

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СОСТОЯНИЕ И РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ КЕДРА СИБИРСКОГО (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) В КЕДРОВНИКАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

Н.М. Дебков

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, д. 10/3

nikitadebkov@yandex.ru

Представлены результаты исследования состояния и динамики радиального прироста кедр сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в кедровниках Северо-Восточного Алтая вблизи Телецкого озера. Всего было заложено 10 пробных площадей и взято 100 образцов кернов. Глубина дендрохронологических рядов составила до 300 лет. Исследованиями охвачены 4 типа возрастных структур в разных частях лесного пояса гор, от черневого до субальпийского поясов. Показано, что древостои здоровые и не имеют патологического отпада, за исключением повреждения пихтового элемента леса уссурийским полиграфом (*Polygraphus proximus* Blandford). Установлено поражение кедровников сердцевинными гнилями (около 90 %), что выявлено в среднем у 23 % деревьев. Сделан вывод о преимущественной буреломной естественной динамике кедровников, подтверждаемой преобладанием разновозрастных древостоев (60 %). Высказано мнение о том, что современное изменение климата, начиная с 1976 г., оказало исключительно положительное влияние на кедровники и привело к существенному увеличению продуктивности за счет усиленного радиального прироста стволов в насаждениях. Определено варьирование данного показателя в зависимости от типа возрастной структуры, причем в среднем прирост увеличился не менее чем в 2 раза и продолжает увеличиваться, чего ранее за все время роста изученных древостоев с радиальным приростом не происходило. При сохранении динамики влажного потепления климата состояние кедровых лесов не должно ухудшаться, и кедр должен сохранить свои позиции в целом с расширением ареала вверх по склонам гор.

**Ключевые слова:** изменение климата, Северо-Восточный Алтай, радиальный прирост, кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour)

**Ссылка для цитирования:** Дебков Н.М. Влияние изменения климата на состояние и радиальный прирост кедр сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в кедровниках Северо-Восточного Алтая // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 136–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-136-148

Современные глобальные процессы обуславливают изменения погодно-климатической системы практически во всех регионах мира [1–10]. Не является исключением и Российская Федерация [11–15], в частности Алтае-Саянский экорегион [16–18]. Здесь своим природным биоразнообразием выделяется Телецкое озеро и прилегающая к нему тайга — объекты всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Прителецкой тайге придает значимость ее значение как рефугиума.

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) при покровном оледенении, произошедшем около 18...20 тыс. лет тому назад, сохранился в многочисленных убежищах на юге Сибири, в

том числе в Горном Алтае вблизи Телецкого озера [19–22]. Важнейшей особенностью лесного фонда данного экорегиона является абсолютное доминирование кедровых лесов в подгольцовом и горно-таежном поясах и участие данного лесообразователя в качестве содоминанта в черневом подпоясе. Также на исключительно подходящие кедр сибирскому климатические условия указывает и тот факт, что на горячих, ветровалах и вырубках он зачастую выступает как древесная порода-пионер, что не характерно для него в других частях ареала и подтверждает ценность Прителецкой тайги для сохранения генетического разнообразия кедр сибирского [23–25].

Это обстоятельство определяет и крайне успешное, даже без проведения комплекса агротехнических и лесоводственных уходов, искусственное воспроизводство кедровников.

Т а б л и ц а 1

## Расположение пробных площадей

## Trial plots' location

| Номер пробной площади | Высота над уровнем моря, м | Пояс          | Участковое лесничество | Урочище   | Квартал | Выдел | Географические координаты |                |
|-----------------------|----------------------------|---------------|------------------------|-----------|---------|-------|---------------------------|----------------|
|                       |                            |               |                        |           |         |       | Долгота (в. д.)           | Широта (с. ш.) |
| 1                     | 1039                       | Горно-таежный | Июгачское              | Телецкое  | 78      | 2     | 87,42350178°              | 51,65108376°   |
| 2                     | 1002                       | «—»           | «—»                    | «—»       | 62      | 9     | 87,42135279°              | 51,65761179°   |
| 3                     | 1478                       | «—»           | «—»                    | Июгачское | 97      | 23    | 87,38527783°              | 51,56791805°   |
| 4                     | 1465                       | «—»           | «—»                    | «—»       | 97      | 18    | 87,3842485°               | 51,56827804°   |
| 5                     | 1529                       | Субальпийский | Пыжинское              | Пыжинское | 127     | 13    | 87,19555339°              | 51,54441827°   |
| 6                     | 1176                       | Горно-таежный | Июгачское              | Июгачское | 100     | 18    | 87,24905813°              | 51,55180691°   |
| 7                     | 899                        | Черневой      | «—»                    | «—»       | 105     | 36    | 87,24833117°              | 51,52014049°   |
| 8                     | 1029                       | Горно-таежный | «—»                    | «—»       | 147     | 22    | 87,35281894°              | 51,46334910°   |
| 9                     | 769                        | Черневой      | «—»                    | «—»       | 71      | 2     | 87,26464106°              | 51,64033173°   |
| 10                    | 1081                       | Горно-таежный | «—»                    | «—»       | 107     | 1     | 87,26555854°              | 51,55322653°   |

## Цель работы

Цель работы — изучение актуального состояния кедровников и динамики их роста за последние 300 лет, оценка влияния на них глобальных изменений климата.

## Материалы и методы

Полевые работы выполнялись на территории Июгачского и Пыжинского участковых лесничеств Телецкого лесничества (табл. 1) с учетом высотной поясности. Основная часть пробных площадей (ПП) заложена в горно-таежном поясе, где располагается большая часть кедровников.

В настоящей работе использована специальная шкала [26], согласно которой по морфологическим показателям кроны и ствола дерева можно отнести к шести группам. Первые четыре из них характеризуют состояние от абсолютно жизнеспособных деревьев через промежуточные стадии ослабления до погибающих, а последние две группы, детерминируют отпад по времени на текущий (годовой) и отпад прошлых лет.

Для оценки динамических параметров состояния древостоя применялся такой показатель, как «виталитетный спектр» [27], согласно которому в текущем моменте определяется группирование деревьев по жизненному потенциалу, что, в свою очередь, дает возможность прогнозировать развитие патологических процессов в насаждениях на перспективу, как правило, кратко- и среднесрочную.

В общепринятой практике лесозащиты основным параметром здоровья лесных насаж-

дений является средневзвешенная категория состояния деревьев в древостое (СКС) [28]. В зависимости от соотношения групп деревьев с разным состоянием насаждения относятся к пяти классам: от жизнеспособных древостоев через постепенный ряд ослабления до погибших.

Пробные площади размером 50×20 м отбивались по буссоли Suunto с промером линий нитевым измерительным устройством Haglof. Все деревья с диаметром стволов от 6 см были пронумерованы, номера нанесены на стволы краской. К закладываемым ПП предъявлялись требования как к постоянным пунктам наблюдения: наличие не менее 30 деревьев, у которых мерной лентой был измерен диаметр ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли, дана оценка состояния по утвержденной 6-бальной шкале (с учетом гнилей, вредителей, габитуса). У 10 деревьев была измерена высота с помощью электронного высотомера Nikon Forestry Pro и взяты керны буравом Haglof для определения возраста и радиального прироста, измерена протяженность и диаметр кроны крономером Кондратьева, рассчитаны густота древостоя и полнота с помощью цепного реласкопа, а также другие таксационные показатели (в том числе, характеристика живого напочвенного покрова и подроста).

Измерение ширины древесных колец проводилось с помощью комплекса LINTAB-5 с пакетом компьютерных программ TSAP с точностью до 0,01 мм [29].

Протяженность кроны по стволу более 50 % считалась высокой, 40...50 % — средней, менее 40 % — низкой. Диаметр кроны более 3,5 м считалась широкой, 2,5...3,5 м — средней,

Т а б л и ц а 2

## Таксационная характеристика обследованных древостоев

## Tree stands' characteristics of the trial plots

| Номер пробной площади | Состав древостоя | Диаметр ствола, см | Высота дерева, м | Полнота            |     | Класс бонитета | Средний возраст | Тип леса                                  | Протяженность кроны кедра |        | Диаметр кроны кедра |        |
|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----|----------------|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------|--------|---------------------|--------|
|                       |                  |                    |                  | м <sup>2</sup> /га | ед. |                |                 |                                           | м                         | %      | м                   | %      |
| 1                     | 9К               | 62,3 ± 5,1         | 29,8 ± 2,1       | 67,48              | 1,2 | II             | 217,5           | Чернично-папоротниковый                   | 17,1 ± 1,5                | 58 ± 4 | 3,4 ± 0,1           | 12 ± 1 |
|                       | 1П               | 16,3 ± 2,5         | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 6,7                | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 2                     | 8К               | 42,0 ± 7,5         | 25,2 ± 2,5       | 47,05              | 0,9 | II             | 176,4           | Чернично-папоротниковый                   | 11,9 ± 1,4                | 47 ± 3 | 2,4 ± 0,2           | 9 ± 1  |
|                       | 2П               | 19,9 ± 1,8         | 21,0 ± 1,4       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 29,3               | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 3                     | 10К              | 35,6 ± 2,6         | 20,7 ± 1,7       | 63,47              | 1,3 | III            | 274,1           | Бадановый                                 | 9,7 ± 1,1                 | 47 ± 4 | 2,3 ± 0,2           | 11 ± 1 |
|                       | +П               | 13,4 ± 1,5         | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 4                     | 9К               | 64,5 ± 5,1         | 23,6 ± 1,4       | 64,74              | 1,3 | III            | 176,1           | Разнотравный                              | 11,3 ± 1,1                | 47 ± 3 | 3,0 ± 0,5           | 17 ± 1 |
|                       | 1П               | 21,9 ± 1,8         | 23,3 ± 0,3       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 5                     | 9К               | 42,9 ± 5,1         | 19,4 ± 1,1       | 37,15              | 0,8 | IV             | 141,6           | Чернично-разнотравный                     | 10,1 ± 0,9                | 52 ± 3 | 3,2 ± 0,4           | 16 ± 1 |
|                       | 1П               | 25,3 ± 1,7         | 22,4 ± 1,0       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 6                     | 9К               | 58,2 ± 5,3         | 30,0 ± 1,1       | 55,18              | 1,0 | II             | 173,2           | Осочково-черничный                        | 13,9 ± 1,1                | 46 ± 3 | 3,3 ± 0,3           | 11 ± 1 |
|                       | 1П               | 19,5 ± 1,2         | 16,3 ± 5,1       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Е            | 18,8               | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 7                     | 8К               | 49,2 ± 3,9         | 30,3 ± 1,6       | 46,52              | 0,8 | II             | 171,5           | Черничный влажный                         | 17,5 ± 1,8                | 57 ± 4 | 2,6 ± 0,3           | 8 ± 1  |
|                       | 1П               | 18,1 ± 1,3         | 21,6             |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | 1Е               | 16,8 ± 1,7         | 20,4 ± 3,6       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 12,0 ± 2,2         | 8,2              |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 8                     | 9К               | 44,7 ± 2,8         | 26,9 ± 1,3       | 84,18              | 1,5 | III            | 162,8           | Мелко-травно-черничный                    | 11,8 ± 0,9                | 44 ± 2 | 2,3 ± 0,3           | 9 ± 1  |
|                       | 1П               | 16,5 ± 1,2         | 22,3 ± 7,3       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | +Е               | 24,6 ± 10,0        | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 14,0 ± 2,8         | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 9                     | 9К               | 41,6 ± 3,7         | 26,2 ± 2,1       | 46,72              | 0,9 | III            | 128,4           | Крупно-травно-папоротниковый              | 11,8 ± 2,0                | 44 ± 6 | 3,5 ± 0,5           | 13 ± 1 |
|                       | 1П               | 22,0 ± 1,8         | 17,2 ± 1,2       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 19,7 ± 6,0         | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
| 10                    | 8К               | 45,8 ± 3,6         | 26,0 ± 1,0       | 48,46              | 0,9 | II             | 179,9           | Мелко-травно-мелкопапоротниково-черничный | 10,7 ± 0,8                | 41 ± 2 | 2,3 ± 0,3           | 9 ± 1  |
|                       | 2П               | 18,7 ± 1,2         | 18,1 ± 1,5       |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |
|                       | Ед. Б            | 16,2 ± 1,3         | —                |                    |     |                |                 |                                           |                           |        |                     |        |

менее 2,5 м — узкой. При густоте деревьев кедра более 250 шт./га древостой считался перегущенным, 120...250 шт./га — средней густоты, менее 120 шт./га — редким.

## Результаты и обсуждение

Обследованные лесные насаждения характеризуются доминированием кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в своем составе. В качестве основного содоминанта выступает пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Участие ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) снижено,

крайне редко отмечены береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth) (табл. 2). Полнота древостоев близка к максимальной для данных условий произрастания, что подтверждается II классом бонитета (т. е. высоким) у половины насаждений, а оставшаяся половина характеризуется средним показателем производительности.

Средний диаметр древостоев по всем ПП изменяется от ступени толщины 36 до 64 см, с модальным значением 40...44 см при варьировании средней высоты от 20 до 30 м. Типы леса отличаются вариативностью и разной долей

участия некоторых индикаторных растений, среди которых в 70 % насаждений присутствует черника, в 40 % — папоротники и лесное мелко- и разнотравье.

Низкоопущенные кроны у кедра сибирского отмечены у трети насаждений. Остальные кедровники имеют среднее значение этого показателя. Ширококронные деревья отмечены на ПП № 1 и № 9, а узкокронные — на ПП № 2 и № 3, на остальных ПП кроны деревьев имеют средний диаметр. Чаще всего число особей кедра сибирского варьирует в пределах 170...260 экз./га. Исключение составляет только две ПП, где оно превышает 400 экз./га.

Вертикальное строение древостоев гетерогенно, и четко выделяется основной полог из кедрового элемента леса. Промежуточный полог более разнообразен в видовом отношении и в его составе участвует содоминант пихта сибирская и в качестве примеси ель сибирская и береза повислая и береза пушистая. Также выделяется и подчиненный полог, который формируют все древесные породы, что обусловлено более или менее постоянным или периодическим процессом семеношения от материнских генеративных особей. Однако ввиду своего положения и постоянного недостатка солнечного света доля участия тех или иных древесных видов однозначно детерминирована степенью их теневыносливости, где признанным лидером является пихта сибирская.

Отмечено, что на отметках около 1500 м н. у. м. происходит гомогенизация ярусности и вместо трех, древостой подразделяется на два полога: основной и подчиненный, а промежуточный отсутствует. При этом подчиненный ярус имеет низкую плотность.

Природный (естественный) потенциал лесовозобновления имеется в 50 % обследованных древостоев (ПП №№ 2, 3, 7, 8, 10). Именно в них численность подроста предварительных генераций составляет около 1000 экз./га, что связано с доминированием в составе напочвенного покрова кустарничков (в первую очередь черники). Недостаточный потенциал естественного воспроизводства, отмеченный на других пробных площадях, обусловлен разрастанием напочвенного покрова с преобладанием трав. Видовой состав подроста представлен кедром сибирским и пихтой сибирской в соотношении 40/60 %.

Распространенность гнилей составляет 90 % среди обследованных кедровников. Несмотря на повсеместное развитие гнилевых процессов у кедра сибирского, непосредственно гнили, способные привести к бурелому в зависимости от характеристик насаждений (в первую очередь возрастных особенностей), варьируют

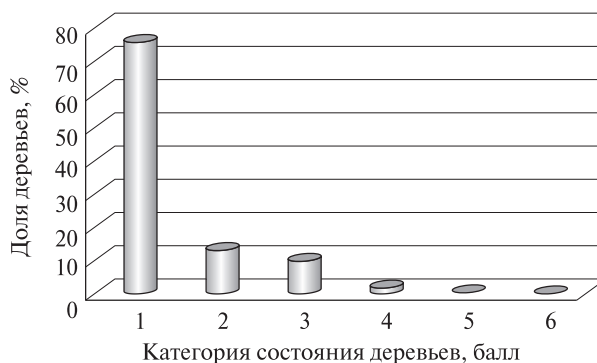


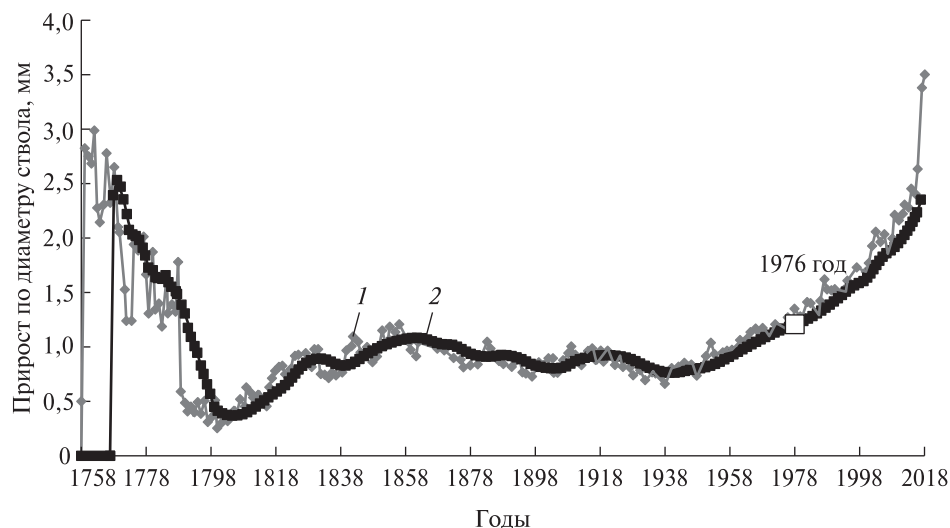
Рис. 1. Виталитетный спектр кедровых насаждений  
Fig. 1. The vital spectrum of Siberian pine stands

в пределах 12...37 % общего числа деревьев кедра в конкретном насаждении.

Подавляющее число изученных кедровников по средневзвешенной категории состояния оказались жизнеспособными (до 1,5 балла на ПП №№ 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, или 70 % (рис. 1). Остальные 30 % насаждений были признаны ослабленными (СКС от 1,5 до 2 балла). При этом разница в здоровых деревьях кедра у этих двух групп древостоев составляла от 12 до 16 %. Основной причиной ослабления были повреждение и ослабление сопутствующих пород, находящихся под основным пологом. Особенно сильно влияло на степень ослабления наличие пихты сибирской и ее пораженность полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandford).

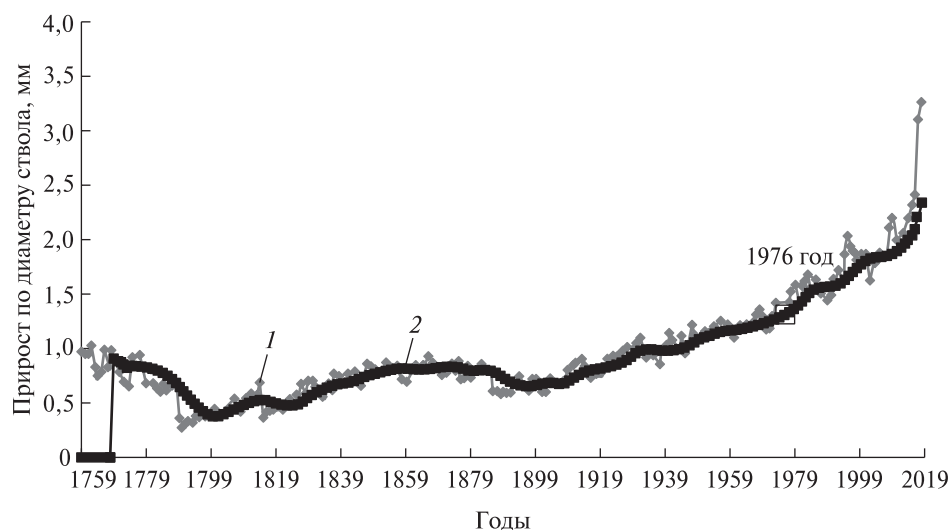
Установлено, что в 50 % изученных кедровников присутствовали деревья IV–VI категорий, т. е. погибающие и погибшие в прошлые годы. В другой половине древостоев патологические процессы отсутствовали. Протекание процессов отпада деревьев шло преимущественно (в 80 % случаев) за счет пихты сибирской в связи с инвазией уссурийского полиграфа и лишь в 20 % по кедру сибирскому.

При анализе возрастной структуры были выделены четыре типа кедровников: условно-однородные, абсолютно-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные и циклично-разновозрастные в соответствии с методикой И.С. Семечкина [30]. Условно-однородными древостоями было признано 40 % кедровников (ПП №№ 2, 6, 8, 10). Это самый распространенный тип возрастной структуры. Далее 30 % кедровников отнесены к циклично-разновозрастным с тремя-четырьмя поколениями деревьев (ПП №№ 3, 4, 9), 20 % — к ступенчато-разновозрастным с двумя поколениями деревьев (ПП №№ 5, 7) и 10 % (ПП № 1) — к абсолютно-разновозрастным.



**Рис. 2.** Рост по диаметру ствола в насаждениях с относительно одновозрастной структурой. Здесь и далее на рис. 3–5: 1 — фактический прирост; 2 — средний скользящий прирост (11 лет)

**Fig. 2.** Growth by trunk diameter in stands with a relatively uniform-aged structure. From here on in figs. 3–5: 1 — actual growth; 2 — average sliding growth (11 years)



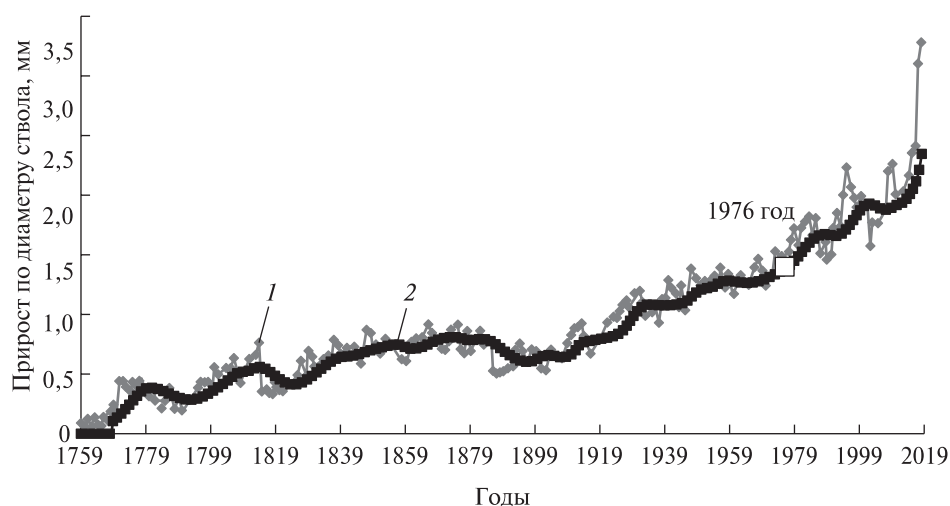
**Рис. 3.** Рост по диаметру ствола в насаждениях с абсолютно-разновозрастной структурой

**Fig. 3.** Growth by trunk diameter in stands with a completely uneven-aged structure

Согласно узкоспециализированным исследованиям [31–36] реперным годом изменения (потепления) климата в Алтае-Саянской горной стране принято считать 1976 г. Далее в анализе до 1976 г. прирост считается контрольным (фоновым), а с 1976 г. модифицированным (трансформированным) под влиянием глобальных изменений (потепления) климата.

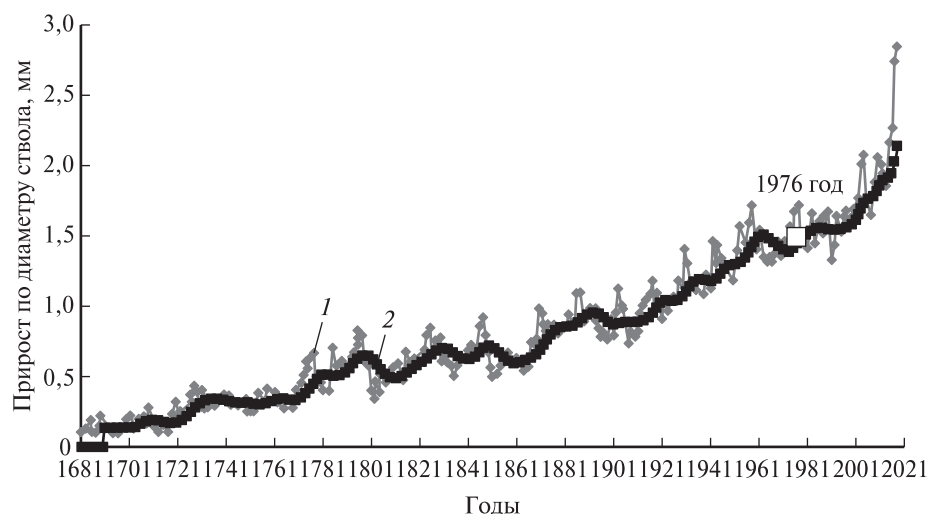
Из рис. 2 следует, что начиная с 1976 г. четко видно резкое увеличение прироста стволов кедра, выходящее за колебания показателя в предыдущие 170...180 лет (с момента оконча-

ния периода большого роста у молодых кедровников). Кривая прироста наглядно показывает характер динамики показателя в насаждениях, формирующихся из деревьев одного возраста, которые обладают максимальным приростом до фазы чащи (смыкания крон) и последующим резким падением прироста в фазу дифференциации деревьев с сопровождающимся естественным изреживанием древостоя. После этой фазы развития прирост стабилизируется. Если до 1976 г. прирост изменялся от 0,7 до 1,1 мм/год, то в последние 43 года он постоянно



**Рис. 4.** Рост по диаметру ствола в насаждениях со ступенчато-разновозрастной структурой

**Fig. 4.** Growth by trunk diameter in stands with a stepped uneven-aged structure



**Рис. 5.** Рост по диаметру ствола в насаждениях с циклично-разновозрастной структурой

**Fig. 5.** Growth by trunk diameter in stands with a cyclical, uneven-age structure

увеличивался с 1,1 до 2,4 мм/год, т. е. в 1,7 раза, и не останавливается до сих пор. Отметим, что зафиксированное потепление климата в начале XX в. и похолодание в середине XX в. [37] также отображено на кривой радиального прироста (см. рис. 2).

Из рис. 3 видно, что увеличение показателя пришлось на начало XX в. (когда наблюдалось потепление климата после малого ледникового периода), протекало постепенно с небольшим торможением в середине XX в. (климатологами было отмечено похолодание). Кривая прироста наглядно показывает сглаженный (выровненный) характер динамики показателя в наса-

ждениях, формирующихся из деревьев разного возраста. Если за 100 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост варьировал от 0,4 до 0,9 мм/год, то в последующее небольшое потепление, до середины XX в., он увеличивался планомерно с 0,7 до 1,1 мм, или в 1,4 раза. В период небольшого похолодания в середине XX в. прирост стабилизировался на отметке 1 мм/год и начал более выраженно увеличиваться с 1976 г. — с 1,3 до 2,4 мм/год, т. е. в 2,2 раза, и не останавливается до сих пор.

Из рис. 4 видно, что в общих чертах повторяется динамика радиального прироста деревьев кедра в древостоях с абсолютно-разновозрастной

Т а б л и ц а 3

**Статистические показатели радиального прироста (мм)  
у кедра сибирского до и после изменения климата**  
**Statistical data of radial growth of Siberian pine forests before and after climate change**

| Номер<br>пробной<br>площади | До 1976 г.      |      |      |      | После 1976 г.   |      |      |      |
|-----------------------------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
|                             | $M \pm m$       | min  | max  | $CV$ | $M \pm m$       | min  | max  | $CV$ |
| 1                           | $0,77 \pm 0,02$ | 0,23 | 1,48 | 39   | $1,81 \pm 0,06$ | 1,25 | 2,84 | 22   |
| 2                           | $1,22 \pm 0,03$ | 0,51 | 2,99 | 32   | $1,03 \pm 0,02$ | 0,83 | 1,61 | 16   |
| 3                           | $0,68 \pm 0,01$ | 0,16 | 1,52 | 34   | $1,14 \pm 0,03$ | 0,94 | 2,13 | 19   |
| 4                           | $1,16 \pm 0,02$ | 0,64 | 3,11 | 29   | $1,81 \pm 0,07$ | 1,23 | 3,32 | 26   |
| 5                           | $1,03 \pm 0,02$ | 0,20 | 1,63 | 30   | $1,91 \pm 0,04$ | 1,46 | 2,97 | 15   |
| 6                           | $1,13 \pm 0,02$ | 0,55 | 2,75 | 23   | $1,88 \pm 0,06$ | 1,41 | 3,29 | 20   |
| 7                           | $0,68 \pm 0,01$ | 0,27 | 1,26 | 24   | $1,65 \pm 0,07$ | 1,11 | 3,28 | 26   |
| 8                           | $0,83 \pm 0,02$ | 0,43 | 1,38 | 24   | $1,85 \pm 0,08$ | 1,18 | 3,89 | 28   |
| 9                           | $1,01 \pm 0,03$ | 0,20 | 2,06 | 45   | $1,93 \pm 0,05$ | 1,40 | 2,96 | 17   |
| 10                          | $1,03 \pm 0,02$ | 0,50 | 2,13 | 24   | $1,92 \pm 0,11$ | 1,06 | 3,68 | 36   |

*Примечание.*  $M \pm m$  — среднее значение с ошибкой;  $CV$  — коэффициент вариации, %

структурой. Увеличение этого показателя произошло в начале XX в., в период небольшого потепления климата после малого ледникового периода. Несколько затормозился прирост в период похолодания в середине XX в. Кривая прироста демонстрирует скачкообразный характер динамики показателя в периоды появления поколений в насаждениях, формирующихся из деревьев разных возрастных когорт. Если за 100 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост варьировал от 0,1 до 0,7 мм/год, то в последующее небольшое потепление до середины XX в. он увеличивался планомерно с 0,6 до 1,2 мм, или в 1,8 раза. В период небольшого похолодания середины XX в. он стабилизировался на отметке 1,2 мм/год, и начал более выраженно увеличиваться с 1976 г. с 1,4 до 2,3 мм/год, т. е. в 2,4 раза и не останавливается до сих пор.

Из рис. 5 видно, что в общих чертах повторяется динамика кедра в древостоях с абсолютно-разновозрастной и ступенчато-разновозрастной структурой. Увеличение показателя также произошло в начале XX в. в период небольшого потепления климата после малого ледникового периода, с небольшим падением прироста в период похолодания в середине XX в. Кривая прироста показывает скачкообразный характер динамики показателя в периоды появления поколений в насаждениях, формирующихся из деревьев разных возрастных когорт. Если за 170 лет роста в малом ледниковом периоде до 1850-х годов прирост колебался от 0,1 до 0,7 мм/год, то в последующее небольшое потепление до середины XX в. он увеличивался

планомерно с 0,6 до 1,3 мм, или в 2,2 раза. В период небольшого похолодания в середине XX в. он снизился и в среднем составил 1,4 мм/год, более выраженно начал увеличиваться с 1976 г. с 1,4 до 2,1 мм/год, т. е. в 2,4 раза, и не останавливается до сих пор.

Динамика радиального прироста по ПП (табл. 3) в целом подтверждает приведенные выше выводы. Из всех ПП только на ПП № 2 прирост снизился с 1,2 мм за период до 1976 г. до 0,8 мм в период наблюдаемого потепления климата. Вероятно, это связано с возрастной структурой древостоя, точнее с ее условной одновозрастностью. Это подтверждается более высокой реакцией на потепление климата у абсолютно-разновозрастных древостоев (в 2,35 раза), чем у условно одновозрастных (в 1,62 раза). Для циклично-разновозрастных и ступенчато-разновозрастных древостоев отмечены промежуточные результаты — в 1,72 и в 2,14 раза соответственно.

Наблюдается дифференциация в увеличении минимального и максимального прироста. Сравнение усредненного по всем ПП минимального прироста до и после 1976 г. показывает, что произошло увеличение данного показателя в 3,22 раза, в то время как максимальный прирост увеличился только в 1,48 раза, т. е. наращивание радиального прироста идет преимущественно за счет увеличения минимальных значений примерно в 2 раза больше, чем по максимальному приросту. При этом отмечается снижение коэффициента вариации радиального прироста в 1,74 раза, т. е. прирост стал более выровненным.

Изучение связи роста по диаметру ствола деревьев (среднего прироста) с максимальным и средним возрастом кедровников показал, что коэффициенты корреляции отрицательные и достоверные:  $-0,65 \pm 0,27$  ( $p = 0,04 \leq 0,05$ ) и  $-0,61 \pm 0,28$  ( $p = 0,05 \leq 0,05$ ). Связи среднего прироста насаждений и высоты н. у. м. ( $r = 0,03 \pm 0,35$ ,  $p = 0,93 \geq 0,05$ ) и высотной поясностью ( $r = -0,11 \pm 0,35$ ,  $p = 0,75 \geq 0,05$ ) отсутствуют, но коэффициенты корреляции недостоверны и требуется более масштабная выборка.

Данные о динамике радиального прироста кедровников в пределах Прителецкой тайги оказались достаточно климатически обусловленными. Несмотря на нетипичность использования в качестве объекта дендроклиматических исследований кедровников черневого, горно-таежного и субальпийского поясов, обладающих вертикальной и горизонтальной сомкнутостью полога и, соответственно, ярко выраженными фитоценоотическими взаимодействиями, все основные колебания радиального прироста были детерминированы вековыми колебаниями климата Алтае-Саянской горной страны. В частности, как показано в работе [38] на примере лиственницы сибирской, произрастающей на Алтае, похолодания первой половины XIX в., начала и середины XX в., также наблюдаются в дендрохронологических рядах кедр в исследованном районе. Более того, реконструкция климата методами дендрохронологии в Северной Канаде за 1000 лет [39], в общих чертах также подтверждает эти изменения климатической системы планеты в северных широтах.

Наблюдения за климатом на Алтае имеют давнюю историю и инструментальные измерения ведутся с конца XIX в. Отмеченные похолодания и потепления за последние 150–200 лет и их влияние на радиальный прирост древостоев позволили ученым, специализирующимся на дендроклиматических исследованиях на Алтае, сделать вывод о первостепенном влиянии на радиальный прирост именно температуры воздуха [40]. Наши данные также подтверждают этот вывод, но позволяют более детально рассмотреть механизм дендроклиматического отклика в разрезе возрастных структур насаждений кедр. Ранее в таком ключе влияние климата на радиальный прирост не рассматривалось. В частности, установлено, что отклик существенно выше в разновозрастных кедровниках по сравнению с одновозрастными — почти в 1,5 раза. Выявленное на примере лиственницы на Урале детерминирующее влияние локальных условий на динамику радиального прироста [41] в некоторой степени подтвердилось в виде отсутствия корреляции с высотной поясностью.

В то же время нельзя проигнорировать и полученные данные об отрицательной динамике прироста после 1976 г. на одной из ПП. Вероятно, как это было показано на примере лиственницы в лесостепном экотоне в Саянах [42] и дуба белого (*Quercus alba*) в США [43], наряду с температурой воздуха, лимитирующее влияние оказывает и фактор влажности, который размывает дендроклиматический отклик вплоть до нивелирования положительного действия температуры воздуха и даже приводит к ее отрицательному воздействию на радиальный прирост деревьев. Наглядно характер такого воздействия показан на примере редкостойных лиственничников на верхней границе леса на Алтае [44, 45].

В целом наблюдающееся с 1976 г. изменение (потепление) климата пока приводит к резкому увеличению радиального прироста кедровников. Такой эффект обусловлен практически неизменным уровнем увлажненности. Именно благодаря этому факту большая часть горных кедровников не снизила своего виталитета и находится в здоровом жизненном состоянии. Наблюдающиеся локальные стихийные природные явления типа буреломов и пожаров значимым образом не влияют на состояние кедровников. С учетом этого при сохранении тенденции «влажного потепления» серьезного снижения лесообразующего значения кедр в горах Алтая не ожидается.

## Выводы

Обследование кедровников в районе Телецкого озера выявило, что 40 % насаждений имеют условно-одновозрастную структуру и 60 % в различной степени разновозрастную. В зависимости от высотной поясности, характера и факторов лесообразования разновозрастность может быть непрерывной при развитии абсолютно-разновозрастных кедровников или прерывистой при развитии циклично- или ступенчато-разновозрастных кедровников.

В силу природных условий и фитоценоотических особенностей кедр и пихта ярко проявляют доминирующее лесообразующее значение, за исключением черневого пояса, практически не способна вытеснить кедр. В связи с этими особенностями на большинстве инструментально обследованных участков наблюдается четкая ярусная организация лесных сообществ.

Распространение гнилевых процессов отмечается в подавляющем количестве обследованных насаждений (90 %). Тем не менее критических размеров сердцевинные гнили достигают только у четверти деревьев кедр,

имеющих гниль. Это обуславливает незначительное распространение единичного бурелома в изученных насаждениях.

Наблюдающееся изменение (потепление) климата отражается на радиальном приросте кедровников, что приводит к резкому увеличению данного показателя, который достиг значений, ранее (за последние 300 лет) не отмеченных. Норма радиального прироста после 1976 г. увеличилась почти в 2 раза.

Наблюдается дифференциация в увеличении минимального и максимального прироста. Сравнение усредненного по всем ПП минимального прироста до и после 1976 г. показывает, что произошло увеличение данного показателя в 3,22 раза, в то время как максимальный прирост увеличился только в 1,48 раза, т. е. наращивание радиального прироста идет преимущественно за счет увеличения минимальных значений примерно в 2 раза больше, чем по максимальному приросту. При этом отмечается снижение коэффициента вариации радиального прироста в 1,74 раза, т. е. прирост стал более выровненным. Учитывая сохранение тенденции на «влажное потепление» серьезного снижения лесообразующей роли кедра в горах Алтая не ожидается.

*Исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ИМКЭС СО РАН, регистрационный номер проекта 1022042600048-9-1.5.1).*

## Список литературы

- [1] Budyko M.I. The future climate // *Eos*, 1972, v. 53, iss. 10, pp. 868–874. <https://doi.org/10.1029/EO053i010p00868>
- [2] Предстоящие изменения климата / под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израеля, М.С. Маккракена, А.Д. Хекта. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 271 с.
- [3] Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лугина К.М. Современное потепление // *Метеорология и гидрология*, 1993. № 7. С. 29–34.
- [4] Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, 2000. Вып. 167. С. 3–15.
- [5] Neville N. Climate: Sawyer predicted rate of warming in 1972 // *Nature*, 2007, no. 448 (7157), p. 992. <https://doi.org/10.1038/448992c>
- [6] Carter J.G. Climate change adaptation in European cities // *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, v. 3, no. 3, pp. 193–198.
- [7] Gea-Jae J., Ji Yoon K., Yuno D., Maurice L. Talking about Climate Change and Global Warming // *PLOS ONE*, 2015, v. 10, iss. 9, no. e0138996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138996>
- [8] Balsari S., Dresser C., Leaning J. Climate Change, Migration, and Civil Strife // *Curr Environ Health Rep.*, 2020, v. 7, iss. 4, pp. 404–414. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00291-4>
- [9] Glantz P., Fawole O.G., Ström J., Wild M., Noone K.J. Unmasking the Effects of Aerosols on Greenhouse Warming Over Europe // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*, 2022, v. 127, iss. 22, no. e2021JD035889. <https://doi.org/10.1029/2021JD035889>
- [10] Seltzer A.M., Blard P.-H., Sherwood S.C., Kageyama M. Terrestrial amplification of past, present, and future climate change // *Sci. Adv.*, 2023, v. 9, iss. 6, no. eadf8119. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf8119>
- [11] Порфирьев Б., Катцов В. Последствия изменений климата в России и адаптация к ним (оценка и прогноз) // *Вопросы экономики*, 2011. № 11. С. 94–108.
- [12] Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2020. Т. 1. С. 65–90.
- [13] Bogatov V.V., Baklanov P.Ya., Lozovskaya S.A., Shtets M.B. Climate change and health in the Russian Far East // *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 1(215), pp. 5–21.
- [14] Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
- [15] Danilchenko S.L. Climate change in Russia: historical dynamics // *Agrarian History*, 2022, no. 12, pp. 22–29.
- [16] Сухова М.Г., Русанов В.И. Климаты ландшафтов Горного Алтая и их оценка для жизнедеятельности человека. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 150 с.
- [17] Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад / Под ред. А.О. Кокорина. М.: WWF, 2011. 168 с.
- [18] Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // *Известия Алтайского государственного университета*, 2012. № 3(75). С. 147–152.
- [19] Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М.: Лесная пром-сть, 1983. 215 с.
- [20] Кедровые леса Сибири / под ред. А.С. Исаева. Новосибирск: Наука, 1985. 257 с.
- [21] Крылов Г.В., Шмонов А.М. Сибирский кедр. Кемерово: Книжное изд-во, 1985. 127 с.
- [22] Данченко А.М., Бех И.А. Кедровые леса Западной Сибири. Томск: Томский государственный ун-т, 2010. 421 с.
- [23] Титов Е.В. Реализация селекционной программы кедрового на семенную продуктивность в Горном Алтае // *Хвойные бореальной зоны*, 2010. Т. 27. № 1–2. С. 194–198.
- [24] Ильичев Ю.Н. Генетико-селекционные объекты кедрового сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в Республике Алтай: структура, стратегия совершенствования и использования // *Хвойные бореальной зоны*, 2012. Т. 30. № 1–2. С. 87–91.
- [25] Петрова Е.А., Горошкевич С.Н., Белоконов М.М., Белоконов Ю.С., Политов Д.В. Генетическое разнообразие кедрового сибирского *Pinus sibirica* Du Tour: распределение вдоль широтного и долготного профилей // *Генетика*, 2014. Т. 50. № 5. С. 538.

- [26] Алексеев И.А., Гусева О.Н., Курненко И.П., Чешуин Е.Н. Интегрированная система защиты леса. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2013. 416 с.
- [27] Ярмишко В.Т., Горшков В.В., Ставрова Н.И. Виталитетная структура *Pinus sylvestris* L. в лесных сообществах с разной степенью и типом антропогенной нарушенности // Растительные ресурсы, 2003. Т. 39, Вып. 4. С. 1–18.
- [28] Тузова В.К. Методы мониторинга вредителей и болезней леса. М.: ВНИИЛМ, 2004. 200 с.
- [29] Rinn F. TSAP V3.5. Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
- [30] Семечкин И.В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.
- [31] Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования, 2007. № 2. С. 14–18.
- [32] Сыромятина М.В. Современные изменения климата и элементов высотной поясности ландшафтов Алтая: авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2010. 18 с.
- [33] Ротанова И.Н., Харламова Н.Ф., Останин О.В. Изменения климата Алтая за период инструментальных исследований // Известия Алтайского государственного университета, 2012. Вып. 2. № 3. С. 105–109.
- [34] Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // Известия Алтайского государственного университета, 2012. Вып. 3. № 1. С. 147–152.
- [35] Кочеева Н.А., Егисман А.И. Особенности временного хода отклонений температуры воздуха от средних показателей в Республике Алтай // Вестник российских университетов. Математика, 2013. Вып. 18. № 2. С. 635–638.
- [36] Чередыко Н.Н., Журавлев Г.Г., Кусков А.И. Оценка современных климатических тенденций и синхронности их проявления в Алтайском регионе // Вестник Томского государственного университета, 2014. № 379. С. 200–208.
- [37] Овчинников Д.В. Реконструкция изменений климата гор Алтая дендрохронологическими методами: авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2002. 18 с.
- [38] Бочаров А.Ю., Савчук Д.А. Динамика радиального роста и плодоношения деревьев кедра и лиственницы на Южно-Чуйском хребте (Горный Алтай) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2015. № 14. С. 398–402.
- [39] Payette S., Filion L., Delwaide A., Bégis C. Reconstruction of tree-line vegetation response to long-term climate change // Nature, 1989, no. 341, pp. 429–432. <https://doi.org/10.1038/341429a0>
- [40] Бочаров А.Ю. Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай) // Журнал Сибирского федерального университета. Серия Биология, 2009. Т. 2. № 1. С. 30–37.
- [41] Кирдянов А.В., Силкин П.П., Кнорре А.А., Круглов В.Б. Региональные особенности климатической реакции радиального прироста // Вестник Красноярского государственного университета, 2005. № 5. С. 79–84.
- [42] Магда В.Н., Ваганов Е.А. Климатический отклик прироста деревьев в горных лесостепях Алтае-Саянского региона // Известия РАН. Серия географическая, 2006. № 5. С. 92–100.
- [43] Blasing T., Duvick D. Reconstruction of precipitation history in North American Corn Belt using tree rings // Nature, 1987, no. 307, pp. 143–145. <https://doi.org/10.1038/307143a0>
- [44] Овчинников Д.В., Ваганов Е.А. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сибирский экологический журнал, 1999. № 2. С. 145–152.
- [45] Панюшкина И.П., Овчинников Д.В. Климатически обусловленная динамика радиального прироста лиственницы в Горном Алтае // Лесоведение, 1999. № 6. С. 23–33.

## Сведения об авторе

**Дебков Никита Михайлович** — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИМКЭС СО РАН), [nikitadebkov@yandex.ru](mailto:nikitadebkov@yandex.ru)

Поступила в редакцию 19.03.2025.

Одобрено после рецензирования 16.07.2025.

Принята к публикации 03.08.2025.

# CLIMATE CHANGE IMPACT ON SIBERIAN CEDAR (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) CONDITION AND RADIAL GROWTH IN NORTH-EASTERN ALTAI

**N.M. Debkov**

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, 10/3, Akademicheskiiy av., 634055, Tomsk, Russia

nikitadebkov@yandex.ru

This paper presents the results of a study of the state and dynamics of radial growth of Siberian pine forests in the Northeastern Altai near Lake Teletskoye. In total, 10 sample plots were laid and 100 core of wood were taken. The depth of the dendrochronological series was up to 300 years. The research covers 4 types of age structures in different parts of the forest belt of the mountains, from the low-mountain to the subalpine belts. A comprehensive assessment of the state of Siberian pine forests showed that the stands are healthy (the weighted average category of state ranges from 1,02 to 1,46 points for Siberian pine) and do not have pathological died, except for the effects of the *Polygraphus proximus* on damage to the fir trees. It was found that about 90 % of Siberian pine forests are affected by trunk rot, which is noted on average in 23 % of trees. This allows us to conclude that the natural dynamics of Siberian pine forests is predominantly wind-driven, which is confirmed by the predominance of forest stands of different ages (60 %). Modern climate change since 1976 has had an extremely positive impact on Siberian pine forests and has led to a significant increase in productivity due to increased radial growth of trunks in the stands. Depending on the type of age structure, this indicator varies, but on average the increase has increased by at least 2 times and continues to increase. Previously, during the entire growth period of the studied forest stands, the radial increase did not have such values. If the dynamics of humid climate warming are maintained, the state of Siberian pine forests should not deteriorate and Siberian pine will retain its position as a whole with the expansion of its habitat up the slopes of the mountains.

**Keywords:** climate change, North-Eastern Altai, radial growth, Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour)

**Suggested citation:** Debkov N.M. *Vliyanie izmeneniya klimata na sostoyanie i radial'nyy prirost kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v kedrovnikakh Severo-Vostochnogo Altaya* [Climate change impact on Siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) condition and radial growth in North-Eastern Altai]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 136–148. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-136-148

## References

- [1] Budyko M.I. The future climate. *Eos*, 1972, v. 53, iss. 10, pp. 868–874. <https://doi.org/10.1029/EO053i010p00868>
- [2] *Predstoyashchie izmeneniya klimata* [Upcoming climate changes]. Eds. M.I. Budyko, Yu.A. Izrael', M.S. Makkraken, A.D. Khekt. S-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1991, 271 p.
- [3] Budyko M.I., Efimova H.A., Lugina K.M. *Sovremennoe poteplenie* [Modern warming]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 1993, no. 7, pp. 29–34.
- [4] Bulygina O.N., Korshunova H.H., Kuznetsova V.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T. *Analiz izmenchivosti klimata na territorii Rossii v poslednie desyatletiya* [Analysis of climate variability in Russia in recent decades]. *Trudy VNIIGMI-MTsD* [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center], 2000, iss. 167, pp. 3–15.
- [5] Neville N. Climate: Sawyer predicted rate of warming in 1972. *Nature*, 2007, no. 448(7157), p. 992. <https://doi.org/10.1038/448992c>
- [6] Carter J.G. Climate change adaptation in European cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2011, v. 3, no. 3, pp. 193–198.
- [7] Gea-Jae J., Ji Yoon K., Yuno D., Maurice L. Talking about Climate Change and Global Warming. *PLOS ONE*, 2015, v. 10, iss. 9, no. e0138996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138996>
- [8] Balsari S., Dresser C., Leaning J. Climate Change, Migration, and Civil Strife. *Curr Environ Health Rep.*, 2020, v. 7, iss. 4, pp. 404–414. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00291-4>
- [9] Glantz P., Fawole O.G., Ström J., Wild M., Noone K.J. Unmasking the Effects of Aerosols on Greenhouse Warming Over Europe. *J. of Geophysical Research: Atmospheres*, 2022, v. 127, iss. 22, no. e2021JD035889. <https://doi.org/10.1029/2021JD035889>
- [10] Seltzer A.M., Blard P.-H., Sherwood S.C., Kageyama M. Terrestrial amplification of past, present, and future climate change. *Sci. Adv.*, 2023, v. 9, iss. 6, no. eadf8119. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adf8119>
- [11] Porfir'ev B., Kattsov V. *Posledstviya izmeneniy klimata v Rossii i adaptatsiya k nim (otsenka i prognoz)* [Implications of and Adaptation to Climate Change in Russia: Assessment and Forecast.]. *Voprosy ekonomiki* [Economic issues], 2011, no. 11, pp. 94–108.
- [12] Lipka O.N., Romanovskaya A.A., Semenov S.M. *Prikladnye aspekty adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossii* [Applied aspects of adaptation to climate change in Russia]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and applied climatology], 2020, v. 1, pp. 65–90.

- [13] Bogatov V.V., Baklanov P.Ya., Lozovskaya S.A., Shtets M.B. Climate change and health in the russian Far East. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2021, no. 1(215), pp. 5–21.
- [14] *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezyume* [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. Ed. V.M. Kattsov. S-Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p.
- [15] Danilchenko S.L. Climate change in Russia: historical dynamics. *Agrarian History*, 2022, no. 12, pp. 22–29.
- [16] Sukhova M.G., Rusanov V.I. *Klimaty landshaftov Gornogo Altaya i ikh otsenka dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka* [Climates of landscapes of the Altai Mountains and their assessment for human activity]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004, 150 p.
- [17] *Izmenenie klimata i ego vozdeystvie na ekosistemy, naselenie i khozyaystvo rossiyskoy chasti Altae-Sayanskogo ekoregiona: otsenochnyy doklad* [Climate change and its impact on ecosystems, population and economy of the Russian part of the Altai-Sayan ecoregion: assessment report]. Ed. A.O. Kokorin. Moscow: WWF, 2011, 168 p.
- [18] Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Obzor sovremennogo termicheskogo rezhima Altae-Sayanskogo ekoregiona i vozmozhnye prognozy* [Review of Up-to-date Thermal Regime of the Altai-Sayan Ecoregion and Possible Prognosis]. *Izvestiya AltGU* [Izvestiya of Altai State University], 2012, no. 3(75), pp. 147–152.
- [19] Krylov G.V., Talantsev N.K., Kozakova N.F. *Kedr* [Siberian pine]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 215 p.
- [20] *Kedrovye lesa Sibiri* [Siberian pine forests in Siberia]. Ed. A.S. Isaev. Novosibirsk: Nauka, 1985, 257 p.
- [21] Krylov G.V., Shmonov A.M. *Sibirskiy keдр* [Siberian pine]. Kemerovo: Kn. izd-vo [Book Publishing House], 1985, 127 p.
- [22] Danchenko A.M., Bekh I.A. *Kedrovye lesa Zapadnoy Sibiri* [Siberian pine forests in West Siberia]. Tomsk: Tom. gos. un-t [Tomsk State University], 2010, 421 p.
- [23] Titov E.V. *Realizatsiya selektsionnoy programmy kedra sibirskogo na semennuyu produktivnost' v Gornom Altae* [Implementation of the Siberian pine breeding program for seed productivity in the Altai Mountains]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2010, v. 27, no. 1-2, pp. 194–198.
- [24] Il'ichev Yu.N. *Genetiko-selektsionnye ob'ekty kedra sibirskogo (Pinus sibirica Du Tour) v Respublike Altay: struktura, strategiya sovershenstvovaniya i ispol'zovaniya* [Genetic breeding facilities of Siberian pine (Pinus sibirica Du Tour) in the Altai Republic: structure, strategy for improvement and use]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zones], 2012, v. 30, no. 1–2, pp. 87–91.
- [25] Petrova E.A., Goroshkevich S.N., Belokon' M.M., Belokon' Yu.S., Politov D.V. *Geneticheskoe raznoobrazie kedra sibirskogo Pinus sibirica Du Tour: raspredelenie vdol' shirotnogo i dolgotnogo profilya* [Distribution of the genetic diversity of the Siberian stone pine, Pinus sibirica Du Tour, along the latitudinal and longitudinal profiles]. *Genetika* [Russian journal of genetics], 2014, v. 50, no. 5, p. 538.
- [26] Alekseev I.A., Guseva O.N., Kurnenkova I.P., Cheshuin E.N. *Integrirovannaya sistema zashchity lesa* [Integrated forest protection system]. Yoshkar-Ola: izd-vo MarGTU, 2013, 416 p.
- [27] Yarmishko V.T., Gorshkov V.V., Stavrova N.I. *Vitalitnaya struktura Pinus sylvestris L. v lesnykh soobshchestvakh s raznoy stepen'yu i tipom antropogennoy narushennosti* [Pinus sylvestris L. vital state structure in the tree layer of pine forest with different degree and type of anthropogenic disturbance (kola peninsula)]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2003, v. 39, iss. 4, pp. 1–18.
- [28] Tuzova V.K. *Metody monitoringa vrediteley i bolezney lesa* [Methods for monitoring forest pests and diseases]. Moscow: VNIILM, 2004, 200 p.
- [29] Rinn F. TSAP V3.5. Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996, 264 p.
- [30] Semechkin I.V. *Struktura i dinamika kedrovnikov Sibiri* [Structure and dynamics of Siberian pine forests in Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2002, 253 p.
- [31] Sukhova M.G., Modina T.D. *Sovremennye izmeneniya temperaturnogo rezhima vozdukha i rezhima uvlazhneniya na Altae, kak proyavlenie regional'nogo izmeneniya klimata* [Modern changes in air temperature and humidification in Altai as a manifestation of regional climate change]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya* [World of science, culture and education], 2007, no. 2, p. 14–18.
- [32] Syromyatina M.V. *Sovremennye izmeneniya klimata i elementov vysotnoy poyasnosti landshaftov Altaya* [Modern changes in climate and elements of altitudinal zonation of Altai landscapes]. Dis. Cand. Sci. (Geogr). Sankt-Peterburg, 2010, 18 p.
- [33] Rotanova I.N., Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Izmeneniya klimata Altaya za period instrumental'nykh issledovaniy* [Climate Change in the Altai during Instrumental Studies]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya of Altai State University], 2012, iss. 2, no. 3, pp. 105–109.
- [34] Kharlamova N.F., Ostanin O.V. *Obzor sovremennogo termicheskogo rezhima Altae-Sayanskogo ekoregiona i vozmozhnye prognozy* [Review of Up-to-date Thermal Regime of the Altai-Sayan Ecoregion and Possible Prognosis]. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya of Altai State University], 2012, iss. 3, no. 1, pp. 147–152.
- [35] Kocheeva N.A., Egisman A.I. *Osobennosti vremennogo khoda otkloneniy temperatury vozdukha ot srednikh pokazateley v Respublike Altay* [Features of time course of air temperatures deviations from average indexes in Republic Altai]. *Vestnik rossiyskikh universitetov. Matematika* [Russian universities reports. Mathematics], 2013, iss. 18, no. 2, pp. 635–638.
- [36] Chered'ko N.N., Zhuravlev G.G., Kuskov A.I. *Otsenka sovremennykh klimaticheskikh tendentsiy i sinkhronnosti ikh proyavleniya v Altayskom regione* [Estimation of modern climate trends and their synchronicity in the Altai region]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk state university journal], 2014, no. 379, pp. 200–208.
- [37] Ovchinnikov D.V. *Rekonstruktsiya izmeneniy klimata gor Altaya dendrokronologicheskimi metodami* [Reconstruction of climate changes in the Altai Mountains using dendrochronological methods]. Dis. Cand. Sci. (Geogr). Irkutsk, 2002, 18 p.

- [38] Bocharov A.Yu., Savchuk D.A. *Dinamika radial'nogo rosta i plodonosheniya derev'ev kedra i listvennitsy na Yuzhno-Chuyskom khrebt (Gornyy Altay)* [Dynamics of radial growth and fruiting of siberian pine and larch trees on the South Chuisky ridge (Altai Mountains)]. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia], 2015, no. 14, pp. 398–402.
- [39] Payette S., Filion L., Delwaide A., Bégin C. Reconstruction of tree-line vegetation response to long-term climate change. *Nature*, 1989, no. 341, pp. 429–432. <https://doi.org/10.1038/341429a0>
- [40] Bocharov A.Yu. *Klimaticheskii obuslovlennyy radial'nyy rost khvoynykh v verkhney chasti lesnogo poyasa Seminskogo khrebt (Tsentral'nyy Altay)* [Climatogenetic Radial Growth of Conifers in the Upper Forest Belt of the Seminsky Range (the Central Altai Mountains)]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya Biologiya* [J. of Siberian Federal University. Biology], 2009, v. 2, no. 1, pp. 30–37.
- [41] Kirdyanov A.B., Silkin P.P., Knorre A.A., Kruglov V.B. *Regional'nye osobennosti klimaticheskoy reaktsii radial'nogo prirosta* [Regional features of the climatic response of radial growth of larch in the north of Central Siberia and the Urals]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State University], 2005, no. 5, pp. 79–84.
- [42] Magda V.N., Vaganov E.A. *Klimaticheskii otklik prirosta derev'ev v gornykh lesostepyakh Altae-Sayanskogo regiona* [Climate Response on the Mountain Forest-Steppe in Altay-Sayany Region]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya rossiskoi akademii nauk. seriya geograficheskaya], 2006, no. 5, pp. 92–100.
- [43] Blasing T., Duveck D. Reconstruction of precipitation history in North American Corn Belt using tree rings. *Nature*, 1987, no. 307, pp. 143–145. <https://doi.org/10.1038/307143a0>
- [44] Ovchinnikov D.V., Vaganov E.A. *Dendrokronologicheskie kharakteristiki listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica L.) na verkhney granitse lesa v Gornom Altae* [Dendrochronological characteristics of Siberian larch (*Larix sibirica* L.) at the upper forest boundary in the Altai Mountains]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 1999, no. 2, pp. 145–152.
- [45] Panyushkina I.P., Ovchinnikov D.V. *Klimaticheskii obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirosta listvennitsy v Gornom Altae* [Climatically determined dynamics of radial growth of larch in the Altai Mountains]. *Lesovedenie* [Russian J. of Forest Science], 1999, no. 6, pp. 23–33.

*This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state contract to the Institute of Microbiological Studies and Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, project registration number 1022042600048-9-1.5.1).*

## Author's information

**Debkov Nikita Mihailovich** — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, [nikitadebkov@yandex.ru](mailto:nikitadebkov@yandex.ru)

Received 19.03.2025.

Approved after review 16.07.2025.

Accepted for publication 03.08.2025.