

ӨОЖ 630.561.24/631.5

ГТАХР 34.39.25

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.99(3).148

¹Алипина К.Б., ²Абилова Ш.Б., ³Чоймаа Дуламсурен, ⁴Тергенбаева Ж.Т.

^{1, 4}С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
Өскемен қаласы, Қазақстан

²Астана халықаралық университеті, Астана қаласы, Қазақстан

³Альберт Людвиг университетінің профессоры, Фрайбург қаласы, Германия

E-mail: alipina_87@mail.ru, sholpana_jan@mail.ru, choimaa.dulamsureen@gmail.com

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ БИІКТАУЛЫ ЭКОЖҮЙЕЛЕРІНДЕ АҒАШ ТҰҚЫМДАСТАРЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРГЕ РЕАКЦИЯСЫН ДЕНДРОХРОНОЛОГИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

Андатпа. Бұл зерттеу климаттың өзгеруінің ағаш өсімдіктерінің өсуіне әсерін дендрохронологиялық әдістер арқылы талдауға бағытталған. Шығыс Қазақстанның табиғи-климаттық жағдайы – маусымдық ауытқуы күшті, биік таулы және континенталды сипаттағы аймақ – ағаштардың жылдық өсім динамикасын зерттеу үшін ерекше үлгілік өңір болып табылады. Тарихи метеодеректердің шектеулігі жағдайында ағаштың жылдық сақиналары климаттық жағдайларды қалпына келтірудің сенімді прокси-дереккөзі ретінде қолданылады.

Зерттеу барысында 2013 және 2023 жылдары Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің әртүрлі биіктік белдеулеріндегі орман екпелерінен 1610 керн алынып, *Betula pendula*, *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata* және *Abies sibirica* түрлері бойынша өсу хронологиялары жасалды. Жылдық сақиналар ені LINTAB құрылғысы және TSAP-Win бағдарламасы арқылы өлшенді, ал уақыттық қатарларды кросс-дейтинг, детрендинг және индексстеу COFESHA, R (dplR, treeclim пакеттері) және STATISTICA 13.2 көмегімен өңделді.

Нәтижелер ауа температурасы мен жылдық өсім арасында теріс, ал жауын-шашынмен және күн белсенділігімен оң корреляцияны көрсетті. Ең жоғары корреляциялық мәндер күн белсенділігімен ($r = 0,53–0,86$), жауын-шашынмен орташа ($r = 0,04–0,46$), ал температурамен теріс бағытта анықталды. Бұл ағаштардың радиалды өсімі ылғал және радиациялық жағдайларға сезімтал екенін, ал жоғары температурада кері әсер байқалатынын дәлелдейді.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері ағаш түрлерінің өсуіне климаттық факторлардың (температура, жауын-шашын) әртүрлі ықпал ететінін көрсетті. Жиналған хронологиялар мен алынған корреляциялар аймақтық дендроклиматтық қайта құруды жүргізу үшін маңызды база болып табылады және климаттық өзгерістер жағдайында орман экожүйелерінің бейімделу әлеуетін бағалауға септігін тигізеді.

Кілт сөздер: дендрохронология; жылдық сақиналар; климаттық өзгерістер; ағаш өсімі; корреляциялық талдау; радиалды өсім.

Kipicne

Климаттың өзгеруін зерттеу өзектілігі жаһандық жылынуудың күшеюімен, экстремалды ауа райы құбылыстарының жиілеуімен және бейімделу стратегияларын әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Бұл мәселе маусымдық ауытқуы айқын әрі экожүйелері осал саналатын аймақтарда, соның ішінде Шығыс Қазақстанда айқын көрініс табады. Мұнда климаттық және техногендік факторлар табиғи биологиялық үдерістермен қабаттасып, ерекше әсер етеді.

Тарихи метеорологиялық деректердің шектеулігі жағдайында климаттық динамиканы ғасырлар мен мыңжылдықтар аясында сипаттай алатын прокси-көздердің маңызы арта түсуде. Мұндай табиғи климаттық ақпарат көздерінің ең сенімділерінің бірі – ағаштың жылдық сақиналары. Жылдық сақиналар – дендрохронология деп аталатын ғылыми бағыттың негізі. Олар өткен оқиғаларды жылдық дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді және қоршаған ортаның жағдайларын – температураны, жауын-шашын мөлшерін, ылғалдылықты және басқа да климаттық параметрлерді бейнелейді.

Осы қасиеттеріне байланысты дендрохронологиялық деректер палеоклиматтық қайта құруда, климаттық модельдерді калибрлеуде және климаттың ұзақ мерзімді өзгергіштігін бағалауда кеңінен қолданылады. Жылдық сақиналардың енін, тығыздығын өлшеу, сондай-ақ изотоптық талдау сияқты заманауи әдістер статистикалық және процестік модельдермен ұштастырылып, климаттық қайта қалпына келтірудің нақтылығын арттыруға септігін тигізеді.

Жылдық сақиналар – бұл вегетациялық кезеңде камбийдің белсенділігі нәтижесінде бір жыл ішінде түзілген ағаш қабаты, ол ерте және кеш ағаш қабаттарынан тұрады. Дендрохронологиялық қайта құрудың басты артықшылығы – олардың жыл дәлдігімен сенімді уақыттық сәйкестендірілуінде жатыр [1] [2].

Ағаш сақиналарын климаттық жағдайлардың прокси-индикаторы ретінде зерттеу палеоклиматология саласында кеңінен таралған. Уақыттық дәлдігінің жоғары болуы мен оқиғаларды нақты мерзімге бекіту мүмкіндігі арқасында жылдық сақиналар соңғы ғасырлар мен мыңжылдықтар аясындағы климат динамикасын қалпына келтіруге мүмкіндік береді [2] [3]. Сақиналардың ені мен тығыздығы, сондай-ақ изотоптық құрамы сияқты физикалық көрсеткіштер ағаштың температура, жауын-шашын және басқа да климаттық факторларға реакциясын бейнелейді, бұл қысқа және ұзақ мерзімді климаттық өзгерістерді анықтауға жол ашады [4] [5].

Бұл жұмыстың мақсаты – ағаш түрлерінің өсім динамикасын дендрохронологиялық әдістер арқылы талдау және әртүрлі экологиялық жағдайлардағы жылдық өсім қатарлары арасындағы корреляциялық байланыстарды анықтау.

Климаттық ақпараттың ең маңызды көрсеткіштерінің бірі – кеш кезеңдегі сүректің максималды тығыздығы (MXD), ол солтүстік аймақтардағы жазғы температурамен тығыз байланысты. Скандинавия елдері, Италия мен Намибиядағы зерттеулер MXD және сақина ені негізінде климатты жергілікті

және өңірлік деңгейде қайта құру мүмкіндігін көрсетті [6] [7]. Сонымен қатар, тұрақты көміртек пен оттегі изотоптарын талдау ауаның ылғалдылығы мен жауын-шашын көздері туралы қосымша ақпарат береді, бұл сақина еніне негізделген дәстүрлі әдістерді толықтырады [4].

Хронологияларды өңдеу үшін RCS (Regional Curve Standardization – Аймақтық қисықты стандарттау) және ABD (Age Band Decomposition – Жас белдеулерін декомпозициялау) сияқты детрендинг әдістері қолданылады. Бұл әдістер төмен жиілікті өзгерістерді сақтап, ұзақ мерзімді климаттық үрдістерді анықтауға мүмкіндік береді [7]. Эмпирикалық-статистикалық тәсілдермен қатар, климаттық айнымалыларға байланысты ағаштардың өсуін модельдейтін MAIDEN және VS-Lite сияқты процессуалдық модельдер де қолданылады [8]. PAGES2k сияқты ірі мәліметтер базалары модельдерді жаһандық деңгейде сынауға және қайта қалпына келтірудің географиялық ауқымын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Дендрохронологиялық деректерді басқа прокси-дереккөздермен және құжаттық айғақтармен біріктіру климаттың жан-жақты қалпына келтіруді жасауға және кеңістіктік олқылықтарды толықтыруға ықпал етеді [9].

Алайда дендрохронологияның дәлдігі жоғары болғанымен, бірқатар шектеулер де бар. Солардың бірі – «divergence problem» (айырмашылық мәселесі), мұнда ағаштардың қазіргі өсу жағдайлары климаттық параметрлермен сәйкес келмей, қайта құру дәлдігін төмендетуі мүмкін [10]. Сонымен қатар, өңірлік ерекшеліктер де маңызды рөл атқарады – Шығыс Қазақстан жағдайында маусымдылықтың күрт өзгеруі мен техногендік факторлардың үйлесуі мәліметтерді түсіндіруде сақ болуды талап етеді.

Осылайша, алдыңғы зерттеулер жылдық сақиналардың палеоклиматтық дерек көзі ретіндегі ақпараттылығын көрсетті. Дегенмен, қазіргі әдістерді нақты өңірлердің ерекшеліктеріне бейімдеу қажеттілігі сақталуда. Бұл әсіресе Шығыс Қазақстан жағдайында зерттеудің өзектілігін айқындайды.

Төмен температуралар тау биіктіктеріндегі ағаштардың өсуін шектеп, альпілік орман шекараларының орналасуын анықтайды [11]. Ал жауын-шашынға келсек, ағаштар жыл сайынғы айтарлықтай өзгергіштікпен күресуге мәжбүр [12][13][14], бұл құрғақшылық кезеңдерінде олардың күйзеліске ұшырауына әкеледі [15].

Құрғақшылықтың әсері маусымдық айырмашылығы күшті континенттік аймақтарда – Моңғолия мен Шығыс Қазақстанда – ерекше байқалады. Мұнда орман түзуші түрлердің, әсіресе сібір самырсынының (*Larix sibirica*), өсуі жыл сайын айтарлықтай құбылып отырады. Dulamsuren және әріптестері жүргізген зерттеулер [16][17] жазғы құрғақшылық пен ауа температурасының көтерілуі, сондай-ақ су буының парциалды қысымының (VPD) жетіспеушілігі жағдайында жылдық сақиналардың өсуінің едәуір төмендейтінін және қалпына келу қабілетінің әлсірейтінін көрсетті. Мұндай климаттық күйзелістер транспирация мен көміртек ассимиляциясы сияқты физиологиялық үдерістерді шектейді, бұл ағаш сүрегіндегі сақина құрылымынан анық көрінеді.

Dulamsuren мен Ш.Абилова бірлескен жұмысы [18] құрғақшылық кезінде ксилемадағы өткізгіш тамырлардың эмболиямен (бітелумен) зақымдануына байланысты ағаш тұқымдарының гидравликалық осалдығын түсінуге



айтарлықтай үлес қосты. Бұл зерттеулер көрсеткендей, ішкі Азия жағдайында өсетін ағаштар гидравликалық бұзылыстарға жоғары сезімтал болып келеді, бұл құрғақ жылдардағы жылдық сақиналардың пішіні мен тығыздығын түсіндіреді. Мұндай нәтижелер жылдық сақиналар бойынша өткен климаттық жағдайларды интерпретациялауға ғана емес, сондай-ақ сүрек физиологиясы негізінде ормандардың жылынуға төзімділігін болжауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, Dulamsuren қатысуымен Моңғолия мен Алтайдағы орман шекаралары (treeline) бойынша жүргізілген зерттеулер [19] климаттың жылынуы орман шекарасының күрделі, біркелкі емес өзгерістерімен қатар жүретінін көрсетті. Орманның жоғары қарай таралу әлеуеті бола тұра, мал жаю, ағаш кесу, эрозия сияқты антропогендік әсерлер ормандардың табиғи таралуына жиі кедергі келтіреді. Бұл тұжырымдар Шығыс Қазақстан үшін де ұқсас үрдістердің болуы мүмкін екенін болжауға мүмкіндік береді, себебі мұнда да техногендік жүктемелер (ластану, шығарындылар, топырақ қасиеттерінің өзгеруі) ағаштардың климаттық параметрлерге сезімталдығын өзгертіп, жылдық сақиналардағы климаттық сигналды бүркемелеуі немесе бұрмалауы мүмкін.

Сондай-ақ, Шығыс Қазақстан жағдайында, Моңғолиядағы сияқты, жылдық сақиналар температура, жауын-шашын, химиялық ластану және топыраққа механикалық әсер сынды бірнеше фактордың біріктірілген ықпалын көрсетуі мүмкін екенін ескеру қажет. Сондықтан дендрохронологиялық әдістерді изотоптық талдаумен ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$), ағаш тығыздығын анықтаумен (MXD), сондай-ақ ағаштардың физиологиялық сипаттарын зерттеумен үйлестіріп қолдану орынды. Бұл әсіресе ұзақ уақыт бойы техногендік стресс жағдайында өсіп келе жатқан екпелерді талдауда маңызды, мысалы, Өскемен, Риддер және Зырян (Алтай) қалалары маңындағы ірі өнеркәсіптік кәсіпорындар маңында.

Осылайша, Dulamsuren мен Ш.Абилова зерттеулері негізінде алынған нәтижелерді интеграциялау келесілерге мүмкіндік береді:

- климаттық және антропогендік стресс жағдайында ағаштардың өсу қатарларын нақтырақ интерпретациялау;
- эмболия мен гидравликалық өткізгіштік параметрлерін орманның төзімділік көрсеткіштері ретінде қолдану;
- аймақтық климаттық қайта құруда пәнаралық тәсілді қолданудың ғылыми негіздемесін жасау.

Шығыс Қазақстан – тайгадан далаға өтетін биогеографиялық өткел аймағы ретінде – климатқа тәуелді ағаш өсімін зерттеуге арналған бірегей табиғи зертхана болып табылады. Ғаламдық климаттың өзгеруі аясында, дендрохронология, гидравлика және ағаш өсімдіктерінің физиологиясы мәліметтеріне сүйенген жергілікті зерттеулер тек өткен климатты қалпына келтіруге ғана емес, сонымен қатар болашақта бейімделген орман басқару стратегияларын қалыптастыруға да мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Далалық зерттеулер 2013 және 2023 жылдары Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің аумағында жүргізілді. Бұл парк – оңтүстік тайгадан таулы далаға өтетін биогеографиялық өткел аймағында орналасқан Шығыс Қазақстандағы ең ірі және репрезентативті орман алқаптарының бірі. Аумақ

маусымдық контрасттың айқындылығымен, күрделі рельефпен және биіктік белдеулерінің кең ауқымымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, антропогендік әсер деңгейінің төмендігі ағаш сақиналарында тіркелген климаттық сигналдарды зерттеу үшін бұл аумақты үлгілік зерттеу аймағына айналдырады.

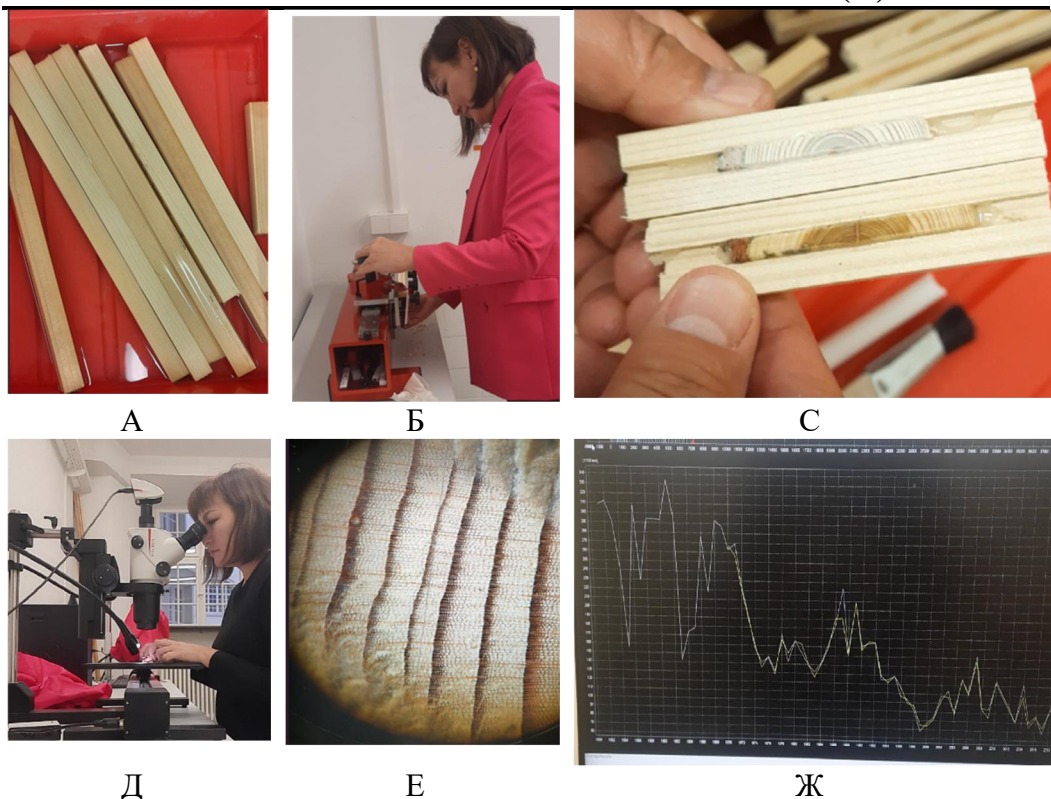
Заманауи әдістер – сақина енін, тығыздығын өлшеу, изотоптық талдау және статистикалық/процессуалдық модельдерді (мысалы, RCS, ABD, MAIDEN, VS-Lite) қолдану арқылы климатты қалпына келтірудің нақтылығын арттырады. MXD (максималды тығыздық) индексі – әсіресе солтүстік ендіктердегі жазғы температураны сипаттайтын маңызды көрсеткіш. Сонымен қатар, тұрақты изотоптар арқылы жауын-шашын мен ылғалдылықтың қайнар көздері жөнінде қосымша ақпарат алуға болады.



1-сурет – Керн үлгілерін іріктеу және таңбалау

Керн үлгілерін өңдеу зертханалық жағдайда жүргізілді. Алынған керн үлгілері ағаш тақтайшаларға (ені мен биіктігі шамамен 1 см, ұзындығы керннен сәл артық) желімделіп, әрқайсысы шифрына сәйкес таңбаланды. Үлгілердің беті скальпель немесе ұстарамен тазаланып, сақиналарды визуализациялау үшін сафранин ерітіндісімен боялып, бормен өңделді. Әр үлгінің алынған күні белгілі болғандықтан, жылдық сақиналар алдын ала даталанды.

Жылдық сақиналар LINTAB өлшеу құрылғысы және TSAP-Win бағдарламасы көмегімен 0,01 мм дәлдікпен өлшенді. Хронологиялық қатарларды тексеру және теңестіру (кросс-дейтинг) COFECHA бағдарламасында жүргізілді. Детрендинг әдістері ретінде экспоненциалды кері функциялар, сплайн-функциялар және RCS (Regional Curve Standardization) қолданылды. Уақыттық қатарлар мен индекстеу бойынша қосымша өңдеу R бағдарламасының dplR, treeclim пакеттерімен жүзеге асырылды (2 сурет).



2-сурет – Дендрохронологиялық үлгілерді өңдеу кезеңдері: А – суға жібіту; Ә – шлифовка жасау; Б – жылдық сақиналарды айқын көру үшін бормен белгілеу; В – жылдық өсім ені өлшемдерін жүргізу; Г – микроскоп арқылы жылдық сақиналарды қарау; Ғ – жылдық өсім ені бойынша алынған өлшемдердің графигі

Климаттық айнымалылар ретінде 1932–2014 жылдар аралығындағы мамыр–қыркүйек айларына тән орташа температура, жауын-шашын мөлшері және SILSO күн белсенділігі индексі пайдаланылды. Ағаш сақиналарының климаттық көрсеткіштермен өзара байланысын анықтау үшін корреляциялық талдау STATISTICA 13.2 бағдарламасында жүргізілді.

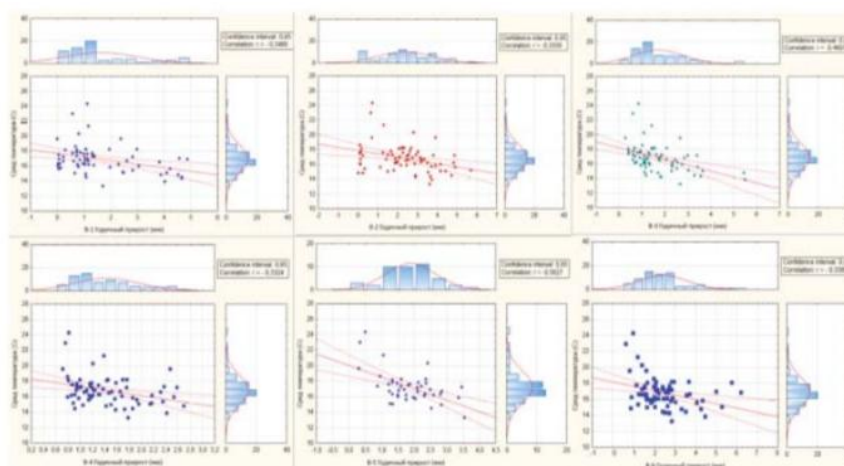
Зерттеу нәтижелері

Экспедициялар барысында әртүрлі биіктік белдеулерінде, беткей экспозицияларында және фитоценоз типтерінде өсетін бес негізгі ағаш түрінен – сібір самырсыны (*Larix sibirica*), сібір қарағайы (*Pinus sibirica*), сібір шыршасы (*Picea obovata*), сібір майқарағайы (*Abies sibirica*) және ілгері қарастырылған қайың (*Betula pendula*) ағаштарынан өзек үлгілері (кернадер) алынды. Үлгілер Pressler жасын анықтау бұрғысы арқылы топырақ бетінен 1,3 метр (кеуде деңгейі) биіктікте алынды (1 сурет). Барлық керндер жеке нөмірленіп, далалық журналда тіркелді және зертханада кептіріліп, шлифовкадан өткізіліп, сақиналарды визуалды ажырату үшін бор немесе акрил бояуы қолданылды. Жалпы 1610 керн алынып, 10 сынақ алаңында (20×20 м) жинақталды (1 кесте).

Кесте 1 – Сынақ алаңдарындағы сүрекдіңнің таксациялық сипаттамасы

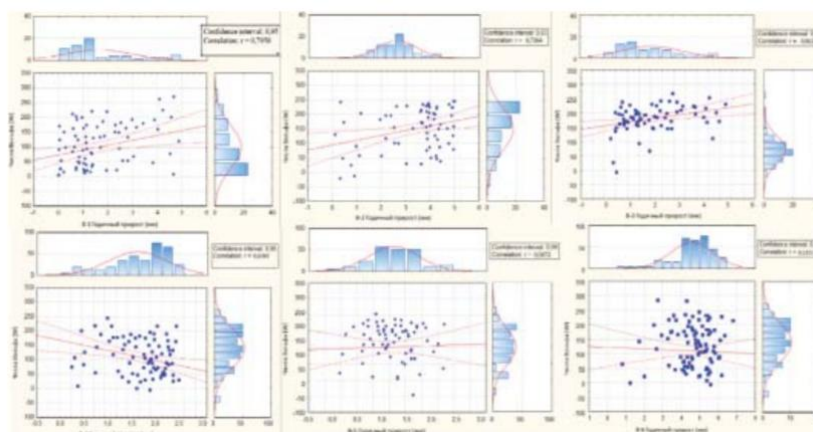
Алаң	Ең аз жасы (жыл)	Ең көп жасы (жыл)	Орташа биіктігі (м)	Орташа жуандығы (см)	Керн саны	Басым түрі
B-1	50	87	13,3	95,2	162	Қайың
B-2	45	81	7,6	114,8	132	Қайың
B-3	21	88	12,1	47,1	178	Қайың
B-4	21	81	10,7	79,8	189	Қайың
B-5	20	137	12,7	67,8	190	Қайың
B-6	34	83	8,1	101,1	195	Қайың
S 31	16	143	10,9	82,2	138	Самырсын
S 41	36	249	9,4	57,0	100	Самырсын
S 1	35	268	13,4	85,0	110	Самырсын
Ab 1	24	305	8,4	75,0	216	Шырша

Осылайша, зерттеу үшін таңдалған 10 сынақ алаңының ішінде басым түрі - қайың. Қайың ағашқұрамының ең үлкен жасы - 137 жыл, ал ең кішісі - 20 жыл. Самырсын үшін ең үлкен жас - 268 жыл, ең кішісі - 16 жыл. Шыршада ең үлкен жас - 305 жыл, ал ең кішісі - 24 жыл. Орташа ең үлкен жуандылық - 114,8 см, ал орташа ең кіші жуандылық - 47,1 см. Биіктік бойынша орташа ең үлкен мәні - 13,4 м, ал орташа ең кішісі - 7,6 м.



3-сурет - Жылдық өсім мен атмосфералық жауын-шашын арасындағы корреляциялық талдау [20]

Орташа дендрохронологиялық қатарлар негізінде құрылған жылдық өсім графиктерін талдау Катон-Қарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы ілмелі қайыңның өсіміне атмосфералық жауын-шашынның оң әсерін көрсетеді (3 сурет).



4 - сурет - Жылдық өсім мен ауа температурасы арасындағы корреляциялық талдау [20]

Орташа дендрохронологиялық қатарлар негізінде құрылған жылдық өсім графиктерін талдау Катон-Қарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы ілмелі қайыңның өсіміне ауа температурасының теріс әсерін көрсетеді (4 сурет).



5 - сурет - 2013 және 2023 жылдары жиналған керндер негізіндегі жалпыланған хронологиялар арасындағы салыстырмалы өсім динамикасы

2013 және 2023 жылдары жиналған керн үлгілері негізінде құрылған жалпыланған жылдық хронологияларды салыстыру барысында XX ғасырдың ортасынан бастап ағаш өсімінің біртіндеп төмендеу үрдісі байқалды (5 сурет). 1945–1970 жылдары екі хронологияда да радиалды өсімнің жоғары мәндері тіркеліп, бұл кезең ағаштардың белсенді вегетациясымен және салыстырмалы түрде қолайлы климаттық жағдайлармен сипатталады.

1980 жылдан кейін екі хронологияда да өсім көрсеткіштерінің төмендеу тенденциясы байқалады. Сонымен қатар, 2013 жылғы жалпыланған хронологияда



ауытқулар айқынырақ көрінеді, ал 2023 жылғы хронологияда өсім қарқыны анағұрлым тұрақты. Бұл айырмашылық үлгіленген ағаштардың жастық құрылымы немесе микроклиматтық жағдайлардағы ерекшеліктерге байланысты болуы мүмкін.

Хронологиялар арасындағы сәйкестік деңгейі (%CC = 73%) ағаштардың климаттық факторларға ұқсас реакция білдіретінін көрсетеді. Бұл 2023 жылғы жалпыланған хронологияның климаттық сигналды сенімді түрде бейнелейтінін дәлелдейді.

Осылайша, екі дерекқордың ұқсастығы оларды біріктіріп, аймақтық климаттың ұзақ мерзімді өзгерісін сипаттайтын біртұтас мастер-хронология жасауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Катонқарағай мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің аумағында орналасқан сынақ алаңдары бойынша жылдық өсім графиктеріне жүргізілген талдау жалпыланған дендрохронологиялық қатарлар негізінде жасалды. Талдау нәтижелері келесі үрдістерді көрсетті:

Ауа температурасы мен жылдық өсім арасында айқын теріс корреляция байқалды. Бұл құбылыс өсімнің төмендеуіне температураның кері әсер ететінін растайды, себебі жоғары температура жағдайында ағаштардың жапырақ бетінен ылғалдың қарқынды булануы орын алады.

Жылдық өсім мен атмосфералық жауын-шашын арасында оң корреляциялық байланыс орнатылды. Корреляция коэффициенті $r = 0,04-0,46$ аралығында болды, бұл ылғалдылықтың жеткіліктілігі ағаштың радиалды өсіміне оң әсер ететінін көрсетеді.

Ең жоғары корреляциялық мәндер күн белсенділігі бойынша тіркелді. Жылдық өсім индексі мен SILSO күн белсенділігі индексі арасындағы байланыс өте жоғары оң корреляциямен сипатталды ($r = 0,53-0,86$). Бұл кезеңдерде ағаштардың фотосинтетикалық белсенділігі артып, радиалды өсімі ұлғаяды.

Осылайша, зерттеу нәтижелері *Betula pendula* түрінің жылдық өсіміне ең ықпалды лимиттеуші факторлар ретінде ауа температурасы мен жауын-шашын, ал ынталандырушы фактор ретінде күн радиациясын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Белсенді күн жылдары өсім артса, белсенділік төмен жылдары салыстырмалы тұрақтылық байқалады.

Аталған байланыстар ағаштардың экологиялық реакцияларындағы климатқа тәуелділікті тереңірек түсінуге, сондай-ақ аймақтық дендроклиматтық қайта құру үшін сенімді негіз қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Алғыстар

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын № AP25794101 «Дендроиндикация әдісімен Шығыс Қазақстанның өнеркәсіптік аймақтарында өсетін ағаш түрлеріне техногендік факторлар мен климаттың өзгеруінің әсерін зерттеу» атты ғылыми жоба аясында орындалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Жантлесова Ш.Б., Жумадина Ш.М. Роль дендрохронологических методов исследования в изучении древесных насаждений // Матер. IX-й междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых «Наука и образование-2014». - Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2014. - С. 3506-3511.
- [2] Колчин Б.А., Черных Н.Б. Дендрохронология Восточной Европы. - М.: Наука, 1977. - 127 с.
- [3] Luckman B. H. Tree Rings as Temperature Proxies. – 2008. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/253027065_Tree_Rings_as_Temperature_Proxies
- [4] Anchukaitis K. J. Tree Rings Reveal Climate Change Past, Present, and Future. // *American Scientist*. – 2017. – Vol. 161(3). – P. 244.
- [5] Loader N. J., McCarroll D., Gagen M., Robertson I., Jalkanen R. Extracting Climatic Information from Stable Isotopes in Tree Rings. – In: *Stable Isotopes and Biosphere–Atmosphere Interactions*. Elsevier, 2007. – Vol. 1. – P. 25–48. DOI: 10.1016/S1936-7961(07)01003-2
- [6] Zhang Q.-B., Fang O. Tree rings circle an abrupt shift in climate // *Science*. – 2020. – Vol. 370(6520). – P. 1037–1038. DOI: 10.1126/science.abf1700
- [7] Fichtler E., Trouet V., Beeckman H., Coppin P., Worbes M. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia // *Trees*. – 2004. – Vol. 18(4). – P. 442–451. DOI: 10.1007/s00468-004-0324-0
- [8] Mazza G., Sarris D. The influence of low-frequency variability on tree-rings based climate reconstruction: A case study from central Italy // *Annals of Silvicultural Research*. – 2018. – Vol. 42(2). – P. 68–78. DOI: 10.12899/ASR-1599
- [9] Rezsöházy J., Gennaretti F., Goosse H., Guiot J. Testing the performance of dendroclimatic process-based models at global scale with the PAGES2k tree-ring width database // *Climate Dynamics*. – 2021. – Vol. 57(7). – P. 2005–2020. DOI: 10.1007/s00382-021-05789-7
- [10] McPartland M., Dolman A. M., Laepple T. Separating Common Signal From Proxy Noise in Tree Rings // *Geophysical Research Letters*. – 2024. – Vol. 51(13). DOI: 10.1029/2024gl109282
- [11] LaMarche V. C. Tree-ring evidence of past climatic variability // *Nature*. – 1978. – Vol. 276(5686). – P. 334–338. DOI: 10.1038/276334a0
- [12] Jacoby G. C., D’Arrigo R. D., Davaajamts T. Mongolian tree rings and 20th-century warming // *Science*. – 1996. – Vol. 273(5276). – P. 771–773. DOI: 10.1126/science.273.5276.771
- [13] Davi N. K., Jacoby G. C., Curtis A. E., Baatarbileg N. Extension of drought records for Central Asia using tree rings // *Journal of Climate*. – 2010. – Vol. 23(23). – P. 6165–6179. DOI: 10.1175/2010JCLI3401.1



- [14] Fang K. et al. Reconstructed droughts for the southeastern Tibetan Plateau over the past 568 years // *Climate Dynamics*. – 2010. – Vol. 35. – P. 577–585. DOI: 10.1007/s00382-009-0726-2
- [15] Yatagai A., Yasunari T. Interannual variations of summer precipitation in the arid/semi-arid regions in China and Mongolia // *Journal of the Meteorological Society of Japan*. – 1995. – Vol. 73(6). – P. 909–923. DOI: 10.2151/jmsj1965.73.6_909
- [16] Dulamsuren C., Hauck M., Bader M., Oyungerel S., Osokhjargal D., Nyamjav D., Leuschner C. Water relations and photosynthetic performance in *Larix sibirica* growing in the forest-steppe ecotone of northern Mongolia // *Tree Physiology*. – 2009. – Vol. 29(1). – P. 99–110. DOI: 10.1093/treephys/tpn007
- [17] Dulamsuren C., Hauck M., Bader M. Y., Leuschner C. Effects of summer drought on growth and wood density of *Larix sibirica* in the forest–steppe ecotone of Mongolia // *Forest Ecology and Management*. – 2013. – Vol. 296. – P. 5–16. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.01.004
- [18] Dulamsuren C., Abilova S., Khishigjargal M., Leuschner C. Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism of Mongolian conifers // *Tree Physiology*. – 2019. – Vol. 39(8). – P. 1314–1325. DOI: 10.1093/treephys/tpz052
- [19] Dulamsuren C., Khishigjargal M., Leuschner C. Climate change and treeline dynamics in Mongolia and the Altai Mountains: A review // *Geographical Review of Japan*. – 2018. – Vol. 91. – P. 85–102. DOI: 10.4157/grj.91.85
- [20] Абилова Ш.Б., Жумадина Ш.М., Дуламсурен Ч., Жумадилов Б.З. Дендрохронологические исследования на территории Катон-Карагайского государственного национального природного парка // *Труды Катон-Карагайского государственного национального природного парка*. – Усть-Каменогорск: Медиа-Альянс, 2022. – С. 160–171. – 498 с.

REFERENCES

- [1] Zhantlesova Sh.B., Zhumadina Sh.M. Rol' dendrokronologicheskikh metodov issledovaniya v izuchenii drevesnykh nasazhdeniy [The role of dendrochronological research methods in studying forest stands]. Sbornik materialov IX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Nauka i obrazovanie – 2014» [Proceedings of the IX International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Science and Education – 2014"], Astana, ENU im. L.N. Gumilyova, 2014, pp. 3506–3511.
- [2] Kolchin B.A., Chernykh N.B. Dendrokronologiya Vostochnoy Evropy [Dendrochronology of Eastern Europe]. Moscow, Nauka, 1977, 127 pp.
- [3] Luckman B.H. Tree Rings as Temperature Proxies. 2008. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/publication/253027065_Tree_Rings_as_Temperature_Proxies
- [4] Anchukaitis K.J. Tree Rings Reveal Climate Change Past, Present, and Future. *American Scientist*, 2017, vol. 161(3), p. 244.
- [5] Loader N.J., McCarroll D., Gagen M., Robertson I., Jalkanen R. Extracting Climatic Information from Stable Isotopes in Tree Rings. In: *Stable Isotopes and*

Biosphere–Atmosphere Interactions, Elsevier, 2007, vol. 1, pp. 25–48. DOI: 10.1016/S1936-7961(07)01003-2

[6] Zhang Q.-B., Fang O. Tree rings circle an abrupt shift in climate. *Science*, 2020, vol. 370(6520), pp. 1037–1038. DOI: 10.1126/science.abf1700

[7] Fichtler E., Trouet V., Beeckman H., Coppin P., Worbes M. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees*, 2004, vol. 18(4), pp. 442–451. DOI: 10.1007/s00468-004-0324-0

[8] Mazza G., Sarris D. The influence of low-frequency variability on tree-rings based climate reconstruction: A case study from central Italy. *Annals of Silvicultural Research*, 2018, vol. 42(2), pp. 68–78. DOI: 10.12899/ASR-1599

[9] Rezsöházy J., Gennaretti F., Goosse H., Guiot J. Testing the performance of dendroclimatic process-based models at global scale with the PAGES2k tree-ring width database. *Climate Dynamics*, 2021, vol. 57(7), pp. 2005–2020. DOI: 10.1007/s00382-021-05789-7

[10] McPartland M., Dolman A.M., Laepple T. Separating Common Signal From Proxy Noise in Tree Rings. *Geophysical Research Letters*, 2024, vol. 51(13). DOI: 10.1029/2024gl109282

[11] LaMarche V.C. Tree-ring evidence of past climatic variability. *Nature*, 1978, vol. 276(5686), pp. 334–338. DOI: 10.1038/276334a0

[12] Jacoby G.C., D’Arrigo R.D., Davaajamts T. Mongolian tree rings and 20th-century warming. *Science*, 1996, vol. 273(5276), pp. 771–773. DOI: 10.1126/science.273.5276.771

[13] Davi N.K., Jacoby G.C., Curtis A.E., Baatarbileg N. Extension of drought records for Central Asia using tree rings. *Journal of Climate*, 2010, vol. 23(23), pp. 6165–6179. DOI: 10.1175/2010JCLI3401.1

[14] Fang K. et al. Reconstructed droughts for the southeastern Tibetan Plateau over the past 568 years. *Climate Dynamics*, 2010, vol. 35, pp. 577–585. DOI: 10.1007/s00382-009-0726-2

[15] Yatagai A., Yasunari T. Interannual variations of summer precipitation in the arid/semi-arid regions in China and Mongolia. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1995, vol. 73(6), pp. 909–923. DOI: 10.2151/jmsj1965.73.6_909

[16] Dulamsuren C., Hauck M., Bader M., Oyungerel S., Osokhjargal D., Nyamjav D., Leuschner C. Water relations and photosynthetic performance in *Larix sibirica* growing in the forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Tree Physiology*, 2009, vol. 29(1), pp. 99–110. DOI: 10.1093/treephys/tpn007

[17] Dulamsuren C., Hauck M., Bader M.Y., Leuschner C. Effects of summer drought on growth and wood density of *Larix sibirica* in the forest–steppe ecotone of Mongolia. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 296, pp. 5–16. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.01.004

[18] Dulamsuren C., Abilova S., Khishigjargal M., Leuschner C. Hydraulic architecture and vulnerability to drought-induced embolism of Mongolian conifers. *Tree Physiology*, 2019, vol. 39(8), pp. 1314–1325. DOI: 10.1093/treephys/tpz052



[19] Dulamsuren C., Khishigjargal M., Leuschner C. Climate change and treeline dynamics in Mongolia and the Altai Mountains: A review. *Geographical Review of Japan*, 2018, vol. 91, pp. 85–102. DOI: 10.4157/grj.91.85

[20] Abilova Sh.B., Zhumadina Sh.M., Dulamsuren Ch., Zhumadilov B.Z. Dendrokronologicheskie issledovaniya na territorii Katon-Karayskogo gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka [Dendrochronological studies in the territory of the Katon-Karagai State National Nature Park]. *Trudy Katon-Karayskogo gosudarstvennogo natsionalnogo prirodnogo parka* [Proceedings of the Katon-Karagai State National Nature Park], Ust-Kamenogorsk: Media-Alliance, 2022, pp. 160–171.

Алипина К.Б., Абилова Ш.Б., Чоймаа Дуламсурен, Тергенбаева Ж.Т.
ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ДРЕВЕСНЫХ
ПОРОД НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ВЫСОКОГОРНЫХ
ЭКОСИСТЕМАХ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Данное исследование направлено на анализ влияния изменения климата на рост древесных растений методами дендрохронологии. Природно-климатические условия Восточного Казахстана, характеризующиеся резкими сезонными колебаниями, высокогорным и континентальным климатом, делают регион уникальной модельной территорией для изучения динамики годового прироста деревьев. В условиях ограниченности исторических метеоданных годовые кольца древесины выступают надежным прокси-источником климатической информации.

В ходе исследования в 2013 и 2023 годах в различных высотных поясах Катон-Карагайского государственного национального природного парка было отобрано 1610 кернов. По древесным породам *Betula pendula*, *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata* и *Abies sibirica* построены хронологии прироста. Измерения ширины годовых колец проводились с помощью прибора LINTAB и программы TSAP-Win, обработка данных - в программах COFESHA, R (пакеты dplR, treeclim) и STATISTICA 13.2.

Результаты показали отрицательную корреляцию между температурой воздуха и приростом, и положительную - между приростом и осадками, а также солнечной активностью. Максимальные значения корреляции отмечены с солнечной активностью ($r = 0,53-0,86$), средние - с осадками ($r = 0,04-0,46$), отрицательные - с температурой воздуха. Это указывает на высокую чувствительность радиального прироста деревьев к увлажнённости и радиационным условиям.

Таким образом, установленные закономерности роста древесных видов в ответ на климатические факторы создают научную основу для региональных дендроклиматических реконструкций и оценки адаптационного потенциала лесных экосистем в условиях изменения климата.

Ключевые слова: дендрохронология; годовые кольца; климатические изменения; рост деревьев; корреляционный анализ; радиальный прирост.



K.B. Alipina, Sh.B. Abilova, Choimaa Dulamsuren, Zh.T. Tergenbayeva
DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS OF TREE SPECIES RESPONSE TO
CLIMATE CHANGE IN THE HIGH-MOUNTAIN ECOSYSTEMS OF
EASTERN KAZAKHSTAN

Annotation. This study focuses on analyzing the effects of climate change on tree growth using dendrochronological methods. The natural and climatic conditions of East Kazakhstan- marked by pronounced seasonality, high-altitude terrain, and continental climate- make it a unique model region for studying the dynamics of annual tree growth. In the context of limited historical meteorological data, tree rings serve as reliable proxy sources of climatic information.

During fieldwork conducted in 2013 and 2023 across various altitudinal zones in the Katon-Karagai State National Nature Park, 1,610 tree cores were collected. Growth chronologies were constructed for *Betula pendula*, *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata*, and *Abies sibirica*. Ring widths were measured using the LINTAB system and TSAP-Win software; data processing included cross-dating and detrending using COFECHA, and statistical analysis in R (dplR, treeclim packages) and STATISTICA 13.2.

Results revealed a negative correlation between air temperature and tree growth, and a positive correlation with precipitation and solar activity. The highest correlation values were recorded with solar activity ($r = 0.53\text{--}0.86$), moderate with precipitation ($r = 0.04\text{--}0.46$), and negative with temperature. These findings demonstrate that radial growth of trees is highly sensitive to moisture availability and radiation conditions.

Thus, the identified growth patterns of tree species in response to climatic factors provide a scientific basis for regional dendroclimatic reconstructions and the assessment of the adaptive potential of forest ecosystems under climate change conditions.

Keywords: dendrochronology; tree rings; climate change; tree growth; correlation analysis; radial increment.