

БИОЛОГИЯ

УДК 630*22 (235.222) 551.583

А.Ю. Бочаров

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ВЫСОКОГОРНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ЧУЙСКОГО ХРЕБТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН 7.63.1.4.

На основе анализа возрастной структуры высокогорных лесов и колебаний радиального прироста деревьев выявлены периоды, благоприятные для возобновления и дальнейшего формирования возрастных поколений кедра и лиственницы. Показано, что формирование возрастных поколений как на верхней границе леса, так и в верхней части лесного пояса, тесно связано с длительными колебаниями температуры весенне-летних месяцев.

Ключевые слова: возрастная структура; дендрохронология; климат.

Леса высокогорий представляют собой наглядный и очень четкий ландшафтно-климатический индикатор, позволяющий делать численные оценки свойств климата на основе изменения состава и структуры лесов, колебаний радиального прироста деревьев. Таксационная структура древостоев, и в частности возрастная, с использованием дендрохронологических методов позволяет производить реконструкции изменений климатических факторов среды, которые оказывают значительное влияние на рост и развитие лесов, находящихся в пессимальных условиях произрастания, дают возможность оценить тенденции и региональные особенности реакции лесных экосистем на глобальные климатические изменения [1–3].

Целью настоящих исследований являлось изучение возрастной структуры высокогорных древостоев и изменчивости радиального прироста деревьев кедра и лиственницы для оценки динамики развития лесов в условиях изменений климата.

Материалы и методы

Возрастная структура лиственнично-кедровых лесов и временная изменчивость радиального прироста деревьев кедра и лиственницы изучались в центральной части Северо-Чуйского хребта на северном макросклоне в долине р. Актру, в верхней части лесного пояса на высотах 2 150–2 350 м над ур. м.

Максимальные абсолютные высоты достигают здесь более 4 000 м. Наивысшая точка района – г. Актрубаш (4 070 м). Значительные абсолютные высоты и расположение хребта на пути влагонасыщенных воздушных масс предопределили наличие в данном районе большого массива оледенения [4].

Климат этого ключевого участка может быть охарактеризован по данным метеостанции, расположенной в долине р. Актру (2 150 м над ур. м.). Климат района резкоконтинентальный. Среднегодовая температура воздуха – 5,2°C. Средняя многолетняя температура июня +8,2°C, июля +9,5°C, августа +7,7°C, января –18,5°C. Абсолютный минимум температуры воздуха наблюдался в феврале 1974 г. и составил –39,5°C, абсолютный максимум – в июле 1974 г. (+25,7°C). Сумма положительных температур выше 10°C составляет 1127°.

В течение всего года относительная влажность воздуха в долине р. Актру велика и составляет 67% [5]. Годовая норма осадков для станции Актру составляет 542,4 мм.

Район исследований относится к Центрально-Алтайской котловинно-горной провинции лиственничных и темнохвойных лесов [6] и приурочен к северным склонам горного узла Биш-Иирду (50°05' с.ш. и 87°45' в.д.).

Верхняя граница леса достигает уровня 2 300–2 400 м абсолютной высоты и представлена кедром сибирским. В верхней части горно-лесного пояса распространены кедровые зеленомошные редколесья, а также разновозрастные разнотравно-зеленомошные кедровые и лиственнично-кедровые леса. На лесных участках, пройденных пожарами, произрастают средневозрастные лиственничные и кедрово-лиственничные леса. В долине реки на флювиогляциальных отложениях развиты молодые лиственничники [7].

Таксационное строение древостоев изучали на постоянных пробных площадях с учетом рекомендаций [8]. Основными задачами при исследовании возрастной структуры древостоев являлись изучение возрастного состава популяций, выделение поколений, анализ их возрастной структуры и возрастной структуры древостоя в целом.

На пробных площадях производился сплошной подсчет деревьев. При подсчете древостой (любого породного состава) делился на возрастные поколения. Вся дальнейшая обработка материала велась по выделенным поколениям и по древостою в целом. Разбиение древостоев на возрастные категории (поколения) и определение типов возрастной структуры высокогорных лесов производились по классификации И.В. Семечкина [9] с учетом значений коэффициента вариации по возрасту.

Образцами для анализа возрастной структуры служили керны, взятые с помощью возрастного бурава, преимущественно по каждой ступени толщины и отдельно по возрастным поколениям. Для деревьев с гнилью вносились возрастные поправки на величину гнили [10].

В результате обработки собранного материала были получены суммы площадей сечений, среднеквадратические и среднеарифметические диаметры d_m , графически вычисленные средние высоты h_m и возраста A_m , вычислены статистические показатели рядов распре-

ления деревьев по основным таксационным признакам: дисперсия, σ – среднее квадратическое, или основное, отклонение; m – средняя ошибка средней арифметической величины и $m\sigma$ – средняя ошибка среднеквадратического отклонения; ν – коэффициент вариации (изменчивости); ρ – показатель точности наблюдения; A – мера косости (асимметрия), E – мера крутости (эксцесс) и их ошибки. Данные расчеты производились с использованием программ Microsoft Excel for Windows и Statistica for Windows v.5.5.

Для построения древесно-кольцевых хронологий измерялась ширина древесных колец с помощью измерительного комплекса LINTAB с пакетом компьютерных программ TSAP [11] с точностью до 0,01 мм. После получения индивидуальных древесно-кольцевых серий проводилось их перекрестное датирование с помощью сочетания кросскорреляционного анализа [12] и графической перекрестной датировки [13], а также индексирование полученных хронологий для удаления возрастного тренда прироста деревьев с помощью специализированного пакета программ для дендрохронологических исследований DPL [12].

Для каждого индивидуального ряда и обобщенных хронологий рассчитывались основные статистические характеристики: коэффициенты чувствительности, корреляции, синхронности, стандартное отклонение, автокорреляция первого порядка. Эти процедуры выполнялись с помощью вышеупомянутых компьютерных программ, а также пакета Statistica for Windows v.5.5.

Результаты и обсуждение

Относительно сомкнутые древостои верхней границы леса в горно-ледниковом бассейне р. Актру расположены на абсолютной высоте 2 350 м. Данные лесные участки представлены зеленомошно-шикшевыми подгольцовыми кедровыми редколесьями IV класса возраста (для упрощения сравнительного анализа возрастной структуры древостоев класс возраста принят двадцатилетним для всех рассматриваемых хвойных пород), Va,5 класса бонитета. Абсолютная полнота – 3,3 м²/га, запас – 10,4 м³/га.

Ниже границы леса произрастают старые разнотравно-зеленомошные кедровники Vb бонитета, XVIII класса возраста. На этих же высотах по северо-западным склонам небольшими участками встречаются молодые кедрово-лиственничные леса V класса возраста, V бонитета с участием в составе насаждения кедра до 15%.

Верхняя часть лесного пояса на абсолютной высоте до 2 200 м представлена зеленомошно-лишайниковыми или разнотравно-зеленомошными лиственнично-кедровыми лесами V,7–V,8 бонитета, X–XIV классов возраста, абсолютная полнота 21,6–26,5 м²/га. Участие лиственницы в составе – от 10% до 26% по запасу. Класс возраста лиственничной части древостоя XVIII–XIX, бонитет от IV и ниже.

С некоторым понижением абсолютной высоты до 2 150–2 100 м коренные старовозрастные леса сменяются более молодыми лесами послепожарного происхождения VI класса возраста и V класса бонитета. Тут злаково-разнотравные лиственнично-кедровые насаж-

дения характеризуются равным участием обеих пород в составе. Абсолютная полнота кедровой части древостоя – 14,5 м²/га, лиственничной – 10,4 м²/га. По мере продвижения по долине вниз кедр начинает уступать свои позиции лиственнице.

Чистые средневозрастные лиственничные разнотравно-осоково-злаковые леса в пределах этих же абсолютных высот представлены древостоями IV бонитета, IX класса возраста, абсолютная полнота – 24,5 м²/га, относительная – 0,75, запас – 335 м³/га. Подрост в основном кедровый. Молодые лиственничные леса – III,5 бонитета, III–IV классов возраста, произрастают на флювиогляциальных отложениях в долине р. Актру.

Чтобы оценить степень влияния климатической составляющей на радиальный рост деревьев и формирование высокогорных древостоев, были построены ряды радиального прироста по кедру длительностью 515 лет (рис. 1, а) и лиственнице длительностью 525 лет (рис. 1, б).

Среднеквадратическое отклонение как индивидуальных, так и обобщенных серий варьирует от 0,39 до 0,22 по кедру и 0,3–0,32 по лиственнице, коэффициент чувствительности 0,16–0,13 и 0,26–0,16 соответственно. Остаточные хронологии имеют меньшее значение дисперсии: от 0,18 до 0,14 по кедру и 0,28–0,18 по лиственнице, и более высокое значение коэффициента чувствительности: 0,19–0,16 и 0,31–0,191 соответственно. При сравнении индивидуальных серий из разных местообитаний варьирование коэффициента корреляции составило 0,35–0,72, межсерийный коэффициент корреляции внутри индивидуальных серий 0,57. Синхронность серий средняя (0,69).

Для выяснения влияния факторов климатической природы обобщенные хронологии сравнивались с погодичными среднемесячными климатическими характеристиками метеостанции Актру (2 150 м над ур. м.) за период с 1958 по 1994 г. Наибольшую положительную связь с индексами прироста имеют весенне-летние температуры. Коэффициент корреляции с температурой мая +0,55, июня и июля +0,50. Отрицательная зависимость наблюдается с осадками июня (–0,34). Изменчивость прироста, объясняемая климатом, достаточно высокая. Высокая и значимая связь между весенне-летней температурой и индексами прироста позволила использовать их для расчета модели реконструкции средней температуры с мая по июль (рис. 1, в).

В длительно-временных изменениях ширины годичных колец прослеживаются общие тенденции увеличения и снижения роста деревьев кедра и лиственницы. Наиболее выраженные периоды повышения индексов прироста наблюдаются в середине XVI в., начале и конце XVII в., в середине первой половины XVIII в., на рубеже XVIII и XIX вв., в конце XIX и XX вв. Общие снижения радиального прироста наблюдаются в начале и конце XVI в., середине первой половины XVII в. и на рубеже XVII–XVIII вв., в середине первой половины XIX в., в начале и середине второй половины XX столетия.

Основные периоды увеличения прироста совпадают с временными интервалами формирования обособленных возрастных групп деревьев кедра (рис. 1, г). Периоды формирования возрастных поколений с подав-

ляющим большинством деревьев близкого возраста при таксации древостоев верхней части лесного пояса были определены в интервалах 1550–1613 гг. (I поко-

ление), 1654–1732 гг. (II поколение) и 1835–1910 гг. (III поколение). Возрастной диапазон деревьев внутри поколений составил 63, 78 и 75 лет соответственно.

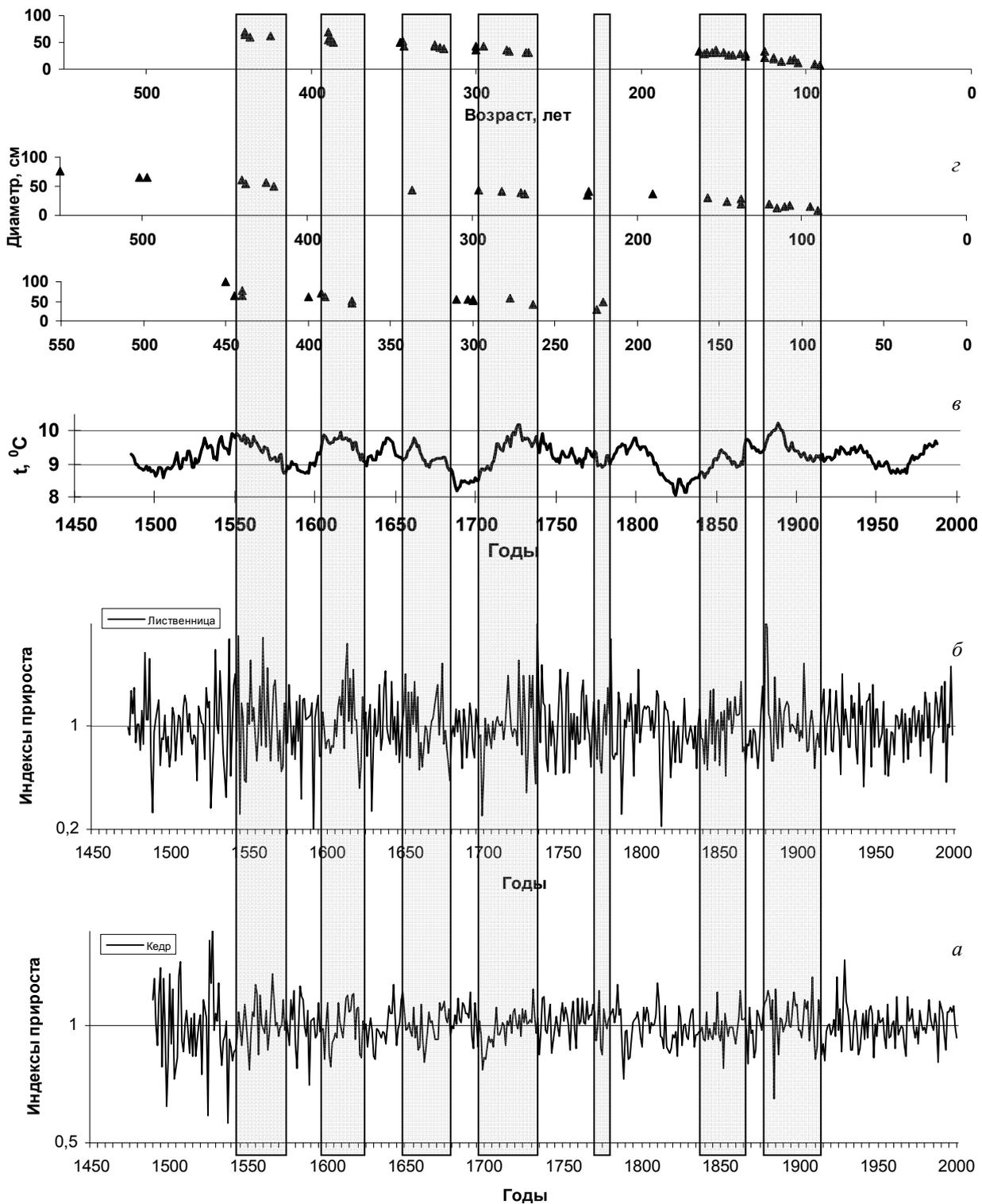


Рис. 1. Обобщенные хронологии кедр (а) и лиственницы (б), реконструированная кривая изменчивости средних май-июньских температур (е) и возрастные группы деревьев (z) древостоев верхней части лесного пояса долины р. Актру

Период с наименьшим сохранением подроста, который в дальнейшем мог бы сформировать группы деревьев сходного возраста, наблюдается на рубеже XVIII–XIX вв. В результате период разрыва между основными возрастными группами деревьев составил около 100 лет.

Разрыв между первым и вторым поколениями составляет менее 40 лет и на графике практически не отражается. Единичные деревья, представляющие собой остатки разрушенного материнского полога, представлены экземплярами 500- и 550-летнего возраста. Формирую-

щиеся молодые поколения кедр (жизнеспособный подрост, располагающийся под пологом и в окнах основного древостоя) представлены деревьями со средним возрастом порядка 50 лет.

Анализ возрастной структуры исследуемых лесов и изменчивость радиального прироста деревьев показали, что увеличение прироста в период 1550–1575 гг. соотносится с появлением групп деревьев на всех лесных участках верхней части лесного пояса долины. Увеличение температуры весенне-летних месяцев в начале XVII в. привело к возникновению близкой по возрасту группы деревьев, но на сегодняшний день сохранившиеся участки старовозрастных лесов, не пройденных пожарами, встречены только на крайних высотных отметках (2 300–21 50 м над ур. м.). Следующая немногочисленная возрастная группа, отнесенная ко второму возрастному поколению, соответствует периоду увеличения прироста 1650–1670 гг., а в начале XVIII в. с наблюдаемым значительным увеличением прироста соотносятся и значительные группы деревьев близкого возраста в лесах, расположенных на разных высотных уровнях. Увеличение прироста деревьев как следствие улучшения климатических условий произрастания с 1835 г. вплоть до окончания XVIII столетия привело к образованию значительно количества близких по возрасту деревьев кедр в интервале 1835–1863 гг. и в период с 1875 по 1910 г., отмеченных в нашем случае к третьему возрастному поколению. При сохранении положительных тенденций в развитии исследуемых высокогорных лесов под пологом и в окнах древостоев на границе леса и в верхней части лесного пояса возможно формирование молодого поколения кедр из подраста, появившегося в период с 1942 по 1964 г. В настоящее время в районе исследований наблюдается активное возобновление кедр.

Сходные периоды формирования поколений в лесных массивах на разных высотных уровнях (2 150–2 350 м над ур. м.), длительные разрывы в последующих генерациях элементов леса, другие циклические изменения в строении древостоев еще раз доказывают важное значение климатической составляющей (сумма эффективных температур, продолжительность вегетационного сезона, резкие изменения элементов погоды в сравнительно короткие периоды времени, сильный ве-

тер, режим снегонакопления, поздневесенние и ранне-летние заморозки) в распределении, росте и развитии древостоев в высокогорьях Северо-Чуйского хребта. Немаловажное значение в развитии данных лесов имеет и рельеф местности (его форма, экспозиция, крутизна и т.п.), что часто служит естественной преградой при разрушительных пожарах.

Выводы

1. Верхняя граница леса в районе исследования достигает высоты более 2 350 м и представлена ступенчато-разновозрастными кедровыми редколесьями IV–V классов возраста, состоящими из двух поколений: основного – условно-одновозрастного – и более молодого – условно-разновозрастного.

2. В верхней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта преобладают смешанные лиственнично-кедровые ступенчато-разновозрастные леса с участием в составе лиственницы до 26% по запасу. Возрастные интервалы поколений обеих пород сходны. Насаждения с преобладанием лиственницы встречаются с абсолютной высоты 2100 м, древостои средневозрастные, послепожарного происхождения.

3. По мере снижения абсолютной высоты наблюдается увеличение средних диаметров и высот элементов леса, строение кедровых лесов усложняется, амплитуда основных таксационных параметров увеличивается, достигая максимума в древостоях верхней части лесного пояса. По мере дальнейшего снижения абсолютной высоты вновь происходит упрощение возрастной структуры кедровых древостоев, уменьшаются значения таксационных показателей.

4. В длительно-временных изменениях ширины годичных колец прослеживаются общие тенденции увеличения и снижения прироста. Основные периоды увеличения прироста совпадают с временными интервалами формирования обособленных возрастных групп деревьев. Периоды формирования поколений, длительные разрывы в последующих генерациях, другие циклические изменения в строении древостоев показывают наличие значительного влияния климатического фактора в формировании высокогорных лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Briffa R.K., Jones Ph.D., Schweingruber F.H. Summer temperature pattern over Europe: A reconstruction from 1750 A.D. based on maximum late-wood density indices of conifers // *Quaternary Research*. 1998. Vol. 30. P. 36–52.
2. Mann M.E., Bradley R.S., Huges M.K. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium // *Inferences and uncertainties, and limitations*. *Geophys. Res. Lett.* 1999. P. 759–762.
3. IPCC 2007 Climate Change 2007, 4 Assessment report. Intergovernmental panel on climate change. 2007. Ch. 6. P. 434–497.
4. Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И. Основные черты климата горноледникового бассейна Актру // *Гляциология* Алтая. Томск, 1965. Вып. 4. С. 3–48.
5. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск : Изд-во ТГУ, 1998. 201 с.
6. Крылов А.Г., Речан С.П. Типы кедровых и лиственничных лесов Горного Алтая. М. : Наука, 1967. 224 с.
7. Воробьев В.Н., Нарожный Ю.К., Тимошок Е.Е. и др. Эколого-биологические исследования в верховьях р. Актру в Горном Алтае // *Вестник Томского государственного университета*. 2001. № 274. С. 58–62.
8. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М. : Гослесхоз СССР, 1984. 62 с.
9. Семечкин И.В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы изучения // *Вопросы лесоведения*. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1970. Т. 1. С. 422–445.
10. Семечкина М.Г. Пути повышения точности определения возраста кедр в разновозрастных древостоях Западного Саяна // *Особенности устройства горных лесов Сибири*. М. : Наука, 1964. С. 92–102.
11. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg : Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
12. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements // *Tree-Ring Bull.* 1983. Vol. 44. P. 69–75.
13. Douglass A.E. Climatic cycles and tree growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington : Carnegie Inst., 1919. Vol. 1. 127 p.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 19 июня 2010 г.