

**ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА НА ШИРИНУ
КОЛЕЦ ПИХТЫ КАВКАЗСКОЙ (*ABIES NORMANNIANA*)
И БУКА ВОСТОЧНОГО (*FAGUS ORIENTALIS*)
В БУКО-ПИХТАРНИКАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

Е.А. Грабенко, О.Н. Соломина¹

В связи с изменением климата, которое отмечают в последние десятилетия во многих районах мира (IPCC, 2007), меняются многие характеристики растительности, в том числе радиальный прирост древесных пород. Для Западного Кавказа нам известна лишь одна публикация, касающаяся дендрохронологии (Брукштус, Бальчунас, 1981), в которой приводится хронология пихты из Зеленчукского района Архызского лесничества за 1776-1984 годы. Авторами рассматривается 14 образцов, однако полученные данные не анализируются. Другие дендрохронологические работы из этого региона нам не встречались.

Целью данной публикации является выявление характера связи между годичным радиальным приростом доминантов буково-пихтовых лесов Западного Кавказа и рядом метеорологических параметров. Для этого был выполнен корреляционный анализ соотношения между индексами ширины годичных колец пихты кавказской и бука восточного, полученных при обработке ядер, отобранных в долинах рек Грустная, Малая Лаба, Малчепа и средними, минимальными, максимальными месячными температурами, среднемесячной относительной влажностью воздуха и количеством осадков.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории Кавказского государственного природного биосферного заповедника имени Х.Г. Шапошникова, площадь которого составляет более 273 тысяч га. Он расположен вдоль северного и южного макросклонов Главного Кавказского хребта.

Важнейшая орографическая единица заповедника – Главный Кавказский хребет – простирается с северо-запада на юго-восток. С северной стороны вытянут Передовой хребет, представленный рядом горных массивов разделенных узкими ущельями и седловинами. В геолого-геоморфологическом отношении район входит в область южной сланцевой депрессии, характеризующейся широким распространением шиферных сланцев юрского периода (Хасаншина, 1949.). Мезорельеф представлен разнообразными формами речных долин рек Малая Лаба, Уруштен и правых притоков верховьев реки Белой. Высотные отметки исследуемой территории колеблются от 690 до 3345 метров над уровнем моря. Здесь наблюдаются крутые (20-30) и сильно крутые (30-40) склоны. Террасы представлены незначительно.

В целом район характеризуется мягким и влажным климатом. Территория заповедника по П.Б. Алисову (1956) относится к влажной подобласти высокогорной климатической области Кавказа. Характерными условиями циркуляции атмосферы являются взаимодействия отрога азиатского антициклона и прохождение средиземноморских и иранских циклонов. Южное положение Кавказа обеспечивает довольно высокую инсоляцию на протяжении всего года. Сложные орографические условия создают ярко выраженную вертикальную зональность климата. Температурный режим в целом характеризуется умеренностью, хотя в отдельные годы бывают сильные морозы и жара. Среднегодовая температура воздуха для территории заповедника на высоте 1500 м над уровнем моря составляет +5°C. С уменьшением высоты над уровнем моря на 500 метров изменение среднегодовой температуры составляет в среднем 2,5°C. Продолжительность вегетационного периода для лесов Кавказского заповедника на высоте 1000 метров над уровнем моря составляет 5,5 месяцев, на высоте 1980 – 3,5 месяца (Кожевников, 1959).

Разнообразие физико-географических условий заповедника обусловили резкое различие его отдельных районов в отношении растительности. Е.В. Шифферс (1953) рассматривает Кавказ в качестве особой области растительности, выделяя кавказскую горную область лугов и лесов, разделенную на четыре провинции. Территория заповедника входит в две провинции – Северокавказскую и Западно-кавказскую. Большая часть заповедника, расположенная на северном макросклоне, занимает южные районы Майкопского и Лабинского округов Кубанской провинции. К.Ю. Голгофская (1967) при детальном геоботаническом районировании территории заповедника выделяет девять районов: Сахрайский, Нижнеуруштенский, Пшекиш-Бамбакский, Ятыргвартинский, Белореченский, Верхнекишинский, Верхнелабинский, Верхнемзымтинский, Юго-Западный.

Основными типами леса в районе исследования являются коренные (климаксовые) среднетравно-овсяницевые (злаковые) и разнотравно-ожинново-папоротниковые буко-пихтарники высоких классов бонитета. Среднетравно-овсяницевые буко-пихтарники располагаются на освещенных, хорошо дренированных склонах южной, юго-западной и юго-восточной экспозиций на высотах от 1100 до 1700 м над ур. моря, занимая выпуклые элементы рельефа, которые испытывают временное недостаточное увлажнение (Голгофская, 1967). Почвы под ними бурые горно-лесные, суглинистые различной степени мощности (Голгофская, 1967; Орлов, 1951; Зонн, 1950 и др.). В состав древостоев повсеместно по высотному профилю преобладает пихта кавказская. Ее участие колеблется от 4 до 10 единиц, доля бука восточного не превышает 6 единиц. Изредка в подчиненных ярусах наблюдается ильм или клен явор. Разнотравно-ожинново-папоротниковые буко-пихтарники встречаются на высотах от 800 до 1700 м на более затененных склонах различной экспозиции и крутизны (Голгофская, 1967; Орлов, 1951). Чаще их можно обнаружить по север-

ным склонам, на южных их распространение ограничено пологими, ровными или вогнутыми участками. Почвы под этим типом леса бурые горно-лесные, суглинистые, различные по мощности и степени скелетности, в достаточной степени увлажненные (Голгофская, 1967; Тимухин, Горчарук, 1990; Локтионова, Горчарук, 2003). Доминирование пихты кавказской здесь сказывается меньше, чем в среднетравно-овсяницево-м типе. Ее количество достигает на одних участках 10 единиц состава, а на других равно единице. Участие бука в составе древостоя может быть до 9 единиц, что также отличается от предыдущего типа леса. Кроме бука и пихты в состав подчиненных ярусов единично входят клен явор, клен остролистный, ильм и граб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В этой работе мы использовали древесно-кольцевые хронологии пихты кавказской и бука восточного, построенные нами для высокогорных и среднегорных ландшафтов Кавказского заповедника (табл. 1, рис. 1). Верхняя (GRS) и нижняя (GZP) площадки отбора образцов соответствуют верхней и нижней границе ареала буково-пихтовых лесов на Западном Кавказе. Хронология по буку построена для высоты 700 м и заложена вблизи метеостанции Гузерипль.

Таблица 1
Характеристика дендрохронологических площадок

Название площадки, порода дерева	Местоположение	N	E	Экспозиция склона	Высота над ур.м., м	Кол-во кернов / деревьев	Дата отбора проб
GRS пихта	Верхняя граница леса на правом берегу р. Грустная	43°47'08,9"	40°37'55,3"	NE	2018	20/10	08.2008
MLB пихта	Пойма р. Малая Лаба в 1 км вверх от кордона Умпырь	43°50'48,3"	40°22'50,2"	NW	1040	20/10	09.2008
GZPA пихта	Правый берег устья р. Малчепе (район кордона Гузерипль)	43°59'30"	40°08'15"	SW	670	20/10	02.2010

GZPF бук	Левый берег устья р. Малчспа (район кордона Гузерицль)	43°59'30"	40°08'15"	SW	670	20/10	02.2010
ALI пихта	Долина ледника Алибек	43°17'54,2"	41°34'12,7"	SSE	1889	26/12	06.2006

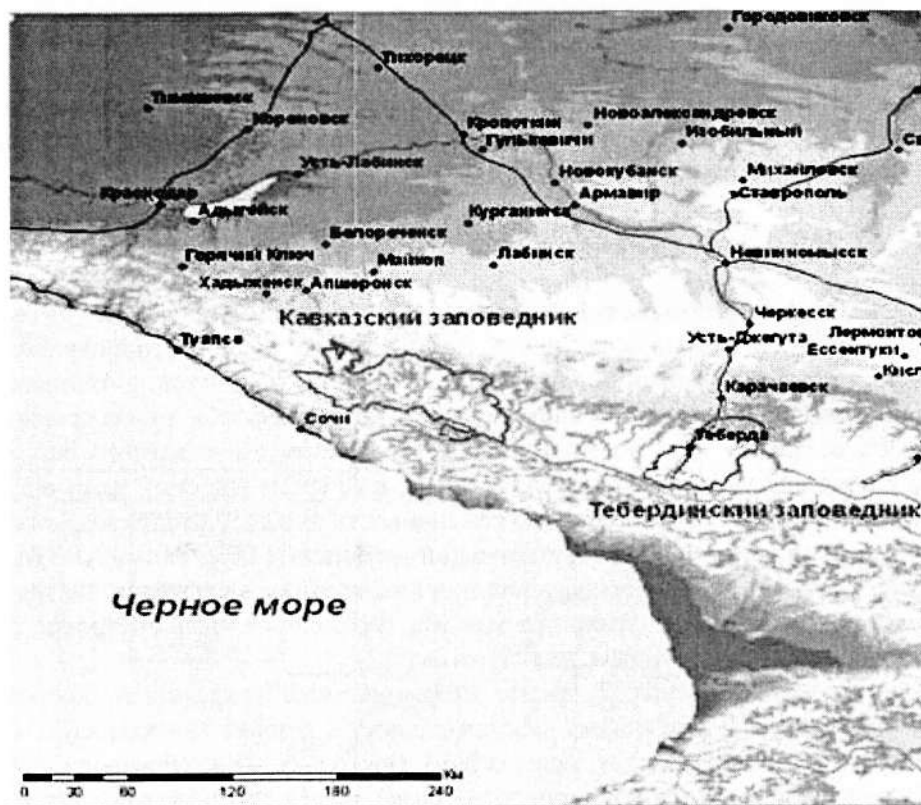


Рисунок 1. Местоположение точек отбора образцов и используемых метеостанций

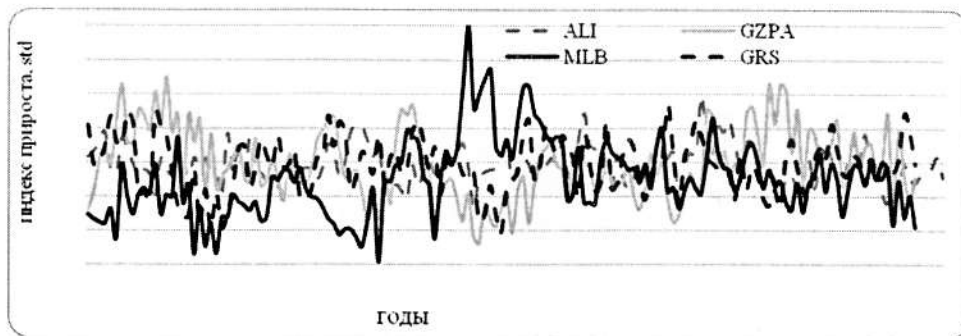
В основу работы положен дендрохронологический материал, который отбирался в период 2004-2009 гг. нами и сотрудниками отделов гляциологии и геохимии Института географии (ИГ) РАН на территории Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Эти материалы были дополнены и сравнены с хронологией пихты кавказской, полученной Е.А. Долговой в Тебердинском заповеднике (см. табл. 1, рис. 1).

Образцы отбирались возрастным буром Пресслера на высоте 1-1.5 м от поверхности земли, по два керны из каждого дерева. Дальнейшая обработка образцов проводилась в дендрохронологической лаборатории ИГ РАН в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа (Cook, Kairiukstis, 1990; Шиятов и др., 2000). Керны были вклены в деревянные подложки и отшлифованы для увеличения контрастности колец. Затем годовичные кольца были посчитаны и размечены по десять, пятьдесят и сто лет. Измерения ширины годовичных колец произведены на полуавтоматической установке LINTAB с точностью до 0.01 мм. С помощью программы COFESHA (Holmes, 1983) проводился контроль качества измерений и поиск выпадающих и ложных колец. Керны с известным годом отбора образцов датировались в рамках каждой пробной площади, образцы с разных площадок объединялись в единые хронологии по отдельным видам. Все датировки проходили контроль с помощью тестов программы COFESHA.

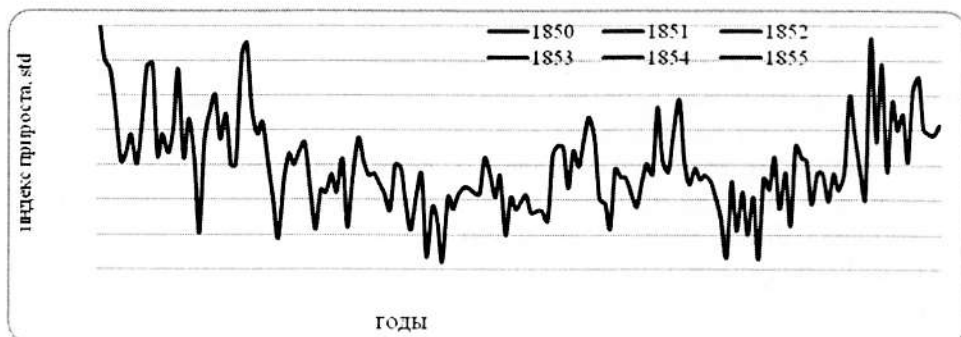
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поскольку ширина годовичных колец, помимо климата, зависит от множества других факторов, в частности, от возраста деревьев, в дендрохронологии принято использовать не абсолютные величины приростов, а их относительные значения – индексы ширины колец. Выбор способа индексирования зависит от задачи исследования. Для выявления высокочастотного сигнала обычно используют остаточные хронологии, в то время как стандартные хронологии лучше отражают декадную изменчивость. В нашей работе возрастной тренд удалялся с помощью отрицательной экспоненты (программа ARSTAN) (Cook, 1985) путем деления значения ширины кольца в каждый год на значение аппроксимирующей функции в этот год. В результате было построено три хронологии для пихты и одна – для бука (рис. 2).

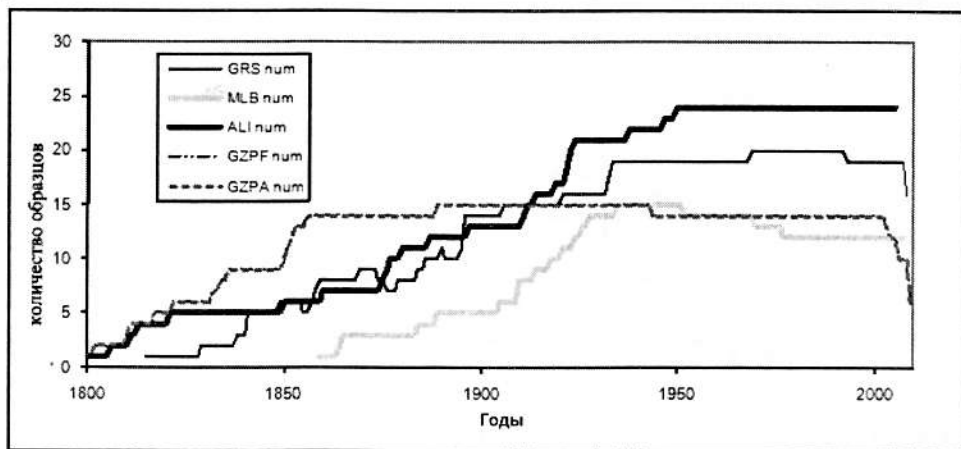
Хронологии (табл. 2) имеют межсерийный коэффициент корреляции близкий к 0.6 и среднюю чувствительность, которая характеризует амплитуду изменчивости рядов, около 0.2-0.3. Поскольку число образцов старше 1850-го года в большинстве хронологий резко падает, что может повлиять на результаты анализа, мы ограничили ряды периодом с 1850 по 2005 (2009) гг. Образцы пихты, за отдельными исключениями, датируются между собой вне зависимости от того, на какой площадке они были отобраны. Это свидетельствует о том, что приросты пихты в интервале высот 670-2000 м в большой степени управляются набором сходных внешних факторов. Ни один из образцов бука не датируется относительно пихты, даже относительно деревьев, растущих поблизости. Это означает, что прирост этих двух пород регулируется существенно разными климатическими параметрами.



а



б



в

Рисунок 2. Стандартные хронологии радиальных приростов пихты (а) и бука (б) на Западном Кавказе и их обеспеченность образцами (в)
 перевернуть подпись на вертикальной оси

Таблица 2
Характеристики хронологий

Хронология	Число серий в хронологии	Продолжительность хронологии	Число колец	Межсерийный коэффициент корреляции	Средняя чувствительность
GZPF	15	1782-2009	2562	0.6	0.29
GZPA	41	1630-2009	3935	0.57	0.27
ALI	24	1800-2005	2908	0.51	0.16
MLB	21	1851-2007	1988	0.6	0.21
GRS	26	1815-2008	2469	0.57	0.21

Для определения отклика величины радиального прироста на колебания климата нами был проведен корреляционный анализ между индексами ширины годовых колец и климатическими показателями. Учитывая, что на прирост текущего года большое влияние оказывают климатические условия предыдущего года, для сравнения брались показатели за 24 месяца. Для работы мы использовали данные ближайших к пробным площадям метеостанций системы Росгидромета и метеоплощадки «Джуга» одноименного биогеоэкологического стационара Кавказского заповедника (табл. 3). Средние многолетние характеристики метеопараметров, измеренные на станциях Гузерипль и Джуга, приведены в таблице 4.

Таблица 3
Характеристика используемых метеостанций

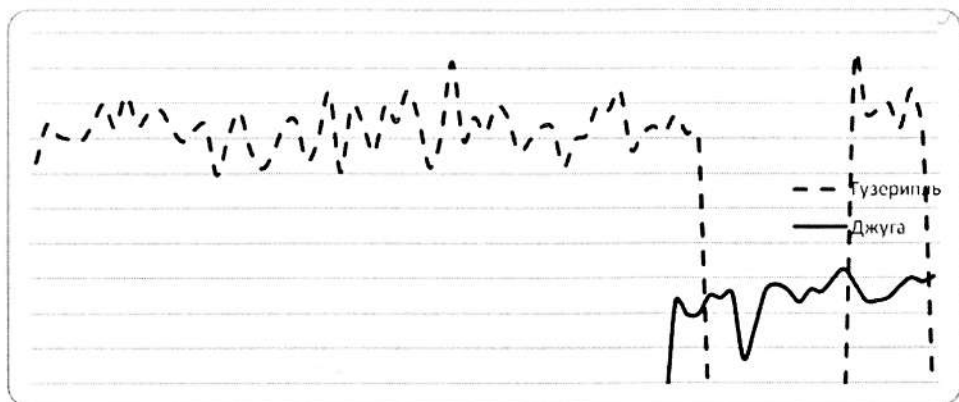
Метеостанция	Координаты	Высота над ур.м., м	Длина ряда	Пропуски в измерениях, годы (месяцы)
Гузерипль	44° 00' с.ш. 40° 57' в.д.	610	1929-1988	07. 1942 – 12. 1942
Бурное	44° 28' с.ш. 40° 43' в.д.	733	1933-1950	07.1942 – 07.1943
Джуга	43° 53' с.ш. 40° 29' в.д.	2040	1986-2009	отсутствуют
Теберда	43°27' с.ш. 41°44' в.д.	1313	1956-2005	отсутствуют

Таблица 4
Среднемноголетние характеристики метеопараметров метеостанций
Гузерибль (1929 – 1988) и Джуга (1986 – 2009)

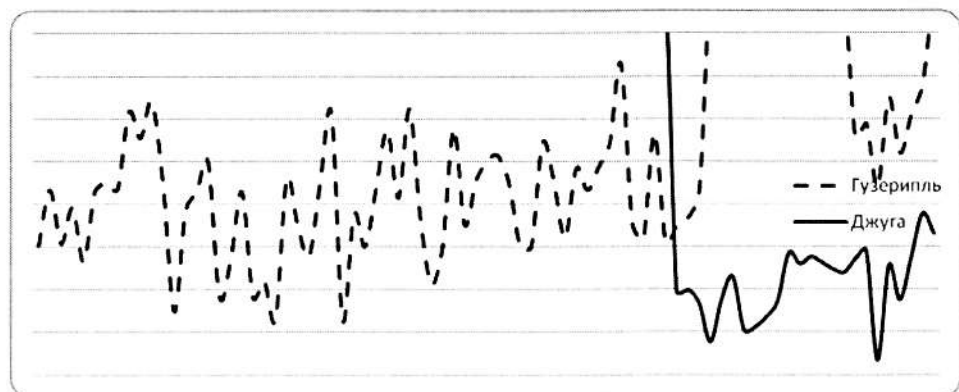
Метеостанция	Статистический показатель			
	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Средняя температура воздуха				
Гузерибль	8,2	6,4	10,3	0,7
Джуга	3,0	1,4	3,9	0,6
Максимальная температура воздуха				
Гузерибль	33,1	28,8	38,3	2,3
Джуга	23,6	20,1	30,3	2,0
Минимальная температура воздуха				
Гузерибль	-20,7	-34,8	-8,3	0,6
Джуга	-18,7	-22,5	-16,2	0,4
Относительная влажность воздуха				
Гузерибль	79	72	81	0
Джуга	70	60	79	1
Сумма осадков				
Гузерибль	1116	616	1537	206
Джуга	1321	792	2869	462

Проведенный корреляционный анализ показал очень тесную связь между среднемесячными исследуемыми значениями метеостанций Гузерибль и Бурное. Поэтому для дендроклиматического анализа площадки MLB нами были использованы данные метеостанции Гузерибль с более продолжительным рядом наблюдений. Значимая корреляционная связь между данными по количеству осадков, температуре и влажности воздуха метеостанции Гузерибль и метеоплощадки Джуга отсутствует, что связано с существенной разницей в высотном положении этих метеостанций (610 и 2040 м над уровнем моря, соответственно). Это не дает возможности использовать более длинный ряд метеоданных ГМС Гузерибль для корреляции с площадкой GRS, расположенной на высоте 2018 м. Поэтому в этом случае мы были вынуждены ограничиться 25-летним рядом наблюдений на метеоплощадке Джуга.

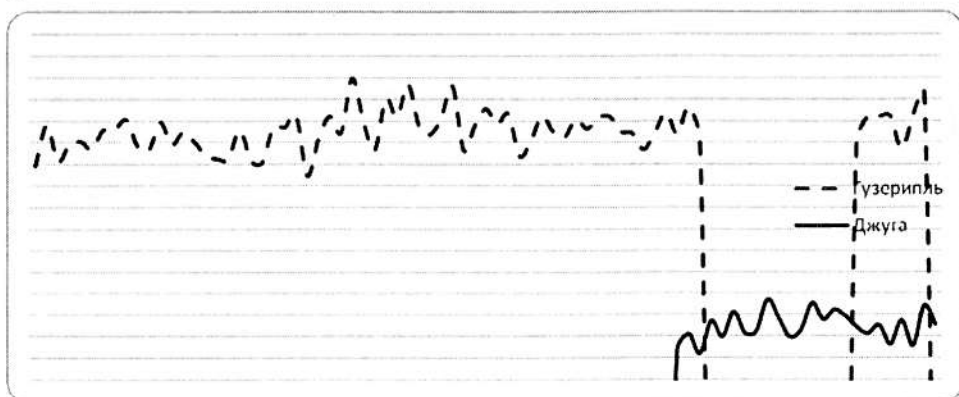
Изменчивость среднегодовых значений температур, осадков и относительной влажности воздуха показана на рисунке 3 (а-д). Из рисунка, в частности, видно, что минимальные экстремумы температуры менее выражены на метеоплощадке «Джуга», чем на метеостанции Гузерибль. Относительная влажность воздуха показывает максимальные значения в районе Гузерибля, что может быть связано с большей облесенностью этой местности. Обращает на себя внимание резкое увеличение осадков в высокогорье в 2004-2006 и последующее такое же резкое их сокращение.



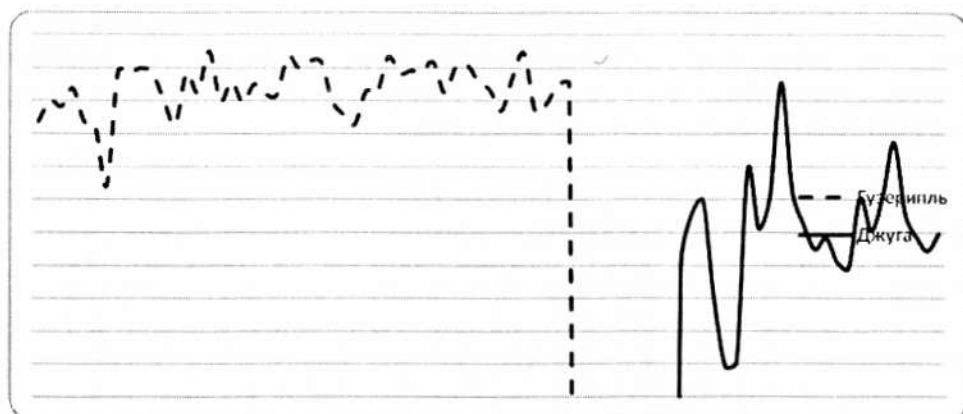
а



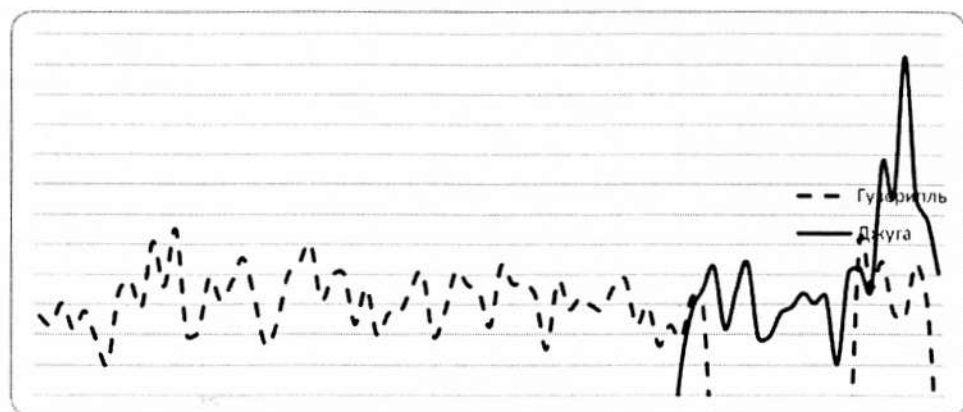
б



в



г



д

Рисунок 3. Среднегодовые метеопоказатели по метеостанции Гузерипль и метеоплощадке Джуга: а – средняя температура воздуха; б – минимальная температура воздуха; в – максимальная температура воздуха; г – относительная влажность воздуха; д – сумма осадков

Для проверки значимости трендов в исследуемых метеорологических рядах использовалась следующая методика. Сначала из временных рядов вычитался линейный тренд (МНК), и оценивалась дисперсия отклонений. Затем методом Монте-Карло генерировались 10000 независимых случайных временных рядов с нормальным распределением и оцененной дисперсией, и для каждого из них был посчитан тренд. Наконец, 2,5-я и 97,5-я процентиля распределения значений этих трендов были приняты за нижнюю и верхнюю границу для проверки значимости тренда, т.е. если первоначальный тренд попадал в этот интервал, то он не являлся значимым.

Анализ, проведенный по вышеописанной методике, показал, что в ходе температур, осадков и относительной влажности воздуха существенно чаще

отмечаются положительные, а не отрицательные тренды. На верхней границе леса есть тенденция повышения температур за год; наиболее часто положительные тренды обнаруживаются в ходе минимальной температуры воздуха, особенно вблизи верхней границы леса (табл. 5).

Таблица 5

Наличие и направление трендов исследуемых метеорологических параметров

Метеостанция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	год
Средняя температура воздуха													
Гузерипись				+				-		-			
Джуга											+		+
Максимальная температура воздуха													
Гузерипись		+				+							+
Джуга													
Минимальная температура воздуха													
Гузерипись				+						-			
Джуга				+			+	+					+
Относительная влажность воздуха													
Гузерипись			+		+								+
Джуга		+	+						+				
Сумма осадков													
Гузерипись													
Джуга		+	+		+		+						+

Примечание. Тренды рассчитаны для периода 1929–1988 гг. (ГМС Гузерипись) и 1986–2009 гг. (ГМС Джуга).

Анализ дендрохронологических данных

По таблице 6 можно оценить силу связей между изменчивостью ширины годовых колец пихты и бука на пробных площадях, расположенных в разных высотных поясах. Из нее видно, что самая высокая корреляция наблюдается у хронологий ширины годовых колец пихты с площадок ALI и GRS. Они расположены в разных долинах (Теберда и Грустная, соответственно), но в одном высотном диапазоне, а именно в верхней части лесного пояса. Это, в частности, косвенно свидетельствует о том, что приростом в этих условиях в большей степени управляет общий набор «макрофакторов», скорее всего климатических, а не местные условия. Чем ниже расположены площадки, тем слабее корреляция между ними, тем сильнее влияние местных экологических условий на прирост древесины.

Таблица 6

Коэффициенты взаимных корреляций стандартных хронологий пихты и бука

	GRS	MLB	ALI	GZPA	GZPF
GRS	1,00				
MLB	0,24	1,00			
ALI	0,55	0,30	1,00		
GZPA	0,23	0,14	0,23	1,00	
GZPF	0,06	0,01	0,05	0,25	1,00

Прирост бука (хронология GZPF) коррелирует на грани достоверности только с ближайшей от него хронологией пихты GZPA. Однако сопоставление индексов прироста этих двух площадок показывает, что при сглаживании этих кривых становится заметным их явное сходство с повышением приростов в 1860-е–1870-е и 1970-е–1990-е гг. и понижением ширины колец между этими двумя периодами (рис. 4). Есть сходство и в изменчивости кривых в целом за полтора столетия, однако, если в последние три десятилетия у бука замечен положительный тренд прироста, у пихты этого тренда не наблюдается. Более того, в последнее десятилетие прирост пихты на этой площадке снижается. В ходе межгодовой изменчивости наблюдаются как периоды синхронной динамики приростов у обеих пород (например, повышение приростов в 1865, 2002, 2004 гг. и понижение в 1935, 1958, 2003 гг.), так и противофазной (1859, 1869, 1915, 1947, 2000 гг.).

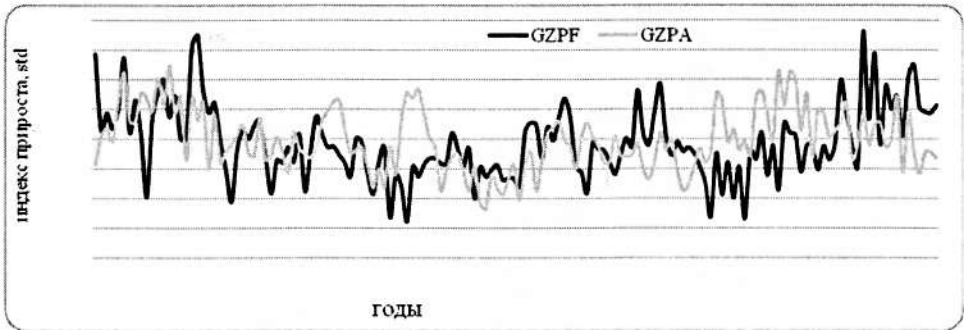


Рисунок 4. Индексы приростов пихты и бука на высоте 670 м над уровнем моря перевернуть подпись на вертикальной оси

В таблице 7 приведены годы аномально больших и малых приростов во всех четырех исследованных хронологиях. Их сравнение показывает, что годы аномального прироста практически никогда не повторяются на всех четырех площадках. Так, например, 1965 г. был неблагоприятным для всех трех площадок в Кавказском заповеднике, но в долине ледника Алибек, напротив, при-

рост пихты был аномально высоким. 1971 г. был благоприятным для прироста на трех площадках из четырех рассмотренных. Это не противоречит выводу относительно возможности перекрестного датирования всех рассмотренных площадок между собой, так как при датировании учитывается не абсолютный прирост, а изменение его тенденции. Обращает на себя внимание положительная тенденция прироста у пихты на нижней площадке, которая отмечается с 1970-го года. При этом на площадке из средней части лесного пояса с начала 1970-х гг. наблюдается, напротив, тенденция понижения прироста.

Таблица 7
Годы с приростом, выходящим за пределы стандартного отклонения

Годы	GZPA	MLB	GRS	ALI	Годы	GZPA	MLB	GRS	ALI
1929					1969				
1930	■	■	■		1970	■			■
1931	■				1971		■		
1932	■		■		1975			■	
1933	■		■		1976				■
1935	■				1977	■			
1936					1978	■			
1937					1979				■
1938	■	■			1980			■	■
1939		■			1981	■		■	
1940		■			1982	■			■
1941			■		1983			■	
1942			■		1984	■	■		■
1944			■		1985		■		
1945					1986	■			
1946				■	1987	■	■		■
1947			■		1988	■		■	
1948		■			1989	■			■
1949		■		■	1991				■
1950		■			1992			■	
1952			■		1993	■			
1953				■	1994	■	■		■
1958	■			■	1995				■
1959			■		1996	■			
1962		■		■	2002	■			
1963			■		2003		■		
1964	■				2004	■			
1965	■	■	■	■	2005		■	■	
1966				■	2006	■		■	
1967				■	2007		■		
1968			■						

Примечание. Горизонтальная штриховка – прирост больше нормального, вертикальная штриховка – прирост меньше нормального.

Анализ корреляционных зависимостей индексов прироста древесины с метеорологическими данными показал, что коэффициенты корреляции между этими параметрами в целом низки и редко статистически значимы, что характерно для районов, благоприятных в климатическом отношении для произрастания деревьев определенных видов (см. например, Schweingruber, 1988) (табл. 8). Западный

Кавказ с его мягким климатом является классическим примером таких районов. Именно поэтому здесь до сих пор не существует количественных реконструкций климата, основанных на ширине годичных колец (Соломина, 1999). Тем не менее, наш анализ выявил некоторые тенденции связи приростов и колебаний климата. Так, на верхней площадке у пихты кавказской увеличение радиального прироста происходит, если предыдущие и текущие летние и осенние месяцы характеризуются невысокими средними температурами и отсутствием максимальных экстремумов (табл. 8). Все три графика, относящиеся к корреляции с температурами, похожи, а те, что характеризуют связи с увлажнением, показывают противоположную тенденцию (положительная связь с осадками теплого периода) (табл. 8).

Для площадки MLB, расположенной в средней части буково-пихтовых лесов на высоте 1040 м, корреляционный анализ выявил значимую прямую зависимость прироста и средней температуры летних месяцев прошлого и текущего годов, а также подобную связь с минимальными экстремумами конца вегетационного периода текущего года (табл. 8). Максимальные экстремумы в этом высотном диапазоне мало влияют на ширину годичного прироста. Влияние влажности и осадков здесь такое же, как и в верхнем высотном диапазоне на высоте около 2000 м.

Для прироста пихты на нижнем пределе ее ареала благоприятны теплая зима и начало весны (до апреля) и не жаркий май месяц текущего года (табл. 8). Максимальные и минимальные экстремальные температуры значимого влияния на прирост на этой высоте не оказывают, так же как и относительная влажность, и количество выпавших осадков. Последнее, возможно, объясняется постоянной высокой влажностью среднегорных лесов, а также более плоским рельефом и развитыми почвами, что обеспечивает более полное и равномерное насыщение грунтовыми водами корнеобитаемого слоя.

Анализ зависимости величины прироста бука восточного от климатических колебаний показал, что кроме прохладных летних месяцев, имеется значимая положительная связь приростов с температурой зимних месяцев и отрицательная связь с температурой весенних месяцев текущего года. Имеется тенденция положительной связи приростов с осадками вегетационного периода (табл. 8).

В связи с тем, что обнаруженные нами корреляционные связи являются довольно слабыми, мы сравнили метеоусловия в годы экстремально высоких и низких приростов (табл. 7) с метеопказателями, средними по всему ряду наблюдений (рис. 5).

Неблагоприятным для прироста пихты в Кавказском заповеднике во всех высотных диапазонах был 1965 г. Из рисунка 5 следует, что этот год отличался сдвигом всех сезонов – более ранней была весна и более ранней и холодной осень. Аномально холодным был и январь. Осадки весной и осенью были ниже нормы, а относительная влажность в вегетационный период слегка выше среднемноголетней с небольшим пиком в конце лета.

Таблица 8

Результаты анализа корреляционных зависимостей индексов прироста древесины с метеорологическими данными (плюс – положительная корреляция, минус – отрицательная. Цветом показаны случаи положительной и отрицательной корреляции значимой с 95% вероятностью)

	дек	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	дек	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
площадка	средняя температура																							
GRS	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-
MLB	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
ALI	н/д	н/д	н/д	н/д	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	н/д
GZPA	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
GZPF	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+
	минимальная температура																							
GRS	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
MLB	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-
GZPA	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-
GZPF	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
	максимальная температура																							
GRS	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
MLB	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
GZPA	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+
GZPF	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-
	осадки																							
GRS	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MLB	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ALI	н/д	н/д	н/д	н/д	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	н/д
GZPA	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+
GZPF	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-
	влажность воздуха																							
GRS	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-
MLB	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
ALI	н/д	н/д	н/д	н/д	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	н/д
GZPA	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
GZPF	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+

Благоприятным годом можно считать 1971 год. В этот год на площадках GRS и MLB, а также на тебердинской площадке ALI зафиксирован прирост выше среднего. Анализируя правые диаграммы на рисунке 5 можно сделать вывод, что средняя температура воздуха в этот год практически не отличается от среднееголетней. Осадки, в отличие от периода с минимальным приростом, в начале весны и лета были выше нормы. Относительная влажность воздуха в первой половине вегетационного периода была в пределах нормы с небольшими отрицательным пиком в апреле и положительным в мае, а также пониженными показаниями во второй половине.

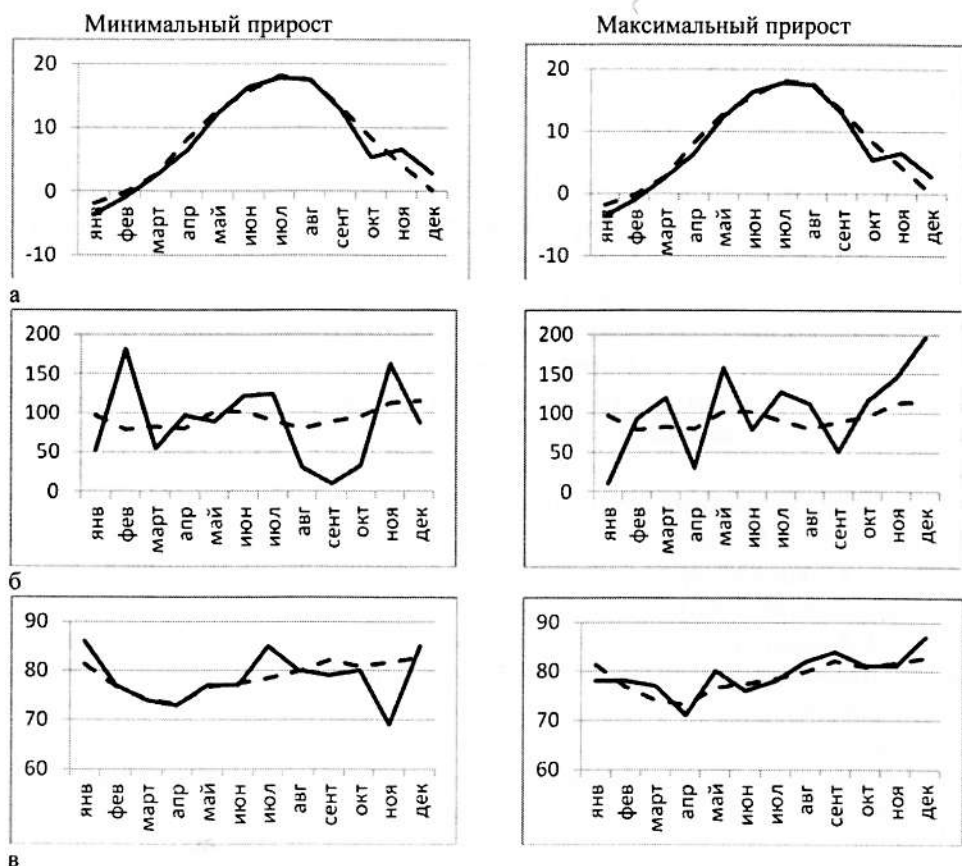


Рисунок 5. Кривые среднееголетних значений (пунктирная линия) и значений в годы с аномально низкими и высокими приростами (сплошная линия) пихты на площадке GZPA по г.м.с. Гузерипль (а - среднемесячной температуры, б – осадков, в - относительной влажности)

ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, наш анализ показал, что приросты пихты на нижней площадке имеют самые слабые связи с климатическими показателями. Это означает, что деревья здесь произрастают вблизи своего оптимума и не испытывают недостатка во влагообеспеченности. Вблизи верхней границы пихты реакция на климат более явная, хотя прирост здесь не зависит от теплообеспеченности, как можно было бы ожидать, но в большей степени лимитируется условиями увлажнения. Сходную реакцию (положительная корреляция с условиями увлажнения) показывают деревья и в некоторых других горных районах с относительно теплым климатом, например, ель Шренка в Центральной Азии

(Sang et al., 2007; Esper et al., 2007; Соломина, Максимова, 2010), где приросты и на верхней, и на нижней границе леса определяются соотношением тепла и влаги и в большей степени зависят от осадков, чем от температур теплого периода.

Приросты пихты на площадке GRS, расположенной вблизи верхней границы леса, по своей реакции на климатические изменения в целом похожи на площадку ALI, заложенную в верховьях долины Теберды, вблизи ледника Алибек. Они обе показывают отрицательную связь с температурами конца лета предшествующего сезона, положительную – с температурой ноября и с относительной влажностью воздуха в теплый период года.

Наши выводы в целом согласуются с представлениями о климатических предпочтениях пихты в других горных районах, в какой-то степени сходных с Западным Кавказом. Так, во внутренних районах Альп *Abies alba* Mill. показывает высокую чувствительность к экстремальным температурам: даже несколько очень жарких дней здесь приводят к существенному снижению прироста. В целом наиболее влияние на нее оказывает влагообеспеченность (Rolland, 1993). В южных Карпатах (Румыния) та же порода на высоте около 1000 м над уровнем моря положительно реагирует на температуры начала ноября-января (Pora, 2008).

П.В.Акатов (2009) показал, что верхняя граница пихты в Кавказском заповеднике остается неизменной на протяжении последних десятилетий, что, по его мнению, связано с уменьшением влагообеспеченности почвы в период вегетации. Этот вывод согласуется с результатами нашего дендроклиматического анализа, который показывает положительную связь прироста пихты на верхней границе леса с осадками. Он также свидетельствует о том, что ширина колец пихты на верхнем пределе ее ареала в заповеднике не увеличивается. Небольшой положительный тренд прироста, отмеченный в долине ледника Алибек, видимо, связан с тем, что пихта на этой площадке не испытывает дефицита увлажнения в связи с особенностями выположенного рельефа.

У приростов бука в Кавказском заповеднике на нижней площадке (670 м над ур. м.) отмечается ясный положительный тренд за последние полвека. Хотя в целом прирост бука на этой высоте очень слабо регулируется климатическими колебаниями той амплитуды, которая наблюдается в 20 – начале 21-го века. Этот положительный тренд, возможно, в какой-то мере объясняется увеличением значимого для бука показателя относительной влажности воздуха.

ВЫВОДЫ

Таким образом, успешное перекрестное датирование годовых колец пихты в диапазоне высот 670-2000 м показывает, что прирост у верхнего и нижнего предела ареала в большой степени управляется набором сходных внешних факторов. Ни один из образцов бука не датируется относительно пихты, даже относительно деревьев, растущих поблизости. Это означает, что

прирост этих двух пород регулируется существенно разными климатическими параметрами.

Самая высокая корреляция наблюдается у хронологий ширины годовых колец пихты с площадок, расположенных в разных долинах в верхней части лесного пояса. Это косвенно свидетельствует о том, что приростом в этих условиях в большой степени управляет общий набор «макрофакторов», скорее всего климатических, а не местные условия.

В годы с максимальным приростом пихты температура воздуха не отличалась от среднемноголетней, а количество осадков вегетационного периода было больше нормы. У бука в годы с максимальным приростом февраль и март характеризуются средними температурами ниже нормальных, в остальные месяцы температуры в эти годы, так же как и в годы с минимальным приростом, близки к норме. Количество осадков в годы с максимальным приростом с января по май больше, а в годы с минимальным меньше нормы. Во второй половине года, наоборот, в период с максимальным приростом фиксируется дефицит осадков, а в годы с минимальным – переувлажнение.

Выяснено, что благоприятными факторами для радиального прироста древесины пихты по всему высотному профилю являются высокие средние температуры декабря-марта, отсутствие поздневесенних заморозков (минимальные температуры февраль-апрель), повышенная увлажненность конца предыдущего года и весь вегетационный период текущего (осадки), высокая влажность с мая по октябрь текущего года.

Анализ зависимости ширины годового кольца у бука восточного на высоте около 700 м от климатических колебаний показал, что на ее увеличение благоприятно влияют невысокие температуры весны-лета, имеется значимая положительная связь приростов с температурой зимних месяцев. Имеется тенденция положительной связи приростов с осадками зимы и начала вегетационного периода. Устойчивые, хотя и статистически незначимые связи обнаруживаются у приростов бука с относительной влажностью вегетационного периода.

ЛИТЕРАТУРА:

Акатов П.В. Изменение верхней границы распространения древесных видов растений на Западном Кавказе (бассейн р. Белой) в связи с современным потеплением климата // Экология. 2009. № 1. С. 37–43.

Алисов Б.П. Климат СССР, — М.: Изд-во. МГУ, 1956. — 270 с.

Голгофская К.Ю. Кдробному геоботаническому районированию Кавказского заповедника.//Труды КГЗ. – Вып.9. – М., 1967. – С. 119–157.

Зонн С.В. Горно-лесные почвы Северо-Западного Кавказа. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 334 с.

Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II, III об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Пачаури Р.К., Райзингер А., и основная группа авторов]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с.

Локтионова О.А., Горчарук Л.М. Гумусное состояние горно-лесных почв Кавказского заповедника // 80 лет Кавказскому заповеднику – путь от Великокняжеской охоты до Всемирного природного наследия. – Юбилейный сборник трудов. Посвященный 80-летию Кавказского государственного природного биосферного заповедника. Сочи: «Проспект», 2003. – Вып. 17. С 101 – 121.

Орлов А.Я. Темнохвойные леса Северо-Западного Кавказа. М.–Л., 1951.

Соломина О.Н. Горное оледенение северной Евразии в голоцене, М.: Научный мир. 1999.

Соломина О.Н., Максимова О.Е. Дендрохронологические исследования на Тянь-Шане как источник климатической информации // Известия РАН. Серия географическая. 2010. №6. С. 54-66.

Тимухин Н.Т., Горчарук Л.Г. Особенности современного почвообразования в буково-пихтовых биогеоценозах Западного Кавказа / Почвенно-биогеоценологические исследования на Северо-Западном Кавказе. - Сб. научных трудов. - Пушино, 1990. - С 5 – 17.

Шифферс Е. В. Растительность Северного Кавказа и его природные кормовые угодья. – М.: Изд-во академии Наук СССР, 1953 –399.

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Нурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ. 2000.

Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences, Dordrecht; Boston, London, Kluwer Acad. Publ.

Esper J., Frank D.C., Wilson R., Buntgen U., Treydte K. Uniform growth trends among central Asian low- and high-elevation juniper tree sites. // Trees. 2007. Vol. 21, P. 141–150.

Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin, № 43, P. 69-78.

Popa I. Long-term summer temperature reconstruction inferred from tree-ring records from the Eastern Carpathians. Climate Dynamics.

Sang W., Wang Y., Su H., Lu Zh. Response of tree ring width to rainfall gradient along the Tianshan Mountains of northwestern China. // Chinese Science Bulletin. 2007. Vo1. 1(52). P. 2954-2962.

Schweingruber F.H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology, Dordrecht, Holland, RPC.