

Как цитировать: Эбуова Д.Қ., Курмангожинов А.Ж., Калачев А.А., Роговский С.В. (2026). Дендрохронологическая верификация лесорастительного районирования темнохвойных лесов Юго-Западного Алтая. *Евразийский агротехнический журнал*, 2(130), 193-205. DOI: [https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2\(130\).2233](https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2(130).2233)

УДК 630.561:581.524

Исследовательская статья

Дендрохронологическая верификация лесорастительного районирования темнохвойных лесов Юго-Западного Алтая

Эбуова Д.Қ.¹ , Курмангожинов А.Ж.¹ , Калачев А.А.² , Роговский С.В.² 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

²Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации
имени А.Н. Букейхана, Алтайский филиал, Риддер, Казахстан

Автор-корреспондент: Эбуова Д.Қ.: le_di_or@mail.ru

Соавторы: (1: АК) a.kurmangozhinov@kazatu.edu.kz; (2: АК) ridder_loos@mail.ru
(3: СР) crysis@mail.ru

Получено: 04.05.2026 **Принято:** 29.06.2026 **Опубликовано:** 30.06.2026

Авторские права: Эбуова Д.Қ. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Аннотация

Предпосылки и цель. Схема лесорастительных районов темнохвойных лесов Юго-Западного Алтая была разработана Э.М. Северским в 1971 г. на основе геоботанического, почвенного и орографического критериев. За прошедшие 50 лет наблюдается тенденция изменения климатических условий региона, что может приводить к сдвигу лесорастительных районов относительно старых границ. Цель – с помощью дендрохронологического анализа определить динамику радиального прироста *Abies sibirica* Ledeb. в пределах каждого из лесорастительных районов и проверить их пространственную однородность с учетом высотного профиля.

Материалы и методы. Исследования проведены на четырех площадях в пределах II, III и V лесорастительных районов в диапазоне высот 550-940 м над уровнем моря. Отобраны образцы древесины, проведены перекрестная датировка, стандартизация рядов и расчет критериев синхронности Rbar и EPS. Выполнен корреляционный анализ индексов прироста с климатическими данными с 1970 по 2025 гг.

Результаты. Обнаружена высотная разница в радиальном приросте. Среднегорная площадь (940 м, II район) характеризуется максимальными значениями EPS (0,91) и отрицательной корреляцией со среднегодовой температурой ($p < 0,05$). Низкогорные площади (V район) имеют более высокую синхронность и меньшую чувствительность к климату. Различия свидетельствуют о неоднородности древостоев в границах лесорастительных районов.

Закключение. Дендрохронологический анализ открывает возможности детальной оценки пространственных различий радиального прироста *Abies sibirica* Ledeb. в пределах каждого лесорастительного района. Учитывая высотную поясность и изменение климата, актуальной становится переоценка границ лесорастительных районов.

Ключевые слова: Рудный Алтай; *Abies sibirica* Ledeb.; лесорастительное районирование; дендрохронология; радиальный прирост; высотная поясность.

Введение

Леса Юго-Западного Алтая формируют устойчивые горные экосистемы, которые выполняют важные водорегулирующие и климатостабилизирующие функции [1, 2]. Основным лесобразующим деревом является пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb., которая очень чувствительна к температуре и условиям увлажнения [3, 4].

Схема районирования темнохвойных лесов Рудного Алтая была предложена Э.М. Северским на основе комплексной оценки геоботанических и орографических факторов [5]. Такие схемы районирования были распространены в лесной типологии Советского Союза и основаны в основном на морфологических характеристиках насаждений [6, 7]. Однако они были созданы в условиях относительно стабильного климата, господствовавшего в середине XX века.

За последние десятилетия в Евразии наблюдается устойчивый тренд потепления, сопровождающийся изменениями в режиме осадков и распределении снежного покрова [8, 9]. Для хвойных пород из Сибири и Алтая показано, что температура стала лимитирующим фактором роста деревьев, особенно в среднегорных поясах [10, 11, 12]. Между тем в литературе всё чаще упоминается изменение климато-ростовых связей, в том числе такая проблема, как «divergence problem», расхождение между результатами температурных исследований и динамикой прироста деревьев в некоторых регионах [13].

Радиальный прирост деревьев в пихтовых лесах Южной Сибири и Алтая сильно зависит от температуры раннего лета и увлажнения предшествующей зимы [14, 15]. Подобный климаторегресс также выявлен и для других хвойных пород Казахстана [16, 17].

Таким образом, использование дендрохронологических методов предоставляет возможность проверить качество и однородность районирования в количественных показателях, уточнить, какие лесорастительные районы проигнорированы в 1971 году и существуют ли зоны перехода между ними.

Суть исследований заключается в выявлении пространственно-временных особенностей радиального прироста *Abies sibirica* Ledeb. в пределах лесорастительных районов и сформулировать предложения по их уточнению.

Материалы и методы

Исследования проводились в Юго-Западном Алтае (Восточно-Казахстанская область). Климат района резко континентальный, с холодной длительной зимой и умеренно теплым летом. Для изучения климатических условий анализировались данные метеостанции г. Риддер, как наиболее подходящие для района. Материал собирался на четырех временных пробных площадях (ВПП), которые закладывались в границах II, III и V лесорастительных районов (рисунок 1).

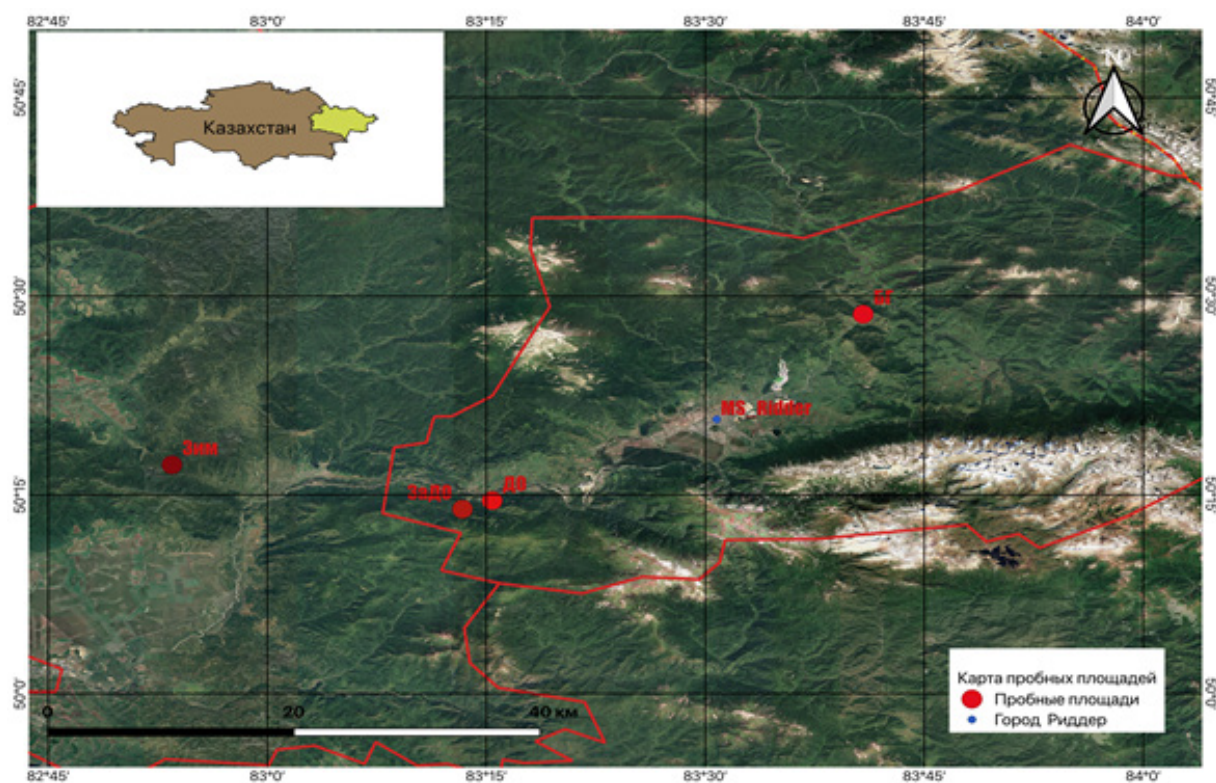


Рисунок 1 – Карта-схема расположения пробных площадей (БГ – Берёзовая Грива, ДО – Дом Отдыха, ЗаДО – За Домом Отдыха, ЗИМ – Зимовье; ★ – метеостанция г. Риддер)

По данным метеостанции г. Риддер за период 1970–2023 гг., средняя годовая температура воздуха составляет $+2,7^{\circ}\text{C}$, средняя температура января $-12,3^{\circ}\text{C}$, июля $+17,3^{\circ}\text{C}$; средняя температура за май–июль (T_{V-VII}) $+14,7^{\circ}\text{C}$; среднегодовая сумма осадков – 610 мм (рисунок 2).

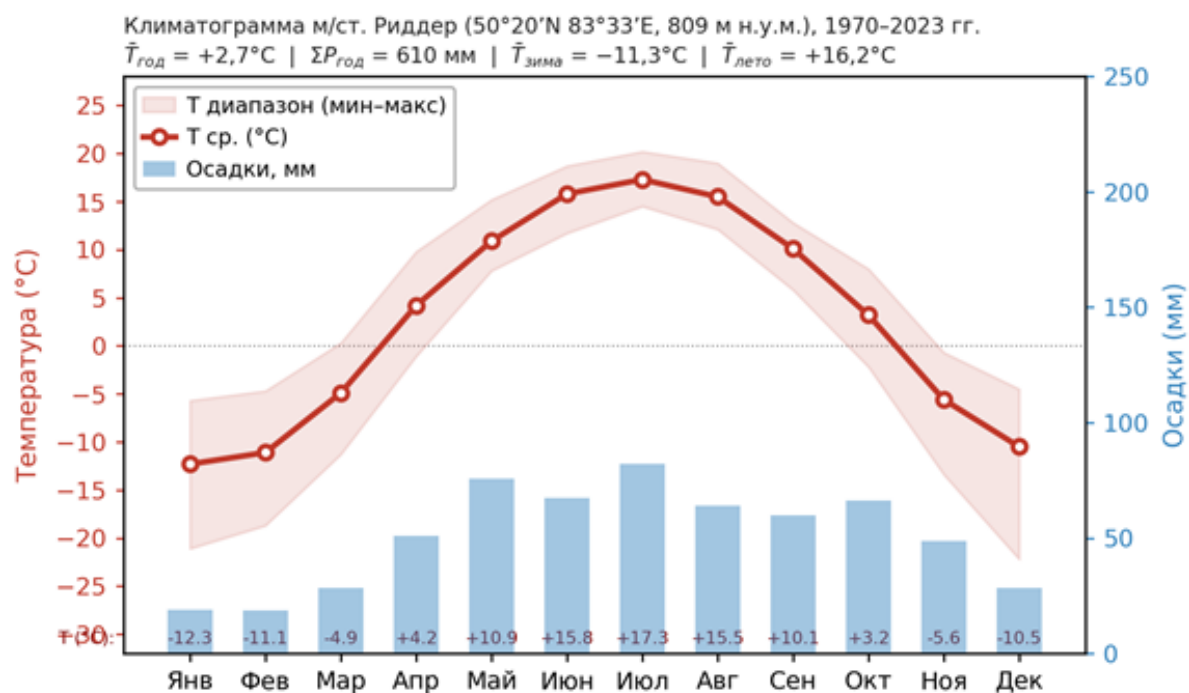


Рисунок 2 – Климатическая диаграмма метеостанции г. Риддер (1970–2023)

Отбор кернов осуществлялся возрастным буровом Пресслера на высоте 1, 3 м с восточной или западной стороны ствола во избежание сжатия древесины. На каждом из участков было взято по 15, 20 образцов доминирующих деревьев без видимых повреждений. Однако, на участках Дом отдыха (ДО), за Домом отдыха (ЗаДО) и Зимовье (Зим) обнаружено широкое распространение сердцевинной гнили, а также повреждение *Monochamus urusovi* (черный пихтовый усач), что явилось причиной отбора и исключения до 40% кернов уже на стадии полевого сбора. Характеристика временных пробных площадей (ВПП) и их лесопатологическое состояние представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования и лесопатологическое состояние насаждений

№ ВПП	Лесорастительный район (ЛРР)	Координаты	Высота над уровнем моря, м	Экспозиция / крутизна	Лесопатологическое состояние и антропогенное воздействие
1 Зимовье (Зим)	V. Центральный котловинный ЛРР пихтовых, сосновых и лиственнично-березовых лесов. V-б – Лениногорский сопочный и равнинный подрайон сосновых лесов и остепненных лугов	N50°14'34" E83°15'24"	550	Северная / 10°	40% деревьев с сердцевинной гнилью. Единично: Черный пихтовый усач (<i>Monochamus urusovi</i>), гусеницы Сибирского шелкопряда. Следы старых рубок (заросшие волокни).

Продолжение таблицы 1

2 Дом отдыха (ДО)		N50°13'55" E83°13'22"	580	Северная / 15°	40% деревьев с сердцевинной гнилью. Единично: гусеницы Сибирского шелкопряда. Признаки старых рубок (заросшие склады).
3 За домом отдыха (ЗаДО)	III. Западный предгорно- низкогорный ЛРР осиново-пихтовых лесов, луговых степей и кустарников	N50°17'16" E82°53'28"	580	Северная / 10°	Критическое: 50% деревьев с гнилью. Единично: Черный пихтовый усач. Высокая асинхронность роста. Следы старых рубок.
4 Березовая грива (БГ)	II. Северный низкогорно- среднегорный ЛРР пихтовых лесов. II-а Синюшинско- Голушинский подрайон крупноостанцовых возвышенностей пихтовых лесов с березой	N50°28'38" E83°40'49"	940	Северная / 10°	Наиболее здоровое насаждение. 30% деревьев с гнилью. Вредители не обнаружены. Следы пожаров на удалении 0,5–1 км (30–35 лет назад).

В лаборатории керны были смонтированы на деревянные подложки и зачищены лезвием до выявления клеточной структуры годовичных колец. Их ширина измерялась с точностью до 0,01 мм с использованием полуавтоматической установки LINTAB 6 и пакета программ TSAP-Win [18].

Перекрестная датировка (Cross-dating) использовалась визуально-графический метод и была подтверждена статистической проверкой в программе COFESHA [19, 20]. Для исключения возрастного тренда использована процедура стандартизации (де-трендинга) с применением сплайна. Качество хронологий оценивалось по коэффициенту чувствительности (sens), межсерийной корреляции (Rbar) и показателю выраженного сигнала популяции (EPS). За критерий пригодности рассматривалось значение $EPS \geq 0,85$, подходящее для использования в климатическом анализе [21].

Результаты

Анализ древесно-кольцевых хронологий. В результате перекрестной датировки были построены четыре обобщенные древесно-кольцевые хронологии (рисунок 3).

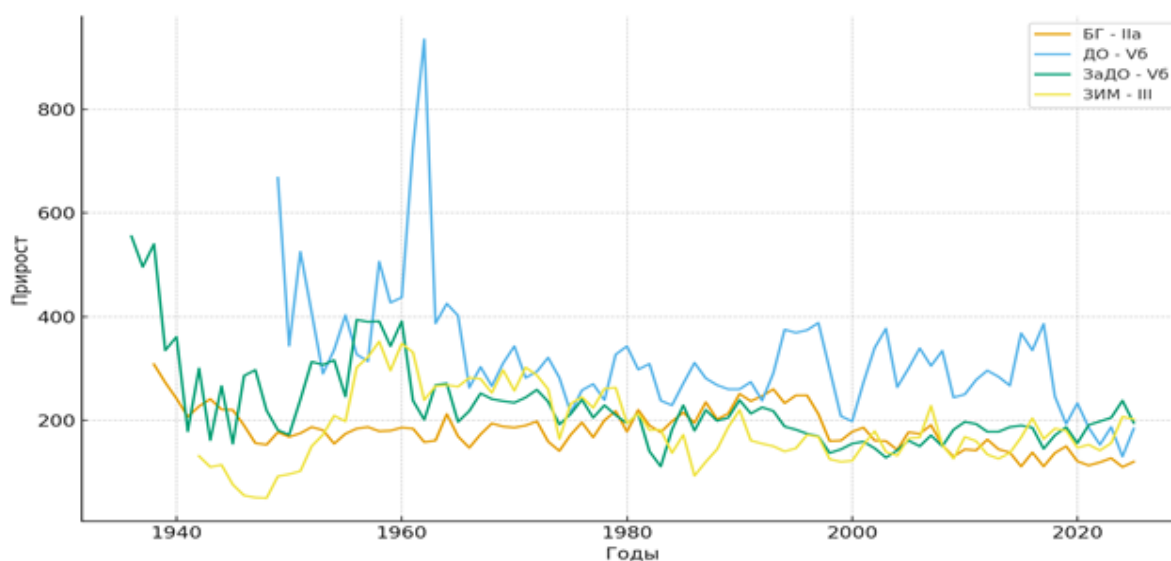


Рисунок 3 – Графики динамики ширины годичных колец

Полевой отбор кернов проводился в 2024 году. На каждой из четырёх временных пробных площадей (ВПП) с помощью возрастного бурава Пресслера отбиралось по 2 керна с каждого дерева. Общее количество отобранных кернов составило: БГ – 19, ДО – 14, ЗаДО – 19, ЗИМ – 17. После исключения серий с признаками гнили и низким межсерийным совпадением в итоговые хронологии вошли: БГ – 15 кернов, ДО – 12, ЗаДО – 10, ЗИМ – 9. Длина хронологий составила: БГ – 1938–2024 гг. (87 лет), ДО – 1949–2024 гг. (76 лет), ЗаДО – 1936–2024 гг. (89 лет), ЗИМ – 1942–2024 гг. (83 года). EPS рассчитывался по бегущему 30-летнему окну; значение $EPS \geq 0,85$ достигается на участках: БГ – с 2008 г., ЗаДО – с 1965 г., ЗИМ – с 1984 г. На участке ДО порог $EPS \geq 0,85$ достигается только к концу периода наблюдений, что следует учитывать при интерпретации результатов климатического анализа. Статистические характеристики хронологий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.)

Пробная площадь	Период (лет)	Средний прирост, мм	Коэф. чувств	Rbar	EPS	AR1
1 Зимовье (Зим)	1936–2023	1,42	0,24	0,38	0,88	0,70
2 Дом отдыха (ДО)	1940–2023	1,65	0,21	0,35	0,86	0,51
3 За домом отдыха (ЗаДО)	1945–2023	1,58	0,22	0,36	0,87	0,61
4 Березовая грива (БГ)	1952–2023	1,12	0,31	0,42	0,91	0,78

Примечание: число серий (кернов), включённых в итоговые хронологии: Зим – 9, ДО – 12, ЗаДО – 10, БГ – 15 (после исключения кернов с признаками гнили). Отношение сигнал/шум ($SNR = EPS / (1 - EPS)$): Зим – 7,3; ДО – 6,1; ЗаДО – 6,7; БГ – 10,1. Все хронологии превышают пороговое значение $EPS \geq 0,85$. Первый коэффициент автокорреляции (AR1) стандартизированных индексов варьирует от 0,51 (ДО) до 0,78 (БГ), что свидетельствует о наличии устойчивой климатической памяти в хронологиях и подтверждает необходимость авторегрессионного моделирования при дендроклиматическом анализе.

Анализ графиков на рисунке 3 свидетельствует о наличии как общих региональных минимумов, так и локальных депрессий прироста.

На пробных площадях ДО (550 м) и ЗаДО (580 м) установлена высокая синхронность радиального прироста пихты сибирской, проявляющаяся в согласованной межгодовой динамике ширины годичных колец у большинства деревьев. В годы с благоприятными климатическими условиями наблюдается одновременное увеличение прироста, тогда как в неблагоприятные

периоды фиксируется его общее снижение [10, 12]. Высокая синхронность межгодовой динамики прироста на данных участках свидетельствует о том, что рост деревьев, в первую очередь, определяется региональными климатическими условиями, тогда как влияние локальных особенностей местообитания остается второстепенным. Подобная картина характерна для насаждений с выраженным климатическим контролем роста, что неоднократно отмечалось в дендрохронологических исследованиях [11, 22].

Участки, расположенные на высотах 460–600 м, в целом, демонстрируют схожую динамику радиального прироста. Это закономерно, поскольку они находятся в сопоставимых лесорастительных условиях – северная экспозиция склонов умеренная крутизна (10–15%) создают относительно однородный экологический фон. Тем не менее, определенная вариабельность прироста между участками все же присутствует, что говорит о неодинаковой реакции отдельных древостоев на внешние воздействия. Принципиально иная ситуация наблюдается на участке БГ (940 м): здесь характер формирования прироста заметно выбивается из общей картины. По мере подъема в среднегорный пояс возрастает роль температурного режима в начале вегетативного периода, именно он становится основным фактором, лимитирующим рост деревьев. Это соответствует данным других исследований, в которых показано, что температурная лимитация хвойных пород закономерно усиливается с увеличением абсолютной высоты [13, 23].

Согласно данным таблицы 2, наиболее высокие значения межсерийной корреляции ($R_{\text{bar}} = 0,42$) и выраженного сигнала популяции ($\text{EPS} = 0,91$) зафиксированы на участке БГ на высоте 940 м, который относится ко II лесорастительному району.

При этом, наиболее устойчивая связь радиального прироста с климатическими параметрами выявлена на участке ЗАДО – это хорошо прослеживается на рисунках 4 и 5. Примечательно, что соседний участок Зим (580 м), расположенный на близкой высоте к участку ДО, ведет себя совершенно иначе: прирост деревьев здесь отличается выраженной асинхронностью. Причина, по всей видимости, кроется не в климате, а в биотических нарушениях – широком распространении стволовых гнилей и повреждениях насекомыми-вредителями, которые подавляют камбиальную активность и нарушают нормальный ход роста деревьев.

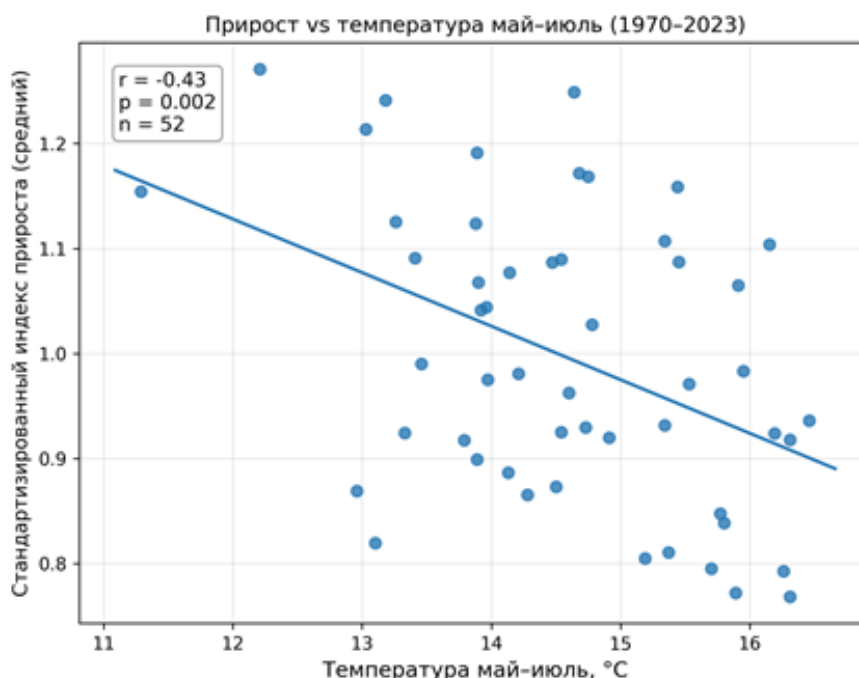


Рисунок 4 – Диаграмма корреляции прироста и температуры



Рисунок 5 – Диаграмма корреляции прироста и осадков

Подобные эффекты ранее отмечались в исследованиях, посвященных влиянию неклиматических факторов на вариабельность древесно-кольцевых рядов [22].

Результаты корреляционного анализа показали, что годовые суммы осадков не имеют статистически значимой связи со стандартизированным индексом прироста ($r = -0,09$; $p = 0,536$), тогда как среднегодовая температура демонстрирует значимую отрицательную корреляцию ($r = -0,34$; $p = 0,012$). Корреляционный анализ проводился за период 1970–2023 гг. – период перекрытия древесно-кольцевых хронологий с инструментальными данными метеостанции г. Риддер. Несмотря на то, что климатические данные доступны по 2025 г., хронологии охватывают период по 2023 г. включительно, что и определило конечную границу анализа. Результаты по всем четырём площадям в разбивке по сезонам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между стандартизированными индексами прироста и климатическими переменными за период 1970–2025 гг. ($n = 55$).

Площадь	Тср.год	Твесна (апр–июнь)	Тлето (июл–авг)	Рср.год	Рзима (дек–фев)
Зим (550 м)	–0,11	–0,14	–0,08	–0,07	+0,10
ДО (580 м)	–0,19	–0,22	–0,17	–0,09	+0,18
ЗаДО (580 м)	–0,34**	–0,29*	–0,21	–0,09	+0,27*
БГ (940 м)	–0,31*	–0,33**	–0,19	+0,12	+0,30*

Примечание: * – значения, достоверные при $p < 0,05$ (значение значимо с вероятностью ошибки менее 5%); ** – $p < 0,01$ (значение значимо с вероятностью ошибки менее 1%, более строгий критерий).

Статистически значимая отрицательная корреляция прироста со среднегодовой температурой выявлена только на участках ЗаДО ($r = -0,34$; $p < 0,01$) и БГ ($r = -0,31$; $p < 0,05$). На участках Зим и ДО значения r не достигают порога значимости ($|r| < 0,266$), что обусловлено высоким биотическим шумом, маскирующим климатический сигнал. Таким образом, говорить об усилении температурного лимитирования в масштабе всего исследованного высотного профиля преждевременно – значимый температурный отклик пока фиксируется лишь на двух из четырёх площадей.

Сезонная декомпозиция показывает, что наиболее выраженная отрицательная связь с температурой приходится на весенний период (апрель–июнь): $r = -0,29$ для ЗаДО и $r = -0,33$ для БГ ($p < 0,05-0,01$). Летние температуры (июль–август) на всех площадях дают недостоверные коэффициенты корреляции, что указывает на незначительную роль летней теплообеспеченности в формировании прироста. Годовые суммы осадков не имеют значимой связи ни на одном из участков ($|r| \leq 0,12$), тогда как зимние осадки (декабрь–февраль) демонстрируют статистически значимую положительную корреляцию на участке БГ ($r = +0,30$; $p < 0,05$) и умеренную на ЗаДО ($r = +0,27$; $p < 0,05$), что подтверждает роль снежного покрова в формировании запасов почвенной влаги к началу вегетации на среднегорных участках [12, 24, 25].

Примечательно, что соседний участок Зим, расположенный на близкой высоте (580 м н.у.м.) с участком ДО, демонстрирует принципиально иную картину: радиальный прирост здесь отличается выраженной асинхронностью. По всей видимости, это обусловлено не климатическими, а биотическими факторами – широким распространением стволовых гнилей и повреждениями насекомыми-вредителями, которые подавляют камбиальную активность и нарушают нормальный ход роста деревьев.

Полученные результаты согласуются с данными о повышенной чувствительности хвойных пород к ранневесенним условиям увлажнения и теплообеспеченности в континентальных регионах Евразии [26, 27].

В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что реакция древостоев на климатические факторы существенно изменяется с высотой и определяется сочетанием температурного режима, влагообеспеченности и локальных условий местообитания. Выявленные различия подтверждают необходимость учёта высотной поясности и состояния древостоев при уточнении лесорастительного районирования, поскольку даже при перепаде высот порядка 350–400 м наблюдаются значительные изменения в характере формирования радиального прироста и степени его климатической обусловленности [11, 23].

Связь между индексом прироста (TRW std) и годовой суммой осадков оказалась статистически незначимой на всех площадях ($r = -0,07...-0,12$; $p > 0,05$), что свидетельствует об отсутствии выраженного увлажнительного лимитирования в годовом масштабе. Для оценки долгосрочной динамики прироста проведён линейный регрессионный анализ нестандартизированных рядов ширины годичных колец за период 1970–2023 гг. На участке БГ (940 м) выявлен статистически значимый отрицательный тренд ($b = -0,007$ мм/год; $t = -2,14$; $p = 0,037$), что указывает на устойчивое снижение прироста за последние полвека. На участках ДО и ЗаДО тренд близок к нулю и недостоверен ($p > 0,1$), на участке Зим тренд отрицательный, но также недостоверен ($p = 0,08$), что частично объясняется высокой нерегулярной изменчивостью, обусловленной биотическими нарушениями.

На участках ДО и ЗаДО нет признаков сильного осушения почвы (аридной депрессии прироста) за последние десятилетия, что противоречит общим тенденциям осушения почв в Центральной Азии [9, 27]. Вероятно, это связано с микроклиматом на северных экспозициях и, возможно, изменениями поверхностных водотоков после старых вырубок.

Обсуждение

Сравнение статистических характеристик древесно-кольцевых хронологий (таблица 2) и графиков радиального прироста (рисунок 3) показывает, что динамика прироста *Abies sibirica* Ledeb. существенно варьирует в зависимости от высотной поясности. В среднегорном поясе прирост *Abies sibirica* Ledeb заметно сильнее реагирует на температурный режим по сравнению с низкогорными участками. Такая закономерность хорошо согласуется с результатами исследований на Алтае и в Южной Сибири [8, 10, 12], где установлено, что по мере подъема в горы температура становится все более значимым ограничивающим фактором роста деревьев.

В низкогорье картина иная: климатический сигнал в годичных кольцах выражен слабее, а межиндивидуальная изменчивость прироста заметно выше [22, 28]. Наиболее наглядно это проявляется на участке Зим, где синхронность древесно-кольцевых рядов нарушена. Судя по данным лесопатологического обследования (таблица 1), основная причина – биотические повреждения: поражение древостоев гнилями и активность стволовых вредителей. Такие

нарушения закономерно снижают согласованность роста между деревьями и маскируют их климатический отклик.

Сравнение полученных данных со схемой лесорастительного районирования Э.М. Северского показывает, что насаждения, отнесенные к одному и тому же району, могут существенно различаться, как по динамике прироста, так и по степени его климатической обусловленности. Иными словами, выделенные районы внутренне неоднородны, и эта неоднородность не отражена в действующих границах.

Наиболее отчетливо данное несоответствие проявляется на высотном переходе от низкогорья к среднегорью [12, 25]. Именно здесь меняется характер ростовой реакции деревьев и резко возрастает роль температурного лимитирования, что указывает на высотную поясность как один из главных факторов, определяющих климатическую чувствительность древостоев.

Все согласуется с современными представлениями о том, что в горных регионах пространственная неоднородность роста хвойных пород в значительной мере определяется сменой лимитирующих факторов вдоль высотного градиента [11, 24]. Следовательно, при дендроклиматическом анализе необходимо учитывать как высотное положение насаждений, так и их текущее лесопатологическое состояние.

Заключение

Проведенное дендрологическое исследование показало, что радиальный прирост *Abies sibirica* Ledeb. в Юго-Западном Алтае существенно зависит от высотного положения насаждений. Древостой нижнего яруса (550–600 м) и среднегорного пояса (свыше 900 м) демонстрируют достоверно различающуюся климатическую чувствительность: на среднегорном участке БГ (940 м) выявлена значимая отрицательная корреляция прироста с весенней ($r = -0,33$) и среднегодовой ($r = -0,31$) температурой, а также значимая положительная связь с зимними осадками ($r = +0,30$), тогда как на низкогорных участках ни один из этих показателей не достигает порога статистической значимости. Выявленные количественные различия в климато-ростовых связях свидетельствуют о том, что высотная поясность является ключевым фактором, определяющим характер лимитирования радиального прироста *Abies sibirica* Ledeb., и это необходимо учитывать при актуализации схем лесорастительного районирования.

Подтверждено, что современные границы лесорастительных районов, определенные Э.М. Северским, требуют корректировки. Географического разделения недостаточно, поскольку необходимо учитывать высотную поясность, как ключевой фактор изменчивости климатической чувствительности и продуктивности древостоев.

Выявлено, что низкогорье сильно искажает климатический сигнал, заложенный в ежегодных кольцах из-за патологий (корневые и стволовые гнили, вредители). Это ограничивает использование таких древостоев для климатических реконструкций, но делает их ценными индикаторами для лесопатологического мониторинга и функционального районирования.

Вклад авторов

ДӨ: определение цели исследования, организация и проведение работы в полевых условиях, обработка дендрохронологических данных, подготовка и написание рукописи. АК: руководство исследованием, разработка идейной концепции работы, научное редактирование текста. АК: консультирование по вопросам лесорастительных зон и участие в анализе полученных результатов. СР: сбор материалов для исследования и участие в интерпретации полученных данных.

Список литературы

- 1 Калачев, А.А. (2020). *Пихтовые леса юго-западного Алтая и их рациональное использование*. Арыс.
- 2 Гудочкин, М.В., Чабан, П.С. (1958). *Леса Казахстана*. КазГосиздат.
- 3 Fritts, H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.
- 4 Vaganov, E.A., Hughes, M.K., Shashkin, A.V. (2006). *Growth dynamics of conifer tree rings*. Springer.

- 5 Северский, Э.М. (1971). *Руководство для определения типов лесорастительных условий и лесорастительного районирования темнохвойных лесов Рудного Алтая.*
- 6 Куминова, А.В. (1960). *Растительный покров Алтая.* СО АН СССР.
- 7 Назимова, Д.И. (1968). Лесорастительное районирование Западного Саяна. *Лесоведение*, 4, 15–24.
- 8 Шиятов, С.Г., Ваганов, Е.А., Кирдянов, А.В., Круглов, В.Б., Мазепа, В.С., Наурзбаев, М.М., Хантемиров, Р.М. (2000). *Методы дендрохронологии* (Ч. I). КрасГУ.
- 9 Babushkina, E.A., Zhirnova, D.F., Belokopytova, L.V., Tychkov, I.I., Vaganov, E.A., Krutovsky, K.V. (2019). Response of four tree species to changing climate in a moisture-limited area of South Siberia. *Forests*, 10(11), 999. <https://doi.org/10.3390/f10110999>
- 10 Sidorova, O.V., Siegwolf, R., Saurer, M., Naurzbaev, M.M., Shashkin, A.V., Vaganov, E.A. (2010). Spatial patterns of climatic changes in the Eurasian north reflected in Siberian larch tree-ring parameters and stable isotopes. *Global Change Biology*, 16(3), 1003–1018. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02008.x>
- 11 Chen, F., Yuan, Y., Wei, W., Yu, S., Zhang, T. (2012). Climatic response of ring-width and maximum latewood density of *Larix sibirica* in the Altay Mountains, Xinjiang. *Journal of Arid Environments*, 83, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.013>
- 12 Zhou, P., Huang, J.-G., Liang, H., Rossi, S., Bergeron, Y., Shishov, V.V., Jiang, S., Kang, J., Zhu, H., Dong, Z. (2021). Radial growth of *Larix sibirica* was more sensitive to climate at low than high altitudes in the Altai Mountains, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 304–305, 108392. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108392>
- 13 Kang, J., Jiang, S., Tardif, J.C., Liang, H., Zhang, S., Li, J., Yu, B., Bergeron, Y., Rossi, S., Wang, Z., Zhou, P., Huang, J.-G. (2021). Radial growth responses of two dominant conifers to climate in the Altai Mountains, Central Asia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 298–299, 108297. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108297>
- 14 D'Arrigo, R., Wilson, R., Liepert, B., Cherubini, P. (2008). On the divergence problem in northern forests. *Global and Planetary Change*, 60, 289–305. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.004>
- 15 Lopatin, E., Kolström, T., Spiecker, H. (2008). Impact of climate change on radial growth of Siberian spruce and Scots pine in North-western Russia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 1, 13–21. <https://doi.org/10.3832/ifer0447-0010013>
- 16 Ваганов, Е.А., Терсков, И.А. (1977). *Анализ роста дерева по структуре годовичных колец.* Наука.
- 17 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. <https://doi.org/10.12657/denbio.078.010>
- 18 Rinn, F. (2003). TSAP-Win: *Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications* (Version 0.55). Rinntech.
- 19 Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.
- 20 Grissino-Mayer, H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221.
- 21 Buras, A. (2017). A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia*, 44, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.005>
- 22 Akkemik, Ü., Köse, N., Kopabayeva, A., Mazarzhanova, K. (2020). October–July precipitation reconstruction for Burabai region since 1744. *International Journal of Biometeorology*, 64, 803–813. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01870-8>
- 23 Babushkina, E.A., Belokopytova, L.V., Zhirnova, D.F., Vaganov, E.A. (2016). Climate–growth relationships of conifer trees in Siberia. *Dendrochronologia*, 39, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.04.001>
- 24 Kharuk, V.I., Petrov, I.A., Shushpanov, A.S., Ondar, S.O. (2024). Siberian pine and larch response to warming-drying climate in the southern boundary of their range. *Forests*, 15(6), 1054. <https://doi.org/10.3390/f15061054>
- 25 Jiang, S., Liang, H., Zhou, P., Wang, Z., Zhu, H., Kang, J., Huang, J.-G. (2021). Spatial and temporal differences in the response of *Larix sibirica* to climate change in the central Altai Mountains. *Dendrochronologia*, 67, 125827. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125827>

26 Shestakova, T.A., Gutiérrez, E., Kirdyanov, A.V., Camarero, J.J., Génova, M., Knorre, A.A., Linares, J.C., Resco de Dios, V., Sánchez-Salguero, R., Voltas, J. (2019). Forests synchronize their growth in response to climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 116(52), 25786–25791. <https://doi.org/10.1073/pnas.1905158116>

27 IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.

28 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. *Biology*, 12(4), 604. <https://doi.org/10.3390/biology12040604>

References

1 Kalachev, A.A. (2020). *Pikhtovye lesa yugo-zapadnogo Altaya i ikh racional'noe ispol'zovanie*. Arys. [in Russ].

2 Gudochkin, M.V., Chaban, P.S. (1958). *Lesa Kazakhstana*. KazGosizdat. [in Russ].

3 Fritts, H.C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.

4 Vaganov, E.A., Hughes, M.K., Shashkin, A.V. (2006). *Growth dynamics of conifer tree rings*. Springer.

5 Severskiy, E.M. (1971). *Rukovodstvo dlya opredeleniya tipov lesorastitel'nykh usloviy i lesorastitel'nogo rayonirovaniya temnokhvoynykh lesov Rudnogo Altaya*. [in Russ].

6 Kuminova, A.V. (1960). *Rastitel'nyy pokrov Altaya*. SO AN SSSR. [in Russ].

7 Nazimova, D.I. (1968). Lesorastitel'noe rayonirovanie Zapadnogo Sayana. *Lesovedenie*, (4), 15–24. [in Russ].

8 Shiyatov, S.G., Vaganov, E.A., Kirdyanov, A.V., Kruglov, V.B., Mazepa, V.S., Naurzbaev, M.M., Khantemirov, R.M. (2000). *Metody dendrokronologii (Part I)*. KrasGU. [in Russ].

9 Babushkina, E.A., Zhirnova, D.F., Belokopytova, L.V., Tychkov, I.I., Vaganov, E.A., Krutovsky, K.V. (2019). Response of four tree species to changing climate in a moisture-limited area of South Siberia. *Forests*, 10(11), 999. <https://doi.org/10.3390/f10110999>

10 Sidorova, O.V., Siegwolf, R., Saurer, M., Naurzbaev, M.M., Shashkin, A.V., Vaganov, E.A. (2010). Spatial patterns of climatic changes in the Eurasian north reflected in Siberian larch tree-ring parameters and stable isotopes. *Global Change Biology*, 16(3), 1003–1018. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02008.x>

11 Chen, F., Yuan, Y., Wei, W., Yu, S., Zhang, T. (2012). Climatic response of ring-width and maximum latewood density of *Larix sibirica* in the Altay Mountains, Xinjiang. *Journal of Arid Environments*, 83, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.013>

12 Zhou, P., Huang, J.-G., Liang, H., Rossi, S., Bergeron, Y., Shishov, V.V., Jiang, S., Kang, J., Zhu, H., Dong, Z. (2021). Radial growth of *Larix sibirica* was more sensitive to climate at low than high altitudes in the Altai Mountains, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 304–305, 108392. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108392>

13 Kang, J., Jiang, S., Tardif, J.C., Liang, H., Zhang, S., Li, J., Yu, B., Bergeron, Y., Rossi, S., Wang, Z., Zhou, P., Huang, J.-G. (2021). Radial growth responses of two dominant conifers to climate in the Altai Mountains, Central Asia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 298–299, 108297. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108297>

14 D'Arrigo, R., Wilson, R., Liepert, B., Cherubini, P. (2008). On the divergence problem in northern forests. *Global and Planetary Change*, 60, 289–305. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.004>

15 Lopatin, E., Kolström, T., Spiecker, H. (2008). Impact of climate change on radial growth of Siberian spruce and Scots pine in North-western Russia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 1, 13–21. <https://doi.org/10.3832/for0447-0010013>

16 Vaganov, E.A., Terskov, I.A. (1977). *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets*. Nauka. [in Russ].

17 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. <https://doi.org/10.12657/denbio.078.010>

18 Rinn, F. (2003). *TSAP-Win: Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications (Version 0.55)*. Rinntech.

- 19 Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.
- 20 Grissino-Mayer, H.D. (2001). Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221.
- 21 Buras, A. (2017). A comment on the expressed population signal. *Dendrochronologia*, 44, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.005>
- 22 Akkemik, Ü., Köse, N., Kopabayeva, A., Mazarzhanova, K. (2020). October–July precipitation reconstruction for Burabai region since 1744. *International Journal of Biometeorology*, 64, 803–813. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01870-8>
- 23 Babushkina, E.A., Belokopytova, L.V., Zhirnova, D.F., Vaganov, E.A. (2016). Climate–growth relationships of conifer trees in Siberia. *Dendrochronologia*, 39, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.04.001>
- 24 Kharuk, V.I., Petrov, I.A., Shushpanov, A.S., Ondar, S.O. (2024). Siberian pine and larch response to warming-drying climate in the southern boundary of their range. *Forests*, 15(6), 1054. <https://doi.org/10.3390/f15061054>
- 25 Jiang, S., Liang, H., Zhou, P., Wang, Z., Zhu, H., Kang, J., Huang, J.-G. (2021). Spatial and temporal differences in the response of *Larix sibirica* to climate change in the central Altai Mountains. *Dendrochronologia*, 67, 125827. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125827>
- 26 Shestakova, T.A., Gutiérrez, E., Kirilyanov, A.V., Camarero, J.J., Génova, M., Knorre, A.A., Linares, J.C., Resco de Dios, V., Sánchez-Salguero, R., Voltas, J. (2019). Forests synchronize their growth in response to climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 116(52), 25786–25791. <https://doi.org/10.1073/pnas.1905158116>
- 27 IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- 28 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. *Biology*, 12(4), 604. <https://doi.org/10.3390/biology12040604>

Оңтүстік-Батыс Алтайдың қараңғы қылқан жапырақты ормандарын орман өсірулік аудандастыруды дендрохронологиялық негізде верификациялау

Әбуова Д.Қ., Курманғожин А.Ж., Калачев А.А., Роговский С.В.

Түйін

Алғышарттар және мақсат. Рудный Алтайдың қарақылқанды ормандарының орманөсімдік аудандары 1971 жылы Э.М. Северский тарапынан геоботаникалық, топырақтық және орографиялық критерийлер негізінде анықталған. Соңғы 50 жыл ішінде аймақтың климаттық жағдайларының өзгеру үрдісі байқалады, бұл орманөсімдік аудандарының бұрын белгіленген шекараларына қатысты жылжуына әкелуі мүмкін. Зерттеудің мақсаты - *Abies sibirica* Ledeb. ағашының радиалды өсімінің динамикасын орманөсімдік аудандары шегінде анықтау және дендрохронологиялық талдау арқылы олардың биіктік профилі бойынша кеңістіктік біртектілігін тексеру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу II, III және V орманөсімдік аудандары шегінде орналасқан төрт үлгілік алаңда, теңіз деңгейінен 550 және 940 м биіктіктерде жүргізілді. Ағаш үлгілері алынды, айкаспалы даталау жүргізілді, жылдық сақиналар қатарлары стандартталды және синхрондылық көрсеткіштері R_{бар} мен EPS есептелді. 1970–2025 жылдар аралығындағы климаттық деректермен өсім индексінің корреляциялық талдауы жүргізілді.

Нәтижелер. Радиалды өсімде биіктікке байланысты айырмашылықтар анықталды. Орта таулы алаң (940 м, II аудан) EPS көрсеткішінің ең жоғары мәнімен (0.91) және орташа жылдық температурамен теріс корреляциясымен сипатталады ($p < 0.05$). Төмен таулы алаңдар (V аудан) жоғары синхрондылықты және климаттық факторларға төмен сезімталдықты көрсетеді. Бұл айырмашылықтар орманөсімдік аудандары шегіндегі орман алқаптарының біртекті еместігін көрсетеді.

Кілт сөздер: *Abies sibirica* Ledeb.; дендрохронология; орман өсірулік аудандастыру; радиалдық өсім; Оңтүстік-Батыс Алтай; биіктік белдеулік.

Dendrochronological Verification of Forest Site Regionalization in the Dark Coniferous Forests of Southwestern Altai

Abuova D.K., Kurmangozhinov A.Zh., Kalachev A.A., Rogovskiy S.V.

Abstract

Background and Aim. The forest-growth regions of the dark coniferous forests of the Rudny Altai were identified by E.M. Seversky in 1971 based on geobotanical, soil, and orographic criteria. Over the past 50 years, climatic conditions in the region have tended to change, which may lead to shifts in forest-growth regions relative to previously established boundaries. The objective of this study is to assess the dynamics of radial growth of *Abies sibirica* Ledeb. within forest growing regions and to verify their spatial homogeneity along the altitudinal profile using dendrochronological analysis.

Materials and methods. The study was conducted at four sample plots located within forest-growth regions II, III, and V at elevations of 550 and 940 m above sea level. Wood samples were collected, cross-dated, and standardized tree-ring series were obtained, and synchronization statistics (Rbar and EPS) were calculated. Correlation analysis between growth indices and climatic data for the period 1970-2025 was performed.

Results. Differences in radial growth along the altitudinal gradient were identified. The middle-mountain plot (940 m, region II) was characterized by the highest EPS values (0.91) and a negative correlation with mean annual temperature ($p < 0.05$). The low-mountain plots (region V) show higher synchronization and lower sensitivity to climatic factors. These differences indicate the heterogeneity of forest stands within the boundaries of the forest-growth regions.

Keywords: *Abies sibirica* Ledeb.; dendrochronology; forest site regionalization; radial growth; Southwestern Altai; altitudinal zonation.