

ӘОЖ 574.24

ГТАХР 34.29.35

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.97(1).48

¹Мапитов Н.Б., ²Жумабекова Б.К.*, ²Клименко М.Ю., ²Нукенов А.С.,
³Омаров М.К., ²Еркибаева М.К.

¹ «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Павлодар, Қазақстан

² «Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті» КЕАҚ
Павлодар, Қазақстан

³ «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» ҰАО,
Астана, Қазақстан

*Корреспондент-автор: zhumabekovab@ppu.edu.kz

ОРМАНДЫ-ДАЛА ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ БАЯНАУЛ УЛЫТТЫҚ ПАРКІНІҢ КЛИМАТЫНЫҢ ӨЗГЕРІСІНЕ ҚАРАҒАЙДЫҢ (*Pinus sylvestris* L.) РЕАКЦИЯСЫ

Аннотация. Солтүстік-Шығыс Қазақстанның орманды даласының құрғақ жағдайында радиалды өсу мен негізгі климаттық айнымалылар (ауа температурасы мен жауын-шашын) арасындағы байланыстардың талдауы жүргізілді. Қарағайдың (*Pinus sylvestris* L.) ерте ағаштарының өсуіне негізгі шектеуші әсер мамыр-маусым айларындағы жоғары ауа температурасының әсер ететіні анықталды. Шотландиялық қарағайдың өсуі ағымдағы вегетациялық кезеңдегі жауын-шашын мөлшеріне байланысты екендігі көрсетілген. Баянауыл табиғи паркінің хронологиясын сыртқы орта факторларына сезімтал емес деп санауға болады, өйткені сезімталдық коэффициенті 2,8 құрайды. Сондай-ақ бірінші ретті автокорреляцияның жоғары мәні ($\geq 0,50$) атап өтілді, бұл өткен климаттық жағдайлар мен қарағайлардың ағымдағы жылдық өсуі арасындағы байланысты көрсетеді.

Кілт сөздер: дендрохронология; климат; корреляция; радиалды өсу; жауын-шашын; ауа температурасы.

Kipicne

Орман экожүйелері немесе биогеоценоздар – жоғары тұрақтылығымен және әртүрлі жағдайларда динамикалық тепе-теңдікті сақтау қабілетімен сипатталатын күрделі өзін-өзі реттейтін жүйелер. Алайда, қазіргі кезде адамдардың қоршаған ортаға тигізетін техногендік, рекреациялық және экономикалық қысымдары экологиялық жүйелердің тұтастығына да, олардың жекелеген элементтеріне де әсер ететін күрделі өзгерістерді тудырады. Биогеоценоздар мен биосфераның жекелеген құрамдас бөліктерінің бұзылу дәрежесін бағалау оларды белгілі бір критерийлер мен белгілер бойынша бұзылмаған экожүйелермен салыстыру, сондай-ақ байқалатын өзгерістер динамикасын талдау арқылы жүзеге асырылады [1].

Табиғи және антропогендік факторлардың орман экожүйесіне әсер ету дәрежесі мен сипатын зерттеу дендроклиматтық талдау әдістерін қолдану арқылы тиімді жүзеге асырылады. Ағаштардың радиалды өсуі бүкіл өмірлік циклі бойынша олардың жағдайындағы өзгерістерді бақылауға және климаттық факторлардың әсерін ескеруге мүмкіндік беретін көп қырлы көрсеткіш. Кәдімгі қарағайдың (*Pinus sylvestris* L.) дендрохронологиялық зерттеулері климаттық жағдайлар мен ағаштардың өсуінің өзара байланысы, сондай-ақ осы процестердің аймақтық өзгерістері туралы маңызды деректер береді. Мысалы, Бурабай ұлттық саябағында (Қазақстан) ағаштың жылдық сақиналарын талдау қазан-шілде аралығында болатын қысқы температура мен жауын-шашынмен оң байланысын көрсетті, ал жазғы температура ағаштың өсуіне теріс әсер етті [2]. Ағаштың жылдық сақиналары аймақтың геохимиялық сипаттамаларының және әртүрлі аймақтардағы өнеркәсіптік қызметке байланысты қоршаған ортаның өзгерістерінің көрсеткіштері ретінде әрекет ете алады [3]. Мұндай зерттеулердің жиынтығы кәдімгі қарағайдың дендрохронологиясын пайдалану арқылы өткен климаттық жағдайларды қайта қалпына келтіру және әртүрлі географиялық аймақтардағы экологиялық ахуалды зерттеу маңызды екенін көрсетеді.

Зерттеу барысында дендрохронология мен дендроклиматология әдістері қолданылды, олар орман экожүйелерінің жағдайына әсер ететін сыртқы факторларды анықтап, бағалауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттелетін аумақтар Қазақтың ұсақ шоқылары аймағында, Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде (БМҰТП) орналасқан. Жоғарғы палеозойда елеулі таулы аймақ ретінде қалыптасқан бұл аймақ ұзақ уақыт эрозия процесіне ұшырады, нәтижесінде теңіз деңгейінен 400-ден 1027 м-ге дейінгі биіктіктегі салыстырмалы түрде төмен жер бедері пайда болды. 2017 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде кәдімгі қарағайының дендрохронологиялық материалын жинау үшін БМҰТП-де төрт учаске бөлінді. Бұл зерттеу 2017 жылы құрылған учаскенің бірін қарастырады (1-кесте).

1-кесте – Сынама алу орындарының және климаттық дереккөздерінің орналасуы

Атауы	Түрі	Координаттар		
		N	E	Биіктігі
Баянауыл	PISY	50°49.58'	75°42.30'	555

*PISY – *Pinus sylvestris*

Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі учаске шағын төбенің оңтүстік-шығыс (10°-қа дейін) беткейінде, каштан топырақты қарағайлы орманда орналасқан, топырақтары тасты және дамымаған, шөп жамылғысы жоқ.

Дендрохронологиялық талдау үшін ағаш үлгілері (керндер) әртүрлі жастағы кәдімгі қарағайларынан алынды. Керндері бұрғылау үшін ағаштар ең көп шоғырланған аумақтардағы ашық ормандарда алқаптарында таңдалды. Өзектер тамыр мойынынан 1,3 м биіктікте алынды. Даталауға керндері жинау және дайындау дендрохронологияда қабылданған әдістер бойынша жүргізілді [4-6].



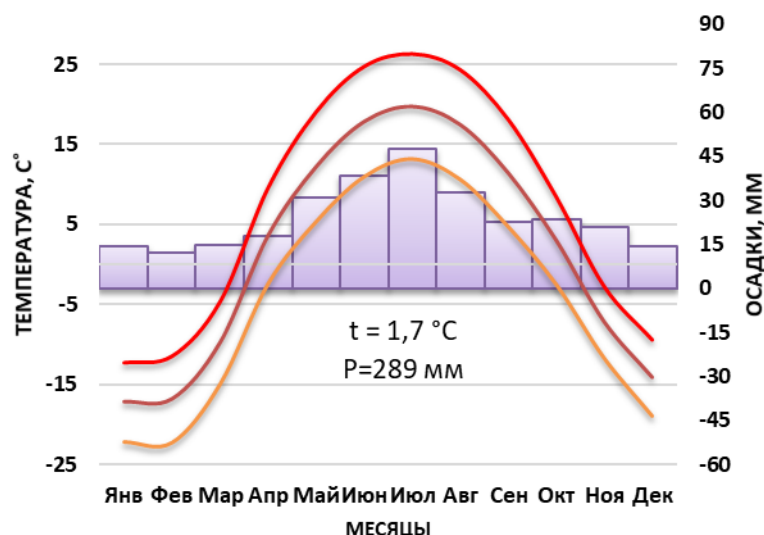
Үлгілер кеңсе пышақтарымен тазартылды. Өсімдік сақиналарының шекаралары өзегінің тазартылған бетіне тіс тазалауға арналған ұнтағын ысқылау арқылы анықталды. Жылдық сақиналарының ені LINTAB VI жартылай автоматты құрылғысының көмегімен 0,01 мм дәлдікпен өлшенді. TsapWin компьютерлік бағдарламасының көмегімен әрбір сақинаның күнтізбелік жылы CrossDating әдісі арқылы анықталды [7, 8]. CrossDating дәлдігі COFENA мамандандырылған компьютерлік бағдарламасында кросс-корреляциялық талдау арқылы тексерілді [9, 10].

Дендрохронологиялық материалдың сапасы ARSTAN бағдарламасының көмегімен келесі көрсеткіштер бойынша бағаланды: Пирсон корреляция коэффициенті, стандартты ауытқу, ассиметрия, орташа сезімталдық коэффициенті, бірінші ретті автокорреляция және EPS хронологиясының жалпы популяциялық сигналы (көрсетілген халық сигналы). EPS шекті мәні 0,85 деп алынды, бұл шекті мәннен төмен жалпы ауытқу хронологиялардағы шудың рұқсат етілмейтін мөлшерін көрсетеді [11].

АСЕ климаттық реакциясы (ағаш сақинасының ені) орташа, максимум, ең төменгі температура мен жауын-шашынның айлық қатарымен жергілікті хронологиялардың корреляция коэффициенттерімен бағаланды, кеңістікте бөлінген CRU TS (1901-2020) өрісінің сәйкес географиялық координаталары үшін интерполяцияланған.), ол KNMI Climate Explorer дерекқорында жалпыға қолжетімді [12]. Корреляция өткен жылдың маусымынан ағымдағы жылдың қыркүйек айына дейінгі кезең үшін есептелген.

Зерттеу нәтижелері

Ұлттық саябақтың аумағы жеке өсімдіктер қауымдастығының бірегейлігімен және топырақтың әртүрлілігімен ерекшеленеді [13]. Ерекше қорғауды қажет ететін өсімдік жамылғысының ең бағалы элементтеріне ормандар – қарағай, қандыағаш, қайың және көктерек ормандары жатады. Негізгі орман құраушы түр – қарағай (*Pinus sylvestris* L.), оның екпелері орманды алқаптың 56,0%-ын алып жатыр [14]. Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи паркі Азия континентінің орталығында орналасқан, сондықтан континенттік типті климатқа ие. Жылдық орташа температура +3,2 °С. Қаңтар айының орташа температурасы -13,7 °С, ең төменгісі -17,8 °С. Шілденің орташа температурасы +14,6 °С, максимум +32,6 °С-қа жетеді. Аязсыз кезеңнің орташа ұзақтығы небәрі 140 күн. Жылдық жауын-шашын мөлшері 340 мм, кей жылдары 190-нан 494 мм-ге дейін өзгереді, сәуірден қазанға дейін 213 мм (1-сурет) [15].



1-Сурет - Баянауылда алынған сынамалардың орташа айлық климаттық сипаттамалары CRU TS (1901-2020). Линиялар – максималды (қызыл), орташа (орташа) және ең төменгі (қызғылт сары) температуралар; бағаналар жауын-шашынды білдіреді. Сандар жылдық орташа температураны (t) және жылдық орташа жауын-шашынды (p) көрсетеді.

Баянауыл ұлттық паркінің климаттық жағдайлары континенталдылығымен, температураның айтарлықтай ауытқуымен және жауын-шашынның шектеулі мөлшерімен сипатталады, ағаш өсімдіктерінің, соның ішінде кәдімгі қарағайдың (*Pinus sylvestris* L.) өсуіне ерекше жағдай жасайды. Қарағайдың осы ерекшеліктері дендрохронологиялық талдауды климаттық өзгерістер мен антропогендік факторларға реакциясын зерттеу үшін ерекше маңызды етеді.

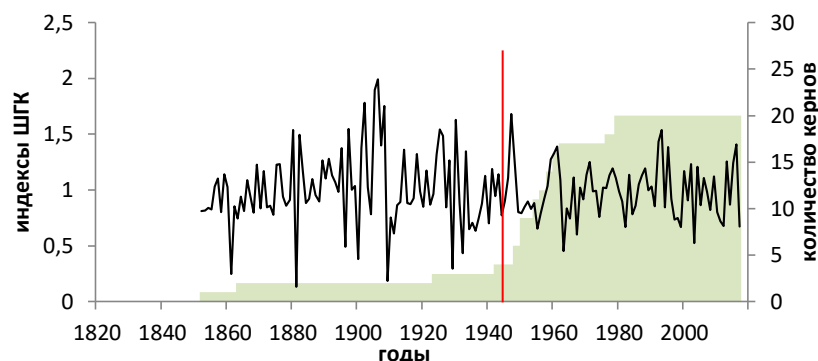
Жүргізілген талдау негізінде дендрохронологиялық материалдың сапалы деректері алынды, олар 2-кестеде келтірілген. Жоғары серияаралық корреляция коэффициенті (0,52) және радиалды өсудің өзгермелілігі (стандартты ауытқу 0,46) қарағайдың климаттық реакциясын тереңірек бағалауға мүмкіндік береді. Алынған жеке хронологияны сыртқы орта факторларына аса сезімтал емес деп санауға болады, өйткені сезімталдық коэффициенті шекті мәннен 0,3 аспайды. бірінші ретті автокорреляцияның жоғары мәні (0,74) өткен жылдардағы климаттық жағдайлар мен қарағайлардың ағымдағы жылдық өсуі арасындағы байланысты көрсетеді. EPS есептеулеріне сәйкес, жалпыланған хронология 1946–2017 жылдар аралығындағы дендрохронологиялық деректермен жеткілікті түрде қамтамасыз етілген. Жалпы алғанда, статистикалық көрсеткіштер құрастырылған дендрохронологиялық қатарлардың сенімділігін және қарағайдың радиалды өсуіне абиотикалық факторлардың елеулі әсерін көрсетеді.

2-Кесте - Баянауыл мемлекеттік ұлттық паркі аумағындағы жылдық сақиналардың енінің хронологиясының статистикасы

Статистика	Баянауыл
Сынамалар саны/көрсеткіш	20/20
Өмір кезеңі, жылдар	1852-2017
Жасы	166
Жылдық сақиналардың ені, мм	1.255
Стандартталған хронология	
SD^*	0.464
$sens$	0.288
$r\text{-}bar$	0.525
ar_{-1}	0.742
$EPS > 0.85$, годы	1946-2017
<i>*SD, стандартты ауытқу;</i> <i>sens, сезімталдық коэффициенті;</i> <i>r-bar, – серияралық корреляция коэффициенті;</i> <i>ar₋₁, 1 қатардағы автокорреляция;</i> <i>EPS, жалпыпопуляциялық сигнал хронологиясы</i>	

Учаскенің жалпы іріктеу көлемі 20 өзек болды, Баянауылдың жалпыланған хронологиясы 2-суретте көрсетілген, ең жоғары жасы 165 жас, ал дендроклиматтық талдау үшін жарамды кезең ($EPS > 0,85$) 72 жыл болды.

3-кестеде зерттелетін аумақтың ағаш сақинасы ені индекстерінің айлық климаттық қатарлармен корреляциялық коэффициенттері берілген. Бүкіл зерттелетін аймақ пен тіршілік ету ортасының жағдайларының диапазоны үшін ағаштардың радиалды өсуі мен температура (ең алдымен максимум) арасындағы теріс байланыстың және шамамен өткен жылдың жазы мен күзінің басында жауын-шашынмен оң байланысы көрінеді, ағымдағы жылдың көктем-жазы, яғни, алдыңғы және ағымдағы вегетациялық кезең.



2-сурет. Кәдімгі қарағайдың өсу динамикасы. Линия стандартты жергілікті хронологияны білдіреді; штрихтелген аумақ сынама алу кезеңін білдіреді (әр жылдағы өзектер саны); тік қызыл сызық $EPS \geq 0,85$ бірінші жылын көрсетеді, яғни, дендроклиматтық талдау үшін жарамды кезеңнің басы.

3-кесте - Жылдық сақина хронологиясының жауын-шашынның айлық қатарымен, өткен жылдың маусымынан ағымдағы жылдың қыркүйек айына дейінгі максималды, орташа және ең төменгі температураларымен корреляция коэффициенті

Айлар	Баянауыл			
	1946-2017			
	Орташа температура	Минималды температура	Максималды температура	Жауын-шашын
маусым *	-0.18	-0.19	-0.17	0.12
шілде *	-0.29	-0.25	-0.30	0.30
тамыз *	-0.40	-0.34	-0.41	0.29
қыркүйек *	-0.24	-0.15	-0.27	0.38
қазан*	-0.12	-0.12	-0.10	0.03
қараша*	0.06	0.07	0.04	-0.13
желтоқсан*	0.04	0.04	0.05	0.19
қаңтар	0.18	0.19	0.18	0.20
ақпан	0.17	0.17	0.18	0.06
наурыз	0.08	0.08	0.07	0.01
сәуір	0.05	0.08	0.03	0.13
мамыр	-0.26	-0.22	-0.27	0.12
маусым	-0.18	-0.16	-0.19	0.26
шілде	-0.29	-0.23	-0.32	0.33
тамыз	-0.23	-0.27	-0.19	-0.07
қыркүйек	-0.08	-0.07	-0.08	0.10

Баянауыл учаскесінде өткен жылдың орташа және максималды температурасына теріс мәнді қатынас шілде-қыркүйек айларында, ал ең төменгісі шілде мен тамызда тіркеледі. Ағымдағы жылдың орташа температурасы қарағайдың өсуіне мамыр, шілде және тамыз айларында, ең жоғары - мамыр мен шілдеде, ең төменгі - шілде және тамызда айтарлықтай әсер етеді. Жауын-шашын мен қарағайдың өсу көрсеткіштері арасындағы оң байланыс өткен жылдың шілде-қыркүйек айларында және ағымдағы жылдың маусым-шілде айларында байқалды.

Қорытынды

1. Мамыр және маусым айларындағы ауа температурасы кәдімгі қарағайдың сабағының радиалды өсу қарқынын анықтайтын жетекші климаттық фактор болып табылады. Осы айлардағы жоғары температура ерте ағаштың өсуін шамамен 20% шектейді. Ағымдағы вегетациялық кезеңдегі жауын-шашын мөлшері де ағаштың өсуіне айтарлықтай әсер етіп, оны 15%-ға арттырады.

2. Қарағай (*Pinus sylvestris* L.) ағашының үлгілері дендрохронологиялық зерттеулерге жоғары жарамдылығын көрсетті. Осы үлгілерден құрастырылған хронология климаттық айнымалылармен жоғары корреляцияны көрсетеді ($r = 0,74$), бұл алынған деректердің сенімділігін растайды.



3. Баянауыл мемлекеттік ұлттық табиғи саябағындағы (МҰТП) қарағайдың хронологиясы сыртқы орта факторларына орташа сезімталдықпен сипатталады. Сезімталдық коэффициенті 2,8, климаттық жағдайлардың өзгеруіне жауап ретінде өсудің орташа өзгермелілігін көрсетеді.

4. Бірінші ретті автокорреляцияның жоғары мәні ($\geq 0,50$) өткен жылдардағы климаттық жағдайлар мен қарағайдың қазіргі жылдық өсімі арасындағы байланысты көрсетеді. Бұл радиалды ағаш өсіміндегі болашақ өзгерістерді болжау кезінде өткен климаттық жағдайларды ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

5. Кәдімгі қарағайдың радиалды өсу динамикасын егжей-тегжейлі түсіну үшін орманның төменгі және жоғарғы шекараларын салыстыру ұсынылады. Бұл әр түрлі мекендеу орындарындағы өсудің жүйелілік деңгейін анықтауға және климаттың өзгеруінің орман экожүйесіне әсерін болжауды жақсартуға мүмкіндік береді.

6. Зерттеу нәтижелері орман экожүйесін климаттың өзгеруіне бейімдеу стратегияларын әзірлеу үшін, сондай-ақ Баянауыл ұлттық паркіндегі ормандарды қорғау және қалпына келтіру жөніндегі іс-шараларды жоспарлау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Алғыстар

Мақала «Баянауыл ұлттық паркінің өсімдіктер қауымдастығының климаттық және антропогендік факторлардың әсерінен қазіргі жағдайы мен динамикасын бағалау». Атты Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті ЖРН АР19677807 қаржыландыратын гранттық жобаның аясында дайындалған.

ӘДЕБИЕТ

[1] Vasechko, G. I. “An ecological approach to forest protection.” *Forest Ecology and Management* 5 (1983): 133-168 [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(83)90063-4)

[2] Kopabayeva, A., Mazarzhanova, K., Köse, N., & Akkemik, Ü. (2017) Tree-ring chronologies of *Pinus sylvestris* from Burabai Region (Kazakhstan) and their response to climate change. *Dendrobiology*, 78, 96-110. DOI:10.12657/DENBIO.078.010

[3] Миронова А.С., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Годовые кольца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) - индикатор геохимической обстановки и хронологического изменения химического элементного состава окружающей среды // Известия ТПУ. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/godovye-koltsa-sosny-obyknovennoy-pinus-sylvestris-l-indikator-geohimicheskoy-obstanovki-i-hronologicheskogo-izmeneniya-himicheskogo>

[4] Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике = Dendroclimatic study in Ural-Siberian Subarctic / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа; отв. ред. Исаев А.С.; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т леса им. В.Н. Сукачева. Урал. отд-ние, Ин-т экологии растений и животных. – Новосибирск: Наука, 1996 Библиогр.: с. 236-245. <https://expose.gpntbsib.ru/expose/uchenye---yubilyary-2023-goda-a4ac4481/book/%D0%9497-42864177>

- [5] Горячев В.М. Подготовка дендрохронологических образцов для измерения под микроскопом // Лесоведение. 2003. № 1. С. 65-77. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17247519>
- [6] Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С, Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Учебно-методическое пособие. — Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.
- [7] Zang C., Biondi F. (1996) Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis // Dendrochronologia. 2013. № 31. P. 68–74.
- [8] Rinn F. Tsap version 3.5. Reference Manual. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Helenberg, Germany, Frank Rinn, 1996. 264 p.
- [9] Cook E.R., Kairiukstis L.A. (1990) Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Dordrecht: Kluwer Acad. Press, 394 p.
- [10] Holmes R.L. (1992) The Dendrochronology Program Library, R.L. Holmes. International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual, H.D. Grissino-Mayer [eds.]. Laboratory of Tree-Ring Research. - Tucson: Univ. of Arizona, p. 40–74.
- [11] Cook E.R., Krusic P.J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN), 2008: [Electronic resource]. Access code: <http://www.ldeo.Columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>
- [12] KNMI Climate Explorer. <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>
- [13] Б.К.Жумабекова, Тарасовская Н.Е., Д.К.-К.Шакенева, М.Ю.Клименко, М.К.Омаров, А.С.Нукенов, Д.С.Жексенова. К изучению флоры Баянаульского государственного национального природного парка // Биологические науки Казахстана. – 2023. – №3. – С.8-20. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/73.pdf>
- [14] Ержанов Е. Т., Сыздыкова Г. К., Клименко М. Ю. История изучения современной флоры и растительности Павлодарского региона //Биологические науки Казахстана, № 3, 2011. – С. 6-13. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/23.pdf>
- [15] Баянаульский национальный парк // QazaqGeography. – online resource - <https://qazaqgeography.kz › park-1>

REFERENCES

- [1] Vasechko, G. I.. “An ecological approach to forest protection.” Forest Ecology and Management 5 (1983): 133-168 [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(83)90063-4)
- [2] Kopabayeva, A., Mazarzhanova, K., Köse, N., & Akkemik, Ü. (2017) Tree-ring chronologies of *Pinus sylvestris* from Burabai Region (Kazakhstan) and their response to climate change. Dendrobiology, 78, 96-110. DOI:10.12657/DENBIO.078.010
- [3] Mironova, A.S., Rikhvanov, L.P., Baranovskaya, N.V., Sudyko, A.F. Annual rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) - an indicator of the geochemical environment and chronological changes in the chemical elemental composition of the environment // Izvestiya TPU. 2020. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/godovye-koltsa>



sosny-obyknovennoy-pinus-sylvestris-l-indikator-geohimicheskoy-obstanovki-i-hronologicheskogo-izmeneniya-himicheskogo

[4] Dendroclimatic study in Ural-Siberian Subarctic / E.A. Vaganov, S.G. Shiyatov, V.S. Mazepa; ed. A.S. Isaev; Russian Academy of Sciences. Siberian Branch. Forest Institute. V.N. Sukacheva. Ural. Department, Institute of Plant and Animal Ecology. - Novosibirsk: Nauka, 1996 Bibliography: pp. 236-245. <https://expose.gpntbsib.ru/expose/uchenyeyubilyary-2023-goda-a4ac4481/book/%D0%9497-42864177>

[5] Goryachev V.M. Preparation of dendrochronological samples for measurement under a microscope // Forest Science. 2003. No. 1. P. 65-77. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17247519>

[6] Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. Study guide. — Krasnoyarsk: KrasSU, 2000. — 80 p.

[7] Zang C., Biondi F. (1996) Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis // Dendrochronologia. 2013. No. 31. P. 68–74.

[8] Rinn F. Tsap version 3.5. Reference Manual. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Helenberg, Germany, Frank Rinn, 1996. 264 p.

[9] Cook E.R., Kairiukstis L.A. (1990) Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / Dordrecht: Kluwer Acad. Press, 394 p.

[10] Holmes R.L. (1992) The Dendrochronology Program Library, R.L. Holmes. International Tree-Ring Data Bank Program Library User's Manual, H.D. Grissino-Mayer [eds.]. Laboratory of Tree-Ring Research. - Tucson: Univ. of Arizona, r. 40–74.

[11] Cook E.R., Krusic P.J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN), 2008: [Electronic resource]. Access code: <http://www.ldeo.Columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>

[12] KNMI Climate Explorer. <https://climexp.knmi.nl/start.cgi>

[13] B.K.Zhumabekova, N.E. Tarasovskaya, D.K.-K.Shakenova, M.Yu.Klimenko, M.K.Omarov, A.S.Nukenov, D.S.Zheksenova. On the study of the flora of the Bayanaul State National Nature Park // Biological Sciences of Kazakhstan. - 2023. - No. 3. - P.8-20. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/73.pdf>

[14] Erzhanov E. T., Syzdykova G. K., Klimenko M. Yu. History of the study of modern flora and vegetation of the Pavlodar region // Biological sciences of Kazakhstan, No. 3, 2011. - P. 6-13. <https://bioscience.ppu.edu.kz/storage/journals/23.pdf>

[15] Bayanaul National Park // QazaqGeography. - online resourse - <https://qazaqgeography.kz> › park-1



Мапитов Н.Б., Жумабекова Б.К.* , Клименко М.Ю., Нуkenов А.С.,
Омаров М.К., Еркибаева М.К.

**РЕАКЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*Pinus sylvestris* L.) НА
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ
БАЯНАУЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА**

Аннотация. Проведен анализ связей радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с основными климатическими переменными (температура воздуха и количество осадков) в засушливых условиях в лесостепи Северо-восточного Казахстана, на территории Баянаульского государственного национального природного парка. Выявлено, что основное лимитирующее влияние на прирост ранней древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) оказывают высокие температуры воздуха мая-июня. Показано, что прирост сосны обыкновенной зависит от количества осадков текущего сезона вегетации. Хронологию Баянаульского ГНПП можно считать несильно чувствительной к внешним факторам среды, так как коэффициент чувствительности составляет 2,8. Также отмечается высокое значение автокорреляции первого порядка ($\geq 0,50$), что свидетельствует о связи климатических условий прошлых лет с текущим годичным приростом сосны.

Ключевые слова: дендрохронология; климат; корреляция; радиальный прирост; осадки; температура воздуха.

Mapitov N.B., Zhumabekova B.K.* , Klimenko M.Yu., Nukenov A.S.,
Omarov M.K., Erkibaeva M.K.

**RESPONSE OF SCOTS PINE (*Pinus sylvestris* L.) TO CLIMATIC CHANGES
IN THE FOREST-STEPPE CONDITIONS OF BAYANAUL NATIONAL PARK**

Annotation. An analysis of the relationship between the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and key climatic variables (air temperature and precipitation) was conducted under arid conditions in the forest-steppe zone of Northeastern Kazakhstan, within the territory of Bayanaul State National Nature Park. It was found that high air temperatures in May and June are the primary limiting factors for the earlywood growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Additionally, the growth of Scots pine was shown to depend on the amount of precipitation during the current growing season. The chronology of Bayanaul National Park can be considered relatively insensitive to external environmental factors, as indicated by a sensitivity coefficient of 2.8. Furthermore, a high first-order autocorrelation value (≥ 0.50) highlights the influence of past climatic conditions on the current annual growth of Scots pine.

Key words: dendrochronology; climate; correlation; radial growth; precipitation; air temperature.