

МРНТИ 34.35.17

DOI: <https://doi.org/10.62687/NSJ.1.1.2025.8>

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОСТА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

¹Ш. Б. Абилова*^{ID}, ¹А. Б. Карабалаева^{ID}, ¹А.С. Тулегенов^{ID}, ²Ш.М. Жумадина^{ID}

¹Международный университет Астана, Астана, Казахстан

²Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

*e-mail: sholpana_jan@mail.ru

Ш. Б. Абилова – высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: sholpana_jan@mail.ru, <https://.0000-0001-8372-1812>

А. Б. Карабалаева – высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://.0000-0001-6539-2541>

А. С. Тулегенов – магистрант, Высшая школа естественных наук, Международный университет Астана, Кабанбай батыра 8, Астана, Казахстан, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://.0009-0000-2231-6434>

Ш. М. Жумадина – агрономический факультет, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://.0000-0002-4792-7466>

Аннотация. Настоящая статья представляет обзор современных научных исследований, посвящённых динамике радиального прироста древесных пород в условиях изменения климата и антропогенного воздействия, с акцентом на лесостепные экосистемы Казахстана. В качестве методологической основы рассматриваются дендрохронологические подходы, позволяющие выявить связь между климатическими факторами, экологическим состоянием почв и биологическими реакциями древесных растений. На основе анализа литературных источников отечественных и зарубежных авторов показано, что радиальный прирост деревьев чутко реагирует на изменение температуры, засушливость, загрязнение тяжёлыми металлами и другие стрессовые факторы. Выделены ключевые методы анализа древесных колец, включая программные средства ARSTAN и TSAP, а также статистические модели, применяемые в дендроклиматологии. Полученные результаты подчёркивают важность комплексного междисциплинарного подхода к изучению устойчивости лесных экосистем, а также необходимость расширения дендроэкологических исследований для разработки адаптационных стратегий устойчивого лесопользования в Казахстане.

Ключевые слова: дендрохронология, радиальный прирост, хвойные породы, лесостепная зона, климатические изменения, экосистема, годовые кольца, Северный Казахстан, экологический мониторинг, устойчивость лесов.

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОРМАНДЫ-ДАЛА БЕЛДЕУІНДЕГІ ҚЫЛҚАНДЫ АҒАШТАРДЫҢ ӨСУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ: ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛ

¹Ш. Б. Абилова*, ¹А. Б. Карабалаева, ¹А.С. Тулегенов, ²Ш.М. Жумадина

¹Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан

*e-mail: sholpana_jan@mail.ru

Ш.Б. Абилова – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан, e-mail: sholpana_jan@mail.ru, <https://.0000-0001-8372-1812>

А. Б. Карабалаева – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебі, Астана, Қазақстан, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://.0000-0001-6539-2541>

А. С. Тулегенов – Астана халықаралық университетінің Жаратылыстану жоғары мектебінің магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://0009-0000-2231-6434>

Ш. М. Жумадина – С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Агрономия факультеті, Астана, Қазақстан, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://0000-0002-4792-7466>

Аңдатпа. Бұл мақала Қазақстанның орманды-дала экожүйелеріндегі климаттық өзгерістер мен антропогендік ықпал жағдайларында ағаш түрлерінің радиалды өсімі динамикасына арналған заманауи ғылыми зерттеулерге шолу ұсынады. Зерттеудің әдістемелік негізі ретінде климаттық факторлар, топырақтың экологиялық жай-күйі мен ағаш өсімдіктерінің биологиялық реакциялары арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік беретін дендрохронологиялық тәсілдер қарастырылады. Отандық және шетелдік әдеби дереккөздерге талдау жасау негізінде ағаштардың радиалды өсімі температураның өзгеруі, құрғақшылық, ауыр металдармен ластану және басқа да стресстік факторларға сезімтал екені көрсетілген. Древесиналық сақиналарды талдаудың негізгі әдістері, соның ішінде ARSTAN және TSAP бағдарламалық құралдары, сондай-ақ дендроклиматологияда қолданылатын статистикалық модельдер сипатталады. Зерттеу нәтижелері орман экожүйелерінің тұрақтылығын зерделеуде кешенді пәнаралық көзқарастың маңыздылығын және Қазақстанда орнықты орман пайдаланудың бейімделу стратегияларын әзірлеу үшін дендрэкологиялық зерттеулерді кеңейту қажеттілігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: дендрохронология, радиалды өсім, қылқан жапырақты түрлер, орманды-дала аймағы, климаттың өзгеруі, экожүйе, жылдық шеңберлер, Солтүстік Қазақстан, экологиялық мониторинг, орман тұрақтылығы.

SPECIFIC FEATURES OF RADIAL GROWTH OF CONIFEROUS TREES IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN: A DENDROCHRONOLOGICAL APPROACH

¹**Sh. B. Abilova***, ¹**A. B. Karabalayeva**, ¹**A.S. Tulegenov**, ²**Sh.M. Zhumadina**

¹Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan

²Faculty of Agronomy, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, Zhenis Avenue, 62, 010011

*e-mail: sholpana_jan@mail.ru

Sh. B. Abilova – higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sholpana_jan@mail.ru, <https://0000-0001-8372-1812>

A. B. Karabalayeva – higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: karabalayevaa@gmail.com, <https://0000-0001-6539-2541>

A.S. Tulegenov – master's Student, Higher School of Natural Sciences, Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: abilaykhansayfullayevich@outlook.com, <https://0009-0000-2231-6434>

Sh.M. Zhumadina – faculty of Agronomy, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: ms.zhumadina@mail.ru, <https://0000-0002-4792-7466>

Abstract. This article provides a review of current scientific research on the dynamics of radial tree growth under the influence of climate change and anthropogenic impacts, with a focus on the forest-steppe ecosystems of Kazakhstan. Dendrochronological approaches are examined as the methodological foundation, enabling the identification of links between climatic factors, soil ecological conditions, and biological responses of woody plants. Based on the analysis of national and international literature, it is shown that tree radial growth is highly sensitive to temperature fluctuations, drought, heavy metal pollution, and other stressors. Key methods of tree-ring analysis are highlighted, including ARSTAN and TSAP software, as well as statistical models commonly applied in dendroclimatology. The results emphasize the importance of an integrated interdisciplinary approach

to studying forest ecosystem resilience and highlight the need to expand dendroecological research to develop adaptive strategies for sustainable forest management in Kazakhstan.

Keywords: dendrochronology, radial growth, coniferous species, forest-steppe zone, climate change, ecosystem, tree rings, Northern Kazakhstan, ecological monitoring, forest resilience.

Введение. Лесостепная зона Северного Казахстана представляет собой чувствительную к климатическим воздействиям экосистему, где хвойные деревья, в частности сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), являются индикатором изменений в окружающей среде. Радиальный прирост деревьев отражает воздействие температурных аномалий, засух, загрязнений и других антропогенных факторов, что делает дендрохронологические методы незаменимыми в изучении динамики лесных экосистем.

Многочисленные исследования, проведённые в Казахстане и за его пределами, подчеркивают важность междисциплинарного подхода в анализе роста древесных пород.

Изучение изменений в лесных экосистемах в условиях изменения климата требует комплексного научного подхода, сочетающего экологический мониторинг, методы дендрохронологии и оценку антропогенного воздействия. Научные исследования, проведённые в лесных зонах Казахстана и сопредельных регионах, предоставляют широкий спектр данных о росте деревьев, биоиндикации загрязнения и устойчивости лесных массивов к климатическим изменениям.

Изучение прироста хвойных пород деревьев в условиях климатически уязвимых зон, таких как лесостепная зона Северного Казахстана, приобрело особую актуальность в связи с глобальными изменениями климата и необходимостью устойчивого управления лесными экосистемами.

Ряд работ отечественных авторов посвящён исследованию аккумуляции тяжёлых металлов в древесных растениях (Satova et al., 2019; Satova et al., 2020), выявивших значительное загрязнение лесных территорий Восточного Казахстана и их влияние на биомассу растений. Эти результаты дополняются дендрохронологическими исследованиями динамики радиального прироста сосны обыкновенной (Жумадина и др., 2019), которые показали климатически обусловленные колебания в приросте древесины.

Исследования Абиловой и др. (2022) в Катон-Карагайском национальном парке и Zhumadina et al. (2023) в Байанаульском национальном парке подчеркивают влияние как климатических, так и антропогенных факторов на лесные экосистемы. При этом особое внимание уделяется экологическим угрозам, связанным с хозяйственной деятельностью и загрязнением почв.

Зарубежные исследования (Cook & Cole, 1991; D'Arrigo & Jacoby, 1993; Rudel et al., 2020) служат методологической основой для анализа роста деревьев в условиях изменения климата, а также подчеркивают необходимость прогнозирования реакций лесных массивов на будущие климатические сценарии. Работы Wigley et al. (1984) и Fritts (1966) раскрывают основы статистического анализа дендроэкологических временных рядов, важные для количественной оценки климатических сигналов в древесных кольцах.

Технические и программные аспекты дендрохронологии представлены в работах Cook & Kairiukstis (1990), Holmes (1992), и Rinn (1996), где рассматриваются алгоритмы стандартизации хронологий и визуализации данных. Использование программного обеспечения TSAP и ARSTAN позволяет обеспечить высокую точность и воспроизводимость результатов исследований.

Исследования Dulamsuren et al. (2019) и Mapitov et al. (2023) акцентируют внимание на гидравлической архитектуре деревьев и ограничениях прироста хвойных пород в полувсасушливых условиях. В этих работах подчёркивается важность водного стресса как лимитирующего фактора роста в Центральной Азии. Fargoq et al. (2023) оценили засушливые условия Казахстана с использованием климатических индексов, что актуализирует дендроклиматические подходы для долгосрочного мониторинга.

Работы Andersson & Ardfors (2021) и Sehring (2012) предоставляют критический анализ

политик лесовосстановления в Казахстане, в то время как Upadhyay & Tripathi (2019) и DeMicco et al. (2019) акцентируют внимание на устойчивом лесоправлении с применением дендрохронологических данных. Эти подходы применимы для долгосрочного планирования и адаптации лесных стратегий в Казахстане.

Кроме того, работы Karabalayeva et al. (2024) и Fyllas et al. (2017) демонстрируют потенциал интеграции мониторинга загрязнений и вторичной переработки отходов для минимизации негативного воздействия на природные экосистемы. Эти исследования расширяют границы применения дендрохронологии за счёт сочетания с данными экотоксикологии и геохимии.

Таким образом, научные данные подтверждают высокую чувствительность древесных пород к климатическим изменениям и антропогенному стрессу, обосновывая важность дальнейшего развития дендроэкологических исследований в регионе. Это позволит создавать адаптационные стратегии в лесоправлении, основанные на долговременном мониторинге и экологическом прогнозировании.

Методы исследования. Настоящая работа является обзорным исследованием, направленным на систематизацию и анализ научных источников, посвящённых особенностям радиального прироста хвойных пород деревьев в условиях лесостепных экосистем и климатических изменений. Для достижения целей статьи были использованы следующие методы:

Метод систематического анализа научной литературы - проведен отбор и обобщение публикаций отечественных и зарубежных авторов по ключевым темам: дендрохронология, климатически обусловленные изменения прироста, экологические факторы влияния, методические подходы к обработке дендроданных, а также антропогенное воздействие на хвойные леса.

Контент-анализ - содержательное изучение текстов позволило выделить основные научные подходы к интерпретации прироста хвойных пород в условиях климатического стресса, засух и загрязнения окружающей среды. Проведено сопоставление результатов исследований по регионам Казахстана, Северной Америки и Европы.

Сравнительно-исторический метод - использован для анализа эволюции научных взглядов и методологических подходов в области дендроэкологических исследований, включая развитие программного обеспечения (TSAP, ARSTAN, COFECHA) и полевых техник сбора кернов.

Классификация и обобщение данных - на основании анализа источников были структурированы направления исследований по следующим критериям: региональные особенности (лесостепь, степь, горные районы), видовые различия (сосна обыкновенная, ель, лиственница), типы воздействий (климатические, антропогенные), методы измерений.

Географический подход - при обобщении результатов учитывалось пространственное распределение данных с акцентом на условия Северного Казахстана. Это позволило выявить региональные особенности динамики прироста деревьев в условиях лесостепной зоны.

Таким образом, обзорные методы, основанные на качественном и структурном анализе научных публикаций, позволили сформировать целостную картину текущего состояния знаний и определить перспективные направления для дальнейших эмпирических исследований.

Результаты и обсуждения. Анализ литературных источников, посвящённых дендрохронологическим исследованиям в лесостепной зоне Северного Казахстана, позволяет выделить совокупность ключевых факторов, определяющих радиальный прирост хвойных древесных пород. Ведущая роль среди них принадлежит климатическим условиям, прежде всего режиму увлажнения и температурным характеристикам в период активной вегетации. Установлено, что количество атмосферных осадков в весенне-летний период, а также экстремальные температурные колебания оказывают прямое и опосредованное влияние на физиологические процессы роста древесины.

Результаты исследований Satova et al. (2019), Абиловой и др. (2022) и Zhumadina et al. (2019) демонстрируют выраженную зависимость ширины годичных колец сосны

обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) от гидротермических условий текущего и предшествующего вегетационного периода. Засушливые годы, сопровождающиеся дефицитом влаги и повышенными температурами воздуха, приводят к значительному снижению радиального прироста, формированию узких годичных колец и увеличению частоты стрессовых анатомических аномалий. Данная тенденция особенно отчётливо проявляется в условиях лесостепной зоны, характеризующейся неустойчивым климатическим режимом и высокой межгодовой вариабельностью осадков.

Работы Dulamsuren et al. (2019) и Mapitov et al. (2023) указывают на то, что на южной границе ареала бореальных хвойных пород наблюдается усиление уязвимости древесных растений к водному стрессу. Повышение летних температур в сочетании с сокращением количества осадков способствует увеличению риска ксилемной эмболии, нарушению водного транспорта и снижению камбиальной активности. Эти выводы согласуются с результатами глобальных дендроклиматических исследований (Cook & Cole, 1991; D'Arrigo & Jacoby, 1993), согласно которым хвойные породы в аридных и субаридных регионах являются чувствительными индикаторами климатических изменений, особенно в условиях продолжающегося глобального потепления.

Существенное внимание в рассмотренных работах уделяется методологическим аспектам дендрохронологических исследований. Использование специализированных программных продуктов, таких как TSAP (Rinn, 1996), ARSTAN (Cook & Krusic) и COFECOA (Holmes, 1992), позволяет обеспечить высокую точность датирования годичных колец, стандартизацию хронологий и выявление климатического сигнала в длинных временных рядах. Современные подходы направлены на минимизацию не-климатических трендов и повышение статистической надёжности получаемых хронологий.

В ряде исследований (DeMicco et al., 2019; Upadhyay & Tripathi, 2019) подчёркивается необходимость интеграции классических методов анализа ширины годичных колец с изучением анатомических и морфологических характеристик древесины, включая плотность клеточных стенок, размер трахеид и частоту ложных колец. Такой комплексный подход расширяет возможности интерпретации полученных данных и позволяет более точно идентифицировать влияние отдельных стрессовых факторов, включая экстремальные климатические события.

Отдельного обсуждения заслуживает роль антропогенного воздействия в формировании приростных характеристик хвойных деревьев. Исследования Zhumadina et al. (2023) и Satova et al. (2020) свидетельствуют о значительном накоплении тяжёлых металлов в почвенном покрове и растительных тканях в районах с интенсивной хозяйственной деятельностью. Загрязнение почв и атмосферного воздуха оказывает негативное влияние на физиологическое состояние деревьев, что отражается в снижении прироста древесины и изменении структуры годичных колец. В данном контексте дендрохронологический метод выступает как эффективный инструмент биоиндикации, позволяющий выявлять пространственно-временные закономерности экологического неблагополучия.

Несмотря на возрастающий интерес к дендрохронологическим исследованиям в Казахстане, анализ литературы показывает, что существующие работы носят преимущественно локальный характер и охватывают ограниченные территории. Отсутствие единой национальной базы дендрохронологических данных существенно сдерживает развитие региональных и межрегиональных сравнительных исследований, а также построение высокоточных моделей климатических и экологических изменений.

Таким образом, результаты анализа подтверждают высокую информативность дендрохронологического подхода для оценки реакции хвойных древесных пород на климатические и антропогенные факторы в лесостепной зоне Северного Казахстана. Дальнейшее развитие исследований должно быть направлено на расширение пространственного охвата, интеграцию мультидисциплинарных методов и совершенствование инструментов дендрэкологического мониторинга, что позволит повысить научную обоснованность выводов и обеспечить практическую значимость полученных результатов для

устойчивого управления лесными экосистемами региона.

Закключение. Проведённый анализ отечественной и зарубежной научной литературы, посвящённой дендрохронологическим исследованиям в лесостепной зоне Северного Казахстана, позволяет сделать обоснованный вывод о высокой информативности и научной значимости данного метода при изучении динамики лесных экосистем в условиях изменяющегося климата. Особое внимание в рассмотренных исследованиях уделяется хвойным древесным породам, в частности сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которая благодаря своей широкой распространённости, относительной долговечности и выраженной реакции на изменения факторов среды выступает одним из ключевых объектов дендрохронологического анализа в регионе.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о высокой чувствительности радиального прироста сосны обыкновенной к климатическим колебаниям, прежде всего к изменению температурного режима и влагообеспеченности в вегетационный период. В условиях лесостепной зоны Северного Казахстана основными лимитирующими факторами роста древесины являются дефицит атмосферных осадков и почвенной влаги, особенно в весенне-летний период, а также повышение средних и экстремальных температур воздуха в летние месяцы. Установлено, что продолжительные засушливые периоды и учащение аномально жарких сезонов приводят к снижению ширины годовичных колец, формированию стрессовых аномалий древесины и, в ряде случаев, к нарушению физиологических процессов роста и развития деревьев.

Наряду с климатическими факторами существенное влияние на прирост древесины оказывает антропогенная нагрузка, проявляющаяся в виде промышленного загрязнения, техногенного изменения ландшафтов, рекреационного воздействия и деградации почвенного покрова. В научных работах подчёркивается роль тяжёлых металлов и других токсичных элементов, накапливающихся в почвах и поступающих в древесные ткани, что негативно сказывается на камбиальной активности и формировании годовичных колец. Дендрохронологический метод в данном контексте позволяет не только выявлять периоды угнетения роста, но и косвенно оценивать степень и продолжительность антропогенного воздействия на лесные экосистемы.

Анализ ранее выполненных исследований подтверждает высокий потенциал дендрохронологии как эффективного инструмента оценки устойчивости лесных экосистем к внешним стрессовым факторам. Применение современных программных комплексов для обработки и анализа рядов ширины годовичных колец, таких как TSAP, ARSTAN и COFECHA, обеспечивает высокую степень точности при датировании древесных колец, стандартизации хронологий и выявлении климатических сигналов. Использование данных программных решений позволяет минимизировать субъективные ошибки, повысить воспроизводимость результатов и расширить возможности ретроспективной реконструкции климатических условий на временных интервалах, охватывающих несколько десятилетий и даже столетий.

Несмотря на достигнутые научные результаты, анализ литературы выявляет ряд нерешённых вопросов и актуальных проблем. В частности, отмечается недостаточная пространственная представленность дендрохронологических исследований на территории Казахстана, фрагментарность имеющихся данных и отсутствие единой национальной базы дендрохронологических хронологий. Это существенно ограничивает возможности комплексного анализа региональных закономерностей роста древесных пород и оценки пространственной неоднородности климатических и антропогенных воздействий.

В этой связи особую актуальность приобретает необходимость расширения географии исследований, охвата различных природно-климатических зон и создания интегрированной базы данных, объединяющей дендрохронологические, климатические, почвенно-химические и геопространственные показатели. Перспективным направлением дальнейших исследований является применение мультидисциплинарного подхода, включающего химический анализ древесины и почв, моделирование роста деревьев с использованием математических и статистических методов, а также активное внедрение ГИС-технологий для пространственного

анализа и визуализации полученных результатов.

Комплексное развитие дендрохронологических исследований в сочетании с современными методами экосистемного мониторинга будет способствовать более глубокому пониманию механизмов адаптации лесных экосистем Северного Казахстана к климатическим изменениям и антропогенному воздействию. Полученные научные данные могут служить основой для разработки научно обоснованных стратегий устойчивого лесопользования, прогнозирования состояния лесных насаждений и формирования адаптационных мер, направленных на сохранение биоразнообразия и экологической устойчивости лесных экосистем Казахстана в условиях глобальных климатических вызовов.

Благодарность. Данная статья подготовлена в рамках грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту «Жас ғалым» на 2025-2027 годы. Авторы выражают признательность за предоставленную поддержку и возможность реализации научного исследования в рамках проекта ИРН: AP25796027 «Дендрохронологические исследования хвойных пород деревьев лесостепной зоны на территории РГУ «Государственный национальный природный парк «Кокшетау»».

Литература

- Абилова и др., 2022 - Абилова Ш.Б., Жумадина Ш.М., Дуламсурен Ч., Жумадилов Б. Дендрохронологические исследования на территории Катон-Карагайского государственного национального природного парка // Катонкарагай Мемлекеттік Ұлттық Табиғи Паркінің Еңбектері. - 2022. - С. 160-170. - <https://doi.org/10.55435/09032022114> [In Russ.]
- Andersson, Ardfors, 2021 - Andersson L., Ardfors E. Evaluating options for implementing the Kazakhstan forest restoration targets: Master's thesis. - Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2021. [Eng.]
- Cook, Cole, 1991 - Cook E. R., Cole J. On predicting the response of forests in eastern North America to future climatic change // Climatic Change. - 1991. - Vol. 19. - P. 271-282. [Eng.]
- Cook, Kairiukstis, 1990 - Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences. - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. [Eng.]
- Cook, Krusic, 1990 - Cook E. R., Krusic P. J. A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics (ARSTAN) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html> (дата обращения: 20.12.2025). [Eng.]
- D'Arrigo, Jacoby, 1993 - D'Arrigo R. D., Jacoby G. C. Tree growth-climate relationships at the northern boreal forests tree line of North America: Evaluation of potential response to increasing carbon dioxide // Global Biogeochemical Cycles. - 1993. - Vol. 7. - P. 525-535. [Eng.]
- DeMicco и др., 2019 - DeMicco V., Carrer M., Rathgeber C. B., Camarero J. J., Voltas J., Cherubini P., Battipaglia G. From xylogenesis to tree rings: Wood traits to investigate tree response to environmental changes // IAWA Journal. - 2019. - Vol. 40. - P. 155-182. [Eng.]
- Dulamsuren и др., 2019 - Dulamsuren C., Abilova S. B., Bektayeva M., Eldarov M., Schuldts B., Leuschner C., Hauck M. Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism in southern boreal tree species of Inner Asia // Tree Physiology. - 2019. - Vol. 39, № 3. - P. 463-473. - <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy116> [Eng.]
- Farooq и др., 2023 - Farooq I., Shah A. R., Sahana M., Ehsan M. A. Assessment of drought conditions over different climate zones of Kazakhstan using standardised precipitation evapotranspiration index // Earth System and Environment. - 2023. - Vol. 7. - P. 283-296. [Eng.]
- Fritts, 1966 - Fritts H. C. Growth-rings of trees: Their correlation with climate: Patterns of ring widths in trees in semiarid sites depend on climate-controlled physiological factors // Science. - 1966. - Vol. 154. - P. 973-979. [Eng.]
- Fritts и др., 1965 - Fritts H. C., Smith D. G., Cardis J. W., Budelsky C. A. Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona // Ecology. - 1965. - Vol. 46. - P. 393-401. [Eng.]
- Fyllas и др., 2017 - Fyllas N. M., Christopoulou A., Galanidis A., Michelaki C. Z., Dimitrakopoulos P. G., Fulé P. Z., Arianoutsou M. Tree growth-climate relationships in a forest-plot network on Mediterranean mountains // Science of the Total Environment. - 2017. - Vol. 598. - P. 393-403. [Eng.]
- Holmes, 1992 - Holmes R. L. The dendrochronology program library // International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual / ed. by H. D. Grissino-Mayer. - Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. - P. 40-74. [Eng.]
- Karabalayeva et.al., 2024 - Karabalayeva A. B., Abilova Sh. B., Sihanova N. S., Shynbergenov Ye. A., Ibadullayeva S. Zh., Kokanbek Zh. Monitoring the environment and recycling approaches for managing oil and drilling waste // Instrumentation Mesure Métrologie. - 2024. - Vol. 23, № 5. - P. 355-361. - <https://doi.org/10.18280/im.230503> [Eng.]
- Mapitov и др., 2023 - Mapitov N. B., Belokopytova L. V., Zhirmova D. F., Abilova S. B., Ualiyeva R. M., Bitkeyeva A. A., Babushkina E. A., Vaganov E. A. Factors limiting radial growth of conifers on their semiarid borders across Kazakhstan // Biology. - 2023. - Vol. 12, № 4. - Art. 604. - <https://doi.org/10.3390/biology12040604> [Eng.]
- Rinn, 1996 - Rinn F. TSAP V3.5: Computer program for tree-ring analysis and presentation. - Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. [Eng.]
- Rudel и др., 2020 - Rudel T. K., Meyfroidt P., Chazdon R., Bongers F., Sloan S., Grau H. R., Van Holt T., Schneider L. Whither the forest transition? Climate change, policy responses, and redistributed forests in the twenty-first century // Ambio. - 2020. - Vol. 49. - P. 74-84. [Eng.]
- Satova, et.al., 2019 - Satova K. M., Zhumadina Sh. M., Abilova Sh. B., Akshabakova J. E. Bioaccumulation of heavy metals in woody leaves of the Beskaragai forest area of the East Kazakhstan region // Experimental Biology. - 2019. - Vol. 80, № 3. - <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b3> [Eng.]
- Satova, et.al., 2020 - Satova K. M., Zhumadina Sh. M., Abilova Sh. B., Mapitov N. B., Jaxylykova A. K. The content of heavy metals in the soils of the dry-steppe Beskaragai ribbon-like pine forest and its pollution level // Rasayan Journal of Chemistry. - 2020. - Vol. 13, № 3. - P. 1627-1636. - <https://doi.org/10.31788/rjc.2020.1335672> [Eng.]
- Sehring, 2012 - Sehring J. Forests in the context of climate change in Kazakhstan. - Giessen: Justus Liebig University Giessen, Center

for International Development and Environmental Research (ZEU), 2012. [Eng.]

Upadhyay, Tripathi, 2019 - Upadhyay K. K., Tripathi S. K. Sustainable forest management under climate change: A dendrochronological approach // Environment and Ecology. - 2019. - Vol. 37. - P. 998-1006. [Eng.]

Wigley и др., 1984 - 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 Applied Meteorology and Climatology. - 1984. - Vol. 23. - P. 201-213. [Eng.]

Zhumadina et.al., 2023 - Zhumadina S., Abilova S., Bulekbayeva L., Tarasovskaya N., Zhumadilov B. Anthropogenic impact on the components of the forest ecosystem: On the example of the Bayanaul State National Natural Park // Polish Journal of Environmental Studies. - 2023. - Vol. 32, № 4. - P. 3937-3945. - <https://doi.org/10.15244/pjoes/162053> [Eng.]

Жумадина и др., 2019 - Жумадина Ш. М., Абилова Ш. Б., Мәпитов Н. Б., Карабалаева А. Б., Сатова К. М. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны обыкновенной в лесных экосистемах Казахстана // Гидрометеорология и экология. - 2019. - № 1 (92). - Режим доступа: <http://www.kazhydromet.kz> (дата обращения: 20.12.2025). [Russ.]

References

Abilova, 2022 - Abilova, Sh. B.; Zhumadina, Sh. M.; Dulamsuren, C.; Zhumadilov, B. Z. (2022). Dendrokronologicheskie issledovaniya na territorii Katon-Karagaj gosudarstvennogo natsional'nogo prirodnogo parka [Dendrochronological studies on the territory of the Katon-Karagay State National Natural Park] // Katonqaragaj Memlekettik Ultyq Tabigi Parkiniñ Enbekteri. - 2022. - S. 160-170. - <https://doi.org/10.55435/09032022114> (in Russ./Kaz.)

Andersson, Ardfors, 2021 - Andersson, L.; Ardfors, E. (2021). Evaluating Options for Implementing the Kazakhstan Forest Restoration Targets [Evaluating Kazakhstan forest restoration targets]. - Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2021. - 78 p. (in Eng.)

Cook, Cole, 1991 - Cook, E. R.; Cole, J. (1991). On predicting the response of forests in eastern North America to future climatic change [Response of forests to future climate change]. - Climatic Change. - 1991. - Vol. 19. - P. 271-282. (in Eng.)

Cook, Kairiukstis, 1990 - Cook, E. R.; Kairiukstis, L. A. (1990). Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences [Methods of dendrochronology]. - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. - 393 p. (in Eng.)

Cook, Krusic, 1990 - Cook, E. R.; Krusic, P. J. (1990). A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling (ARSTAN) [Tree-ring standardization program]. - URL: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/tr/public/publicSoftware.html> (data obrashcheniya: 20.12.2025). (in Eng.)

D'Arrigo, Jacoby, 1993 - D'Arrigo, R. D.; Jacoby, G. C. (1993). Tree growth-climate relationships at the northern boreal forests tree line of North America [Tree growth-climate links]. - Global Biogeochemical Cycles. - 1993. - Vol. 7. - P. 525-535. (in Eng.)

DeMicco i dr., 2019 - DeMicco, V.; Carrer, M.; Rathgeber, C. B.; Camarero, J. J.; Voltas, J.; Cherubini, P.; Battipaglia, G. (2019). From xylogenesis to tree rings: wood traits to investigate tree response to environmental changes [Tree response traits]. - IAWA Journal. - 2019. - Vol. 40. - P. 155-182. (in Eng.)

Dulamsuren i dr., 2019 - Dulamsuren, C.; Abilova, Sh. B.; Bektayeva, M.; Eldarov, M.; Schuldt, B.; Leuschner, C.; Hauck, M. (2019). Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism in southern boreal tree species of Inner Asia [Hydraulic architecture and embolism]. - Tree Physiology. - Vol. 39, № 3. - P. 463-473. - <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy116> (in Eng.)

Farooq i dr., 2023 - Farooq, I.; Shah, A. R.; Sahana, M.; Ehsan, M. A. (2023). Assessment of drought conditions over different climate zones of Kazakhstan using SPEI index [Drought assessment in Kazakhstan]. - Earth System and Environment. - 2023. - Vol. 7. - P. 283-296. (in Eng.)

Fritts, 1966 - Fritts, H. C. (1966). Growth-rings of trees: Their correlation with climate [Tree rings and climate]. - Science. - 1966. - Vol. 154. - P. 973-979. (in Eng.)

Fritts i dr., 1965 - Fritts, H. C.; Smith, D. G.; Cardis, J. W.; Budelsky, C. A. (1965). Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona [Tree-rings across gradient]. - Ecology. - 1965. - Vol. 46. - P. 393-401. (in Eng.)

Fyllas i dr., 2017 - Fyllas, N. M.; Christopoulou, A.; Galanidis, A.; Michelaki, C. Z.; Dimitrakopoulos, P. G.; Fulé, P. Z.; Arianoutsou, M. (2017). Tree growth climate relationships in a forest-plot network on Mediterranean mountains [Tree growth in Mediterranean network]. - Science of the Total Environment. - 2017. - Vol. 598. - P. 393-403. (in Eng.)

Holmes, 1992 - Holmes, R. L. (1992). The dendrochronology program library [Tree-ring software manual] // In: International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual. - Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. - P. 40-74. (in Eng.)

Karabalayeva i dr., 2024 - Karabalayeva, A. B.; Abilova, Sh. B.; Sihanova, N. S.; Shynbergenov, Ye. A.; Ibadullayeva, S. Zh.; Kokanbek, Zh. (2024). Monitoring the environment and recycling approaches for managing oil and drilling waste [Oil waste monitoring]. - Instrumentation Mesure Métrologie. - Vol. 23, № 5. - P. 355-361. - <https://doi.org/10.18280/i2m.230503> (in Eng.)

Mapitov i dr., 2023 - Mapitov, N. B.; Belokopytova, L. V.; Zhirnova, D. F.; Abilova, S. B.; Ualiyeva, R. M.; Bitkeyeva, A. A.; Babushkina, E. A.; Vaganov, E. A. (2023). Factors limiting radial growth of conifers on their semiarid borders across Kazakhstan [Conifer radial growth limits]. - Biology. - 2023. - Vol. 12, № 4. - Art. 604. - <https://doi.org/10.3390/biology12040604> (in Eng.)

Rinn, 1996 - Rinn, F. (1996). TSAP V3.5: Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation [TSAP software]. - Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. (in Eng.)

Rudel i dr., 2020 - Rudel, T. K.; Meyfroidt, P.; Chazdon, R.; Bongers, F.; Sloan, S.; Grau, H. R.; Van Holt, T.; Schneider, L. (2020). Whither the forest transition? Climate change, policy responses, and redistributed forests in the twenty-first century [Forest transition]. - Ambio. - 2020. - Vol. 49. - P. 74-84. (in Eng.)

Satova et.al., 2019 - Satova, K. M.; Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Akshabakova, J. E. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in woody leaves of the Beskaragai forest area of the East Kazakhstan region [Bioaccumulation in forest leaves]. - Experimental Biology. - 2019. - Vol. 80, № 3. - <https://doi.org/10.26577/eb-2019-3-b3> (in Eng.)

Satova et.al., 2020 - Satova, K. M.; Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Mapitov, N. B.; Jaxylykova, A. K. (2020). The content of heavy metals in the soils of the dry-steppe Beskaragai ribbon-like pine forest and its pollution level [Soil heavy metals]. - Rasayan Journal of Chemistry. - 2020. - Vol. 13, № 3. - P. 1627-1636. - <https://doi.org/10.31788/rjc.2020.1335672> (in Eng.)

Sehring, 2012 - Sehring, J. (2012). Forests in the Context of Climate Change in Kazakhstan [Forests & climate]. - Giessen: Justus-Liebig-Universität Giessen, ZEU, 2012. (in Eng.)

Upadhyay, Tripathi, 2019 - Upadhyay, K. K.; Tripathi, S. K. (2019). Sustainable forest management under climate change: A dendrochronological approach [Forest management]. - Environment & Ecology. - 2019. - Vol. 37. - P. 998-1006. (in Eng.)

Wigley i dr., 1984 - 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 [Dendroclimatology]. - Journal of Applied Meteorology & Climatology. - 1984. - Vol. 23. - P. 201-213. (in Eng.)

Zhumadina i dr., 2019 - Zhumadina, Sh. M.; Abilova, Sh. B.; Mapitov, N. B.; Karabalayeva, A. B.; Satova, K. M. (2019). Klimaticheskii obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirasta sosny obyknovennoi v lesnykh ekosistemakh Kazakhstana [Climatically conditioned obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirasta sosny obyknovennoi v lesnykh ekosistemakh Kazakhstana]

dynamics of pine radial growth]. - *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. - № 1 (92). - URL: <http://www.kazhydromet.kz> (data obrashcheniya: 20.12.2025). (in Russ.)