

Научная статья

УДК 551.583.:581 (571.12)

doi: 10.17223/25421379/36/10

## КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНЕГОДОВОГО ПРИРОСТА ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД ПОДТАЙГИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ



Лариса Борисовна Филандышева<sup>1</sup>, Татьяна Владимировна Ромашова<sup>2</sup>,  
Нина Степановна Евсеева<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>1</sup> [filandysheva@yandex.ru](mailto:filandysheva@yandex.ru)

<sup>2</sup> [romtvtom@rambler.ru](mailto:romtvtom@rambler.ru)

**Аннотация.** Рассмотрено влияние гидротермических факторов на рост лесобразующих рассеянно-сосудистых пород (березы, осины) деревьев подтаежных ландшафтов юго-востока Западной Сибири. Установлены тенденции их ежегодных приростов, а также показателей термического режима и увлажнения на уровне среднесуточных, среднемесячных, сезонных и среднегодовых значений. Выявлены ведущие климатические показатели, определяющие как благоприятные, так и неблагоприятные условия развития мелколиственных пород, а также их отклик на изменения современного климата.

**Ключевые слова:** изменение климата, сезоны года, среднегодовой прирост, береза, осина, рассеянно-сосудистые породы, подтайга, Западная Сибирь

**Для цитирования:** Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В., Евсеева Н.С. Климатически обусловленная изменчивость среднегодового прироста основных лесобразующих пород подтайги юго-востока Западной Сибири // Геосферные исследования. 2025. № 3. С. 170–181. doi: 10.17223/25421379/36/10

Original article

doi: 10.17223/25421379/36/10

## CLIMATICALLY-DRIVEN VARIABILITY IN ANNUAL GROWTH OF DIFFUSE-POROUS TREE SPECIES IN THE SUBTAIGA OF SOUTHEAST WESTERN SIBERIA

Larisa B. Filandysheva<sup>1</sup>, Tatiana V. Romashova<sup>2</sup>, Nina S. Evseeva<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>1</sup> [filandysheva@yandex.ru](mailto:filandysheva@yandex.ru)

<sup>2</sup> [romtvtom@rambler.ru](mailto:romtvtom@rambler.ru)

**Abstract.** Amidst regional climate changes as a consequence of global fluctuations, research focusing on the impact of these changes on the growth of forest-forming species is increasingly relevant. In Russia, forests are a crucial renewable natural resource, playing a leading role in the economy and holding national ecological, economic, and social significance.

Trees in temperate zones annually accumulate wood during the growing season, forming annual layers (growth rings). The dynamics of trees' annual growth is largely determined by the weather conditions of a particular year. Dendrochronological analysis, which aims to identify the response of different tree species to climatic events, especially anomalies, is used for their assessment.

This article examines the influence of hydrothermal factors on the growth of forest-forming small-leaved species (birch, aspen) in the subtaiga landscapes of Southeast Western Siberia, against the backdrop of regional climate peculiarities. The research area is the basin of the Basandayka River, on the outskirts of Tomsk, where trees were cut down at two key sites. The age of the sampled trees was 9–10 years (15 samples). For analysis, 6 tree cuts of comparable age were used, as their planting years were known: – for birch, 10 years (2008–2017), and for aspen, 9 years (2009–2017).

Meteorological data (temperature and precipitation) of average daily data from the VNIIGMI-MCD database for the period 2008–2017 at the Tomsk weather station served as the basis for studying regional climate changes and their impact on the growth of birch and aspen.

Climate changes were analysed according to calendar dates and natural seasons. The boundaries and structure of natural seasons were established using a complex-genetic method applied to studying the seasonal rhythms of the climate.

The study revealed trends in the annual growth of the tree species examined, as well as the indicators of thermal regime and moisture at monthly, annual, and seasonal levels. Leading climatic indicators that determine both favourable and unfavourable conditions for the development of small-leaved species and their response to climate change were identified.

Our research indicated that the dominant importance of each climatic indicator for tree growth in the subtaiga is mainly due to the phase of the vegetative period and the natural season of the year, as other geographical growth conditions are identical. An increase in the duration of the vegetative part of the annual cycle, combined with a decrease in the duration of the cold-snowy part and an increase in cold season temperatures, can be viewed as regional climatic changes positively affecting the growing conditions of birch. It was also found that the most significant climatic response in this small-leaved species is associated with summer temperatures, while for aspen, it is with winter temperatures. Aspen shows a high positive correlation with precipitation during the phases of 'late summer' and 'early autumn' (August–September), and a significant negative dependency on central summer precipitation.

Thus, the ongoing regional climate changes towards warming and increased moisture, overall, positively influence the growth conditions of small-leaved species."

**Keywords:** *climate change, seasons of the year, birch, aspen, sub-boreal forest, Western Siberia*

**For citation:** Filandysheva L.B., Romashova T.V., Yevseyeva N.S. (2025) Climatically-driven variability in annual growth of diffuse-porous tree species in the subtaiga of southeast Western Siberia. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 3. pp. 170–181. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/36/10

## Введение

В последние десятилетия на нашей планете наблюдается глобальное изменение климата. Эксперты считают, что начиная с 1976 г. отмечается период наиболее интенсивного потепления, которое продолжается и в настоящее время. Средние темпы потепления приземного воздуха в глобальном масштабе в течение 1976–2020 гг. составили 0,18 °C/10 лет, т.е. за этот период глобальная температура выросла на 0,8 °C [Третий оценочный доклад..., 2022]. Темпы потепления на территории России в этот же период примерно в 2,5 раза выше средне-глобальных, так как скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила +0,49 °C/10 лет [Доклад об особенностях климата..., 2023]. При этом наиболее быстрое потепление наблюдается в азиатской части России: 0,71 °C/10 лет, причём во все сезоны года [Третий оценочный доклад..., 2022].

На фоне повышения температуры воздуха отмечается увеличение количества глобальных осадков над сушей, причем его темпы растут. Этот прирост оценивается в 5–10 мм/год за десятилетие на фоне значительных межгодовой изменчивости и региональной неоднородности [Третий оценочный доклад..., 2022]. Наиболее чутким индикатором изменения климата является растительность, в том числе лесная. Однако из-за стремительного глобального изменения климата в последние десятилетия природные системы, в том числе леса, не имеют времени плавно эволюционировать, как это происходило в геологическом прошлом Земли [Can we make..., 2014]. В связи с этим изучение эволюции природной среды и способов адаптации её к изменениям климата относится к одному из важнейших фундаментальных направлений научных исследований [Программа..., 2020; Адаптация..., 2023; Бореальные леса..., 2023].

Леса в России являются одним из важнейших видов возобновляемых природных ресурсов и играют

одну из ведущих ролей в развитии экономики, в улучшении окружающей среды, повышении благосостояния населения, т.е. имеют общегосударственное экологическое, экономическое и социальное значение.

Деревья умеренного пояса ежегодно наращивают древесину в течение вегетационного периода, формируя годичные слои (годичные кольца). Динамика годичного прироста деревьев определяется их биологическими особенностями и экологическими факторами (абиотическими и биотическими). Биотические факторы связаны с влиянием живых организмов и могут быть фитогенными, зоогенными и антропогенными. К абиотическим факторам, т.е. факторам экотопа, относятся климатические (тепло, вода, свет), эдафические (почва), орографические (рельеф) и химические [Таксация леса, 2012]. От климатических условий зависит производительность лесов и разнообразие лесной флоры и фауны; направленность и динамика нежелательных сукцессий; гидрологический режим лесов и рек; устойчивость лесных биогеоценозов к разрушающим природным и антропогенным факторам [Доклад о климатических рисках..., 2017; Константинов, Матвеев, 2020]. Таким образом, в значительной мере «здоровье» и эволюция лесных экосистем определяются погодными условиями конкретного года и климата в целом.

Одним из самых точных индикаторов изменения окружающей среды и колебания климата является дендрохронологический метод или метод древесно-кольцевой индикации [Дьяконов, Бочкарев, 2010; Шиятов, 2020], позволяющий получить количественные и качественные данные о годичных кольцах. Важнейший этап дендрохронологического анализа – выявление климатического отклика той или иной породы деревьев исследуемого региона [Мацковский, 2013; Ботыгин и др., 2015].

В подтаёжной подзоне Западной Сибири, протянувшейся узкой полосой между 57° и 56° с.ш., наиболее широко распространёнными из рассеянно-сосудистых пород являются берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и осина (*Populus tremula* L.). Они же

здесь являются основными лесообразующими породами, коренными для данной экосистемы (а не вторичными, как в других регионах Евразии) [Хромых, Гуськова, 2015; Юрковская, Сафонова, 2019; Шишкин и др., 2019].

Анализ литературных источников по оценке влияния климата на годовой прирост деревьев показал, что исследования учёных [Магда, 2003; Малышева, Быков, 2011; Дьяконов, Бочкарев, 2010; Koprowski et al., 2012; Тайник и др., 2015; Долгова и др., 2019; Рыгалова, Харламова, 2021] проводились в основном для хвойных пород. Изменчивость прироста мягколиственных древесных пород под влиянием колебаний метеорологических параметров до последнего времени вообще оставалась почти не исследованной [Хамидуллина, 2008; Шишкин и др., 2019; Фонти, Прокушкина, 2021], а для осины такие данные очень редки и единичны [Воробьева, Румянцев, 2023].

Цель данной работы – выявление ведущих климатических факторов, определяющих прирост древесины, и анализ отклика основных лесообразующих пород деревьев (береза, осина) на колебания климата в подтайге Западной Сибири в пределах городского округа Томск.

### Материал, методы и методика исследования

Объектами исследования послужили типичные представители рассеянно-сосудистых мелколиственных древесных пород – береза и осина. Район исследования – территория бассейна реки Басандайка на окраине г. Томска, где производились спилы деревьев на двух ключевых участках. Первый участок – поверхность водораздельной равнины Томи и Басандайки с абсолютными высотами 100–110 м – ранее использовалась как пашня. Уклоны поверхности в пределах 1–3°, почвенный покров представлен серыми лесными почвами, сформированными на лёссовидных суглинках. В 2008 г. на этом участке образовался густой молодой березняк высотой 3–5 м.

Второй ключевой участок находился на междуречье Томи и Басандайки, вдоль трассы Томск–Аэропорт между сёлами Лоскутово и Богашёво. Слабо наклонная поверхность крутизной 1–3° представлена насыпными грунтами (в основном лёссовидных суглинков, супесей с примесью песка, гравия и гальки). Высота березок – 3 м.

Отбор дендрохронологического материала произведён посредством спила на высоте 0,3 м от поверхности земли. Анализ ширины годичных колец и прироста древесины на образцах древесины проводился с помощью программно-измерительного полуавтоматического комплекса LINTAB-6 (Германия) с точностью измерения 0,01 мм. Известно, что в пределах зон

умеренного и холодного климата, где выражена смена сезонов года, у древесных растений наблюдается периодическая активность камбиального слоя. В этих районах у деревьев, как правило, появляется один слой прироста за вегетационный период. На поперечных срезах эти слои хорошо заметны в виде колец [Тишин, Чижикова, 2018]. Возраст учтенных деревьев составил 9–10 лет; всего – 35 проб. Для анализа нами были использованы 26 образцов спилов деревьев, возраст которых был сопоставимым, так как известны годы их посадок – у берёз 10 лет (с 2008 по 2017 г.), у осины – 9 лет (с 2009 по 2017 г.).

Материалом для исследования региональных особенностей изменения климата послужили данные по температуре приземного слоя воздуха и осадкам среднесуточного, среднемесячного и среднегодового разрешения из базы данных ВНИИГМИ-МЦД за период с 2008 по 2017 г. по метеостанции Томск.

Климатические изменения анализировались по календарным и естественным сезонам года. Выделение естественных сезонов года осуществлялось с помощью комплексно-генетического метода, применяемого нами к изучению сезонных ритмов климата [Филандышева и др., 2021]. Суть метода состоит в том, что при установлении сезонной структуры года для каждой конкретной территории с относительно однородными условиями климата, необходим одновременный учёт хронологического хода всех факторов климатообразования (солнечной радиации, циркуляции атмосферы, характера подстилающей поверхности) и явлений природы, с ними связанных [Галахов, 1959]. В качестве критериев для отграничения сезонов года и их фаз для Томска используются показатели, обоснованные в работах Н.В. Рутковской [1979], с учётом уточнений Т.В. Ромашовой [2004].

Естественный год, как и календарный, состоит из четырёх сезонов года. В каждом сезоне выделяется по три структурные единицы – фазы. Весна делится на три фазы: «снеготаяние», «послезимье» и «предлетье». Начало фазы «снеготаяние» знаменует прекращение устойчивых морозов и достижение максимальных запасов воды в снеге, а её конец (или начало фазы «послезимье») – датой разрушения устойчивого снежного покрова. Вторая фаза весны («послезимье») от третьей («предлетье») отделяется по дате окончательного схода снежного покрова.

В течение летнего сезона выделяются такие фазы, как «умеренно-прохладное лето», «умеренно-тёплое лето», «спад лета». С началом лета (фаза «умеренно-прохладное лето») в жизни живой природы происходят существенные изменения, поскольку минимальная температура воздуха переходит через 5° (термический минимум ассимиляции), т.е. с этого времени жизнедеятельность растений становится активной и

бесперебойной [Степанов, 1957]. Вторая фаза лета охватывает время с температурами, устойчиво превышающими  $+15^{\circ}\text{C}$ .

Конец фазы «спад лета» (дата устойчивого перехода среднесуточной температуры ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ ) знаменует начало первой фазы осени – «становление осени», конец которой соответствует переходу средней суточной температуры воздуха и влажности, соответственно, через  $+5^{\circ}\text{C}$  и  $6\text{ гПа}$  на кривой спад их значений. Центральную фазу осени называют «поздняя осень». От третьей фазы этого сезона («предзимье») она отделяется по дате появления неустойчивого снежного покрова, конец фазы «предзимье» знаменует дата начала устойчивых морозов [Рутковская, 1979].

Зима состоит из следующих фаз: «умеренно-морозная зима», «значительно-морозная зима», «предвесенье». Критерии начала первой и последней из них были указаны выше, так как это, соответственно, показатель конца фазы «предзимье» и начала фазы «снеготаяние». Холодное ядро зимы – «значительно-морозная зима» – охватывает отрезок времени со средней суточной температурой воздуха ниже  $-16^{\circ}\text{C}$  [Ромашова, 2004].

Для каждого сезона и их структурных единиц (фаз) нами были рассчитаны временные характеристики (даты начала, конца, продолжительность) и гидротермические показатели (суммы температур и осадков, их средние значения).

Закономерности изменений климатических характеристик изучались методами математической статистики: проводилась оценка нормы и изменчивости статистических рядов, применялся корреляционный метод и тренд-анализ. Коэффициент корреляции позволяет количественно оценить линейную связь между переменными рядами [Козлов и др., 2021]. Значение коэффициента корреляции Пирсона говорит о тесноте связи: слабой (0 до  $\pm 0,24$ ), средней ( $\pm 0,25$  до  $\pm 0,49$ ), высокой ( $\pm 0,50$  до  $\pm 0,74$ ) и очень высокой ( $\pm 0,75$  до  $\pm 1$ ). Линейные тренды рассчитываются методом наименьших квадратов и характеризуют тенденции (среднюю скорость) изменений рассматриваемых величин за определенный период.

Среди показателей балансового подхода для оценки тепло- и влагообеспеченности территории используют разнообразные характеристики, среди которых можно отметить гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова [Вериги, Разумова, 1963], который рассчитывается по формуле

$$\text{ГТК} = 10R_{>10^{\circ}} / \Sigma T_{>10^{\circ}},$$

где  $R_{>10^{\circ}}$  – сумма осадков (мм) за период со среднесуточной температурой воздуха выше  $+10^{\circ}\text{C}$ ;  $\Sigma T_{>10^{\circ}}$  – сумма температур ( $^{\circ}\text{C}$ ) за тот же период.

Между ГТК и ежегодным приростом древесины также нами рассчитывались коэффициенты корреляции, из которых были выбраны наиболее значимые

(по абсолютной величине от 0,4 и выше). Линейные тренды прироста древесины выражаются в миллиметрах за десятилетие (мм/10 лет). Значимость линейных трендов устанавливалась по величине коэффициента детерминации ( $R^2$ ), показывающего вклад линейного тренда в общую изменчивость исследуемой переменной.

Систематизация и анализ полученных данных, требующие синтеза времени и пространства в едином целом, соизмерения естественных ритмов климата с закономерностями развития природной среды, проводились на основе геосистемного подхода [Сочава, 1963; Demek, 1974; Коновалова, 2019].

## Результаты исследования и обсуждение

Исследование полученного дендроматериала показало, что средний общий радиальный прирост древесины у разных мелколиственных пород деревьев отличается. Средняя многолетняя величина прироста за указанные периоды у березы оказалась больше, чем у осины, и составила 1,6 и 1,2 мм соответственно.

Минимальные и максимальные значения радиального прироста у этих пород отличаются также по значениям и наблюдаются в разные годы (рис. 1, а, б). Узкие кольца у осины сформировались в 2011, 2014, 2016 гг., составив в 2011 г. всего 0,2 мм. У березы наименьший прирост зафиксирован в 2008, 2017 и 2014 гг. с минимумом в 2008 г. – 0,31 мм. Наибольшие приросты древесины также отмечались в разные годы у осины (2012, 2015, 2017 гг.) и берёзы (2009, 2013, 2016 гг.), достигая максимума у осины 2 мм (2015 г.) и у берёзы 2,65 мм (2009 г.).

Оказалось, что большей временной изменчивостью значений годового прироста древесины характеризуется осина (коэффициент вариации 0,5) по сравнению с берёзой (коэффициент вариации 0,37). Скорость годового прироста у осины оказалась почти в 5,6 раз выше, чем у березы (коэффициент линейного тренда у осины –  $+1,56\text{ мм/10 лет}$ , у березы –  $+0,28\text{ мм/10 лет}$ ).

Исследование региональных особенностей изменения климата мы начали с расчёта и сравнительного анализа среднегодовых, среднемесячных и среднесуточных температур приземного слоя воздуха по календарным сезонам года.

Для территории региона характерен умеренно-континентальный климат с умеренно холодной зимой, умеренно теплым летом. Среднегодовое количество осадков – 580 мм. Диапазон изменения средних месячных температур воздуха в Томске составляет от  $-18,4$  (январь) до  $+18,8^{\circ}\text{C}$  (июль) в течение года, при средней годовой температуре  $+1,1^{\circ}\text{C}$ , которая в пе-

риод с 1881 по 2019 г. повысилась на 2,68 °С [Филандышева и др., 2021]. Особенно заметен рост значений показателей гидротермического режима (хотя и с разной интенсивностью) с 1970-х гг. В период с 2008 по 2017 г. этот тренд продолжался, т.е. коэффициенты линейного тренда имеют положительные значения как у среднегодовых температур, так и сумм осадков (рис. 1, *c*, *d*).

Изменения среднегодовых значений температур приземного слоя воздуха даёт общее представление

об их временной динамике, но не отражает особенности изменений внутри года. Для анализа такой динамики были рассчитаны средние многолетние значения температуры за каждый месяц.

Анализ межгодовой и внутригодовой динамики термического режима в г. Томске, а также средних многолетних среднесуточных показателей температуры воздуха показал, что в подтайге юго-восточной части Западно-Сибирской равнины наблюдается изменение климата в сторону потепления.

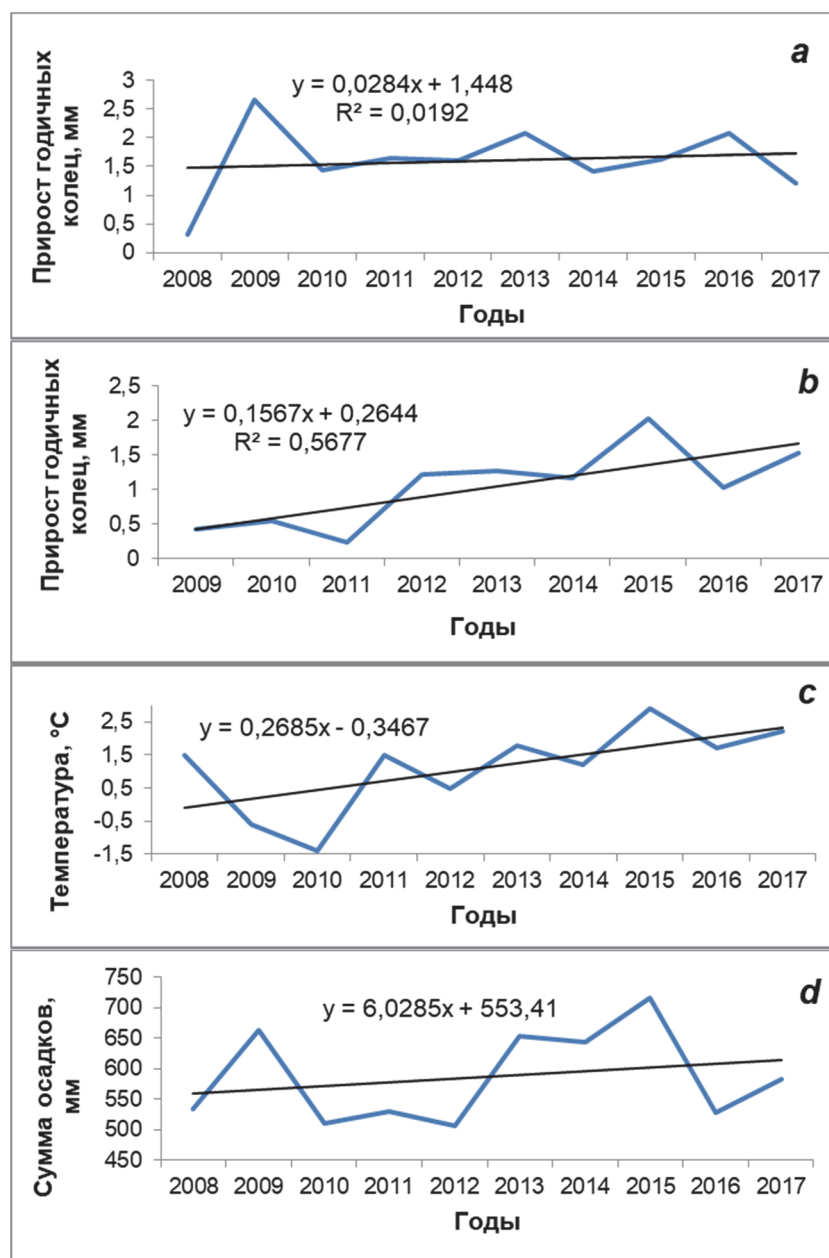


Рис. 1. Динамика ежегодного радиального прироста древесины березы (*a*) и осины (*b*), среднегодовых температур (*c*) и сумм осадков (*d*) за период с 2008 г. по 2017 г. (по данным метеостанции Томск)

— — линейный тренд

Fig. 1. Dynamics of annual radial growth of wooden birch (*a*) and aspen (*b*) wood, average annual temperatures (*c*) and precipitation amounts (*d*) for the period from 2008 to 2017 (according to the Tomsk weather station)

— — linear trend



Причем если с 1970-х гг. происходило потепление, главным образом, зимних сезонов, то в последние десятилетия повышение температур характерно для всех сезонов года. Наиболее значительно повысились температуры воздуха в ноябре, декабре, марте и августе. Зима по-прежнему осталась основным сезоном годового цикла, хотя её продолжительность уменьшилась за 80 лет со 144 до 130 дней (на 10 %) и еще больше (на 15 %) сократилась продолжительность её центральной фазы (холодного ядра). Соответственно, увеличилась продолжительность летнего сезона (со 114 до 126 дней), как и его центральной фазы (с 62 до 81 дня). В связи с этим доля вегетационной части годового цикла (ВЧГЦ) увеличилась с 48,5 до 53,2 %, а холодно-снежной (ХСЧГЦ), соответственно, уменьшилась. Амплитуда колебания между экстремальными значениями температур в среднем за зимние месяцы уменьшилась на 0,9 °C (с 9,1 до 8,2 °C), что говорит о смягчении в той или иной степени в регионе климата в холодное время года [Филандышева и др., 2021].

Ранее [Рудский, 2012] установлена отчетливая реакция природной среды на современное изменение климата, проявляющаяся в изменении сроков наступления фенологических явлений на территории подтаежной зоны Томской области. Наиболее интенсивно проявляется изменение местного климата в переходные сезоны года [Филандышева и др., 2021] – весной и осенью, в частности, определено смещение фенологических рубежей весеннего сезона в сторону более ранних сроков [Лукашева, 2021], а осеннего сезона – в сторону более поздних сроков.

Для более детального исследования влияния климатических условий на изменение ширины годичных колец разных мелколиственных пород деревьев нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между годовыми значениями прироста древесины и показателями гидротермического режима (среднемесячными значениями температуры приземного слоя воздуха и среднемесячными суммами осадков), результаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции величин годичного радиального прироста березы и осины со среднемесячными и среднегодовыми климатическими показателями за период с 2008 по 2017 г. по данным метеостанции Томск

Table 1

Correlation coefficients of annual radial growth values of birch and aspen with average monthly and average annual hydrothermal indicators for the period from 2008 to 2017 (according to the Tomsk weather station)

Порода деревьев	Коэффициент корреляции прироста деревьев по месяцам												Средний годовой коэффициент
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Со среднемесячной температурой воздуха													
Береза	0,19	−0,22	−0,62	0,49	−0,29	−0,25	0,55	0,29	−0,37	−0,33	−0,41	0,44	0,25
Осина	0,73	0,53	0,45	0,06	0,33	0,28	0,01	0,49	0,4	−0,34	0,00	0,53	0,62
Со среднемесячной суммой осадков													
Береза	0	−0,05	−0,1	−0,28	0,46	−0,31	0,36	0,02	−0,09	0,23	0,00	0,44	0,36
Осина	0,7	0,35	0,36	0,18	0,13	−0,14	−0,5	0,68	0,58	0,31	−0,47	0,10	0,48

Примечание: Здесь и в табл. 2 жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Note: Here and in the Table 2 statistically significant correlation coefficients are highlighted in bold.

Выяснилось, что на рост березы наибольшее влияние оказывают температуры весенних месяцев – марта (коэффициент корреляции равен  $-0,62$ ), апреля ( $+0,49$ ) и центрального месяца лета (июль,  $+0,55$ ), тогда как у осины – зимних, особенно января ( $+0,73$ ). Причем с мартовскими температурами у березы связь отрицательная, т.е. более низкий уровень мартовских температур, как выяснилось, оказывает более благоприятное влияние на развитие березы в дальнейшем.

С величиной среднемесячных осадков годовой радиальный прирост у березы имеет слабую корреляцию (см. табл. 1). Самые высокие значения коэффи-

циента корреляции между этими показателями характерны для мая ( $+0,45$ ) и декабря ( $+0,44$ ). Значительно выше зависимость прироста от осадков прослеживается у осины, а именно осадков января ( $+0,7$ ), августа ( $+0,68$ ) и сентября ( $+0,58$ ). Однако большое количество осадков в некоторые месяцы может оказать и негативное влияние на состояние осины, в частности, отрицательная корреляция прослеживается с осадками ноября ( $-0,47$ ) и июля ( $-0,5$ ). В целом корреляционная зависимость годового прироста древесины со среднегодовыми показателями температуры воздуха и осадков положительная, причём она особенно

значима у осины (от среднегодовой температуры коэффициент корреляции составил +0,62).

Полученные нами результаты уточняют исследования других авторов [St. George, 2014; Дюкарев и др., 2020], которые считают, что ширина колец всех деревьев, растущих во внетропических районах Северного полушария, зависит от температурных особенностей зимы, летних осадков или летней температуры. Оказалось, что даже такие «родственные» породы деревьев, как берёза и осина, имеют как общие, так и индивидуальные экологические требования к произрастанию [Чижов и др., 2013]. Так, по расположению сосудов в древесине берёза и осина относятся к рассеянно-сосудистым [Древесиноведение, 2011] листовым породам, у которых годичные слои имеют однородное строение, но границы между ними плохо заметны. В то же время по макроскопическому строению древесины и её внешнему виду берёза относится к заболонным, а осина – к спелодревесным породам. Отличаются породы и по плотности древесины: осина имеет низкую плотность (495 кг/м<sup>3</sup>), берёза – среднюю плотность (570 кг/м<sup>3</sup>) [Михайлов, 1985; Уголев, 2007]. Последняя характеристика влияет на теплопроводность: с повышением плотности древесины теплопроводность увеличивается, поскольку древесинное вещество обладает значительно большей теплопроводностью по сравнению с воздухом, объем которого в древесине с повышением её плотности уменьшается. Важным фактором, влияющим на теплопроводность древесины, является температура воздуха: при увеличении температуры теплопроводность повышается [Матвеев, 2013]. В связи с этим более объективным подходом для выявления изменчивости прироста этих древесных пород от влияния колебаний метеопараметров может стать корреляционный анализ по естественным (не календарным) сезонам года.

Анализ полученных результатов за зимний сезон показал, что на состояние березы оказывают слабое влияние погодные условия этого времени года.

В то же время у осины получилась значимая связь между радиальным приростом и средней суточной температурой за сезон в целом (+0,65), а также суммой температур за это время (+0,5). Это согласуется с оценкой тесноты связи годового прироста со среднемесячными температурами, приведенной выше.

У берёзы оказалась наиболее тесная связь радиального прироста с климатическими характеристиками весеннего сезона года и его структурных единиц, а именно: с продолжительностью фазы снеготаяния (–0,54), с суммой температур (+0,51) и суммой осадков (–0,51) за эту же фазу, а также со средней температурой за весь сезон (+0,59). У осины значимая связь отмечается с меньшим количеством климатических показателей весны по сравнению с берёзой – с датой начала весеннего сезона (–0,57) и со средней температурой фазы снеготаяния (–0,51).

Из климатических характеристик летнего сезона, оказывающих влияние на прирост древесины, можно назвать следующие: для берёзы – сумма осадков за фазу умеренно-теплое лето (+0,63) и спад лета (–0,4); у осины – сумма температур за центральную фазу лета (+0,41) и сумма температур за лето в целом (+0,55).

Роль погодных условий осени в величине радиального прироста древесины оказалась более значима по сравнению с летним сезоном. Для берёзы в их число вошли продолжительность осени (–0,63, при этом у осины +0,43), сумма среднесуточных температур (–0,59) и их средний уровень (–0,48); для осины – сумма осадков за сезон (+0,7, при этом у берёзы корреляция отрицательная –0,29).

Далее нами были рассчитаны за каждый год исследуемого периода по всем структурным единицам летнего сезона (периода наибольшей активности биоты) значения ГТК Г.Т. Селянинова – универсального показателя уровня влагообеспеченности территории. Затем между ГТК и величинами ежегодного прироста берёзы и осины были определены коэффициенты корреляционной зависимости (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции величин годичного радиального прироста берёзы и осины с показателями гидротермического режима летнего сезона и его структурных единиц (фаз) за период с 2008 по 2017 г.**

Table 2

**Correlation coefficients of annual radial growth values of birch and aspen with indicators of the hydrothermal regime of the summer season and its structural units (phases) for the period from 2008 to 2017 (according to the Tomsk weather station)**

Порода деревьев	Коэффициенты корреляции по структурным единицам (фазам) летнего сезона											
	Умеренно-прохладное лето (1-я фаза)			Умеренно-тёплое лето (2-я фаза)			Спад лета (3-я фаза)			Летний сезон в целом		
	$\sum t^{\circ}\text{C}$	$\sum \text{ос}$	ГТК	$\sum t^{\circ}\text{C}$	$\sum \text{ос}$	ГТК	$\sum t^{\circ}\text{C}$	$\sum \text{ос}$	ГТК	$\sum t^{\circ}\text{C}$	$\sum \text{ос}$	ГТК
Берёза	−0,18	−0,05	−0,57	0,22	0,63	−0,36	0,03	−0,4	0,4	0,03	0,31	−0,24
Осина	−0,14	−0,22	−0,7	0,41	−0,14	0,25	−0,02	0,18	0,18	0,19	−0,17	0,2

Примечание.  $\sum t^{\circ}\text{C}$  – сумма среднесуточных температур за фазу;  $\sum \text{ос}$ , мм – сумма осадков за фазу; ГТК – гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова.

Note:  $\sum t^{\circ}\text{C}$  – sum of average daily temperatures per phase;  $\sum \text{precipitation}$ , mm – amount of precipitation per phase; ГТК – Selyaninov hydrothermal humidification coefficient.

Анализ данных табл. 2 показывает, что у берёзы и осины радиальный прирост древесины имеет значимую отрицательную связь с ГТК первой фазы лета ( $-0,57$  и  $-0,7$  соответственно), а с ГТК в целом за сезон у обеих пород она незначительна, но имеет разный знак.

Для более глубокого анализа также были выбраны годы с максимальным и минимальным приростом у каждой породы. У берёзы максимальные значения прироста были зафиксированы в 2009, 2013 и 2016 гг. В эти годы во все структурные единицы летнего сезона ГТК соответствовал слабо-засушливым условиям или недостаточно увлажненным (от 0,59 до 0,8). В 2013 и 2016 гг. фаза умеренно-прохладного лета выпадала, но сезоны в целом (соответственно, 97 и 112 дней) и их центральные фазы (соответственно, 84 и 87 дней) были длинными, т.е. лето в эти годы было теплым, достаточно продолжительным и благоприятным для развития берёзы. Другими исследователями [Скорость роста берёзы..., 2023] указывается, что низкие температуры и короткое лето оказывают негативное воздействие на рост дерева, что согласуется с полученными нами результатами.

Для осины максимальный прирост наблюдался в 2015, 2017 и 2013 гг. В эти годы зимние сезоны 2014/15 и 2016/17 были теплее нормы, а по структуре – безъядерные или с неустойчивым термическим режимом. Летние сезоны этих лет начинались рано (5 и 8 мая соответственно) при среднемноголетней дате начала лета 28 мая.

Известно, что узкие слои прироста древесины образуются в неблагоприятных условиях (сильное затенение, объедание листьев насекомыми, пожары). Наши дендрообразцы за непродолжительный период произрастания избежали этих воздействия и главным фактором, определяющим их развитие в течение рассматриваемых лет, был климатический (температура воздуха, характер увлажнения, соотношение в тепле и влаге, продолжительность и структура сезонов и др.). Как выяснилось, для обеих пород одновременно был неблагоприятным 2014 г. (низкий прирост древесины: у осины – 1,2 мм, а у берёзы – 1,4 мм). Зима этого года была короткая по продолжительности, но с двукратным превышением осадков; весна тёплая, длинная и очень влажная, лето теплое и сухое, а предыдущая осень – холодная и с осадками выше нормы. Скорее всего, лимитирующим фактором в

этот год стало избыточное увлажнение. В другие годы формирование узких колец почти в 100 % случаев связано с недостаточным увлажнением и средне-засушливыми условиями в первую фазу лета («умеренно-прохладное лето»).

## Заключение

В настоящее время дендроклиматические исследования роста основных лесообразующих пород приобрели особую актуальность в связи с глобальным потеплением климата и прогнозированием реакции лесов на этот процесс. Каждая древесная порода имеет свой адаптивный потенциал, который может быть определен как её способность компенсаторно реагировать на изменение внешней среды [Швиденко, 2017; Константинов, Матвеев, 2020; Липка и др., 2021].

Доминирующее значение каждого из метеорологических элементов для роста деревьев в умеренной зоне обусловлено в основном фазой вегетационного периода и естественного сезона года, так как географические и прочие условия произрастания одинаковы. Увеличение продолжительности вегетационной части года при уменьшении продолжительности и повышении уровня температур воздуха холодно-снежной части годового цикла можно рассматривать как региональные климатические изменения в сторону их улучшения для условий произрастания берёзы. Оказалось, что наиболее значимый климатический отклик у берёзы приходится на летние температуры, а у осины – на зимние. На осадки более отзывчива осина: у неё высокая положительная корреляционная связь с осадками фаз «спад лета» и «становление осени» (август-сентябрь), а также высокая отрицательная зависимость с осадками центральной фазы лета.

Таким образом, происходящие региональные изменения климата в сторону потепления и роста увлажнения в целом оказывают положительное влияние на условия произрастания рассеянно-сосудистых пород деревьев в сибирских условиях. Проведённый анализ региональной изменчивости природно-климатических процессов необходим, по мнению ряда исследователей [Глобальные..., 2019; Чередыко и др., 2020], как основа для принятия научно обоснованных эффективных решений на разных уровнях управления и, тем самым, способствует рационализации природопользования.

## Список источников

- Адаптация** к изменению климата. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-adaptation> (дата обращения: 09.09.2023).  
**Бореальные** леса и изменение климата – от воздействия до адаптации. Аналитическая записка. Женева : ЕЭК ООН, 2023. 22 с.  
**Ботыгин И.А., Волков Ю.В., Попов В.Н., Тартаковский В.А., Ботыгин И.А.** Методы и алгоритмы восстановления климатологической информации на основе дендрохроноиндикаторов. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 185 с.



- Вериго С.А., Разумова Л.А.** Почвенная влага и её значение в сельскохозяйственном производстве. Л. : Гидрометеиздат, 1963. 289 с.
- Воробьева Н.С., Румянцев Д.Е.** Специфика проявления климатического сигнала в хронологиях осины для древостоев из разных частей Русской равнины // Лесохозяйственная информация. 2023. № 1. С. 5–16.
- Галахов Н.Н.** Изучение структуры климатических сезонов года. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 213 с.
- Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Воронеж, 3–5 октября 2019г.) / под общ. ред. С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой.** Воронеж : Цифровая полиграфия, 2019. Т. 1. 532 с.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации.** СПб. : Росгидромет, 2017. 106 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год.** М. : Росгидромет, 2023. 104 с.
- Долгова Е.А., Соломина О.Н., Мацковский В.В., Добрянский А.С., Семеняк Н.А., Шпунт С.С.** Пространственная изменчивость прироста сосны на Соловецких островах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019 (2). С. 41–50. doi: 10.31857/S2587-55662019241-50
- Древесиноведение с основами лесного товароведения / сост. Э.Э. Пауль.** Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2011. 42 с.
- Дьяконов К.Н., Бочкарев Ю.Н.** Геофизические факторы динамики радиального прироста деревьев в ландшафтах Западно-Сибирской равнины и Приэльбрусья // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2010. № 4. С. 3–9.
- Дюкарев Е.А., Воропай Н.Н.** Многолетняя динамика условий засушливости в период современных климатических изменений // Экспертно-аналитический доклад по тематике и результатам исследований научной школы «Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата». Ханты-Мансийск : Югорский государственный университет, Институт нефти и газа, 2020. 115 с.
- Козлов А.Ю., Мхитарян В.С., Шишов В.Ф.** Статистический анализ данных в MS Excel. М. : Инфра-М, 2021. 320 с.
- Коновалова Т. И.** Научные основы геосистемного картографирования // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 29. С. 85–100.
- Константинов А.В., Матвеев С.М.** Методический подход к оценке адаптационного потенциала лесных экосистем Российской Федерации // Тр. Санкт-Петербург. науч.-исслед. ин-та лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 14–33.
- Липка О.Н., Корзухина М.Д., Замолотчикова Д.Г., Добролюбова Н.Ю., Крыленко С.В., Богдановича А.Ю., Семенова С.М.** Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение. 2021. № 5. С. 531–546.
- Лукашева М.А.** Динамика наступления фаз у березы *Betula pendula* Roth (b. *Verrucosa* ehrh.) в Алтайском государственном заповеднике // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов : материалы Всерос. науч.-практ. конф., 22–24 апреля 2021 г. Екатеринбург : УФУ, 2021. С. 346–350.
- Магда В.Н.** Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири : дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2003. 188 с.
- Малышева Н.В., Быков Н.И.** Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири. Барнаул : АЗБУКА, 2011. 125 с.
- Матвеев С.М.** Дендрохронология. Методика дендрохронологического анализа : метод. указания к лабораторным работам для студентов по направлению подготовки 250100 Лесное дело. Воронеж : ВГЛТА, 2013. 43 с.
- Мацковский В.В.** Климатический сигнал в ширине годовых колец хвойных деревьев на севере и центре Европейской территории России. М. : ГЕОС, 2013. 147 с.
- Михайлов Л.Е.** Осина. М. : Агропромиздат, 1985. 72 с.
- Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы).** Направление 1,5 – Науки о Земле. Утверждена Правительством РФ 31.12.2020 № 3684-Р.
- Ромашова Т.В.** Сезонные ритмы климата и их влияние на развитие эрозии почв (на примере юга Томской области) : дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2004. 239 с.
- Рудский В.Г.** Экскурсии в природу. Томск глазами фенолога. Томск : Печатная мануфактура, 2012. 44 с.
- Рутковская Н.В.** Климатическая характеристика сезонов года Томской области. Томск : Изд-во ТГУ, 1979. 116 с.
- Рыгалова Н.В., Харламова Н.Ф.** Пространственно-временной анализ формирования узких годовых колец сосны ленточных боров степной зоны Западной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85, № 1. С. 109–119.
- Скорость роста берёзы в год.** URL: <https://xn--38-6kcaakvzsqni5c5b.xn--p1ai/fakty/skorost-rosta-berezy-v-god> (дата обращения: 25.09.2023).
- Сочава В.Б.** Определение некоторых понятий и терминов физической географии // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. 1963. № 3. С. 50–59.
- Степанов В.Н.** Биологическая классификация сельскохозяйственных растений полевой культуры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1957. Вып. 2. С. 5–29.
- Тайник А.В., Мыглан В.С., Бариннов В.В., Ойдунаа О.Ч., Назаров А.Н.** Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на верхней границе леса в республике Тыва // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 91–99.
- Таксация леса.** Курс лекций : учеб. пособие / Д.А. Поздеев, А.А. Петров. Ижевск : ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. 161 с.
- Тишин Д.В., Чижикина Н.А.** Дендрохронология. Казань : Казанский университет, 2018. 34 с.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.** Общее резюме. СПб. : Научное издание, 2022. 124 с.
- Уголев Б.Н.** Древесиноведение и лесное товароведение : учебник. М. : Изд-во МГУ, 2007. 351 с.
- Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В., Юркова К.Д.** Географические особенности г. Томска и динамика сезонных ритмов в условиях глобального изменения климата. Томск : Издательство Томского государственного университета, 2021. 254 с.
- Фонти М.В., Прокушкина А.С.** Климатически обусловленная изменчивость радиального прироста березы пушистой в криолитозоне Средней Сибири // Лесоведение. 2021. № 5. С. 460–471.

Хамидуллина М.И. Взаимосвязь годичного прироста берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) с гидротермическими условиями, предшествующими вспышке массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) в лесах Свердловской области // Аграрный вестник Урала. 2008. № 9 (51). С. 70–72.

Хромых В.С., Гуськова Т.А. Проблема зональных границ юго-востока Западно-Сибирской равнины // Козыбаевские чтения – 2015: Перспективы развития науки и образования : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Петропавловск, 2015. Т. 3. С. 213–218.

Чердыко Н.Н., Тартаковский В.А., Волков Ю.В., Крутиков В.А. Трансформация пространственной структуры поля приземной температуры Северного полушария // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 1. С. 47–55.

Чижов Б.Е., Санников С.Н., Казанцева М.Н., Глухарева М.В., Номеровских А.В., Аверьянов Д.В. Ценоотическая роль осины в лесах Западной Сибири // Лесоведение. 2013. № 2. С. 3–8.

Шишкин А.М., Кулясова О.А., Иванова Р.И. Флористические особенности типов березовых лесов северной лесостепи Западной Сибири // Лесохозяйственная информация. 2019. № 2. С. 55–68.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 3–25.

Шнятов С.Г. Фотомониторинг древесной и кустарниковой растительности в высокогорьях Южного Урала за последние 100 лет. Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. 190 с.

Юрковская Т.К., Сафонова И.Н. Зональное деление растительного покрова Западной Сибири // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 1. С. 3–11.

Can we make better graphs of global temperature history? URL: <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/03/can-we-make-better-graphs-of-global-temperature-history/> (дата обращения: 13.04.2014).

Demek J. Systémová teorie a studium krajiny. Brno : CSAV, 1974. 198 p.

Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszynska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland // Int. J. of Biometeorology. 2012. V. 56 (1). P. 1–10.

St. George S. An overview of tree-ringwidth records across the Northern Hemisphere // Quaternary Science Reviews. 2014. V. 95. P. 132–150.

## References

Adaptatsiya k izmeneniyu klimata [Adaptation to climate change] Electronic resource. URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-adaptation>. (Date of accessed: 09.09.2023). In Russian

Boreal'nye lesa i izmenenie klimata – ot vozdeystviya do adaptatsii. Analiticheskaya zapiska [Boreal Forests and Climate Change – From Impacts to Adaptation. Policy Brief]. [Elektronnyy resurs]. Geneva: EEK OON, 2023. 22 p. In Russian

Botygin I.A., Volkov Yu. V., Popov V.N., Tartakovskiy V.A., Botygin I.A. Metody i algoritmy vosstanovleniya klimatoekologicheskoy informatsii na osnove dendrokronoindikatorov: monografiya [Methods and algorithms for restoring climate-ecological information based on dendrochronological indicators: monograph] Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015. 185 p. In Russian

Verigo S.A., Razumova L.A. Pochvennaya vlaga i ee znachenie v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Soil moisture and its importance in agricultural production]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1963. 289 p. In Russian

Vorob'eva N.S., Rummyantsev D.E. Spetsifika proyavleniya klimaticheskogo signala v khronologiyakh osiny dlya drevostoev iz raznykh chastey Russkoy ravniny [Specificity of manifestation of the climate signal in aspen chronologies for stands from different parts of the Russian Plain] // Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information]. 2003. No. 1. pp. 5–16. In Russian

Galakhov N.N. Izuchenie struktury klimaticheskikh sezonov goda [Study of the structure of the climatic seasons of the year]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1959. 213 p. In Russian

Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye efekty, modeli, prognozy; Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Voronezh, 3–5 oktyabrya 2019g.). [Global climate change: regional effects, models, forecasts; Proceedings of international scientific and practical conference (Voronezh, October 3–5, 2019).] Voronezh: Izdatel'stvo «Tsifrovaya poligrafia», 2019. V. 1. 532 p. In Russian

Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Report on climate risks in the Russian Federation]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2017. 106 p. In Russian

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god [Report on climate features in the Russian Federation for 2022]. Moscow: Gidrometeoizdat, 2023. 104 p. In Russian

Dolgova E.A., Solomina O.N., Matskovsky V.V., Dobryansky A.S., Semenyak N.A., Shpunt S.S. Spatial Variation of Pine Tree-Ring Growth in the Solovetsky Islands // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2019; (2): pp. 41–50. doi: 10.31857/S2587-55662019241-5. In Russian

Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya [Wood science with the basics of forest commodity science] / Sost. Paul' E.E. (2011). Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet. 42 p. In Russian

D'yakonov K.N., Bochkarev Yu.N. Geophysical factors influencing the diameter increment of trees in the landscapes of the West-Siberian plain and the Elbrus region // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5, Geografia. 2010. No. 4. pp. 3–9. In Russian

Dyukarev E.A., Voropay N.N. Mnogoletnyaya dinamika usloviy zasushlivosti v period sovremennykh klimaticheskikh izmeneniy // Ekspertno-analiticheskii doklad po tematike i rezul'tatam issledovaniy nauchnoy shkoly «Dinamika okruzhayushchey sredy i global'nye izmeneniya klimata». Khanty-Mansiysk: FGBOU VO «Yugorskiy gosudarstvennyy universitet», Institut nefi i gaza, 2020. 115 p. In Russian

Kozlov A.Yu., Mkhitarian V.S., Shishov V.F. Statisticheskii analiz dannykh v MS Excel [Statistical data analysis in MS Excel] Moscow: Infra-M, 2021. 320 p. In Russian

Konovalova T.I. Nauchnye osnovy geosistemnogo kartografirovaniya [Scientific foundations of geosystem mapping] // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle. 2019. V. 29. pp. 85–100. In Russian

- Konstantinov A.V., Matveev S.M. *Metodicheskiy podkhod k otsenke adaptatsionnogo potentsiala lesnykh ekosistem Rossiyskoy Federatsii* [Methodological approach to assessing the adaptive potential of forest ecosystems of the Russian Federation] // Tr. Sankt-Peterburg. nauch.-issled. in-ta lesnogo khozyaystva. 2020. No. 2. pp. 14–33. In Russian
- Lipka O.N., Korzukhina M.D., Zamolodchikova D. G., Dobrolyubova N.Yu., Krylenko S.V., Bogdanovich A.Yu., Semenova S.M. *Rol' lesov v adaptatsii prirodnnykh sistem k izmeneniyam klimata* [The role of forests in the adaptation of natural systems to climate change] // Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. 2021. No. 5. pp. 531–546. In Russian
- Lukasheva M.A. *Dinamika nastupleniya fenofaz u berezy betula pendula roth (b. Verrucosa ehrh.) v Altayskom gosudarstvennom zapovednike* [Dynamics of the onset of phenophases in the birch *Betula pendula* roth (b. *Verrucosa* erh.) in the Altai State Nature Reserve] // Klimaticheskie izmeneniya i sezonnaya dinamika landshaftov : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 22–24 aprelya 2021 g.]. Yekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet. 2021. pp. 346–350. In Russian
- Magda V.N. *Radial'nyy prirost drevesnykh rasteniy kak pokazatel' uvlazhneniya na yuge Sibiri: dis. ... kand. biol. nauk.* [Radial growth of woody plants as an indicator of moisture in the south of Siberia: diss. ... Cand. of Biological Sciences] Krasnoyarsk. 2003. 188 p. In Russian
- Malysheva N.V., Bykov N.I. *Dendrokronologicheskie issledovaniya lentoknykh borov yuga Zapadnoy Sibiri: monografiya.* [Dendrochronological studies of ribbon pine forests in the south of Western Siberia: monograph]. Barnaul: AZBUKA, 2011. 125 p. In Russian
- Matveev S.M. *Dendrokronologiya. Metodika dendrokronologicheskogo analiza: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam dlya studentov po napravleniyu podgotovki 250100 Lesnoe delo* [Dendrochronology. Methods of dendrochronological analysis: guidelines for laboratory work for students in the field of training 250100 Forestry]. Voronezh: «VGLTA». 2013. 43 p. In Russian
- Matskovskiy V.V. *Klimaticheskiy signal v shirine godichnykh kolets khvoynnykh derev'ev na severe i tsentre Evropeyskoy territorii Rossii: monografiya* [Climate signal in the width of annual rings of coniferous trees in the north and center of European Russia: a monograph]. Moscow: GEOS. 2013. 147 p. In Russian
- Mikhaylov L. E. Osina [Aspen]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 72 p. In Russian
- Programma fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy v Rossiyskoy Federatsii na dolgosrochnyy period (2021–2030 gody)* [Program of fundamental scientific research in the Russian Federation for the long-term period (2021–2030)]. Napravlenie 1,5 – Nauki o Zemle. Uverzhdena Pravitel'stvom RF 31.12.2020 № 3684-R. In Russian
- Romashova T.V. *Sezonnye ritmy klimata i ikh vliyaniye na razvitiye ero-zii pochv (na primere yuga Tomskoy oblasti): dis. ... kand. geogr. Nauk* [Seasonal rhythms of climate and their influence on the development of soil erosion (on the example of the south of Tomsk region): diss. ... Cand. Geogr. Sciences]. Tomsk, 2004. 239 p. In Russian
- Rudskiy V.G. *Ekskursii v prirodu. Tomsk glazami fenologa* [Nature excursions. Tomsk through the eyes of a phenologist]. Tomsk: Izd-vo «Pechatnaya manufaktura». 2012. 44 p. In Russian
- Rutkovskaya N.V. *Klimaticheskaya kharakteristika sezonov goda Tomskoy oblasti* [Climate characteristics of the seasons of the year in Tomsk region]. Tomsk: Izd-vo TGU, 1979. 116 p. In Russian
- Rygalova N.V., Kharlamova N.F. Spatiotemporal Analysis of the Formation of Narrow Tree-Rings of Pine Belt Forests in the Steppe Zone of Western Siberia // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2021; 85 (1): pp. 109–119. doi: 10.31857/S2587556621010131. In Russian
- Skorost' rosta berezy v god* [Birch growth rate per year]. Electronic resource. URL: <https://xn--38-6kcaakvzsqni5c5b.xn--plai/fakty/skorost-rosta-berezy-v-god> (Date of accessed: 25.09.2023). In Russian
- Sochava V.B. *Opreделение nekotorykh ponyatiy i terminov fizicheskoy geografii* [Definition of some concepts and terms of physical geography] // *Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 1963. No. 3. pp. 50–59. In Russian
- Stepanov V.N. *Biologicheskaya klassifikatsiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy polevoy kul'tury* [Biological classification of agricultural plants of field crops] // *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 1957. Vyp. 2. pp. 5–29. In Russian
- Taynik A.V., Myglan V.S., Barinov V.V., Oydupaa O.Ch., Nazarov A.N. *Prirost listvenitsy sibirskoy (Larix sibirica ledeb/) na verkhney granitse lesa v respublike Tyva* [Growth of Siberian larch (*Larix sibirica* ledeb/) at the upper forest line in the Republic of Tyva] // *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2015. No. 2. pp. 91–99. In Russian
- Taksatsiya lesa. Kurs lektsiy: ucheb. posobie* [Forest taxation. Lecture course: study guide] / D.A. Pozdeev, A.A. Petrov. Izhevsk: Izhevskaya GSKhA. 2012. 161 pp. In Russian
- Tishin D.V., Chizhikova N.A. *Dendrokronologiya* [Dendrochronology]. Kazan: Kazanskiy universitet. 2018. 34 p. In Russian
- Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezhyume.* [Third Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Russian Federation. General Summary] Electronic resource. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii. 2022. 124 p. In Russian
- Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: Uchebnik* [Wood Science and Forest Commodity Science: Textbook]. Moscow: Izd-vo MGU, 2007. 351 p. In Russian
- Filandysheva L.B., Romashova T.V., Yurkova K.D. *Geograficheskie osobennosti g. Tomsk i dinamika sezonnykh ritmov v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata* [Geographical features of Tomsk and the dynamics of seasonal rhythms in the context of global climate change]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo universitet, 2021. 254 p. In Russian
- Fonti M.V., Prokushkina A.S. *Klimaticheski obuslovlennaya izmenchivost' radial'nogo prirosta berezy pushistoy v kriolitozone Sredney Sibiri* [Climate-induced variability of radial growth of downy birch in the permafrost zone of Central Siberia] // *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Sciences]. 2021. No. 5. pp. 460–471. In Russian
- Khamidullina M.I. *Vzaimosvyaz' godichnogo prirosta berezy povisloy (Betula pendula roth.) s gidrotermicheskimi usloviyami, predshestvuyushchimi vspyshe massovogo razmnozheniya neparnogo shelkopryada (lymantria dispar l.) v lesakh Sverdlovskoy oblasti* [The relationship between the annual growth of silver birch (*Betula pendula* roth.) and hydrothermal conditions preceding the outbreak of mass reproduction of the gypsy moth (*lymantria dispar* l.) in the forests of the Sverdlovsk region] // *Agrarnyy vestnik Urals* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2008. No. 9 (51). pp. 70–72. In Russian
- Khromykh V.S., Gus'kova T.A. *Problema zonal'nykh granits yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy ravniny* [The problem of zonal boundaries of the south-east of the West Siberian Plain] // *Kozybaevskie chteniya – 2015: Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya: mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf. Kazakhstan. Petropavlovsk*. 2015. V. 3. pp. 213–218. In Russian

Cheredko N.N., Tartakovsky V.A., Volkov Y.V., Krutikov V.A. Transformation of Spatial Structure of the Surface Temperature Field in the Northern Hemisphere. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2020; (1): pp. 47–55. In Russian <https://doi.org/10.31857/S2587556620010057>. In Russian

Chizhov B.E., Sannikov S.N., Kazantseva M.N., Glukhareva M.V., Nomerovskikh A.V., Aver'yanov D.V. *Tsenoticheskaya rol' osiny v lesakh Zapadnoy Sibiri* [The cenotic role of aspen in the forests of Western Siberia] // *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Sciences]. 2013. No. 2, pp. 3–8. In Russian

Shishkin A.M., Kulyasova O.A., Ivanova R.I. *Floristicheskie osobennosti tipov berezovykh lesov severnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Floristic features of birch forest types in the northern forest-steppe of Western Siberia] // *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information]. 2019. No. 2. pp. 55–68. In Russian

Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Kraksner F., Onuchin A.A. *Perekhod k ustoychivomu upravleniyu lesami Rossii: teoretiko-metodicheskie predposylki* [Transition to Sustainable Forest Management in Russia: Theoretical and Methodological Prerequisites] // *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science]. 2017. No. 6. pp. 3–25. In Russian

Shiyatov S.G. Fotomonitoring drevesnoy i kustarnikovoy rastitel'nosti v vysokogor'yakh Yuzhnogo Urala za poslednie 100 let: monografiya. Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2020 190 p. In Russian

Yurkovskaya T.K., Safonova I.N. *Zonal'noe delenie rastitel'nogo pokrova Zapadnoy Sibiri* [Zonal division of vegetation cover of Western Siberia] // *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal]. 2019. V. 104. No. 1. pp. 3–11. In Russian

Can we make better graphs of global temperature history? [Electronic resource]. URL: <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/03/can-we-make-better-graphs-of-global-temperature-history> (Date of accessed: 13.03.2014).

Demek J. *Systémová teorie a studium krajiny*. Brno: ČSAV, 1974. 198 p.

Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszynska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *J. of Biometeorology*. 2012. V. 56 (1). pp. 1–10.

St. George S. An overview of tree-ringwidth records across the Northern Hemisphere // *J.Quaternary Science Reviews*. 2014. V. 95. pp. 132–150.

#### Информация об авторах:

**Филандышева Л.Б.**, кандидат географических наук, доцент, кафедра краеведения и туризма, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: [filandysheva@yandex.ru](mailto:filandysheva@yandex.ru)

**Ромашова Т.В.**, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: [romvtom@rambler.ru](mailto:romvtom@rambler.ru)

**Евсеева Н.С.**, доктор географических наук, профессор, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

#### Information about the authors:

**Filandysheva L.B.**, Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Local history and Tourism, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: [filandysheva@yandex.ru](mailto:filandysheva@yandex.ru)

**Romashova T.V.**, Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: [romvtom@rambler.ru](mailto:romvtom@rambler.ru)

**Evseeva N.S.**, Dr. Sci. (Geography), Professor, Head at the Department of Geography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 02.05.2024; принята к публикации 29.08.2025

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 02.05.2024; accepted for publication 29.08.2025