

УДК 57.045

Е. А. Тюткова,

к. б. н., научный сотрудник лаборатории ФХБДР, ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН», г. Красноярск, РФ,
tyukatie@gmail.com

И. А. Петров,

к. б. н., старший научный сотрудник лаборатории мониторинга леса ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН», г. Красноярск, РФ,
petrovilsoran@gmail.com

С. Р. Лоскутов,

д. х. н., зав. лабораторией ФХБДР, ФГБНУ «Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН», г. Красноярск, РФ,
lsr@ksc.krasn.ru

ОТКЛИК *BETULA TORTUOSA* LEDEB И *LARIX SIBIRICA* LEDEB, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЭКОТОНЕ АЛЬПИЙСКОЙ ЛЕСОТУНДРЫ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ, НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

*Приведены результаты сравнительного анализа физико-химических свойств древесины лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb) и березы (*Betula tortuosa* Ledeb) на изменение климата в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау, полученные с использованием метода термогравиметрии на примере десяти последовательных годовичных колец. Анализ корреляционной связи термических параметров и климатических факторов (температура, осадки) показал, что целлюлоза и лигнин ранних и поздних трахеид у березы извилистой оказались более чувствительными к климатическим изменениям, чем таковые у лиственницы сибирской. Выявлено, что главным образом погодные условия июня-августа определяют компонентный состав ранней и поздней древесины березы. Температура воздуха оказывает заметное влияние на компонентный состав при синтезе клеточных стенок ранней и поздней древесины, осадки – поздней.*

Ключевые слова: термогравиметрия, древесина, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, климат.

Е. А. Tyutkova,

Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Woody Plant Physical and Chemical Biology, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
tyukatie@gmail.com

I. A. Petrov,

Candidate of Biological Sciences, Researcher, Forest Monitoring Laboratory, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
petrovilsoran@gmail.com

S. R. Loskutov,

Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Woody Plant Physical and Chemical Biology, V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation,
lsr@ksc.krasn.ru

RESPONSE OF *BETULA TORTUOSA* LEDEB AND *LARIX SIBIRICA* LEDEB FOUND IN THE EKOTONE OF THE ALPINE FOREST-TUNDRA ECOTONE OF KUZNETSK ALA TAU TO CLIMATE CHANGE

We applied thermogravimetric analysis to ten successive growth rings of Siberian larch and the same number of mountain birch individuals sampled in the alpine forest-tundra ecotone of Kuznetsk Ala Tau mountain ridge to compare physical and chemical responses of the species wood to climate change. Our analysis of the correlation of the wood thermal parameters with air temperature and precipitation revealed that early and latewood cellulose and lignin in the birch were more sensitive to climatic changes as compared to the larch. June-August weather conditions appeared to largely control the chemical composition of the birch early and latewood. Air temperature had a marked influence during synthesis of both early and latewood cell walls, whereas precipitation influenced only latewood.

Keywords: thermogravimetry, wood, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, climate.

Быстрое и значительное текущее потепление климата и его влияние на растительные сообщества вызывает множество дискуссий во всем мире. Особое внимание привлекает экотон альпийской лесотундры, где воздействие климата на рост древесной растительности является наиболее выраженным [1–3]. В литературе до настоящего времени не был получен ответ на вопрос, как при межсезонном и внутрисезонном изменении погодных условий роста модифицируются свойства самих клеточных стенок.

Цель работы: сравнительный анализ физико-химических свойств древесины лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb) и березы (*Betula tortuosa* Ledeb) на изменение климата в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау.

Методы исследования

Исследования выполнялись в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау. Кузнецкий Алатау включает несколько ориентированных с севера на юг хребтов длиной до 300 км с максимальными высотами до 2200 м [4].

Датировка годовых слоев на взятом с деревьев спилах проводилась на измерительном комплексе LINTAB v6.0. Раннюю и позднюю древесину в годовых слоях разделяли под микроскопом при десятикратном увеличении. Экстрактивные вещества образцов древесины лиственницы удаляли по методу настаивания с использованием спирто-толуольной смеси [5]. Приготовленные экспериментальные образцы (10 образцов ранней и 10 поздней древесины) кондиционировали до равновесной влажности с окружающей средой, влажность которой была близка к 65 % при температуре 20 ± 2 °С.

Термический анализ образцов древесины осуществлялся с помощью методов термогравиметрии (ТГ/ДТГ) с использованием прибора TG 209 F1 (“NETZSCH”, Германия) [6–9].

Результаты и их обсуждения

Из рисунка 1 видно, что показатель термодеструкции целлюлозы ($\Delta m_{целл}$) в ранней древесине у березы извилистой положительно связан с температурой июня ($r = 0,77$ при $P \geq 0,99$), а в поздней $\Delta m_{целл}$ положительно связан с сентябрьскими температурами ($r = 0,83$ при $P \geq 0,99$). Термодеструкция лигнина ($\Delta m_{лиг}$) в ранней древесине у березы отрицательно связана с июльскими температурами ($r = -0,71$ при $P \geq 0,99$), а $\Delta m_{лиг}$ в поздней древесине положительно связан с августовскими температурами ($r = -0,73$ при $P \geq 0,99$).

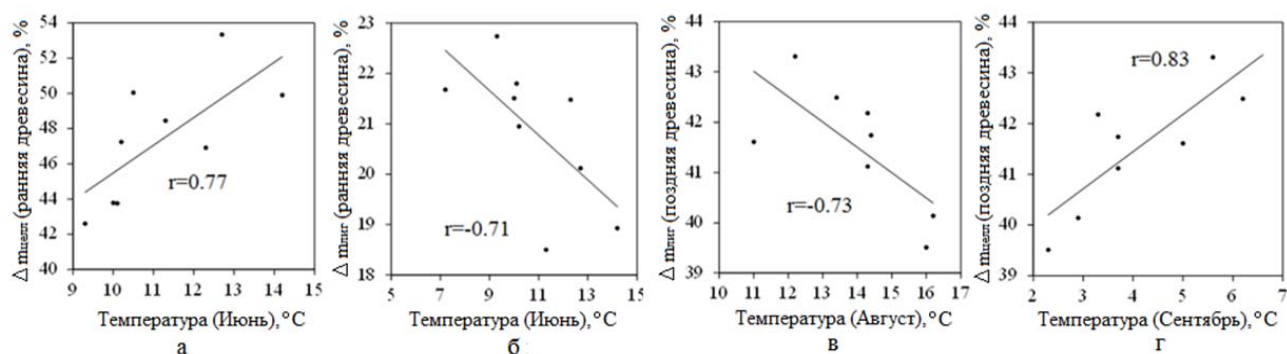


Рис. 1. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Betula tortuosa* Ledeb от температуры воздуха:

а – целлюлоза в ранней древесине, июнь; б – лигнин в ранней древесине, июль; в – лигнин в поздней древесине, август; г – целлюлоза в поздней древесине, сентябрь

$\Delta m_{целл}$ в поздней древесине березы отрицательно связан с апрельскими осадками ($r = -0,72$ при $P \geq 0,99$), у поздней древесины показатель $\Delta m_{лиг}$ «чувствителен» к августовским осадкам, связь отрицательная ($r = -0,82$ при $P \geq 0,99$) (рис. 2).

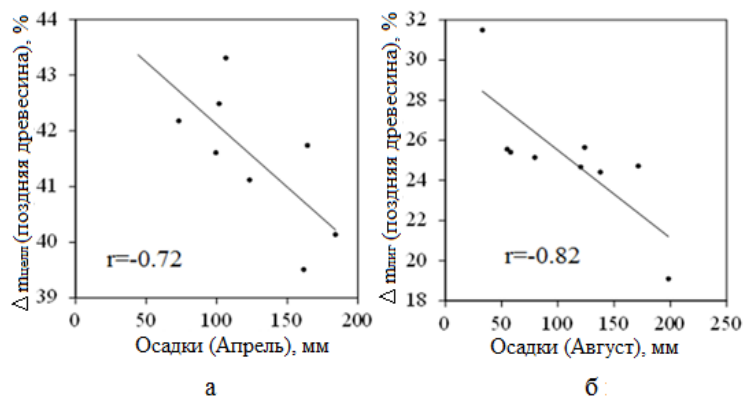


Рис. 2. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Betula tortuosa* Ledeb от среднемесячного количества осадков:

а – целлюлоза в поздней древесине, апрель; б – лигнин в поздней древесине, август

Термические показатели испарения влаги ($\Delta m_{вода}$), связанной в стенках поздних трахеид лиственницы сибирской, достоверно коррелируют с температурой воздуха: в июне $\Delta m_{вода}$ положительно связан с температурой воздуха ($r = 0,84$ при $P \geq 0,99$), в июле отрицательно ($r = -0,70$ при $P \geq 0,99$) (рис. 3).

Выводы

Предложен новый подход к решению одной из актуальных научных задач – установления влияния климатических факторов на физико-химические показатели древесины видов *Betula tortuosa* Ledeb и *Larix sibirica* Ledeb в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау на основе использова-

ния метода термогравиметрии. Практическая значимость полученных результатов заключается в открывающейся возможности количественного прогнозирования последствий современного потепления: оценки экологической пластичности строения и свойств стволовой древесины у деревьев, образующих экотон горной лесотундры. Совместное применение современных высокоинформативных и экспрессных физико-химических методов исследования и методов дендроклиматического анализа позволит детализировать картину влияния изменяющихся климатических факторов на рост основных лесообразующих видов таежных лесов.

Погодные условия сезона роста исследованных видов по-разному влияют на соотношение основных полимерных компонентов в клеточных стенках ранних и поздних трахеид у березы извилистой и лиственницы сибирской.

Береза извилистая:

1. В **апрельский** период предсезонной реактивации камбия при обильных осадках уменьшается массовая доля целлюлозы у березы извилистой.

2. Повышение температуры в **июне** ведет к ускорению процесса образования целлюлозы и замедлению лигнификации.

3. При повышенной температуре **июля** процесс лигнификации клеточных стенок замедляется.

4. **Августовские** осадки так же определяют пониженное содержание лигнина в клеточных стенках.

5. При повышенной температуре **сентября** ускоряется образование целлюлозы.

Лиственница сибирская:

1. Повышение температуры воздуха в **июне** ведет к аккумуляции связанной воды в поздней древесине.

2. Высокие значения температуры воздуха **июля** ведут к уменьшению массовой доли влаги в клеточных стенках поздней древесины.

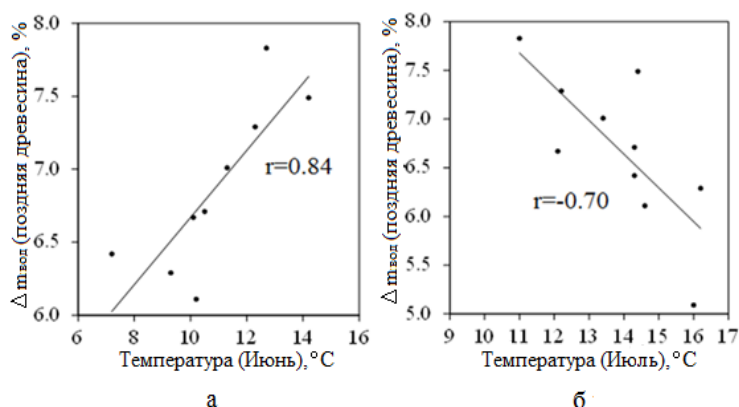


Рис. 3. Зависимость показателей потери массы древесинного вещества у *Larix sibirica* Ledeb от температуры воздуха: а – связанная вода в поздней древесине, июнь; б – связанная вода в поздней древесине, июль

Список литературы

- Holtmeier F.-K. Mountain Timberlines: Ecology, Patchiness, and Dynamics. Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2009. 437 p.
- Гамалей Ю. В. Клеточные системы растений // Физиология растений. 2008. № 2. С. 300–311.
- Гамалей Ю. В. Кривофиты Евразии: происхождение и структурно-функциональная специфика // Ботанический журнал. 2011. № 12. С. 1521–1546.
- Петров И. А., Двинская М. Л., Им С. Т. Реакция хвойных экотона альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау на изменение климата // Сибирский экологический журнал. 2011. № 4. С. 518–527.
- Poletto M., Dettenborn J., Pistor V, Zeni M., Zattera A. J. Materials Produced from Plant Biomass. Part I: Evaluation of Thermal Stability and Pyrolysis of Wood // Materials Research, 2010. № 13. P. 375–379.
- Speer J. H. Fundamentals of tree-ring research. Tucson: University of Arizona Press, 2010. 360 p.
- Poletto M., Zattera A. J., Forte M. M. C., Santana R. M. C. Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size // Bioresource Technology, 2012, № 109. P. 148–153.
- Jin W., Singh K., Zondlo J. Pyrolysis kinetics of physical components of wood and wood-polymers using isoconversion method // Agriculture. 2013. № 3. P. 12–32.
- Лоскутов С. Р., Шапченкова О. А., Анискина А. А. Термический анализ древесины основных лесообразующих пород Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 12–32.

