводном конгломерате с температурой размораживания локальной подвижности цепей макромолекул целлюлозы и стеклования пластифицированной аморфной части в интервале до 70°C. Стеклование лигноуглеводного комплекса происходит при температуре 180-225°C, область плавления кристаллитов целлюлозы наблюдается в интервале температур 235-265°C. Относительная термостабильность свойств сохраняется до ~ 175°C. Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности использования динамического механического анализа для оценки структурных различий в древесине разных пород и целесообразности продолжений исследований в выбранном направлении.

Литература

1. Перепечко И. И. Акустические методы исследования полимеров. — М.: Химия, 1973. — 295 с.

2. Насонов А. Д. Исследование влияния пространственной сетки на вязкоупругие свойства аморфных полимеров низкочастотным акустическим методом: дисс. канд. физ.-мат. наук. — Калинин, 1980. — 312 с.
3. Шахзадян Э. А., Квачев Ю. П., Папков В. С. Температурные переходы в древесине и ее компонентах // Высокомолекул. соед. — 1992. — Серия А. — Т. 34, № 9. — С. 3-14.
4. Шахзадян Э. А., Квачев Ю. П., Папков В. С. Динамические свойства некоторых пород древесины // Высокомолекул. соед. — 1994. — Серия А. — Т. 36, № 8. — С. 1298-1303.
5. Startsev O. V., Salin B. N., Skuridin Yu. G., Utemesov R. M., Nasonov A. D. Physical properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // Wood Sci. and Technology. — 1999. — V. 33, № 1. — P. 73-83.
6. Скурыдин Ю. Г. Строение и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук. — Барнаул, 2000. — 147 с.
7. Скурыдин Ю. Г., Насонов А. Д. Динамические механические свойства древесины некоторых хвойных пород // Вестник Бурятского государственного университета. — 2015. — № 3. — С. 104-107.
8. Якобсон М. К., Эриньш П. П. Температурные переходы целлюлозы, природа температурных переходов в полимерах // Химия древесины. — 1981. — № 3. — С. 3-12.
9. Луке Р. В., Домбург Г. Э., Веверис Г. П. Термический анализ структурных модификаций целлюлозы // Химия древесины. — 1989. — № 3. — С. 20-23.

Скурыдин Ю.Г., кандидат технических наук, доцент, Алтайский государственный университет, 656031, Барнаул, ул. Ядринцева,130

Насонов А.Д., кандидат физико-математических наук, профессор Алтайский государственный педагогический университет, 656031, Барнаул, ул. Ядринцева,130, E-mail: nasonov211@mail.ru

Skurydin Y.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State University, 656031, Barnaul, Str., Yadrintseva 130

Nasonov A.D., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Altai State Pedagogical University, 656031, Barnaul, Str., Yadrintseva, 130, E-mail: nasonov211@mail.ru