

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ ПРИИРТЫШЬЯ

А.В. Данчева¹, С.В. Залесов², Б.М. Муқанов¹

¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, 021704, Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58

²Уральский государственный лесотехнический университет, 620110, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

a.dancheva@mail.ru

Представлены результаты дендроклиматологического исследования годичных колец сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в лесорастительных условиях ленточных боров Прииртышья (Восточный регион Казахстана). Рассмотрены основные причины климатической обусловленности сезонной изменчивости радиального прироста сосны. Установлено, что на ширину годичного кольца в наибольшей степени оказывает влияние температура воздуха и в наименьшей степени — количество атмосферных осадков. Тесная зависимость радиального прироста сосны от количества осадков, отмеченная в середине XX в. (1952–1962), резко снижалась на протяжении последующих 50 лет. Установлена общая тенденция увеличения влияния температуры воздуха (август — сентябрь) и количества осадков (август) конца вегетационного периода предшествующего года в течение последних 15–20 лет на радиальный прирост сосны обыкновенной.

Ключевые слова: сосновые древостои, радиальный прирост, климатические факторы, дендроклиматология

Ссылка для цитирования: Данчева А.В., Залесов С.В., Муқанов Б.М. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны в ленточных борах Прииртышья // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-5-10

В последнее время проводятся обширные исследования реагирования лесных экосистем и их компонентов на изменение климата в различных районах произрастания бореальных и умеренных лесов (Европы, Азии, Северной Америки), в частности в России [1, 2]. Однако пока нет ясности в прямых и обратных связях между глобальными и локальными изменениями климата и лесными экосистемами. Чтобы понять, как именно функционируют леса, как формируется их биологическое разнообразие, важно оценить глубину взаимодействия климата и леса, а также выяснить, какое влияние окажут будущие изменения климата на экологическую и экономическую стабильность лесов.

Определение изменений в составе экологических систем, биогеоценозов, природных комплексов и их продуктивности (экологический мониторинг) не имеет единой системы учетных показателей [3]. Степень нарушения природных комплексов, биогеоценозов, отдельных составляющих биосферу компонентов определяют путем сравнения их с ненарушенными экосистемами по некоторым признакам и характеристикам, по динамике поддающихся учету изменений. Вопросы установления степени и характера влияния на лес природных процессов и антропогенных факторов можно решить, применяя дендрохронологические методы исследований.

В Казахстане, в частности в Восточном регионе, при глубокой изученности вопроса влияния отдельных климатических, лесорастительных и антропогенных факторов на динамику прироста

деревьев (радиального, линейного и т. д.), не проводятся исследования с использованием дендрохронологических и дендроклиматологических методов при оценке состояния лесных насаждений, поэтому данное направление признано актуальным.

Цель работы

Цель работы — изучение влияния климатических факторов (количества осадков, температуры воздуха) на формирование радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в Восточно-Казахстанском регионе (ленточных борах Прииртышья) методами дендрохронологического и дендроклиматологического анализов.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования служили сосновые древостои, произрастающие в сухих лесорастительных условиях (группа типов леса — С₂) ленточных боров Прииртышья Восточного региона Казахстана.

Анализ проводился по данным 27 кернов, собранных на заложённой для этих целей пробной площади (ПП) ПП-4-С в Пригородном лесничестве Семипалатинского филиала Государственного лесного природного резервата ГЛПР «Семей орманы».

Закладка ПП и определение лесотаксационных параметров древостоев проводились в соответствии с общепринятыми в лесоводстве методиками [4].

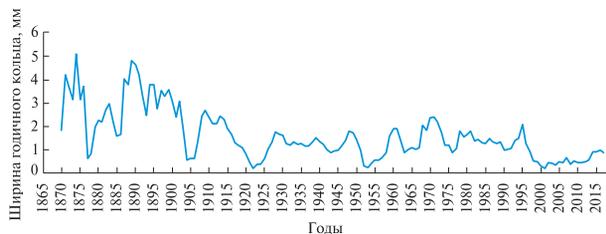


Рис. 1. Общая дендрохронологическая характеристика деревьев сосны обыкновенной

Fig. 1. General dendrochronological characteristics of Scots pine

Отбор древостоев и деревьев для изучения влияния климатических факторов (температуры воздуха и количества осадков) и пожаров осуществлялся по существующей на сегодняшний день методике дендрохронологических исследований [5].

В камеральных условиях годичные кольца сосны измеряли на измерительном комплексе LINTAB 5 с точностью до 0,01 мм. Образцы были перекрестно датированы с использованием программ TSAP 3.0 [6] и COFESHA [7]. Для устранения влияния возраста деревьев и других факторов неклиматического характера на динамику радиального прироста была проведена стандартизация индивидуальных серий прироста в программе ARSTAN [8]. Серии, у которых изменчивость не описывалась экспоненциальной кривой, были исключены из анализа. В этой же программе на основе стандартизированных индивидуальных хронологий были получены обобщенные древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) индексов прироста и проведена оценка синхронности между временными рядами индексов прироста обобщенной хронологии, количеством осадков и температурой воздуха за различные периоды времени.

Для расчета связей климатических факторов с индексами ширины годичных колец были использованы метеорологические данные метеостанции г. Щучинск. Корреляционный анализ между индексами ширины годичного кольца и климатическими факторами (температурой воздуха и количеством осадков) был выполнен в программе Dendroclim 2002 [9]. Методом плавающей корреляции (50-летней скользящей средней) проведен анализ связи между температурой воздуха и количеством осадков и индексами прироста для погодичной оценки динамики корреляционной связи.

Полученные данные статистически обработаны с использованием средств электронной таблицы Microsoft Excel.

Результаты исследований

Исследуемые сосняки представляют собой одновозрастные чистые по составу (10С), низкополнотные древостои:

Относительная полнота <i>P</i>	0,3
Класс возраста	VIII

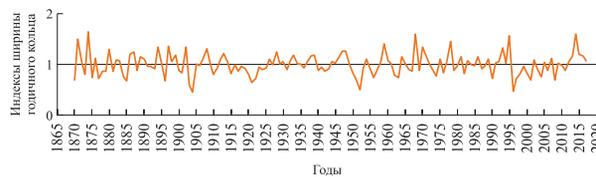


Рис. 2. Индексированная древесно-кольцевая хронология сосны

Fig. 2. Indexed tree-ring chronology of pine

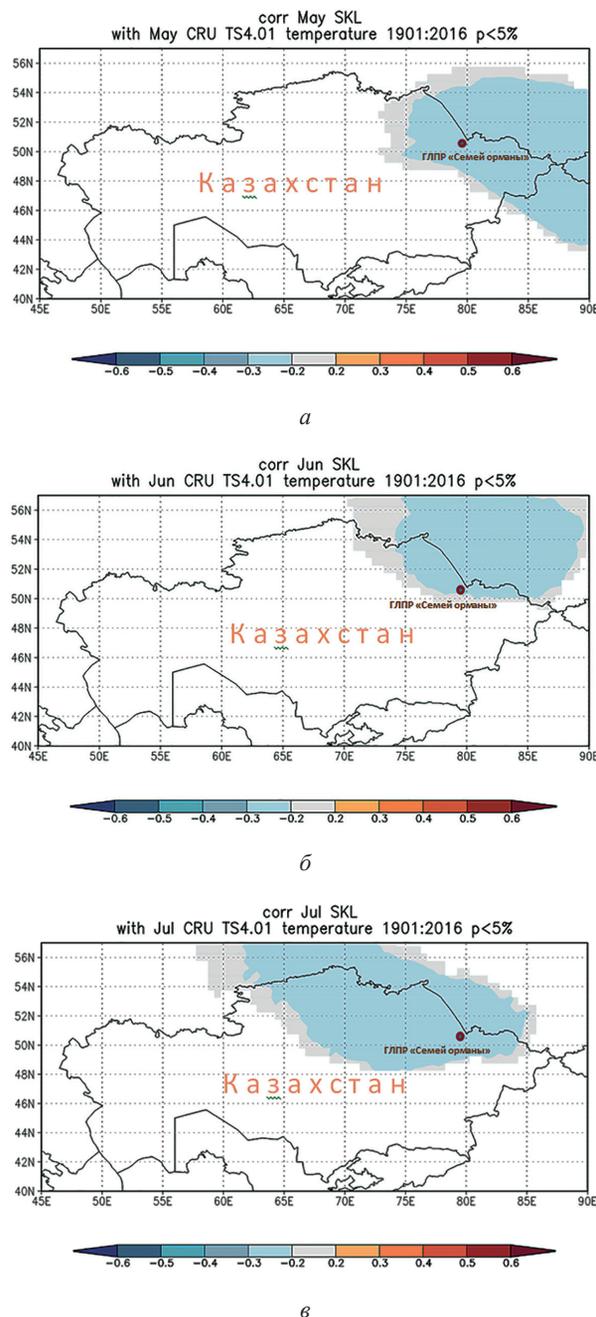


Рис. 3. Корреляция древесно-кольцевой хронологии сосны в ГЛПР «Семей орманы» с гридами по температуре воздуха в мае (а), июне (б) и июле (в)

Fig. 3. Correlation of the pine tree-ring chronology in the SFNR «Semey ormany» with grids by air temperature in May (a), June (b) and July (v)

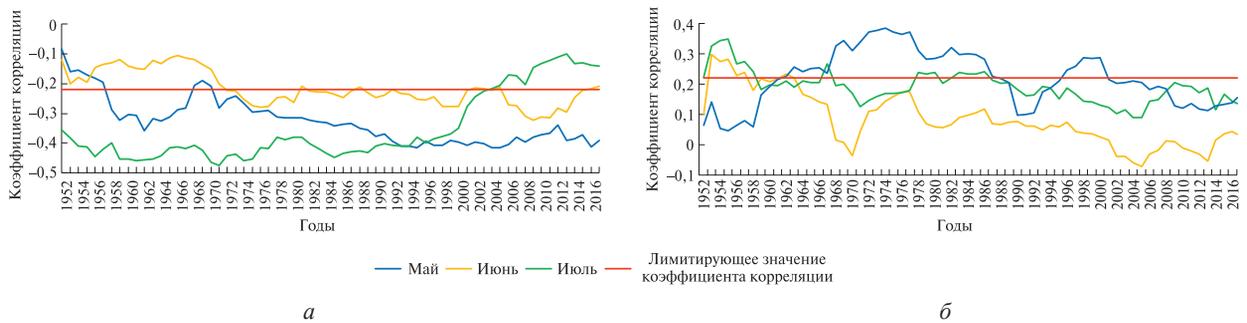


Рис. 4. Коэффициенты корреляции между индексированной хронологией сосны ГЛПР «Семей орманы» и температурой воздуха (а) и количеством осадков (б)

Fig. 4. The correlation coefficients between the indexed chronology of pine SFNR «Semey ormany» and air temperature (a) and rainfall (b)

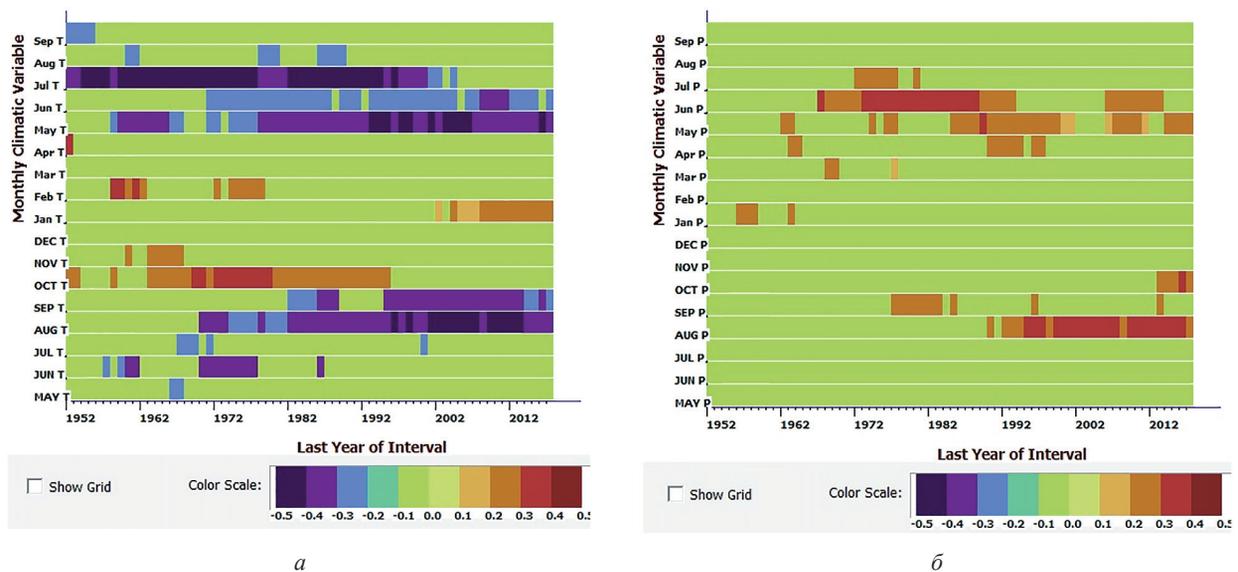


Рис. 5. Иллюстрация результатов Бутстрап-анализа стабильности связи между древесно-кольцевой хронологией сосны ГЛПР «Семей орманы» и температурой воздуха (а) и количеством осадков (б) в течение 50 лет

Fig. 5. The Bootstrap analysis results of the relationship stability between the tree-ring chronology of pine in SFNR «Semey ormany» and air temperature (a) and rainfall (b) within 50 years

Класс бонитета IV
 Средний диаметр ствола, см 30,4 ± 1,0
 Высота, м 18,1 ± 0,3
 Запас древесины, м³/га 106
 Длина полученной обобщенной хронологии сосны (рис. 1) составляет 147 лет (1870–2017), при этом хорошо выражены возрастные кривые. Средняя корреляция между сериями высокая — 0,75, средняя чувствительность 0,22, что соответствует среднему значению по лесостепной зоне [10].

После проведения стандартизации и индексирования была получена обобщенная хронология, которая имеет слабую автокорреляционную составляющую или не имеет ее вообще (рис. 2). Изменчивость индексов составляет от 0,2 до 1,6. Полученные индексы прироста использовались для оценки климатического влияния на годовичные кольца.

Предварительная оценка корреляционной связи между древесно-кольцевой хронологией и температурой воздуха, полученная путем построения планетарной климатической сети с шагом в 0,5 град (рис. 3), имеет наиболее тесные связи с регионом Восточного Казахстана. Выявлены связи с температурой мая, июня и июля. На основании полученных данных для проведения дальнейшего анализа были использованы данные метеостанции «Семья» (период наблюдений 1923–2018 гг.).

Стабильность связи «климат — рост» была проверена с помощью бутстрап-анализа скользящей средней с окном 50 лет с помощью Dendroclim2002. В анализ связи радиального прироста деревьев с температурой воздуха закладывались данные о средней за месяц температуре воздуха с сентября предшествующего по август текущего года по ГЛПР. В результате была уста-

новлена тесная взаимосвязь ширины годичного кольца с температурой воздуха мая — июля на всех объектах, подтвержденная значениями коэффициента корреляции между рассматриваемыми показателями (рис. 4). Эта связь оказалась стабильной во времени. Влияние количества осадков мая — июля было нестабильным и несущественным. В условиях Восточного Казахстана (ГЛПР «Семей орманы») наибольшая корреляционная связь годичного прироста сосны отмечена для температуры воздуха мая — июля.

Установлена общая тенденция увеличения влияния температуры воздуха и количества осадков конца вегетационного периода предшествующего года (август — сентябрь) в течение последних 15–20 лет на годичный прирост сосны в условиях Восточного Казахстана (рис. 5).

Выводы

По данным проведенного дендроклиматологического анализа древесно-кольцевой хронологии сосны, произрастающей в сухих лесорастительных условиях ленточных боров Прииртышья (Восточный регион Казахстана), установлено, что на ширину годичного кольца максимально влияет температура воздуха и минимально — количество осадков.

В условиях ленточных боров Прииртышья, в большей степени, ширину годичного кольца определяет вторая половина вегетационного сезона (июнь — июль). Жаркий июнь и июль отрицательно влияют на радиальный прирост сосны обыкновенной, а осадки, наоборот способствуют формированию более широких годичных колец. При этом основной вклад в изменчивость ширины годичного кольца вносит именно температура воздуха.

За последние 50 лет отмечается снижение влияния температуры воздуха мая текущего года на радиальный прирост сосны, произрастающей в сухих лесорастительных условиях исследуемого региона, и увеличение влияния температуры воздуха июля.

Выявленная связь количества осадков июня — июля текущего года с годичным приростом сосны в сухих условиях произрастания Северного Казахстана не стабильна во времени. При этом полученная тесная взаимосвязь количества осадков мая с радиальным приростом сосны, которая отмечается в середине прошлого столетия (1952–1962 гг.), резко снижается на протяжении последующих 50 лет.

Наблюдается общая тенденция увеличения влияния температуры воздуха (август — сентябрь) и количества осадков (август) конца вегетационного сезона предшествующего года в течение последних 15–20 лет на радиальный прирост сосны обыкновенной.

Работа выполнена в рамках бюджетной программы 217 «Развитие науки» подпрограммы 102 «Грантовое финансирование научных исследований» Министерства образования и науки Республики Казахстан по гранту № AP05131107 «Исследование климатогенной и антропогенной динамики сосновых боров Казахстана методами дендрохронологии».

Список литературы

- [1] Муратова Е.Н., Шиятов С.Г., Залесов С.В., Мочалов С.А. Междунар. конф. «Влияние изменения климата на бореальные и умеренные леса» (Россия, Екатеринбург, 5–10 июня 2006 г.) // Лесоведение, 2007. № 1. С. 74–76.
- [2] Мазепа В.С., Дэви Н.М. Образование многостольных жизненных форм деревьев лиственницы сибирской в экотоне верхней границы леса на Полярном Урале как индикатор изменения климата // Экология, 2007. № 6. С. 471–475.
- [3] Матвеев С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: ВГУ, 2003. 272 с.
- [4] Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
- [5] Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
- [6] Rinn F. TSAP Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0. Reference Manual. Heidelberg, 1996, p. 262.
- [7] Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bulletin, 1983, v. 43, pp. 69–78.
- [8] Cook E., Holmes R. Guide for Computer Program AR-STAN, Adapted from Users Manual for Program AR-STAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, 1986, pp. 50–65.
- [9] Cook E., Holmes R. Guide for Computer Program AR-STAN, Adapted from Users Manual for Program AR-STAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, 1986, pp. 50–65.
- [10] Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- [11] Гусев А.В., Залесов С.В., Сарсекова Д.Н. Методика определения перспективности интродукции древесных растений // Материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020» (Екатеринбург, УГЛТУ, 01 января–31 декабря 2009 г.). Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. Ч. 2. С. 271–275.
- [12] Бочкарев Ю.Н. Изучение внутривековой динамики ландшафтов северной тайги Западной Сибири методами дендрохронологии // Вестник Московского университета, 2006. Сер. 5. География. № 3. С. 62–67.
- [13] Румянцев Д.Е. Диагностика особенностей роста сосны и ели в южной Карелии с использованием методов дендрохронологии: автореф. дис. ... биол. наук. М.: МГУЛ, 2004. 22 с.
- [14] Datsenko N.M., Sonechkin D.M., Yang B. Solving an eigen problem to create reliable tree-ring chronologies // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2013. Т. 6. № 3. С. 257–274.
- [15] Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.

- [16] Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. М.: МГУЛ, 2010. 109 с.
- [17] Панов В.И. Связь дендрохронологии с крупными биосферными явлениями (на примере изменений ширины годичных древесных колец хвойных растений после извержений вулканов) // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки, 2015. № 7–8. С. 45–55.
- [18] Вахнина И.Л. Анализ динамики ширины годичных колец сосны обыкновенной в условиях восточного Забайкалья // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2011. Т. 4. № 3. С. 13–17.
- [19] Волков Ю.В., Тартаковский В.А. Математическая модель микроструктуры годичных слоев деревьев // Изв. Томск. политехн. ун-та, 2009. Т. 314. № 5. С. 117–120.
- [20] Бенькова А.В., Тарасова В.В., Шишкин А.В. Применение дендрохронологического метода для изучения особенностей роста естественных и искусственных лесных насаждений // Лесоведение, 2006. № 2. С. 3–8.
- [21] Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. 177 с.

Сведения об авторах

Данчева Анастасия Васильевна — канд. с.-х. наук, нач. отдела ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации», a.dancheva@mail.ru

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, проректор по науке ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zalesov@usfeu.ru

Муканов Булат Мажитович — д-р с.-х. наук, профессор, зам. ген. директора по внедрению ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации».

Поступила в редакцию 23.12.2019.

Принята к публикации 21.01.2020.

CLIMATIC FACTORS INFLUENCE ON RADIAL PINE GROWTH IN RIBBON PINE FORESTS IN THE IRTYSH LAND

A.V. Dancheva¹, S.V. Zalesov², B.M. Mukanov¹

¹Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry (KazSRIFA), 58, Kirov st., 021704, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

²Ural State Forest Engineering University (USFEU), 37, Sibirsky tract st., 620100, Ekaterinburg, Russia

a.dancheva@mail.ru

The article presents the results of a dendroclimatological study of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) annual rings, which grows in the conditions of the ribbon pine forests in the Irtysh region (Eastern part of Kazakhstan). The main causes of the climatic condition for the pine radial growth seasonal variability are considered. It has been established that the atmospheric temperature mainly affects the annual ring width while the amount of precipitation affects it least. A close dependence of the pine radial growth on the amount of precipitation, noted in the middle of the twentieth century (1952–1962), declined sharply over the next 50 years. The general tendency has been established that the air temperature (August - September) and rainfall (August) at the end of the growing season of the previous year have increasingly affected the radial growth of Scots pine over the past 15–20 years.

Keywords: pine stands, radial growth, climatic factors, dendroclimatology

Suggested citation: Dancheva A.V., Zalesov S.V., Mukanov B.M. *Vliyanie klimaticheskikh faktorov na radial'nyy prirost sosny v lentochnykh borakh Priirtysh'ya* [Climatic factors influence on radial pine growth in ribbon pine forests in the Irtysh land]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-5-10

References

- [1] Muratova E.N., Shiyatov S.G., Zalesov S.V., Mochalov S.A. *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Vliyanie izmeneniya klimata na boreal'nye i umerennye lesa» Rossiya, Ekaterinburg, 5–10 iyunya 2006 g.* [International Conference «The Impact of Climate Change on Boreal and Temperate Forests» Russia, Yekaterinburg, June 5–10, 2006]. *Lesovedenie* [Forest Science], 2007, no. 1, pp. 74–76.
- [2] Mazepa V.S., Devi N.M. *Obrazovanie mnogostvol'nykh zhiznennykh form derev'ev listvennitsy sibirskoy v ekotone verkhney granitsy lesa na Polyarnom Urale kak indikator izmeneniya klimata* [The formation of multi-stemmed life forms of Siberian larch trees in the ecotone of the upper forest border in the Polar Urals as an indicator of climate change]. *Ekologiya* [Ecology], 2007, no. 6, pp. 471–475.
- [3] Matveev S.M. *Dendroindikatsiya dinamiki sostoyaniya sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi* [Dendroindication of the dynamics of the state of pine plantations of the Central forest-steppe]. Voronezh: Voronezh State University, 2003, 272 p.

- [4] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskii monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsionnogo naznacheniya* [Ecological monitoring of recreational forest plantations]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2015, 152 p.
- [5] Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kiryanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. *Metody dendrokronologii. Chast' I. Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevnesno-kol'tsevoy informatsii* [Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of Dendrochronology. Collection and receipt of tree-ring information]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University, 2000, 80 p.
- [6] Rinn F. *TSAP Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0. Reference Manual*. Heidelberg, 1996, p. 262.
- [7] Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bulletin*, 1983, v. 43, pp. 69–78.
- [8] Cook E., Holmes R. *Guide for Computer Program ARSTAN*, Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, 1986, pp. 50–65.
- [9] Cook E., Holmes R. *Guide for Computer Program ARSTAN*, Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona, 1986, pp. 50–65.
- [10] Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the upper border of the forest in the Urals]. Moscow: Nauka, 1986, 136 p.
- [11] Gusev A.V., Zalesov S.V., Sarsekova D.N. *Metodika opredeleniya perspektivnosti introduksii drevesnykh rasteniy* [Methods for determining the prospects of introduction of woody plants] *Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa v ramkakh kontseptsii 2020», Ekaterinburg, UGLTU, 01 yanvarya–31 dekabrya 2009 g.* [Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference «Socio-economic and environmental problems of the forest complex in the framework of the concept 2020», Yekaterinburg, UGLTU, January 1 to December 31, 2009]. Ekaterinburg: UGLTU, 2009, part. 2, pp. 271–275.
- [12] Bochkarev Yu.N. *Izucheniye vnutrivkovoy dinamiki landshaftov severnoy taygi zapadnoy sibirii metodami dendrokronologii* [The study of the centuries-old dynamics of the landscapes of the northern taiga of western Siberia by the methods of dendrochronology]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya* [Moscow University Physics Bulletin. Ser. 5: Geography], 2006, no. 3, pp. 62–67.
- [13] Rumyantsev D.E. *Diagnostika osobennostey rosta sosny i eli v yuzhnoy Karelii s ispol'zovaniem metodov dendrokronologii* [Diagnosis of the features of pine and spruce growth in southern Karelia using dendrochronology methods]. *Diss. Sci. (Biol.)*. Moscow: MGUL, 2004, 22 p.
- [14] Datsenko N.M., Sonechkin D.M., Yang B. Solving an eigen problem to create reliable tree-ring chronologies. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology], 2013, v. 6, no. 3, pp. 257–274.
- [15] Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the upper border of the forest in the Urals]. Moscow: Nauka, 1986, 136 p.
- [16] Rumyantsev D.E. *Istoriya i metodologiya lesovodstvennoy dendrokronologii* [History and methodology of forestry dendrochronology]. Moscow: MGUL, 2010, 109 p.
- [17] Panov V.I. *Svyaz' dendrokronologii s krupnymi biosfernymi yavleniyami (na primere izmeneniy shiriny godichnykh drevesnykh kolets khvoynykh rasteniy posle izverzheniy vulkanov)* [The connection of dendrochronology with large biosphere phenomena (on the example of changes in the width of annual tree rings of conifers after volcanic eruptions)]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences], 2015, no. 7–8, pp. 45–55.
- [18] Vakhnina I.L. *Analiz dinamiki shiriny godichnykh kolets sosny obyknovennoy v usloviyakh vostochnogo Zabaykal'ya* [Analysis of the dynamics of the width of annual rings of Scots pine in the conditions of eastern Transbaikalia] *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology]. 2011, v. 4, no. 3, pp. 13–17.
- [19] Volkov Yu.V., Tartakovskiy V.A. *Matematicheskaya model' mikrostruktury godichnykh sloev derev'ev* [A mathematical model of the microstructure of tree annual layers] *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2009, v. 314, no. 5, pp. 117–120.
- [20] Ben'kova A.V., Tarasova V.V., Shishkin A.V. *Primeneniye dendrokronologicheskogo metoda dlya izucheniya osobennostey rosta estestvennykh i iskusstvennykh lesnykh nasazhdeniy* [The use of the dendrochronological method for studying the growth characteristics of natural and artificial forest plantations]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2006, no. 2, pp. 3–8.
- [21] Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest conditions and types of forests in the Sverdlovsk region]. Sverdlovsk: UC USSR Academy of Sciences, 1974, 177 p.

Authors' information

Dancheva Anastasiya Vasil'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Head of Department «Kazakh research Institute of forestry and agroforestry», a.dancheva@mail.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Vice-rector for science of the «Ural state forest engineering University», Zalesov@usfeu.ru

Mukanov Bulat Mazhitovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the «Kazakh research Institute of forestry and agroforestry»

Received 23.12.2019.

Accepted for publication 21.01.2020.