

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА В АРИДНЫХ ВЫСОКОГОРЬЯХ ЗАПАДНОЙ ТУВЫ

© 2020 г. М. А. Колунчукова^{а, *}, А. И. Резников^{б, **}

^аСПГХЛ им. Иогансона при РАН, Санкт-Петербург, Россия

^бСанкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: kolun4ukova@yandex.ru

**E-mail: ar1725-2@mail.ru

Поступила в редакцию 15.08.2020 г.

После доработки 25.08.2020 г.

Принята к публикации 01.09.2020 г.

В статье представлены результаты оценки степени влияния основных климатических факторов на прирост деревьев и анализа современной динамики верхней границы леса в горах Западной Тувы. Проведен дендрохронологический анализ древесных образцов лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) с ключевых участков, расположенных на верхней границе леса. Для каждого из участков были построены обобщенные дендрохронологические ряды. В результате исследований также проведен анализ многолетней динамики летней температуры воздуха и суммы летних осадков. Проведен сравнительный анализ хронологий, оценены связи с температурой и осадками исследуемого района. Выявлено, что при существующем тренде повышения температуры, динамика прироста деревьев на верхней границе леса отражает эти изменения по-разному. При условии достаточного увлажнения наблюдается положительная связь со средними температурами лета и отрицательная с осадками.

Ключевые слова: верхняя граница леса, динамика прироста, дендрохронологический анализ, высокогорья Западной Тувы, летняя температура воздуха

DOI: 10.31857/S0869607120030039

ВВЕДЕНИЕ

Оценка влияния климатических факторов на динамику прироста деревьев и решение обратной задачи индикации изменений климата стали распространенной темой географических исследований. Деревья, произрастающие на верхнем пределе своего распространения в горах, наиболее чувствительны к изменению тех климатических параметров, которые ограничивают их рост [6, 7]. Это дает уникальную возможность для определения и анализа вклада климатических факторов в изменчивость прироста. Согласно данным метеонаблюдений во внетропических горах Евразии на протяжении XX в. отмечается тенденция к повышению температуры воздуха, что находит отражение в изменениях элементов высотной поясности ландшафтов, в частности верхней границы леса [4, 12]. В пределах Алтае-Саянского региона исследователи неоднократно отмечали подъем верхней границы леса в последние десятилетия, подчеркивая связь ее положения с летней температурой воздуха [8, 9, 12, 14]. Со времен М.В. Тронова считается, что атмосферные осадки, напротив, не лимитируют верхний предел

леса: "...граница леса, расположена ли она выше или ниже, как и вообще наличие леса на горном склоне, не указывает определенным образом на степень его увлажненности. Можно только говорить о некотором достаточном количестве годовых осадков, но это может быть и 500 и 1000 мм" [14, с. 33]. Степень увлажнения в большей степени определяет положение нижней границы леса. В случае с верхним пределом произрастания леса, избыточное увлажнение может отрицательно сказываться на росте деревьев, так как не редки случаи отрицательной корреляции между летними температурами воздуха и суммами атмосферных осадков. В данной работе была предпринята попытка оценить степень влияния основных климатических факторов на прирост деревьев и проанализировать современную динамику верхней границы леса в горах Западной Тувы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования состояния древесной растительности в Западной Туве и Монголии были начаты географами Санкт-Петербургского государственного университета как один из способов изучения динамики горных ландшафтов с 1990 г. Данная публикация основана на материалах, полученных в экспедициях в горах Западной Тувы (Монгун-Тайгинский, Улуг-Хемский кожууны) в период 2012–2013 гг. В ходе полевых работ были проведены исследования современного состояния древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания, а также был собран материал для дендрохронологического анализа. Всего было проанализировано 120 образцов, продолжительностью от 20 до 182 лет. В пределах трех ключевых участков (рис. 1) на 7 пробных площадях на верхней границе леса, состоящей в основном из лиственницы сибирской (*Larix sibirica*), редко с примесью кедра сибирского (*Pinus sibirica*), выделялись и фиксировались следующие высотные отметки: верхняя граница произрастания отдельных деревьев, верхняя граница распространения островных редколесий, верхняя граница распространения сплошных лесов [6].

I участок сбора дендрохронологического материала (рис. 2) расположен на северо-западе Тувы, на Алашанском нагорье, являющимся частью горной системы Западного Саяна, в долине реки Сайдалыг, притока р. Кара-Суг (индекс образцов КС).

Древесная растительность высокогорного пояса представлена разреженным лиственничником, формирующим верхнюю границу леса на высоте 2210–2250 м. Наряду с лиственницей встречается кедр сибирский, в основном в виде подроста. Возраст деревьев не превышает 65 лет и в среднем составляет 40 лет.

II участок исследований (рис. 3) расположен на южном макросклоне хребта Западный Танну-Ола, в долинах рек Арзайты и Эльдиг-Хем (индекс образцов ЭХ).

Леса образуют здесь целостную полосу в структуре высотной поясности, древесная растительность растет по водоразделам. Верхняя граница сплошного леса достигает уровня 2200–2400 м, редколесья – 2450 м, отдельные деревья поднимаются до высоты 2585 м. Древесная растительность представлена лиственницей сибирской, в качестве примеси встречается кедр. Средний возраст деревьев составляет 35 лет, подрост произрастает по всему профилю.

III участок (рис. 4) – долина реки Мугур в пределах высокогорного массива Монгун-Тайга (МТ). Леса представлены лиственничниками и не образуют здесь сплошного пояса. Они встречаются островными участками в диапазоне высот 2000–2400 м (отдельные деревья поднимаются до 2550 м) и приурочены к ложбинам и понижениям на склонах северной экспозиции [13]. Ясно выражена граница сомкнутого леса, выше которого встречаются одиночные деревья (в том числе в стланиковой форме), а редколесье как таковое отсутствует. Средний возраст деревьев на верхней границе сомкнутого леса составляет 100 лет (без учета подроста), возраст большинства одиночных де-

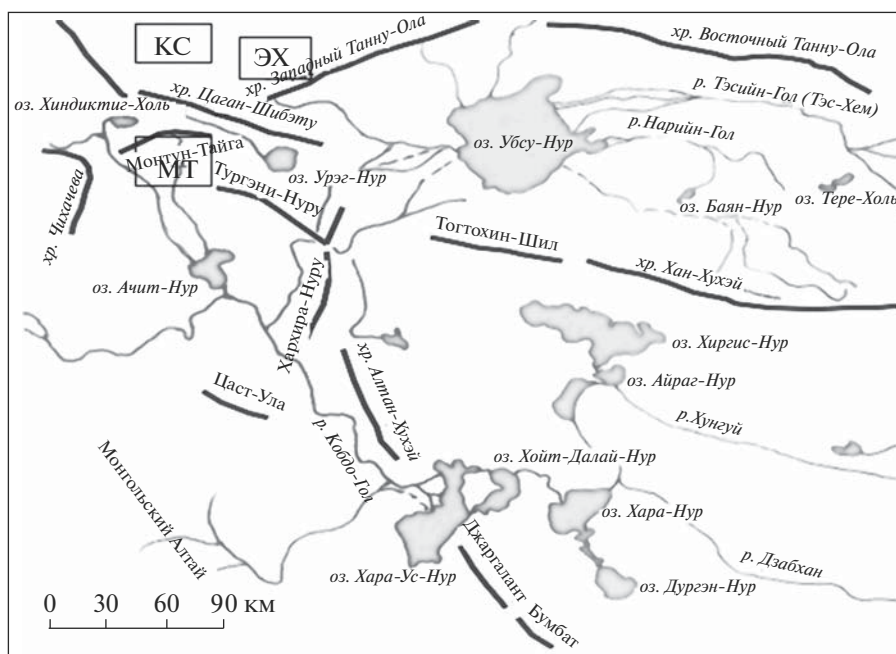


Рис. 1. Карта-схема района исследования. КС, МТ, ЭХ – пробные площади.

Fig. 1. Schematic map of the study area. КС, МТ, ЭХ – sample plots.



Рис. 2. Участок I (Кара-Суг, индекс образцов КС).

Fig. 2. Area I (Kara-Sug, index of the samples КС).



Рис. 3. Участок II (Эльдиг-Хем, индекс образцов ЭХ).

Fig. 3. Area II (Eldig-Hem, index of the samples ЭХ).

ревьев — около 55 лет, однако встречаются также лиственницы возрастом более 150 лет. Подрост наблюдается в основном в пределах распространения сомкнутого леса.

Образцы для дендрохронологического анализа брались шведским возрастным буром. Измерение ширины годовичных колец с точностью до 0.01 мм выполнялось с помощью измерительного комплекса LINTAB с пакетом программ Tsap, дополнительный контроль датировки проводился с помощью программы COFECHA [15, 16]. Корреляционный анализ производился с использованием программы Statistica 8.

По общепринятой методике современного дендрохронологического анализа индивидуальные древесно-кольцевые хронологии стандартизируют, то есть приводят к относительным величинам, тем самым исключая возрастной (и всякий другой) тренд [8, 9, 12, 14 и др.] (рис. 5).

Таким образом, получают индексы прироста и обобщенные ряды, в которых исключены длительновременные индивидуальные особенности радиального роста деревьев и сохранена только относительная изменчивость прироста. Безусловно, этот метод имеет свои сильные стороны и успешно применяется при реконструкциях климатических параметров, особенно при анализе структуры временных ритмов.

Однако, так как в данной работе стоит задача выявления общих тенденций изменения прироста деревьев в зависимости от климатических показателей, необходимо использовать выраженные временные тренды. Поэтому для статистического анализа



Рис. 4. Участок III (Монгун-Тайга, индекс образцов МТ).

Fig. 4. Area III (Mongun-Taiga, index of the samples MT).

были использованы абсолютные значения радиальных приростов без стандартизации и нормирования.

Ранее было отмечено, что на верхнем пределе произрастания деревьев зависимость радиального прироста от возраста слабо выражена, так как рост в первую очередь лимитируется внешними факторами [14]. Поэтому для исключения влияния возрастной изменчивости прироста достаточно просто исключить из рассмотрения начальный его этап, на котором в основном и проявляются физиологически обусловленные повышенные значения прироста (рис. 6).

Такой прием позволяет также исключить ошибки измерения ширины годичных колец на приборе Lintab для тех образцов, при взятии которых бур прошел мимо центрального кольца [3, 5]. Также у долгоживущих лиственниц в районе исследований часто древесина в центре ствола повреждена и не может быть использована в целях дендроиндикации. Практика показывает, что такие образцы составляют значительную часть от общего количества. Таким образом, в данной работе вполне допустимо использовать осредненные абсолютные серии ширины колец, которые, по нашему мнению, наиболее полно характеризуют изменение интегрального состояния геосистем по критерию прироста фитомассы.

Полученные индивидуальные древесно-кольцевые хронологии показали высокую согласованность внутри каждого участка (парные коэффициенты корреляции составили 0.6–0.7). Поэтому по каждому из трех обследованных участков на верхней границе леса путем вычисления среднего арифметического абсолютных значений прироста (без начальных значений ряда для каждого образца) были построены обобщенные дендрохронологические ряды. Для выявления зависимости между приростом деревьев и климатическими параметрами использовались месячные данные высокогорных метеорологических станций, наиболее близко расположенных к районам исследований: Мугур-Аксы ($50^{\circ}23' \text{ N}$, $90^{\circ}26' \text{ E}$, 1837 м над ур. моря, использованный период наблю-

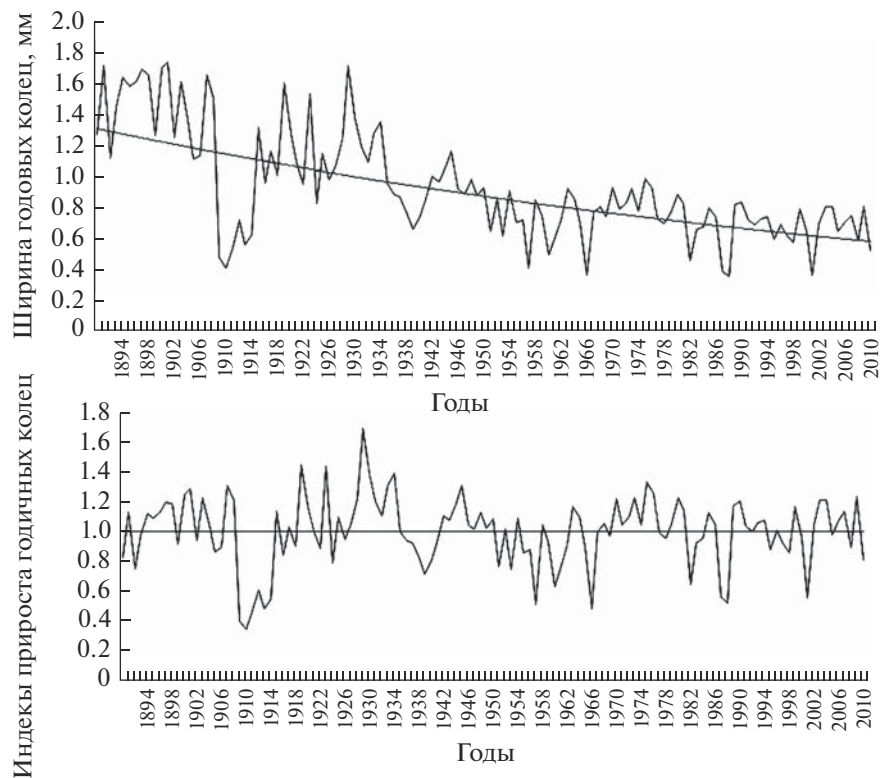


Рис. 5. Традиционный метод обработки дендрохронологических рядов: изменчивость ширины годичных колец в абсолютных значениях и индексы прироста.

Fig. 5. Traditional method of dendrochronological data processing: tree-rings width variability in absolute terms and index of tree growth.

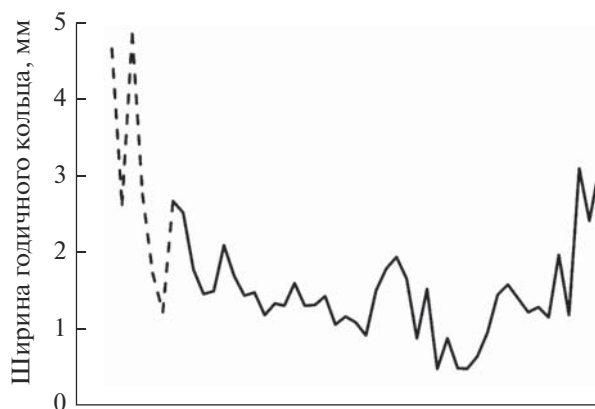


Рис. 6. Метод исключения влияния возрастной изменчивости прироста путем “отсечения” начального участка (показан пунктиром).

Fig. 6. The method of excluding the influence of age-related tree-rings growth by cutting off the initial segment (shown by dotted line).

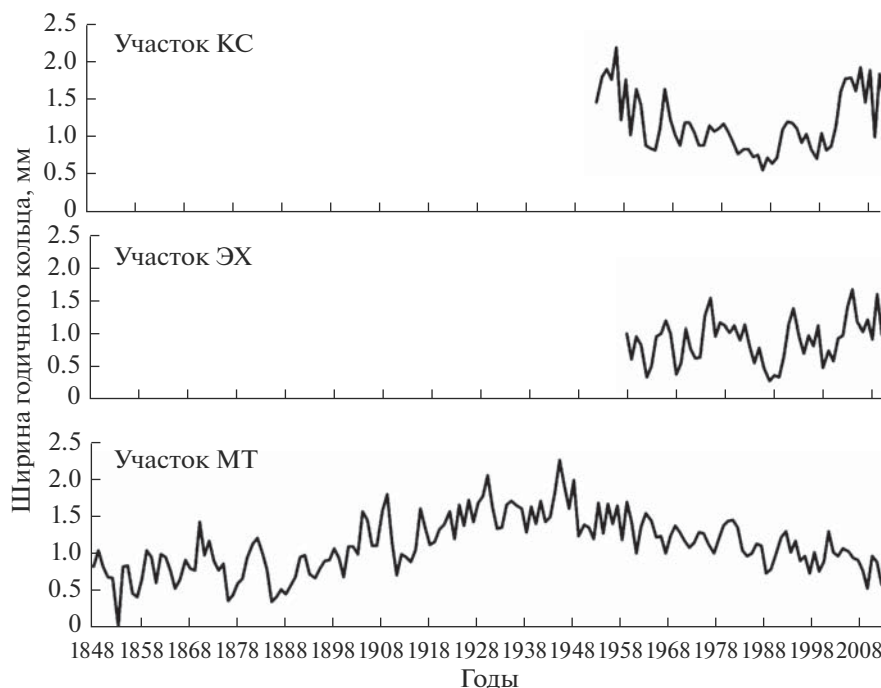


Рис. 7. Изменчивость значений ширины годичных колец древесно-кольцевых хронологий для трех участков.

Fig. 7. Annual tree-rings width variability of tree-ring chronology for three study areas.

дения 1963–2012 гг.), Тээли ($51^{\circ}01' \text{ N}$, $90^{\circ}13' \text{ E}$, 982 м над ур. моря, использованный период наблюдения 1961–2012 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для трех выше описанных участков были получены три древесно-кольцевых хронологии по ширине годичных колец (рис. 7).

Наиболее длительные хронологии (180 лет) построены для участка МТ, для остальных участков длина рядов не превышает 60 лет. Для оценки влияния термических условий на прирост годичных колец использовались ряды средних летних температур воздуха [2, 3].

Во временных изменениях ширины годичных колец хронологий КС и ЭХ прослеживается общий выраженный тренд и тенденция увеличения значений прироста с 1985 г., что соответствует хоть и не ярко выраженному, но все же увеличению средних летних температур на рассматриваемых метеостанциях в это же время (рис. 8).

У хронологий КС и ЭХ наблюдаются общие положительные связи летних температур и изменчивости прироста, отрицательные — с осадками (рис. 9).

Таким образом, на участках КС и ЭХ увеличение прироста в основном определяется средними летними температурами. Общий тренд на увеличение радиального прироста с конца 80-х гг. XX в. хорошо согласуется с тем, что большинство метеостанций во Внутренней Азии также показывают положительный тренд средних летних температур [4, 12]. Периоды увеличения прироста совпадают со временем появления нового поколения деревьев. Также на участках КС и ЭХ можно говорить о подъеме верхней гра-

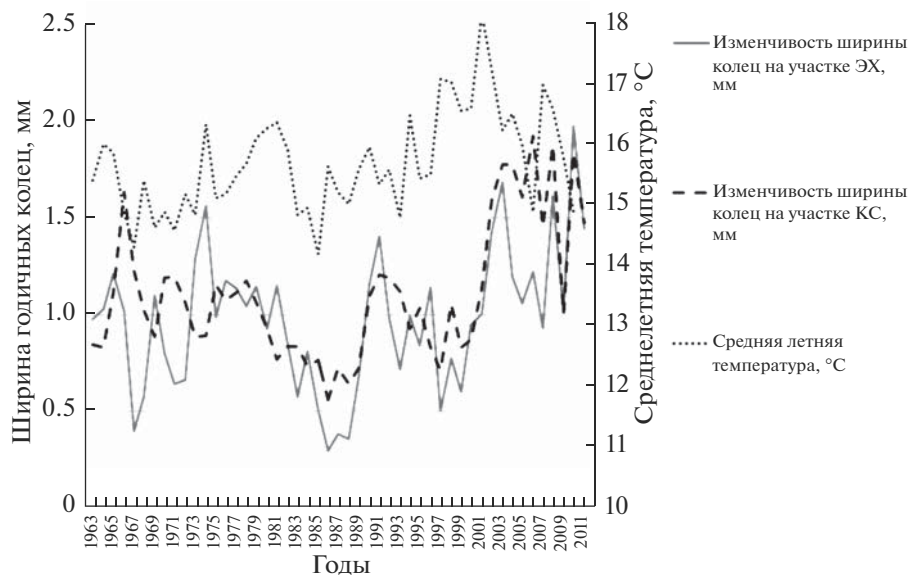


Рис. 8. Изменчивость ширины годичных колец на участках ЭХ, КС и ход средней летней температуры на метеостанции Тээли.

Fig. 8. Annual tree-rings width variability for the study areas ЭХ, КС and average summer temperature at the Teeli meteorological station.

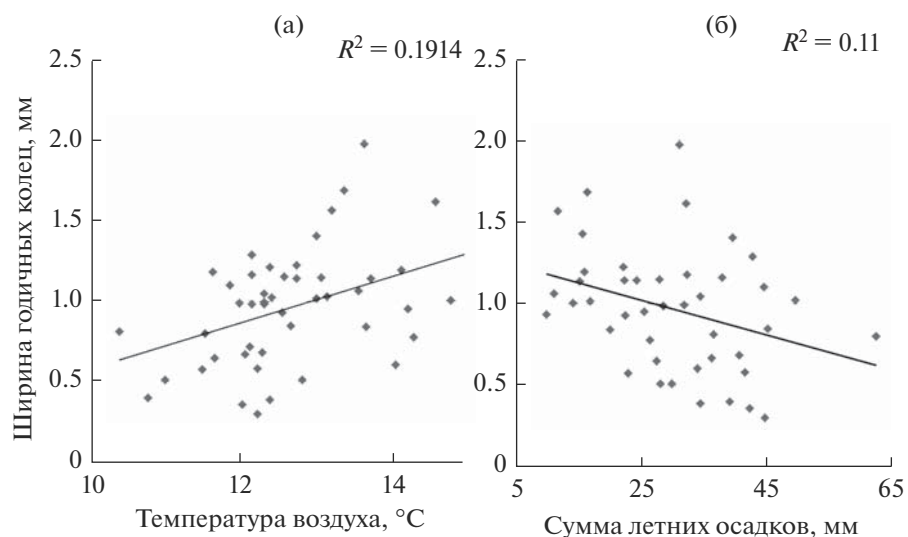


Рис. 9. Связь между приростом на участке КС и средней летней температурой на метеостанции Тээли (А); связь между приростом на участке КС и суммой летних осадков на метеостанции Тээли (В).

Fig. 9. Correlation between tree-ring growth in the study area КС and average summer temperature at the Teeli meteorological station (А); correlation between tree-ring growth in the study area КС and summer precipitation at the Teeli meteorological station (В).

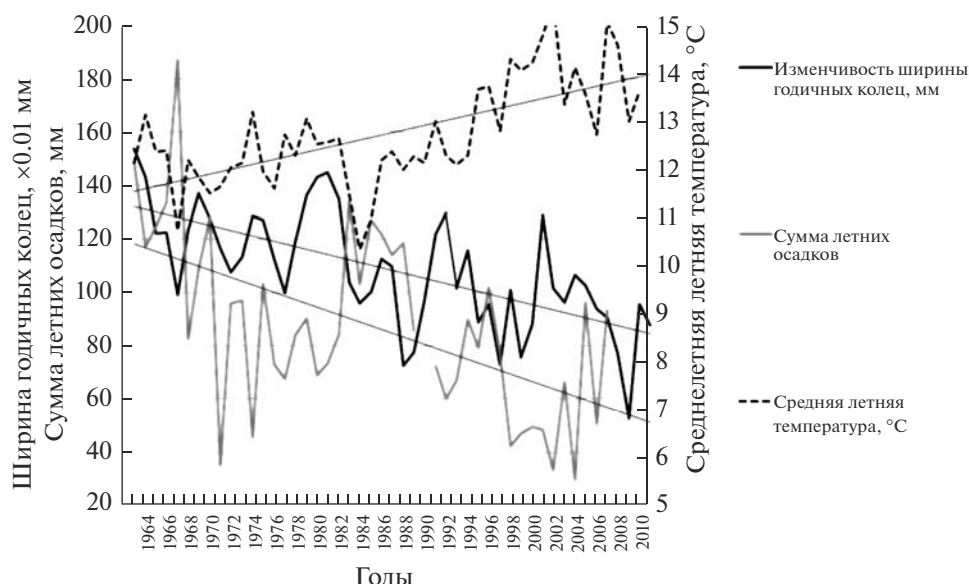


Рис. 10. Изменчивость ширины годичных колец на участке МТ, ход средней летней температуры и суммы летних осадков на метеостанции Мугур–Аксы.

Fig. 10. Annual tree-rings width variability in the study area MT, average summer temperature and summer precipitation at the Mongun–Taiga meteorological station.

ницы леса, о чем свидетельствует относительно молодой возраст деревьев (30–40 лет), большое количество подроста и в целом “наступательный” характер верхней границы леса.

В пределах высокогорного массива МТ наблюдается несколько иная картина. Снижение прироста приходится на период с середины 40-х гг. XX в. по настоящее время. Кроме того, наблюдаются положительная связь с суммой летних осадков, отрицательная — со средними летними температурами (рис. 10).

Из рис. 11 также видно, что наиболее высокие значения прироста соответствуют интервалу значений средней летней температуры 12–13°C, однако тем же значениям соответствуют также и очень низкие значения прироста (значения на графике выделены черным цветом).

Это свидетельствует о том, что кроме средней летней температуры на прирост значительно влияет какой-то другой фактор, особенно в оптимальном интервале температур. Таким фактором, по-видимому, является количество атмосферных осадков, наибольшее количество которых на Монгун-Тайге приходится на летние месяцы. Перераспределение осадков по формам рельефа и склонам разных экспозиций, в сущности, и является лимитирующим фактором для роста деревьев в условиях аридного типа высотной поясности. Чтобы оценить влияние этого фактора, рассмотрим структуру данных по этому участку подробнее.

В ходе исследований в пределах участка МТ были заложены две пробные площадки (рис. 12). На обеих площадках лесные массивы расположены в ложбинах, однако на второй площадке лес занимает большую по площади и крутизне ложбину, что обеспечивает ей большую увлажненность, а деревьям — более благоприятные условия произрастания.

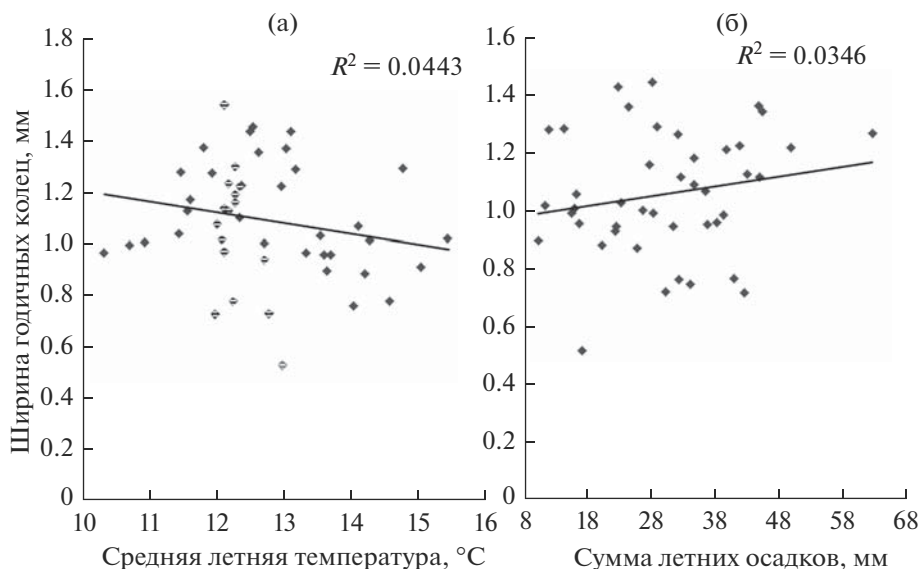


Рис. 11. Связь между приростом на участке МТ и средней летней температурой на метеостанции Мугур–Аксы (А); линейная зависимость между приростом на участке МТ и суммой летних осадков на метеостанции Мугур–Аксы (В).

Fig. 11. Correlation between tree-ring growth in the study area MT and average summer temperature at the Mongun–Taiga meteorological station (A); linear relationship between tree-ring growth in the study area MT and summer precipitation at the Mongun–Taiga meteorological station.

Как показано на трехмерной диаграмме зависимости прироста от температуры и осадков, в первом случае (А) высокий прирост более жестко лимитирован количеством осадков, на второй площади (В) радиальный прирост менее зависим от количества осадков, что подтверждает значительную обусловленность роста деревьев в пределах массива перераспределением влаги за счет особенностей рельефа.

Считается, что в горных районах нижняя граница леса определяется, в основном, степенью увлажнения, тогда как на верхней границе признаком, лимитирующим прирост деревьев, является температура воздуха за летний период. Однако на участке МТ нижняя и верхняя границы леса “смыкаются”, образуя всего лишь полосу произрастания древесной растительности в диапазоне высот 2000–2400 м, а лес оказывается “зажат” между двумя лимитирующими факторами: увлажненностью и оптимальной летней температурой.

ВЫВОДЫ

Дендроклиматические исследования, проведенные на верхнем пределе распространения древесной растительности в горах Западной Тувы, показали, что, несмотря на существующий тренд повышения температуры, наблюдаемый по данным ряда метеостанций, динамика прироста деревьев на верхней границе леса отражает эти изменения по-разному. К сожалению, для исследуемой территории, сеть метеорологических станций недостаточно плотна, и данные некоторых участков сопоставлялись с данными наблюдений одной и той же метеостанции. Поэтому выводы об увлажненности участков основывались на косвенных признаках, таких как присутствие в качестве примеси кедра, предьявляю-

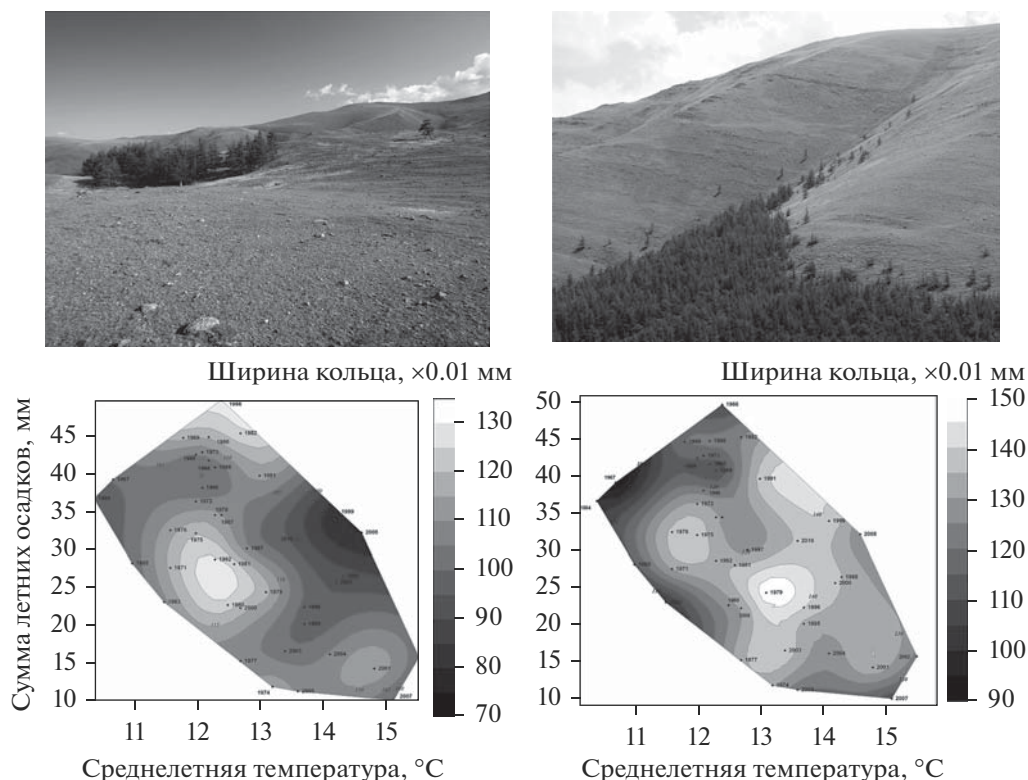


Рис. 12. Зависимость прироста от средней летней температуры и суммы летних осадков на точках отбора образцов в пределах участка МТ.

Fig. 12. Dependence of tree-ring growth on average summer temperature and summer precipitation for sampling points within MT study area.

щего повышенное требование к влажности [11]; произрастание деревьев по водоразделам; образование целостной полосы леса в структуре высотной поясности.

В работе были рассмотрены три участка верхней границы леса: участок на северо-западе Тувы, в пределах горной системы Западного Саяна (КС); участок на южном макросклоне хребта Западный Танну-Ола (ЭХ); участок в пределах высокогорного массива Монгун-Тайга (МТ). По результатам проведенных исследований можно обозначить ряд закономерностей. Принято считать, что повышение летних температур ведет к увеличению прироста и подъему высотных отметок верхней границы леса. В пределах более увлажненных участков КС и ЭХ действительно наблюдается положительная зависимость прироста от средних летних температур, при этом с осадками связь отрицательна. Можно говорить также и о поднятии верхней границы леса, так как возраст деревьев составляет в среднем 30–40 лет, отмечается много подроста по всему профилю.

В более засушливых условиях участка МТ увеличение прироста определяется сочетанием оптимальной среднеголетней температуры (12–13 $^{\circ}\text{C}$) и максимальных осадков; при этом как увеличение, так и уменьшение температур отрицательно сказывается на приросте.

сте. Таким образом, небольшие участки леса, произрастающего на массиве МТ, находятся одновременно и на верхней, и на нижней границах леса, попадая под действие сразу двух лимитирующих факторов: увлажненности и летней температуры. При общем тренде повышения температуры и уменьшения осадков смещения предела произрастания деревьев вверх по склону не фиксируется, лес удерживает прежние границы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров А.Ю. Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семиречья (Центральный Алтай) // Журн. Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2009. Т. 2. № 1. С. 30–37.
2. Бочаров А.Ю. Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменения климата // Вестн. Томского Государственного Университета. Сер. Биология. 2011. № 352. С. 203–206.
3. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
4. Высокая Е.С., Дмитриев А.И., Ноженкова Л.Ф., Шишов В.В. Пространственное распределение трендов климатических параметров (XX в.) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. Вып. 1. С. 83–86.
5. Герасимова О.В., Жарников З.Ю., Кнорре А.А., Мыглан В.С. Климатически обусловленная динамика радиального прироста кедра и пихты в горно-таежном поясе природного парка “Ергаки” // Журн. Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2010. № 3(1). С. 18–29.
6. Горный массив Монгун-Тайга / К.В. Чистяков, Д.А. Ганюшкин, И.Г. Москаленко и др. Под ред. К.В. Чистякова. СПб: “Арт-Экспресс”, 2012. 310 с.
7. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 208 с.
8. Журавлева О.В. Дендроиндикация изменений природной обстановки на верхней границе леса в горах Алтая: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Алтайский государственный университет. Барнаул, 2002. 21 с.
9. Истомов С.В. Современная динамика верхней границы леса в горах Западного Саяна // Горные экосистемы Южной Сибири: изучение, охрана и рациональное природопользование: материалы I межрегиональной научно-практической конференции. Труды ГПЗ “Тигерский”. Вып. 1. Барнаул. 2005. С. 211–214.
10. Окишев П.А. Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск: Изд-во ТГУ, 1982. 209 с.
11. Ойдунаа О.Ч., Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М. Длительные изменения летней температуры и радиальный рост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране // Лесоведение. 2004. № 6. С. 14–24.
12. Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 226 с.
13. Сыромятина М.В. Современные изменения климата и элементов высотной поясности ландшафтов Алтая: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: СПбГУ, 2010. 18 с.
14. Тронов М.В. О некоторых географических признаках климата в высокогорной местности // Гляциология Алтая. Томск. 1964. Вып. 3. С. 12–51.
15. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
16. Kharuk V.I., Im S.T., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Climate-induced tree-line evolution in southern Siberia // Scandinavian J. Forest Research. 2010. № 25. P. 446–454.
17. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
18. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements // Tree-Ring Bull. 1983. V. 44. P. 69–75.

Some Results of Tree-ring Analysis at the Upper Timberline in the Mountains of Western Tuva

M. A. Kolunchukova^{1, *} and A. I. Reznikov^{2, **}

¹*Ioganson St. Petersburg State Academy Art Lyceum, Saint-Petersburg, Russia*

²*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

**e-mail: kolun4ukova@yandex.ru*

***e-mail: ar1725-2@mail.ru*

The purpose of this research was an analysis of the impact of main climatic factors on tree growth and current treeline dynamics under the climate changes in the mountains of Western Tuva. Tree-ring width chronologies were built based on larch samples (*Larix sibirica*) of living trees from the upper timberline, the chronologies were compared, their statistics were estimated, and correlation with temperatures and precipitations were received. Correlations between chronologies and climatic factors revealed different climatic influences on radial growth along a north-south gradient in the study area. In conditions of sufficient moisture tree ring width correlates positively with average summer temperatures and negative with precipitations.

Keywords: treeline, dynamic of tree growth, dendrochronology, mountains of Western Tuva, summer temperature

REFERENCES

1. *Bocharov A. Yu.* Klimatichesky obuslovlennyy radial'nyj rost xvojnyx v verxnej chasti lesnogo poyasa Seminskogo xrebt (Central'nyj Altaj) // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Biologiya. 2009. T. 2. № 1. S. 30–37.
2. *Bocharov A. Yu.* Struktura i dinamika vysokogornyx lesov Severo-Chujnskogo xrebt (Gornyy Altaj) v usloviyax izmeneniya klimata // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ser. Biologiya. 2011. № 352. S. 203–206.
3. *Vaganov E.A., Shashkin A.V.* Rost i struktura godichnyx kolec xvojnyx. Novosibirsk: Nauka, 2000. 232 s.
4. *Vysokaya E.S., Dmitriev A.I., Nozhnikova L.F., Shishov V.V.* Prostranstvennoe raspredelenie trendov klimaticheskix parametrov (XX vek) // Osnovnye zakonomernosti global'nyx i regional'nyx izmenenij klimata i prirodnoj sredy v pozdnem kajnozoe Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 2002. Vyp. 1. S. 83–86.
5. *Gerasimova O.V., Zharnikov Z. Yu., Knorre A.A., Myglan V.S.* Klimaticheski obuslovlennaya dinamika radial'nogo prirosta kedra i pity v gorno-taezhnom poyase prirodnogo parka "Ergaki" // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. Biologiya. 2010. № 3(1). S. 18–29.
6. Gornyy massiv Mongun-Tajga / K.V. Chistyakov, D.A. Ganyushkin, I.G. Moskalenko i dr. Pod red. K.V. Chistyakova. SPb.: "Art-E'kspres", 2012. 310 s.
7. *Gorchakovskij P.L., Shiyatov S.G.* Fitoindikaciya uslovij sredy i prirodnix processax v vysokogor'yax. M.: Nauka, 1985. 208 s.
8. *Zhuravleva O.V.* Dendroindikaciya izmenenij prirodnoj obstanovki na verxnej granice lesa v gorax Altaya: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Altajskij gosudarstvennyj universitet. Barnaul, 2002. 21 s.
9. *Istomov S.V.* Sovremennaya dinamika verxnej granicy lesa v gorax Zapadnogo Sayana // Gornye e'kosistemy Yuzhnoj Sibiri: izuchenie, oxrana i racional'noe prirodrpol'zovanie: materialy I mezhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. Trudy GPZ "Tigreckij". Vyp. 1. Barnaul. 2005. S. 211–214.
10. *Okishev P.A.* Dinamika oledeneniya Altaya v pozdnem plejstocene i golocene. Tomsk: Izd-vo TGU, 1982. 209 s.
11. *Ojdupaa O.Ch., Vaganov E.A., Naurzbaev M.M.* Dlitel'nye izmeneniya letnej temperatury i radial'nyj rost listvennicy na verxnej granice lesa v Altae-Sayanskoy gornoj strane // Lesovedenie. 2004. № 6. S. 14–24.
12. *Polikarpov N.P., Chebakova N.M., Nazimova D.I.* Klimat i gornye lesa Yuzhnoj Sibiri. Novosibirsk: Nauka, 1986. 226 s.

-
13. *Syromyatina M.V.* Sovremennye izmeneniya klimata i e'lementov vysotnoj poyasnosti landshaftov Altaya: avtoref. dis. ... kand.geogr.nauk. Spb.: SpbGU, 2010. 18 s.
 14. *Tronov M.V.* O nekotoryx geograficheskix priznakax klimata v vysokogornoj mestnosti // Glyaciologiya Altaya. Tomsk, 1964. Vyp. 3. S. 12–51.
 15. *Shiyatov S.G.* Dendroxronologiya verxnej granicy lesa na Urale. M.: Nauka, 1986. 136 s.
 16. *Kharuk V.I., Im S.T., Dvinskaya M.L., Ranson K.J.* Climate-induced tree-line evolution in southern Siberia // Scandinavian J. Forest Research. 2010. № 25. P. 446–454.
 17. *Rinn F.* TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
 18. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements // Tree-Ring Bull. 1983. V. 44. P. 69–75.