

УДК 551.583.4:502.72(571.122)

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Арефьев С.П.

**ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ  
ДЕРЕВЬЕВ ПРОЕКТИРУЕМОГО МЫСТЫГЬЕГАНСКОГО ЗАКАЗНИКА  
(БАССЕЙН р. ВАХ) НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XX-XXI СТОЛЕТИЯХ**

S.P. Arefiev

**DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS OF THE RESPONSE  
OF FOREST-FORMING TREE SPECIES OF THE PROJECTED  
MYSTYGYEGAN RESERVE (THE VAKH RIVER BASIN) TO CLIMATE CHANGE  
IN THE XX-XXI CENTURIES**

**Аннотация.** Целью настоящего исследования было выявление вековой дендроклиматической динамики состояния лесов Местыгьеганского заказника, как репрезентативного эталона зональных среднетаежных лесов бассейна р. Вах, в условиях глобального потепления. Основные задачи работы – анализ древесно-кольцевых хронологий важнейших лесобразователей этой территории (сосны сибирской, сосны обыкновенной, березы повислой) с выявлением откликов радиального прироста деревьев на среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы осадков сезона вегетации и предыдущего периода (всего 18 месяцев), его трендов и закономерностей. Придерживались принятых в дендроклиматологии методов отбора образцов древесины, перекрестной датировки, стандартизации рядов ширины колец (радиального прироста), расчета функции откликов прироста. За период 1937–2021 гг. выявлены тренды к усилению дефицита/избытка тепла и осадков в отдельные месяцы, в частности с признаками летней засухи в последние годы. Отмечено смещение изолиний откликов прироста на более раннее время весной и более позднее – осенью, показывающее удлинение вегетационного периода. Происходит сдвиг проявления дендроклиматических откликов с прироста текущего года на прирост следующего года, что может свидетельствовать как о возросших возможностях накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями, так и о влиянии патогенов. Низовые пожары усиливают отмеченные тренды. Картины дендроклиматических откликов разных видов деревьев имеют как сходства, так и различия. Наименьшая реакция на изменения климата у березы, наибольшая – у сосны сибирской, что требует наибольших мер охраны и защиты кедровников. В перспективе дальнейших исследований – большая детализация полученных результатов по таксационным характеристикам леса и учет антропогенных факторов.

**Ключевые слова:** глобальное потепление; лесные экосистемы; древесно-кольцевые хронологии;

**Abstract.** The purpose of this study is to identify the age-old dendroclimatic dynamics of the state of the forests of the Mestygyegan reserve, as a representative standard of zonal middle-taiga forests of the Vakh river basin under global warming conditions. The main tasks of the work: analysis of tree-ring chronologies of the most important forest growers of this territory (*Pinus sibirica*, *P. sylvestris*, *Betula pendula*), identification of responses of radial growth of trees to average monthly air temperatures and monthly precipitation of the growing season and the previous period (only 18 months), identification of trends and patterns of dendroclimatic responses. They adhered to the methods of wood sampling, cross-dating, standardization of ring width rows (radial gain), and calculation of the function of growth responses adopted in dendroclimatology. For the period 1937–2021, trends were revealed to increase the deficit/excess of heat and precipitation in certain months, in particular with signs of summer drought in recent years. There was a shift in the isolines of the growth responses to an earlier time in spring and later in autumn, showing an elongation of the growing season. There is a shift in the manifestation of dendroclimatic responses from the growth of the current year to the growth of the next year, which may indicate both increased opportunities for the accumulation and redistribution of plastic resources by trees and the influence of pathogens. Grass-roots fires amplify the marked trends. Dendroclimatic response patterns of different tree species have both similarities and differences. The smallest response to climate change in birch, the largest in Siberian pine, which requires the greatest measures to protect and protect cedar trees. In the future of further research – a great detail of the results obtained on the taxational characteristics of the forest and accounting for anthropogenic factors.

дендроклиматология; отклик прироста деревьев; лесные пожары; Западная Сибирь.

**Сведение об авторе:** Арефьев Станислав Павлович, ORCID 0000-0002-8621-9884, д-р биол. наук, Федеральное государственное учреждение науки федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (структурное подразделение Институт проблем освоения Севера), Тюмень, Россия, [sp\\_arefyev@mail.ru](mailto:sp_arefyev@mail.ru)

**Keywords:** global warming; forest ecosystems; tree-ring chronologies; dendroclimatology; tree growth response; forest fires; Western Siberia.

**About the author:** Stanislav P. Arefyev, ORCID 0000-0002-8621-9884, Doctor of Biological Sciences, Institute of the Problems of Northern Development (Federal Research Centre «Tyumen Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences»), Tyumen, Russia, [sp\\_arefyev@mail.ru](mailto:sp_arefyev@mail.ru)

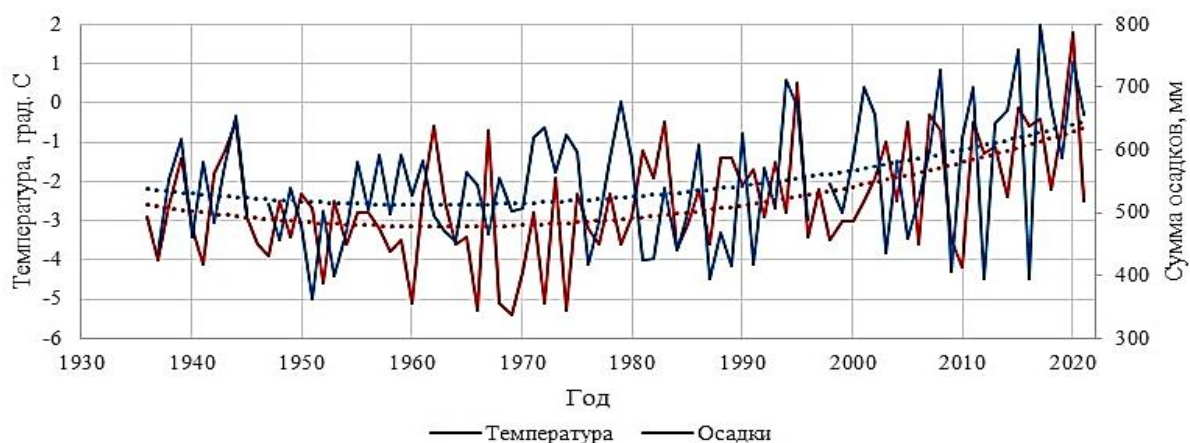
Арефьев С.П. Дендрохронологический анализ реакции лесообразующих видов деревьев проектируемого Мыстыгъеганского заказника (бассейн р. Вах) на изменения климата в XX-XXI столетиях // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 18–34. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Arefyev, S.P. (2023). Dendrochronological Analysis of the Response of Forest-Forming Tree Species of the Projected Mystygyegan Reserve (Vakh River Basin) to Climate Change in the XX-XXI Centuries. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 18-34. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/02>

Продолжающееся глобальное потепление становится причиной существенных ландшафтно-экологических подвижек, особенно в северных регионах [4; 13; 29; 35; 38]. В Западной Сибири оно проявляется в лесных пожарах, распространении вредителей и болезней леса, изменении структуры и состава лесов и, в целом, в смещении лесной зоны и ее широтных подразделений в северном направлении [1; 9; 19; 31]. Такого рода явления характерны и для Нижневартковского района ХМАО – Югры, на территории которого в среднетаежных лесах бассейна Ваха проектируется организация Местыгъеганского государственного природного заказника регионального значения площадью 279300 га.

Судя по наблюдениям ближайшей метеостанции Ларьяк [15], в данном районе глобальное потепление проявляется очень отчетливо (рис. 1). В период 1936–2021 гг. темп роста среднегодовой температуры воздуха (в расчете на столетие) составил +2,3 °C, особенно он усилился в последние годы и в период 2000–2021 гг. достиг 8,3°C. Темп роста температуры воздуха бесснежного сезона с июня по октябрь был несколько ниже (+1,7°C). Годовое количество осадков росло почти пропорционально росту температуры воздуха (+131 мм на столетие). Для бесснежного сезона увеличение количества осадков на вековом фоне было выражено слабо, но в период 2000–2021 гг. его темпы значительно возросли (до 500 мм в расчете на столетие).

В результате крупнейших лесных пожаров 1988–1989 гг. на 1.01.1995 г. по Нижневартковскому лесхозу числилось более 170 тыс. га горельников [12]. На территории будущего заказника в тот период леса сохранились, в основном, в силу их удаленности от населенных пунктов, объектов промышленности и инфраструктуры. За период 2016–2019 гг. на территории района произошло 199 пожаров, 93 из них пришлись на 2016 г. с аномально сухим жарким летом. В 2016 г. в Ларьякском участковом лесничестве большинство лесных пожаров (12 из 13) произошло по природным причинам; площадь одного пожара составила от 0,9 до 346 га [5].



**Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков в районе исследований по данным наблюдений метеостанции Ларьяк (с полиномиальным трендом)**

Площадные изменения лесного покрова в ходе потепления сопровождаются изменениями состава, биологической продуктивности, санитарно-физиологического состояния и фенологии лесообразователей [1; 3; 7; 18]. Незаменимым методом оценки многолетней динамики состояния лесов является анализ древесно-кольцевых хронологий. Хотя на севере Западной Сибири дендроклиматические исследования довольно масштабны [6], территория Нижневартовского района затронута слабо [1; 21]. Целью настоящего исследования было выявление вековой дендроклиматической динамики состояния лесов Местыгъеганского заказника, как репрезентативного эталона зональных среднетаежных лесов района в условиях глобального потепления.

Отбор дендрохронологического материала (кernов) проводили на трех тест-полигонах территории заказника и его охранный зоны, находящихся поблизости друг от друга (рис. 2). Kernы из сосны сибирской (кедра) (*Pinus sibirica* Du Tour) возраста 90–120 лет взяты 09.07.2022 г. в приречном мелкотравно-зеленомошном темнохвойном лесу III бонитета с составом древостоя 5ЕЗБ2К+П, с густым подлеском (61°11'318" с. ш., 81°22'08" в. д.). Kernы из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) возраста 90–180 лет взяты 21.07.2021 г. в приречной полосе (70–80 м) бруснично-зеленомошного сосняка II бонитета, пройденного низовым пожаром в 2016 г. (61°10'47" с. ш., 81°19'37" в. д.); сохранность древостоя мозаичная, местами кроме сосны сохранился кедр, на участках с погибшим древостоем имелось возобновление березы высотой 1,5–2 м. Kernы из березы повислой (*Betula pendula* Roth) возрастом 90–150 лет взяты 19.07.2021 г. на пониженном приречном участке мелкотравно-зеленомошного березняка III бонитета с выходящей в верхний ярус елью (61°10'11" с. ш., 81°21'33" в. д.). Kernы брали из доминирующих деревьев на высоте около 0,5 м, придерживаясь общепринятой методики [19]. Каждое дерево бурили по одному диаметру с получением kernов по двум радиусам. Всего взято по 10 деревьев (20 радиусов) кедра, сосны и березы.

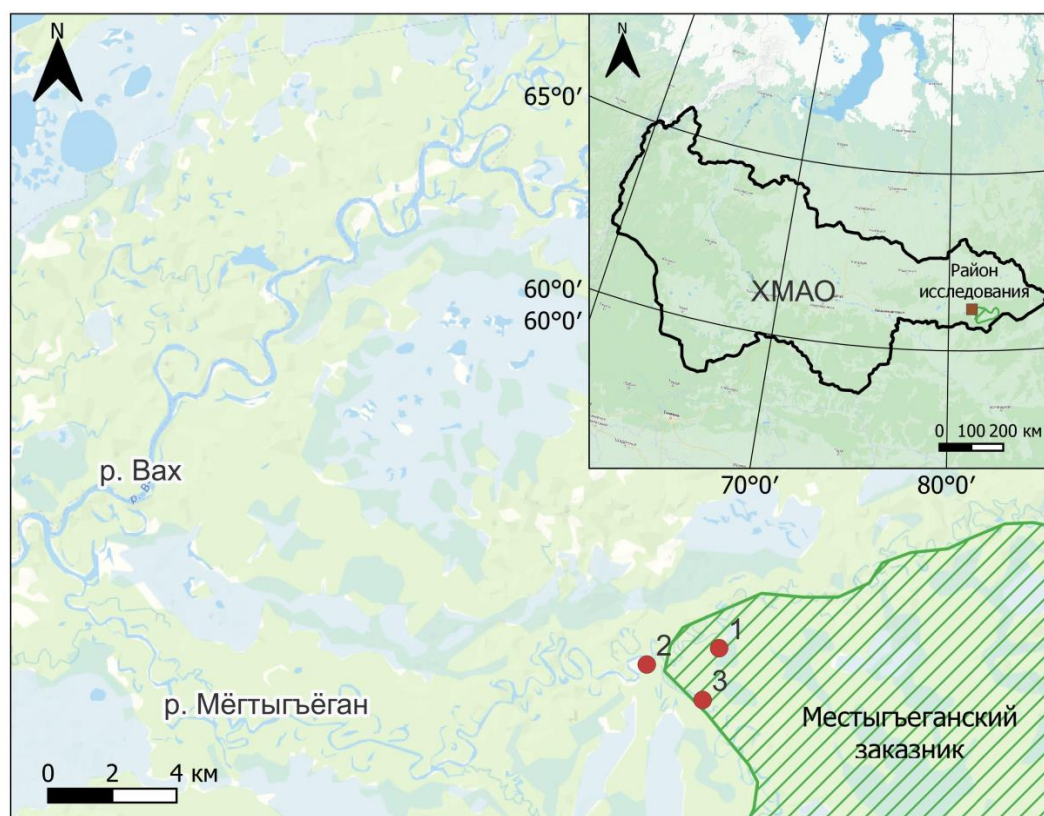


Рис. 2. Район исследований с пунктами отбора кернов (1 – кедр, 2 – сосна, 3 – береза)

После зачистки поверхности кернов лезвием и контрастирования ее зубным порошком ширину годичных колец на них измеряли под микроскопом МБС–10 (8×4). Полученные по радиусам ряды проверяли перекрестной датировкой [26], сначала радиусы одного дерева, затем радиусы разных деревьев по каждой породе. Стандартизацию (индексацию) ширины колец по каждому радиусу проводили методом двойного экспоненциального сплайна с равными весами [2; 4; 24; 30]. Для оценки качества обобщенных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) рассчитывали средний межсерийный коэффициент корреляции (Пирсона), на его основе – единый популяционный сигнал *EPS*, пороговый уровень  $EPS \geq 0.85$  [37].

Отклик ширины колец (радиального прироста) на среднемесячные температуры воздуха и месячные суммы осадков рассчитывали как коэффициент корреляции (Пирсона) *R* между индексированной ДКХ и рядом метеоданных по метеостанции Ларьяк с 1936 г. [15]. Положительные значения *R* при  $p < 0.05$  и соответствующем критическом значении  $R_{0.05}$  свидетельствуют о дефиците фактора (тепла, осадков), отрицательные значения – о его избытке [22; 33]. Положительная или отрицательная корреляция, не достигающая этого – принятого за стандартный – уровня достоверности, может свидетельствовать о недостатке или избытке фактора с меньшей вероятностью. Для отслеживания характера изменения и периодизации отклика прироста деревьев на месячные метеофакторы рассчитывали скользящий коэффициент корреляции с окном 21 год [17; 18]; например, значение скользящего *R*, рассчитанное на 2021 г., соответствует отклику прироста на временном отрезке с 2001 по 2021 гг. Для расчета откликов прироста брали как месяцы, приходящиеся

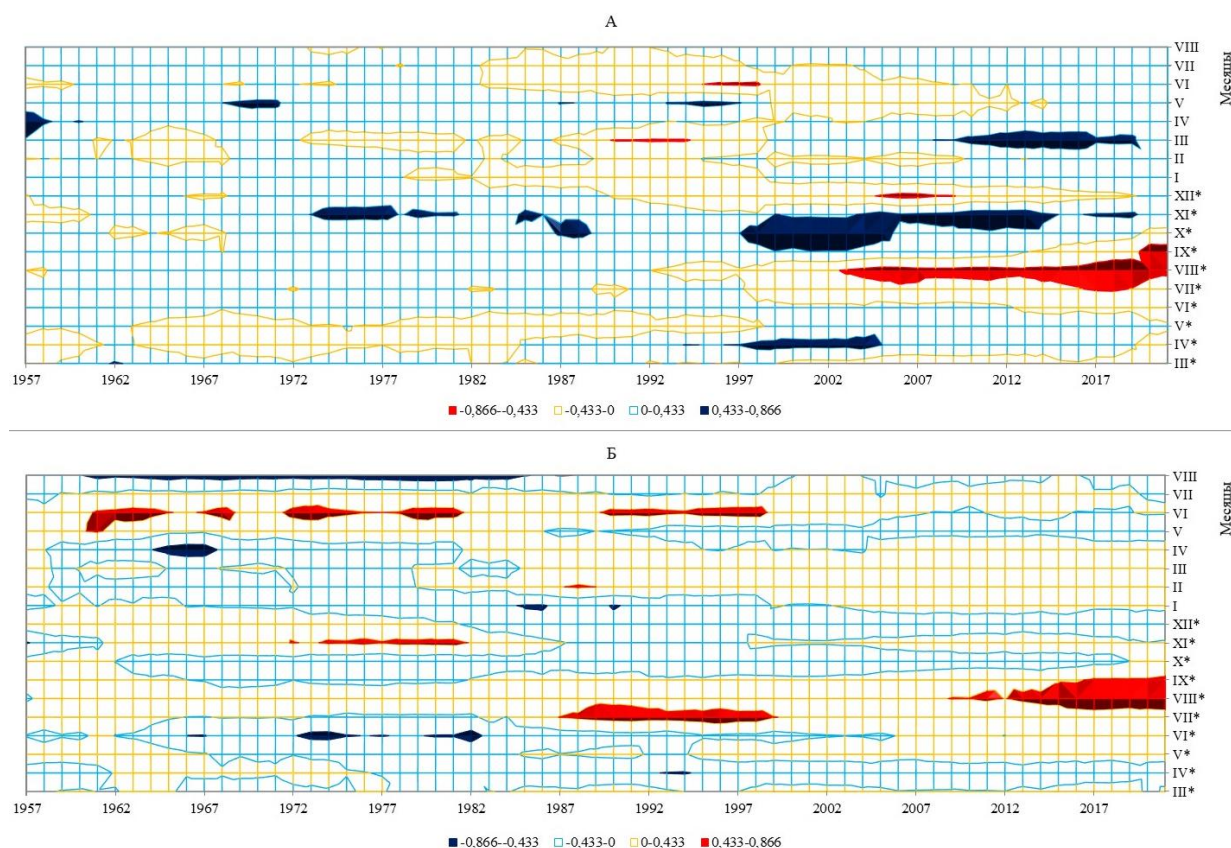


на год образования колец (с января по август), так и месяцы предыдущего года (с марта по декабрь), условия которых также могут влиять на ширину колец. Характер изменения откликов прироста для 18 месяцев – с марта предыдущего года по август года образования колец за период с 1937(1957) до 2020–2021 гг. – показан на сезонно-хронологических развертках, выполненных в программе MS Excel.

По критериям межсерийного коэффициента корреляции ( $R_{0.05} = 0,213$ ) и  $EPS$  полученные обобщенные стандартизованные ДКХ кедр ( $R = 0,40$ ;  $EPS = 0,93$ ), сосны ( $0,38$ ;  $0,92$ ) и березы ( $0,43$ ;  $0,94$ ) отвечают существующим требованиям. Автокорреляция ДКХ первого порядка составляет, соответственно,  $0,35$ ;  $0,22$  и  $0,02$ , т. е. для кедр она сравнительно высока, однако она соответствует уровню автокорреляции рядов метеоданных (для среднемесячных температур воздуха до  $0,36$  в июне, для месячных сумм осадков до  $0,23$  в марте).

Отклики прироста деревьев на месячные метеофакторы, рассчитанные для периода с 1937 по 2020–2021 гг. в целом для некоторых месяцев достоверны ( $p < 0,05$ ;  $R_{0.05} = 0,213$ ), но всегда имеют низкий уровень. Так, для кедр за этот период слабый недостаток тепла в ноябре ( $R = 0,28$ ) и осадков в июле ( $0,27$ ), августе ( $0,33$ ) и сентябре ( $0,23$ ) проявляется в приросте следующего года, а недостаток осадков в июне – в приросте текущего года ( $0,23$ ). Для сосны недостаток тепла в июле проявляется в приросте текущего года ( $0,38$ ), его избыток в этом месяце – в приросте следующего года ( $-0,34$ ), недостаток тепла в октябре – в приросте следующего года ( $0,33$ ). Кроме этого, в июне для сосны отмечен недостаток осадков, проявляющийся в приросте как текущего ( $0,23$ ), так и следующего года ( $0,213$ ); избыток осадков в августе проявляется в приросте текущего года ( $-0,30$ ), а его недостаток в этом месяце – в приросте следующего года ( $0,29$ ). Для березы выявлен только очень слабый избыток осадков в марте перед образованием колец ( $-0,22$ ). Таким образом, расчет откликов прироста деревьев на рассмотренные месячные метеофакторы за весь период наблюдений, в целом, не показывает биоклиматическую динамику и не имеет прогностического значения.

Более показательную картину рисуют скользящие отклики прироста деревьев (рис. 3–5). Судя по преобладанию положительных скользящих откликов прироста кедр на месячные температуры воздуха (как достоверных при  $p < 0,05$ ;  $R_{0.05} = 0,433$ , так и не достигающих этого стандартного уровня достоверности), на протяжении 1937–2021 гг. кедр в среднем испытывал некоторый недостаток тепла (рис. 3А). Особенно заметно это до 1980-х гг., когда дефицит тепла приходился на снежный период, чаще на декабрь ( $R$  до  $0,54$ ), иногда на апрель-май (до  $0,61$ ) до начала роста годовых колец, а достоверного при  $p < 0,05$  избытка тепла не было совсем. После засушливо-жаркого лета 1982 г. (то есть, начиная с отрезка 1962–1982 гг., далее указывается только последний год 21-летнего окна скользящего отчета) отмечается избыток тепла в марте и июне (до  $-0,50$  в 1990-х гг.), проявляющийся в приросте текущего года, при этом, в мае наблюдался дефицит тепла (до  $0,52$ ). С холодного вегетационного сезона 1996 г. по 2019 г. кедр испытывал наиболее сильный и длительный дефицит тепла в октябре, а затем в ноябре (до  $0,70$ ), проявляющийся в приросте следующего года.

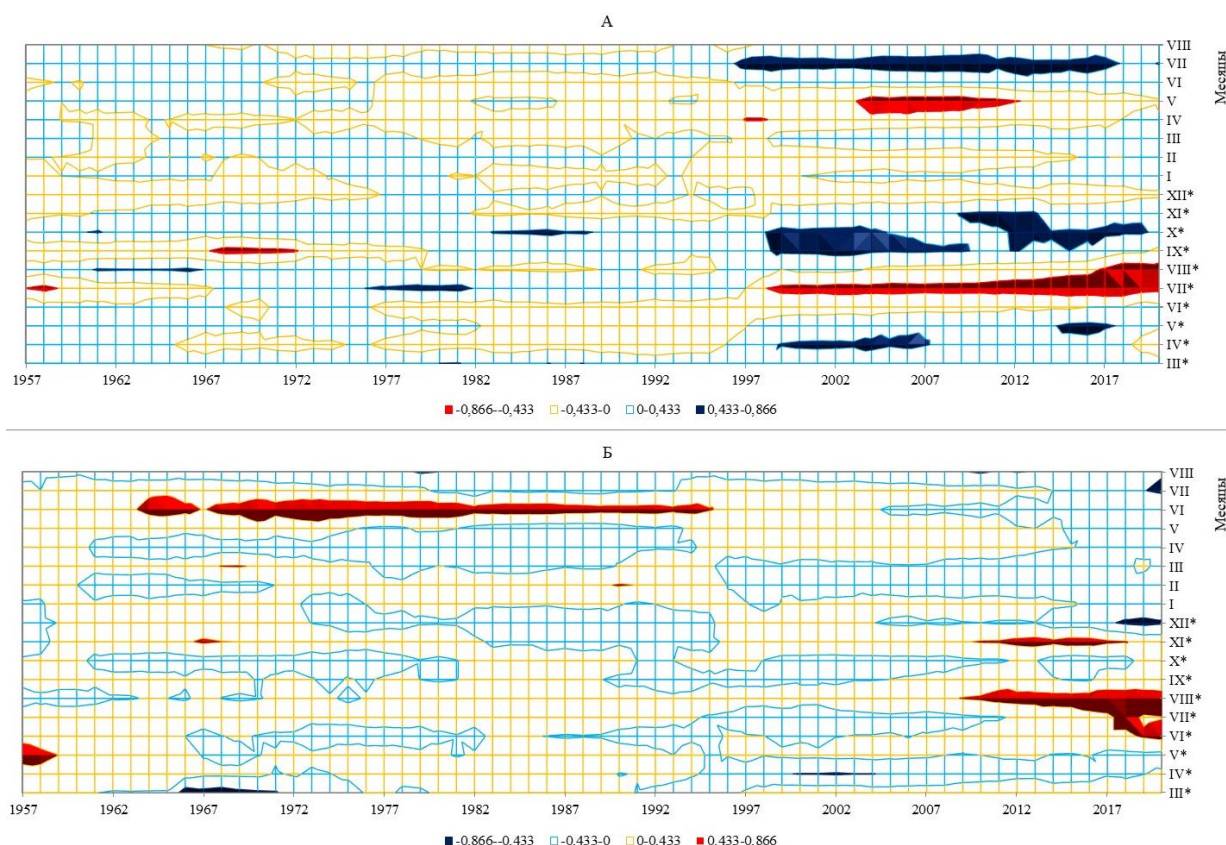


**Рис. 3. Скользящие отклики ( $R_{0.05} = 0,433$ ) стандартизированной хронологии радиального прироста кедра на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий\* год. А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков**

Такой сдвиг изолиний «отложенного» отклика прироста кедра на более поздний осенний месяц прослеживается на рисунке 3А и в других случаях и может свидетельствовать об устойчивой фенологической тенденции. Для откликов, проявляющихся в год прироста, судя по изолиниям, заметен фенологический сдвиг на более ранние весенние месяцы; в частности, если до 2008 г. дефицит тепла наблюдался в апреле–мае, то после – в марте (до 0,74), при этом ранее в марте был избыток тепла (до -0,46 до конца 1990-х годов). С 2008 г. самым примечательным моментом на фоне «потепления климата» является устойчивый избыток тепла для кедра в августе (до -0,68), проявляющийся в приросте следующего года, с 2020 г. этот избыток тепла распространился и на сентябрь (до -0,66). Таким образом, по мере «потепления климата» в 2000-х годах характер отклика прироста кедра на месячные температуры воздуха сменяется с текущего на отложенный на следующий год, что может показывать возросшие возможности накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями [18]. С другой стороны, в последние годы впервые обнаруживается сильный избыток тепла в конце лета (до -0,68), контрастирующий с его дефицитом в октябре–ноябре (до 0,66) и в марте (до 0,74), что создает эколого-климатические риски для кедра. Подобного рода усиление лимитирования прироста деревьев климатическими факторами с 1980-х гг. отмечается А.В. Кирдяновым [10] на севере Средней Сибири.

Картина откликов прироста кедра на месячные суммы осадков (рис. 3Б) накладывается на предыдущую в том ключевом моменте, что с 2000-х годов виден достоверный дефицит

осадков в августе-сентябре (до 0,65), проявляющийся в приросте следующего года и сопровождающийся избытком тепла, т.е. появляется сезонная засуха, чреватая ухудшением санитарно-физиологического состояния этого, в целом влаголюбивого, лесообразователя. Надо заметить, что дефицит осадков в данном суходольном кедровнике достоверно фиксировался и ранее: после грандиозных лесных пожаров в Нижнеартовском районе 1988–1989 гг. – в августе (до 0,61), еще ранее до 1998 г. – в июне (до 0,57), в холодные 1970-е годы – в ноябре (до 0,53). В целом, на рассмотренной сезонно-хронологической развертке тенденция к дефициту осадков для кедра преобладает, а зоны, очерченные изолиниями положительных откликов, обнаруживают тенденцию к расширению и фенологическому смещению на более ранние весенне-зимние месяцы или более поздние осенние.



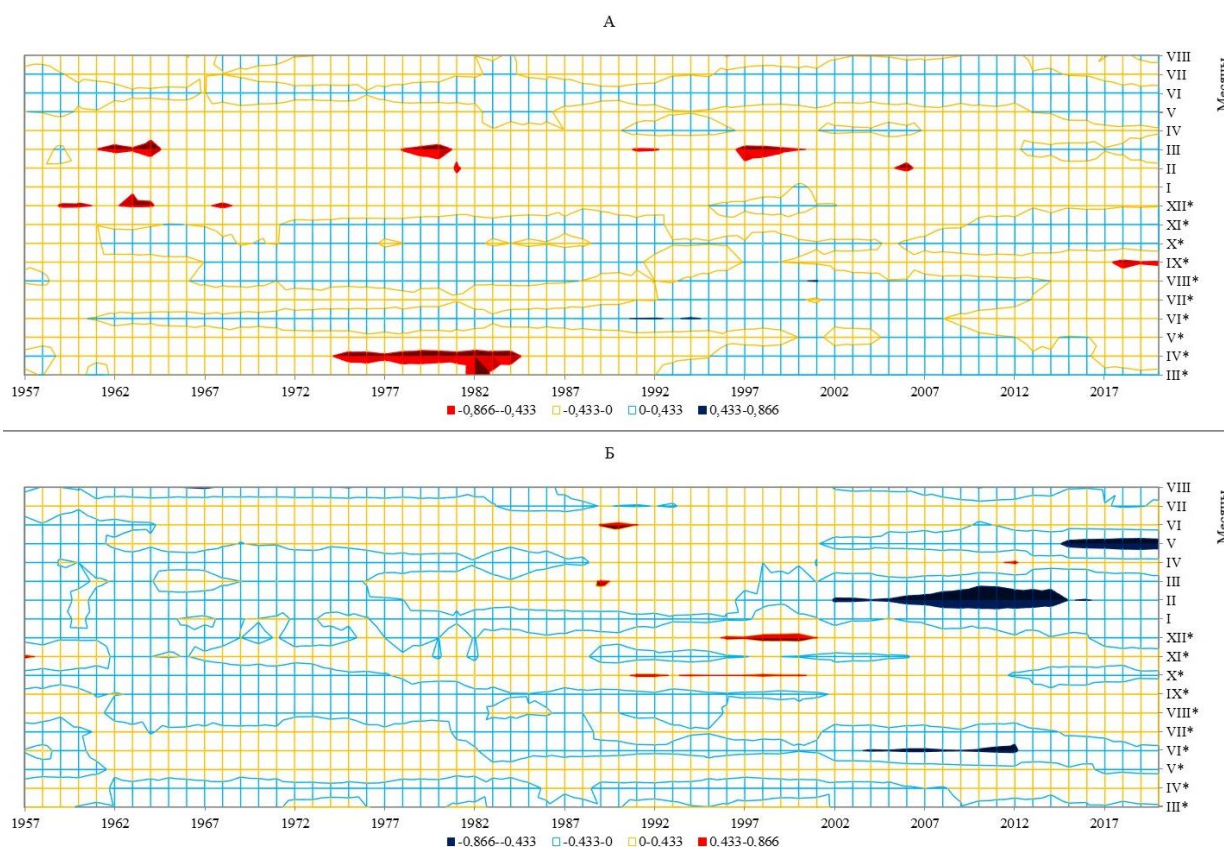
**Рис. 4. Скользящие отклики ( $R_{0.05} = 0.433$ ) стандартизированной хронологии радиального прироста сосны на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий\* год.  
А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков**

Картина откликов прироста сосны на месячные температуры воздуха (рис. 4А) в значительной степени сходна с таковой для кедра. Смена общей тенденции к некоторому избытку тепла намечается к 1980-м годам. С ослабления сосны после холодного 1996 г. наблюдается чередование в течение года месяцев с достоверным ( $p < 0,05$ ) дефицитом или избытком тепла, чреватое ухудшением состояния сосняков. Устойчивый отклик на избыток тепла летом отмечен на месяц раньше, чем у кедра, – в июле (до -0,77), а после низового пожара 2016 г. и в августе (до -0,71), проявляется он в приросте следующего года. Вместе с тем отклик прироста текущего года на июльские температуры воздуха достоверно положительный (до 0,63). Такой кажущийся парадокс предположительно можно объяснить



патогенными факторами (вредители, болезни), инициируемыми в своем развитии июльской жарой еще при высоком приросте сосны, но наносящими ей существенный вред только на следующий год. Заметим, что в последние годы (2018–2020) с возрастанием абсолютной величины отложенного отклика прироста на летние температуры воздуха, текущий отклик прироста на них упал ниже стандартного достоверного уровня ( $p < 0,05$ ), что также хронологически связывается с низовым пожаром. Примечательно, что в 2000-е годы летний избыток тепла (до  $-0,77$ ) сменяется его осенним дефицитом (до  $0,55$ ), который также проявляется в приросте следующего года. Избыток тепла для сосны, зафиксированный в мае 2004–2012 гг. (до  $-0,63$ ), проявился в текущем приросте.

Картина откликов прироста сосны на месячные суммы осадков (рис. 4Б) демонстрирует, что их дефицит в период с 1964 г. до холодного 1996 г. достигал высокого уровня в июне (до  $0,72$ ) и проявлялся в текущем приросте. С 2008 г. дефицит осадков сместился на август (до  $0,69$ ) и проявляется в приросте следующего года, а после низового пожара 2016 г. такой дефицит осадков распространился на весь летний сезон с июня по август. То есть в 2000-х годах, как и в случае с кедром, для сосны произошло длительное наложение избытка тепла и дефицита осадков, чреватое ухудшением санитарно-физиологического состояния сосняка, но в более ранние месяцы лета. Существенный дефицит осадков, отмеченный с 2009 г. в ноябре (до  $0,60$ ) и также проявлявшийся в приросте следующего года, в 2019–2020 гг. не выявлен, при этом отмечено негативное влияние осадков с декабря (до  $-0,55$ ) по август на текущий прирост сосны.



**Рис. 5. Скользящие отклики ( $R_{0,05} = 0,433$ ) стандартизированной хронологии радиального прироста березы на климатические показатели месяцев в год прироста и предыдущий\* год.**  
**А – среднемесячные температуры воздуха, Б – месячные суммы осадков**



Картина откликов прироста березы на месячные температуры воздуха иная, чем у рассмотренных выше хвойных (рис. 5А). В среднем за годы наблюдений виден некоторый избыток тепла, периоды с небольшим ( $p < 0,05$ ) дефицитом летнего тепла на рубеже столетий невелики. Существенный избыток тепла (до 0,52) наблюдался в некоторые годы в марте и проявлялся в текущем приросте, избыток тепла в апреле на рубеже 1970–1980 гг. (до 0,56) проявился в приросте следующего года, а в засушливый 1982 г. (т. е. на отрезке 1962–1982 гг.) такой отложенный положительный отклик проявился и на мартовскую температуру. В Средней Сибири избыток тепла для березы в апреле проявляется в текущем приросте, а характерное для северной части Средней Сибири положительное влияние июньских температур воздуха на прирост березы [18], в данном случае, очень слабо прослеживается с отложенным на год откликом до 1990-х гг. В последние годы (2018–2020) достоверный избыток тепла для березы (как и для кедра) впервые выявлен в сентябре (до -0,51).

В целом на сезонно-хронологической развертке для березы виден некоторый избыток осадков (рис. 5Б), но до грандиозных пожаров, прошедших по Нижневарттовскому району в 1988–1989 гг., достоверного ( $p < 0,05$ ) избытка или дефицита осадков практически не было, т. е. режим увлажнения для березы был тогда наиболее благоприятен. После этих пожаров в течение полутора десятилетий временами отмечался небольшой достоверный дефицит осадков в октябре, декабре, мае, июне. С 2002 г. длительно фиксируется избыток осадков в феврале (до -0,72), далее в апреле (до -0,49, проявляется в приросте следующего года) и далее по 2020 г. в мае (до -0,69, проявляется в текущем приросте). Это может быть связано с относительно низким положением березняка на рельефе и скоплением верховодки при ускоренном режиме таяния снега при «потеплении климата» в годы с большим количеством осадков в мае.

Полученные нами результаты, в целом, соответствуют последним данным о характере влияния «потепления климата» на состояние древесных растений: например, на севере Германии [27], где среднегодовая температура воздуха с 1900 г. увеличилась почти на 2°C, а годовое количество осадков – более чем на 50 мм, причем эти изменения были более значительны зимой, нежели летом и произошли большей частью после 1975 г. Согласно этим исследованиям, корреляция (отклик) ДКХ сосны обыкновенной, ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) и псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) с рядами месячных показателей температуры и осадков за весь период с 1900 г. не превышала по модулю 0,4, но скользящая корреляция с окном 30 лет на некоторых временных отрезках достигала 0,6. При этом, как в первом, так и во втором случае характер дендроклиматических связей был специфичным для каждого из видов деревьев, а во времени он был изменчивым вплоть до перемены знака связи. Прирост светлохвойных (сосны и псевдотсуги) в основном стимулировался высокими температурами воздуха с января по март текущего года. Это было отмечено и в других исследованиях, показавшим, что в суровые зимы низкие температуры приводят к глубокому промерзанию грунта, результате которого наступает физиологическая засуха, угрожающая деревьям [36]. Высокие температуры в июне текущего года препятствовали росту псевдотсуги в Германии, но обильные осадки в июне

предыдущего года и июле текущего года обычно, напротив, стимулировали его. Однако, применение метода скользящей корреляции высветило снижение чувствительности прироста псевдотсуги к осадкам в последние годы. Для сосны достоверных корреляций ширины годичных колец с количеством осадков не выявлено. Прирост темнохвойного вида (ели) обычно стимулировался, главным образом, обильными осадками с мая по июль и высокой температурой в марте текущего года. Однако метод скользящей корреляции показал, что влияние майских осадков на прирост ели к настоящему времени сильно уменьшилось, влияние июньских и июльских осадков также угасает [27].

«Потепление климата» повысило продуктивность лесов Северной Европы [28]. Полагают, что связанное с ним увеличение продолжительности вегетационного периода способствует постепенным изменениям параметров лесов Европы и, несмотря на некоторый риск засухи, это увеличит площадные и продуктивные показатели лесов, расположенных на больших высотах [34]. Обнаруженное на севере Германии увеличение прироста деревьев в предзимний сезон подтверждает это мнение, однако указывается, что изменение климата, скорее всего, увеличит риск длительного дефицита осадков вплоть до засух. Установлено значительное снижение роста колец деревьев всех трех исследованных на севере Германии видов деревьев в годы с дефицитом осадков [27]. В последние годы в Европе такие экстремальные явления, как жара, засухи и опустошительные наводнения участились [23]. Изменения климата могут изменить частоту и интенсивность различных нарушений леса, которые могут взаимодействовать между собой и усиливать риски для существования лесов. Засухи способствуют увеличению масштабов и интенсивности лесных пожаров, а также снижению уровня вод, питающих корни деревьев; такие условия ослабляют устойчивость деревьев к вредителям и патогенам [25]. В результате засух 2003, 2018 и 2019 годов наблюдалась беспрецедентная гибель многих древесных пород в центральной Европе, вплоть до Норвегии [32].

В актуальном перечне опасных вредителей леса на территории ХМАО-Югры числится 18 видов стволовых, хвое- и листогрызущих энтомовредителей [16]. Наиболее распространенным и опасным из них является сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) – бич сибирской тайги, крупная вспышка которого была отмечена после пожаров 1988–1989 гг. и в острой фазе продолжалась до 1992–1993 гг. Аномально жаркая сухая погода 2012 г. спровоцировала рост численности этого вредителя на большей части Западной Сибири, в том числе в среднетаежных районах соседней Томской области, где площадь очагов на конец 2016 г. была на 45% выше среднегодовой за период 1962–2015 гг. [8]. Кроме него А.А. Мирзоева [13] указывает в качестве обычных для Нижневартовского района непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* (L.)) короеда-типографа (*Ips typographus* L.).

Исследования М.В. Фонти [18], проводившей комплексные дендроклиматические исследования на Среднеевропейском и Среднесибирском трансектах, показали на первом из них результаты, в целом близкие к рассмотренным выше на примере Германии [27]. При этом от Италии до Швеции больший вклад в изменчивость прироста деревьев вносила температура воздуха, нежели осадки. Особенно на севере, где «потепление климата»

проявляется сильнее. В северной части Средней Сибири до зоны средней тайги основным фактором, определяющим прирост деревьев, выступала температура воздуха, однако южнее таким фактором становились осадки. В связи с «потеплением климата» отмечены признаки смещения этой разделительной полосы в северном направлении, а также удлинения фенологических сроков функционирования камбия деревьев, увеличения их продуктивности. Отклики деревьев на месячные метеофакторы в Средней Сибири были видоспецифичны и менялись в зависимости от широты и лесорастительных условий, при этом в большинстве случаев было отмечено существенное влияние июньской температуры воздуха, которое в нашем исследовании почти не прослеживается. По исследованиям С.Е. Кучерова [11], на Южном Урале критичным для роста сосны и лиственницы является дефицит осадков мая, июня, июля текущего года; в 2003–2004 гг. зафиксированы наименьшие за последние 315 лет значения индексированной ширины колец дуба черешчатого в результате дефолиации непарным шелкопрядом, что связывается с «потеплением климата» и ужесточением засух.

По исследованиям А.В. Кирдянова [10], в Средней Сибири за период с 1890–2008 гг. обнаружено увеличение скользящего среднего коэффициента межсерийной корреляции по 35 индексированным ДКХ хвойных видов, взятым на протяжении от Нижней Тунгуски до северного предела распространения лесов, что свидетельствует о нарастании внешнего лимитирующего влияния на прирост деревьев и накладывается на ход «потепления климата» в регионе. Наиболее сильно этот эффект проявился с 1980-х гг., причем у ели в большей степени, чем у лиственницы, что указывает на большую чувствительность темнохвойных к происходящим климатическим изменениям. Вместе с тем, скользящий коэффициент корреляции генерализованной ДКХ по хвойным данного региона со средними температурами воздуха в июне-июле падает с 1980-х гг. от 0,8 до 0,55. То есть дефицит тепла в эти месяцы уменьшается, и летние температуры в условиях потепления перестают жестко лимитировать прирост деревьев; в это же время нарастает избыток тепла в апреле (скользящий коэффициент корреляции увеличивается по модулю от 0 до -0,51). На территории Местыгъеганского заказника, расположенного юго-западнее изученного А.В. Кирдяновым [10] района в среднетаежной зоне Западной Сибири, в летние месяцы с 2000-х гг. для хвойных отмечается уже не дефицит тепла, а его достоверный избыток, происходят изменения других откликов прироста деревьев на изменения климата, соответствующие их видовой принадлежности и эколого-географическому положению.

Таким образом, в типичных суходольных лесах проектируемого Местыгъеганского заказника за период с 1937 по 2021 г. отмечено существенное изменение реакции древостоев на месячные температуры воздуха и суммы осадков. В целом они соответствуют известной тенденции «потепления климата» региона и происходят по трем основным направлениям.

Во-первых, усиливаются до высоких достоверных ( $p < 0,05$ ) значений дендроклиматические отклики деревьев, как отрицательные, свидетельствующие о избытке тепла или осадков в отдельные месяцы, так и положительные, свидетельствующие о их дефиците. Показательно в этом плане усиление избытка тепла и дефицита осадков в теплое время года, особенно в июле-сентябре, свидетельствующее о засухе и ухудшении санитарно-



физиологического состояния деревьев. Это усугубляется дефицитом тепла для хвойных в позднесеннее время и избытком влаги для березы в мае. Во-вторых, отмечается сдвиг фенологических изолиний дендроклиматических откликов на более ранние весенние месяцы и на более поздние осенние месяцы, что свидетельствует об удлинении периода вегетации деревьев. В-третьих, происходит сдвиг проявления дендроклиматических откликов с прироста текущего года на прирост следующего года. Такие отложенные отклики могут свидетельствовать о возросших возможностях накопления и перераспределения пластических ресурсов деревьями в условиях более продолжительного и теплого вегетационного сезона. Но они могут указывать и на развитие патогенов (например, сибирского шелкопряда), которое инициируется из латентной фазы в аномальный по климатическим параметрам год, но оказывает негативное влияние на прирост деревьев в следующем году при наибольшей их активности.

В аномально теплые и сухие годы – 1982, 1988–1989, 2016 – наиболее вероятны пожары, влияние которых, а также их последствий, судя по дендроклиматическим откликам, усиливает избыток тепла и дефицит осадков для сохранившихся деревьев в летнее время. Ослабление деревьев в аномально холодные годы (с 1996 г.), также обостряет их негативную реакцию на «потепление климата» в последующие годы.

Влияние происходящих изменений климата на деревья зависит от их видовой принадлежности. Из трех рассмотренных лесообразователей наиболее сходную дендроклиматическую динамику демонстрируют хвойные – кедр и сосна, причем отклики прироста кедра, показывающие дефицит или избыток климатических факторов, проявляются в ненарушенном кедровнике, у сосны же они обнаружены в пройденном низовыми пожарами древостое. Береза проявляет наибольшую устойчивость к происходящим на территории заказника эколого-климатическим изменениям, кедр проявляет наименьшую устойчивость к ним и требует наибольших мер охраны и защиты.

*Автор приносит благодарность Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкину за помощь в сборе материала.*

*Работа выполнена по госзаданию, проект № 121041600045-8.*

### Литература

1. Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология. 1997. №3. С. 175–183.
2. Арефьев С.П., Зах В.А. Сравнительный анализ кольцевых хронологий современной и археологической древесины Тоболо-Ишимского междуречья и перспективы построения региональных дендроархеологических шкал // Теория и практика археологических исследований. 2022. Т. 34. №2. С. 147–171.
3. Арефьев С.П., Казанцева М.Н. Периодичность пожаров и естественное возобновление светлохвойных лесов и редколесий в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Сибирский лесной журнал. 2020. №1. С. 3–15.

4. Арефьев С.П., Хомутов А.В., Ермохина К.А., Лейбман М.О. Дендрохронологическая реконструкция процесса формирования газового бугра на месте Ямальской воронки // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI, №5. С. 107–119.
5. Бубенщикова В.Г. Анализ состояния пирогенных опасностей в условиях лесотажной зоны Нижневартовского района // Научные труды магистрантов и аспирантов: Сб. науч. тр. Нижневартовск, Изд-во: Нижневартовский гос. ун-т, 2020. С. 200–203.
6. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендрохронологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
7. Гребенюк Г.Н., Кузнецова В.П. Современная динамика климата и фенологическая изменчивость северных территорий // Фундаментальные исследования. 2012. №11 (ч. 5). С. 1063–1077.
8. Денисова Н.Б., Соболев А.А., Шапинская У.С. Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) на территории Васюганского лесничества Томской области // Лесной вестник. 2020. Т. 24. №6. С. 65–72.
9. Касимов Н.С., Кислов А.В., Чернышев А.В., Семин В.Н., Аляутдинов А.Р. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
10. Кирдянов А.В. Радиальный прирост хвойных в лесотундре и северной тайге Средней Сибири. Роль факторов внешней среды: Дисс. ... докт. биол. наук. Красноярск, 2017. 284 с.
11. Кучеров С.Е. Влияние климатических факторов и дефолиации непарным шелкопрядом на радиальный прирост деревьев и состояние древостоев на Южном Урале : Дисс. ... докт. биол. наук. Уфа, 2018. 245 с.
12. Лесные пожары. <https://clck.ru/35fFfH>
13. МГЭИК. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Женева: МГЭИК, 2014. 163 с.
14. Мирзоева А.А. Насекомые-вредители хвойных пород деревьев Нижневартовского района // Лес и человек: сб. науч. тр. Мегион: Мега Ойл, 1998. С. 38–45.
15. Погода и климат. <https://clck.ru/33GoRh>
16. Сведения о повреждении и гибели лесов // Департамент недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. 2016. <https://clck.ru/35fG42>
17. Симанько В.В., Бенькова А.В., Шашкин А.В. Применение метода «скользящих функций отклика» для выявления влияния климатических факторов на радиальный рост деревьев // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. №7. С. 188–194.
18. Фонти М.В. Климатический сигнал в параметрах годичных колец (плотности древесины, анатомической структуре и изотопном составе) хвойных и лиственных видов

деревьев в различных природно-климатических зонах Евразии: Дисс. ... докт. биол. наук. Красноярск, 2020. 318 с.

19. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2009. 216 с.

20. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Ч. I. Красноярск : Крас. гос. ун-т, 2000. 80 с.

21. Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горячев В.М., Агафонов Л.И., Гурская М.А. Дендрохронологические датировки археологических, исторических и этнографических памятников Западной Сибири // Археология и естественнонаучные методы. М.: Языки славянской культуры, 2005. С. 43–57.

22. Babst F., Poulter B., Trouet V., Tan K., Neuwirth B., Wilson R., Carrer M., Grabner M., Tegel W., Levanic T., Panayotov M., Urbinati C., Bouriaud O., Ciais P., Frank D. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent // *Global Ecology and Biogeography*. 2013. Vol. 22. №6. P. 706–717.

23. Buras A., Rammig A., Zang C.S. Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003 // *Biogeosciences*. 2020. №17. P. 1655–1672.

24. Cook E., Peters K. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies // *Tree-Ring Bulletin*. 1981. Vol. 41. P. 45–53.

25. Destatis statistisches bundesamt. Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years. Available online: <https://clck.ru/35fHbi>

26. Douglass A.E. Climatic cycles and tree-growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst., 1919. Vol. 1. 127 p.

27. Gauli A., Neupane P.R., Mundhenk P., Köhl M. Effect of climate change on the growth of tree species: dendroclimatological analysis // *Forests*. 2022. 13. P. 496.

28. Henttonen H.M., Nöjd P., Mäkinen H. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory // *For. Ecol. Manag.* 2017. №386. P. 22–36.

29. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York : Cambridge University Press, 2013. 29 p.

30. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

31. Moskovchenko D.V., Arefev S.P., Moskovchenko M.D., Yurtaev A.A. Spatiotemporal analysis of wildfires in the forest tundra of Western Siberia // *Contemporary Problems of Ecology*. 2020. Vol. 13. №2. P. 193–203.

32. Schuldt B., Buras A., Arend M., Vitasse Y., Beierkuhnlein C., Damm A., Gharun M., Grams T.E.E., Hauck M., Hajek P., et al. A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests // *Basic Appl. Ecol.* 2020. №45. P. 86–103.



33. Schweingruber F.H. Tree ring: Basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel. Publ., 1988. 276 p.
34. Sperlich D., Nadal-Sala D., Gracia C., Kreuzwieser J., Hanewinkel M., Yousefpour R. Gains or losses in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO<sub>2</sub> fertilization and climate effects // *Climate*. 2020. №8. P. 141.
35. Vannoppen A., Kint V., Ponette Q., Verheyen K., Muys B. Tree species diversity impacts average radial growth of beech and oak trees in Belgium, not their long-term growth trend // *Forest Ecosystems*. 2019. Vol. 6. №10. 12 p. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0169-z>
36. Vejpusťková M., Čihák T. Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe // *Forests*. 2019. №10. P. 97.
37. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1984. №23. P. 201–213.

### References

1. Arefev, S.P. (1997). Ocenka ustojchivosti kedrovy`x lesov Zapadno-Sibirskoj ravniny`. *E`kologiya*, 3, 175-183. (in Russ.).
2. Arefev, S.P., & Zax, V.A. (2022). Sravnitel`ny`j analiz kol`cevy`x xronologij sovremennoj i arxeologicheskoy drevesiny` Tobolo-Ishimskogo mezhdurech`ya i perspektivy` postroeniya regional`ny`x dendroarxeologicheskix shkal. *Teoriya i praktika arxeologicheskix issledovanij*, 34(2), 147-171. (in Russ.).
3. Arefev, S.P., & Kazanceva, M.N. (2020). Periodichnost` pozharov i estestvennoe vozobnovlenie svetloxvojny`x lesov i redkolesij v Nady`mskom rajone Yamalo-Neneczkogo avtonomnogo okruga. *Sibirskij lesnoj zhurnal*, (1), 3-15. (in Russ.).
4. Arefev, S.P., Xomutov, A.V., Ermozina, K.A., & Lejbman, M.O. (2017). Dendroxronologicheskaya rekonstrukciya processa formirovaniya gazovogo bugra na meste Yamal`skoj voronki. *Kriosfera Zemli*, 21(5), 107-119. (in Russ.).
5. Bubenshhikova, V.G. (2020). Analiz sostoyaniya pirogenny`x opasnostej v usloviyax lesotaezhnoj zony` Nizhnevartovskogo rajona. In *Nauchny`e trudy` magistrantov i aspirantov*, 200-203. (in Russ.).
6. Vaganov, E.A., Shiyatov, S.G., & Mazepa, V.S. (1996). Dendroklmaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoj subarktike. Novosibirsk: Nauka, 246. (in Russ.).
7. Grebenyuk, G.N., & Kuzneczova, V.P. (2012). Sovremennaya dinamika klimata i fenologicheskaya izmenchivost` severny`x territorij. *Fundamental`ny`e issledovaniya*, 11(5), 1063-1077. (in Russ.).
8. Denisova, N.B., Sobolev, A.A., & Shipinskaya, U.S. (2020). Rezul`taty` obsledovaniya ochagov sibirskogo shelkopryada (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw.) na territorii Vasyuganskogo lesnichestva Tomskoj oblasti. *Lesnoj vestnik*, 24(6), 65-72. (in Russ.).

9. Kasimov, N.S., Kislov, A.V., Cherny'shev, A.V., Semin, V.N., & Alyautdinov, A.R. (2011). E'kologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri. M.: MAKSS Press, 496. (in Russ.).
10. Kirdyanov, A.V. (2017). Radial'ny'j prirost xvojny'x v lesotundre i severnoj tajge Srednej Sibiri. Rol' faktorov vneshnej sredy': Diss. ... dokt. biol. nauk. Krasnoyarsk. 284. (in Russ.).
11. Kucherov, S.E. (2018). Vliyanie klimaticeskix faktorov i defoliacii neparny'm shelkopryadom na radial'ny'j prirost derev'ev i sostoyanie drevostoev na Yuzhnom Urale : Diss. ... dokt. biol. nauk. Ufa. 245. (in Russ.).
12. Lesny'e pozhary`. <https://clck.ru/35fFfH> (in Russ.).
13. MGE`IK (2014). Izmenenie klimata, 2014 g.: Obobshhayushhij doklad. Vklad Rabochix grupp I, II i III v Pyaty'j ocenochny'j doklad Mezhpripravitel'svennoj gruppy` e'kspertov po izmeneniyu klimata. Zheneva: MGE`IK, 163 s. (in Russ.).
14. Mirzoeva, A.A. (1998). Nasekomy'e-vrediteli xvojny'x porod derev'ev Nizhnevartovskogo rajona // Les i chelovek: sb. nauch. tr. Megion: Mega Ojl, 38-45. (in Russ.).
15. Pogoda i klimat. <https://clck.ru/33GoRh> (in Russ.).
16. Svedeniya o povrezhdenii i gibeli lesov // Departament nedropol'zovaniya i prirodny'x resursov Xanty'-Mansijskogo avtonomnogo okruga – Yugry`. 2016. <https://clck.ru/35fG42> (in Russ.).
17. Siman'ko, V.V., Ben'kova, A.V., & Shashkin, A.V. (2013). Primenenie metoda «skol'zyashhix funkcij otklika» dlya vy'yavleniya vliyaniya klimaticeskix faktorov na radial'ny'j rost derev'ev. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (7), 188-194. (in Russ.).
18. Fonti, M.V. (2020). Klimaticeskij signal v parametrah godichny'x kolecz (plotnosti drevesiny`, anatomicheskoy strukture i izotopnom sostave) xvojny'x i listvenny'x vidov derev'ev v razlichny'x prirodno-klimaticeskix zonax Evrazii: Diss. ... dokt. biol. nauk. Krasnoyarsk, 318. (in Russ.).
19. Shiyatov, S.G. (2009). Dinamika drevesnoj i kustarnikovoj rastitel'nosti v gorax Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremenny'x izmenenij klimata. 216. (in Russ.).
20. Shiyatov, S.G., Vaganov, E.A., Kirdyanov, A.V., Kruglov, V.B., Mazepa, V.S., Naurzbaev, M.M., & Xantemirov, R.M. (2000). Metody` dendroxronologii. Osnovy` dendroxronologii. *Sbor i poluchenie drevesno-kol'cevoj informacii*. Ch. I. Krasnoyarsk: Kras. gos. un-t, 80. (in Russ.).
21. Shiyatov, S.G., Xantemirov, R.M., Goryachev, V.M., Agafonov, L.I., & Gurskaya, M.A. (2005). Dendroxronologicheskie datirovki arxeologicheskix, istoricheskix i e'tnograficheskix pamyatnikov Zapadnoj Sibiri. In *Arxeologiya i estestvennonauchny'e metody`*, 43-57. (in Russ.).
22. Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanić, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., & Frank, D. (2013). Site-and species-specific responses of forest growth to climate across the E uropean continent. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 706-717.

23. Buras, A., Rammig, A., & Zang, C.S. (2020). Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003. *Biogeosciences*, (17), 1655-1672.
24. Cook, E., & Peters, K. (1981). The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin*, vol. 41, 45-53.
25. Destatis statistisches bundesamt. Forest damage: logging of timber damaged by insect infestation grew more than tenfold within five years. Available online: <https://clck.ru/35fHbi>
27. Gauli, A., Neupane, P.R., Mundhenk, P., & Köhl, M. (2022). Effect of climate change on the growth of tree species: dendroclimatological analysis. *Forests*, (13), 496.
28. Henttonen, H.M., Nöjd, P., & Mäkinen, H. (2017). Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971-2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *For. Ecol. Manag.*, 386, 22-36.
29. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York : Cambridge University Press, 2013. 29 p.
30. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
31. Moskovchenko, D.V., Arefev, S.P., Moskovchenko, M.D., & Yurtaev, A.A. (2020). Spatiotemporal analysis of wildfires in the forest tundra of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(2), 193-203.
32. Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T.E.E., Hauck, M., & Hajek, P., et al. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic Appl. Ecol.*, 45, 86-103.
33. Schweingruber, F.H. (1988). Tree ring: Basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel. Publ. 276 p.
34. Sperlich, D., Nadal-Sala, D., Gracia, C., Kreuzwieser, J., Hanewinkel, M., & Yousefpour, R. (2020). Gains or losses in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO<sub>2</sub> fertilization and climate effects. *Climate*, 8, 141.
35. Vannoppen, A., Kint, V., Ponette, Q., Verheyen, K., & Muys, B. (2019). Tree species diversity impacts average radial growth of beech and oak trees in Belgium, not their long-term growth trend. *Forest Ecosystems*, 6 (10), 12 p. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0169-z>
36. Vejpustková, M., & Čihák, T. (2019). Climate response of Douglas fir reveals recently increased sensitivity to drought stress in Central Europe. *Forests*, 10, 97.
37. Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., & Jones, P.D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201-213.

Дата поступления: 09.05.2023

Дата принятия: 11.08.2023

© Арефьев С.П., 2023