

УДК 630\*56:582.47:551

**Дендроклиматические исследования  
сосны *Pinus sylvestris* L.  
островов Керетского архипелага  
Белого моря**

**Д.В. Тишин\*, Н.А. Чижикова**

*Казанский федеральный университет  
Россия 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18<sup>1</sup>*

Received 2.12.2011, received in revised form 9.12.2011, accepted 16.12.2011

---

*Приведены результаты анализа динамики радиального прироста сосны обыкновенной, произрастающей в различных местообитаниях островов Керетского архипелага Белого моря (Карелия). Построены две древесно-кольцевые хронологии для суходольных участков и одна – для болотного. Установлен положительный отклик радиального прироста сосны суходольных участков на динамику климатических факторов зимне-весеннего периода. Показано, что связь радиального прироста с климатом не постоянна во времени, что, вероятно, связано с изменением сроков начала ростовых процессов из-за увеличения количества зимних осадков, наблюдаемого в последние десятилетия по данным метеостанции.*

*Ключевые слова: сосна обыкновенная, радиальный прирост, температура, осадки, дендроклиматология, Керетский архипелаг Белого моря.*

---

**Введение**

Лесные экосистемы обладают значительной устойчивостью и способны поддерживать динамическое равновесие в широком диапазоне условий. Однако достаточно быстрые изменения климата могут приводить к изменению структуры и состава лесных сообществ, направления сукцессий и даже к смещению природных зон (Shiyatov, 2003; Mazera, 2005).

Дендроклиматические исследования позволяют получить ответ на большой спектр вопросов, связанных с динамикой леса, реконструкцией и прогнозированием будущих природно-климатических изменений, что становится особенно важным в период глобальных перестроек среды.

Важнейший этап при проведении дендроклиматических работ – отбор таких районов и местообитаний, для которых можно

---

\* Corresponding author E-mail address: dtishin@ksu.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

получить древесно-кольцевые хронологии, содержащие климатический сигнал (Ваганов и др., 1996). Обычно он четко проявляется у деревьев, произрастающих в пессимальных местообитаниях (границы географического и экологического ареалов древесных растений).

Необходимо отметить значительное развитие дендроклиматических исследований в районах с неблагоприятными условиями для роста древесных растений (северные и высокогорные районы). Для них характерна тесная связь между величиной прироста древесины и температурой летних месяцев (Шиятов, 1981; Мазепа, 1999; Хантемиров, 1999 и др.). В умеренной зоне, куда можно отнести наш район исследования, связь величины прироста деревьев с климатом более слабая, наблюдается комплексное влияние осадков и температуры на величину прироста деревьев (Феклистов, 1978; Кучеров, 1990; Горячев, 1991; Тишин, 2006). В южных районах лесной зоны радиальный прирост деревьев связан в основном с величиной осадков летнего периода (Шведов, 1892; Рудаков, 1961; Пугачев, 1975; Лазуренко, 2002; Магда, 2003). Анализ имеющихся литературных источников показывает, что в связи с динамикой метеорологических факторов сведений о приросте деревьев по островам Белого моря недостаточно несмотря на значительное развитие дендроклиматических исследований.

Таким образом, целью нашего исследования явилась оценка влияния природно-климатических факторов на рост деревьев, произрастающих в различных местообитаниях островов Керетского архипелага.

#### **Район работ, материалы и методы**

Керетский архипелаг находится в Кандалашском заливе Белого моря близ его южного берега на выходе из губ Чупа и Кереть

(Республика Карелия). Рельеф денудационно-тектонический, образованный выступами кристаллических пород (Володичев и др., 1999). Климат умеренно континентальный, формируется под влиянием Северной Атлантики и Арктики. Древесная растительность в основном представлена сосновыми лесами различных ассоциаций (Кучеров и др., 2009). Флора бореальная, с ярко выраженными гипоарктическими чертами (Головина, Баранова, 2006).

В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастающая на двух островах – Сидоров (66°20' с.ш. 33°49' в.д.) и Средний (66°17' с.ш. 33°40' в.д.) (рис. 1).

Дендрохронологический материал был собран на трех участках: суходольное и болотное местообитания на острове Сидоров и суходольный участок на острове Средний (табл. 1).

В работе пользовались методикой, принятой в дендрохронологических исследованиях (Шиятов и др., 2000). Сбор материала проводился возрастным буром. Предпочтение отдавалось наиболее старым прямостоячим деревьям без видимых признаков повреждений. Количество датированных образцов составило 48 шт., в том числе 37 по живым деревьям и 11 – по отмершим. Средний возраст деревьев 262 года, максимальный – 458 лет.

Ширина годичных колец измерялась на полуавтоматической установке LINTAB с точностью до 0,01 мм. Дальнейшая обработка данных проводилась с помощью стандартного пакета программ DPL (Holmes, 1992). Индивидуальные хронологии индексировали с использованием негативной экспоненты для удаления выраженного возрастного тренда в изменчивости прироста каждого дерева. Полученные значения индексов прироста деревьев преобразовывали методом усреднения

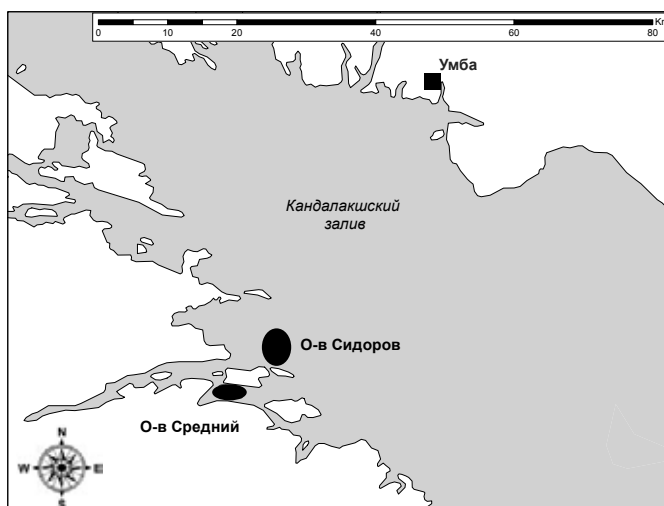


Рис. 1. Карта-схема расположения двух островов Керетского архипелага и ближайшей метеостанции «Умба» (Мурманская область)

Таблица 1. Описание участков сбора дендрохронологического материала

Хронология, №	Обозначение	Название острова	Сосняк, ассоциация	Местообитание
1	KER_01	Сидоров	Лишайниковый	Суходол
2	KER_02	Сидоров	Сфагновый	Болото
3	KER_03	Средний	Зеленомошный	Суходол

в обобщенный дендрохронологический ряд, характеризующий основные черты изменчивости прироста деревьев данного участка. Качество хронологий оценивали путем расчета показателя EPS (Expressed Population Signal).

Для выявления реакции прироста сосны на климат использовали данные по среднемесячной температуре воздуха и количеству осадков метеостанции Умба (66°40' с.ш. 34°21' в.д.), взятые с сайта European Climate Assessment & Dataset (<http://eca.knmi.nl>). Температурные данные охватывают временной промежуток с 1940 по 2008 гг. Ряд данных по осадкам несколько короче – с 1966 по 2008 гг.

Комплексное влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны было оценено с помощью регрессионных деревьев,

использующих набор правил для определения величины прироста (CART, Breiman et al., 1984). Регрессионные деревья являются непараметрическими моделями и позволяют анализировать сложные взаимодействия. Тем не менее, так как размер рядов данных по температуре и осадкам довольно ограничен, было принято решение использовать как можно меньшее количество правил. Данные модели были построены с помощью пакета *gpart* (Therneau et al., 2011) в среде статистического программирования R (R Development Core Team, 2011).

### Результаты

В результате стандартизации прироста модельных деревьев были получены три

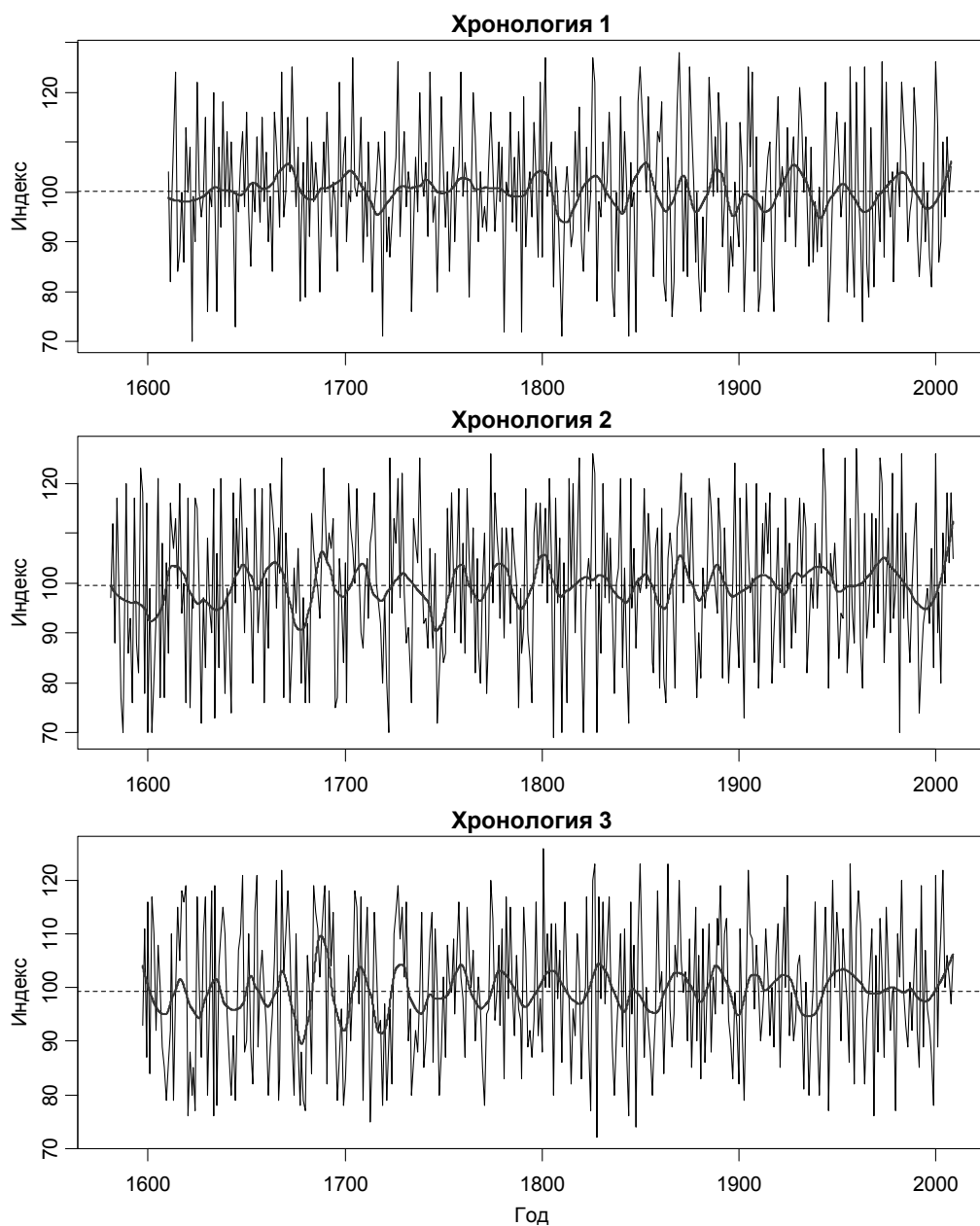


Рис. 2. Многолетняя динамика индексов прироста сосны по трем участкам (сверху вниз): KER\_01, KER\_02, KER\_03. Толстая линия – полиминальное сглаживание с шагом 30 лет

Таблица 2. Коэффициенты корреляции ( $R_s$ ) между древесно-кольцевыми хронологиями

	KER_02	KER_03
KER_01	0,39	0,41***
KER_02		0,35

\*\*\* значим при  $p < 0,001$ .

древесно-кольцевые хронологии разной длины (рис. 2). Длительность рядов KER\_01, KER\_02, KER\_03 составила 398, 427, 413 лет соответственно. Наиболее длительная хронология построена для участка KER\_02, она охватывает период с 1581 по 2008 гг.

Согласно EPS тесту хронологии имеют достаточную обеспеченность данными с 1695 по 2008 гг. Поэтому в дальнейшем анализе полученных хронологий мы использовали индексы прироста за последние 313 лет (с 1695 по 2008 гг.).

Для выяснения вопроса, насколько построенные нами обобщенные хронологии согласуются между собой, была рассчитана корреляционная матрица (табл. 2). Связь между индексами прироста положительная, их корреляция невысокая, но статистически значимая. Несколько выше корреляция

между парами хронологий, построенных для суходольных участков (KER\_01, KER\_03,  $R_s=0.41$ ) и участков в пределах одного острова (KER\_01, KER\_02,  $R_s=0.39$ ).

Анализ климатических данных м/с «Умба» за период наблюдений 1940–2008 гг. показал явно выраженные тренды увеличения среднегодовой температуры и суммы осадков (рис. 3). Для температуры воздуха положительный тренд составил  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а для суммы осадков  $1,5\text{ мм}/\text{год}$ . Наблюдаемое изменение климата на территории региона происходит за счет зимне-весеннего периода времени, что согласуется с данными для территории Карелии (Назарова, 2008).

Для выявления основных климатических факторов, определяющих прирост сосны исследуемого района, был проведен корреляционный анализ индексов прироста

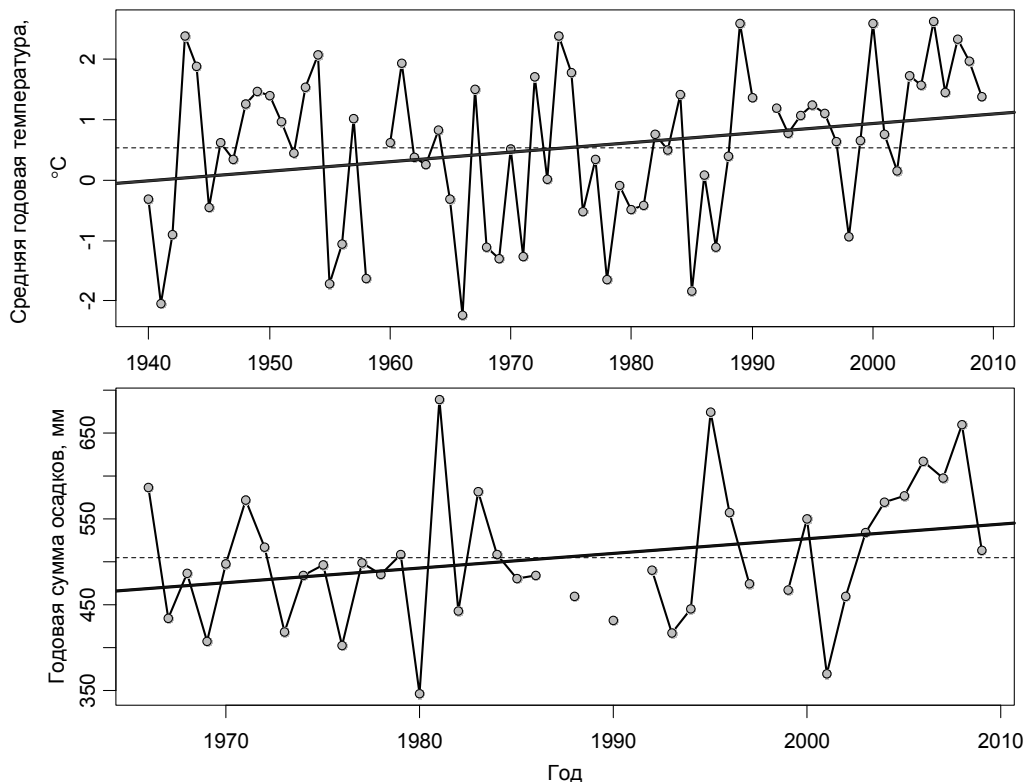


Рис. 3. Многолетняя динамика средней температуры и суммы осадков по данным метеостанции «Умба»

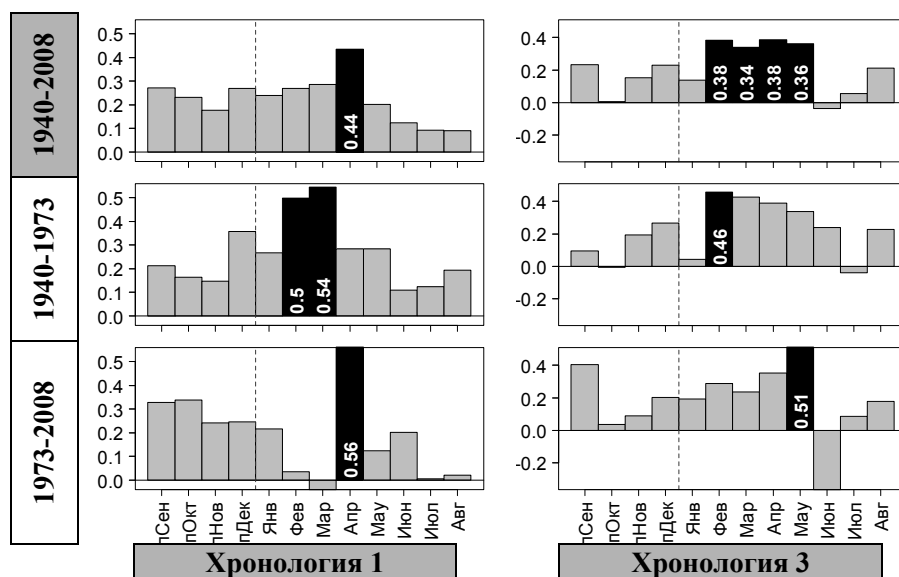


Рис. 4. Корреляция индексов прироста двух хронологий со среднемесячной температурой метеостанции «Умба» за разные периоды времени. Приставка «п» в названии месяца обозначает предыдущий год. Черным цветом показаны статистически значимые корреляции (заданный критический уровень значимости 0,01)

с температурой воздуха и осадками за период с сентября предыдущего года по август текущего включительно. Выяснилось, что положительное влияние на радиальный прирост сосны суходольных участков оказывает температура с февраля по май (рис. 4, период 1940–2008 гг.). Наряду с температурой для хронологии №3 выявлена связь с суммой осадков июня ( $p < 0,001$ ), а для №2 – с суммой осадков декабря прошлого года ( $p < 0,01$ ) (рис. 5, период 1966–2008 гг.). Для сосны с болотного участка статистически значимой связи с климатическими показателями отдельных месяцев не выявлено.

Деление рядов данных на два равных периода времени показало, что климатический отклик радиального прироста на температуру меняется во времени (рис. 4, период 1940–1973 и 1973–2008 гг.). Для хронологии №1 до 1973 г. наблюдается реакция на температуру февраля и марта текущего года, а во второй анализируемый период – уже на температуру

апреля текущего года. Для хронологии №3 до 1973 г. радиальный прирост значимо коррелирует со среднемесячной температурой февраля, тогда как в период 1973–2008 гг. – с температурой мая. Значимых изменений во времени для связи прироста с месячными осадками обнаружено не было (рис. 5, периоды 1966–1987 и 1987–2008 гг.).

Для построения регрессионных деревьев были использованы средние месячные температуры и суммарные месячные осадки как за прошлый год (сентябрь–декабрь прошлого года), так и за текущий (январь–август), суммы осадков зимнего периода (с декабря по март) и летнего периода (с мая по август). Алгоритм программы для построения регрессионных деревьев отбирал из всего набора наиболее влиятельные сочетания факторов, придерживаясь наложенного нами ограничения на максимальную простоту будущей модели. Структура регрессионных деревьев приведена в табл. 3. При том, что

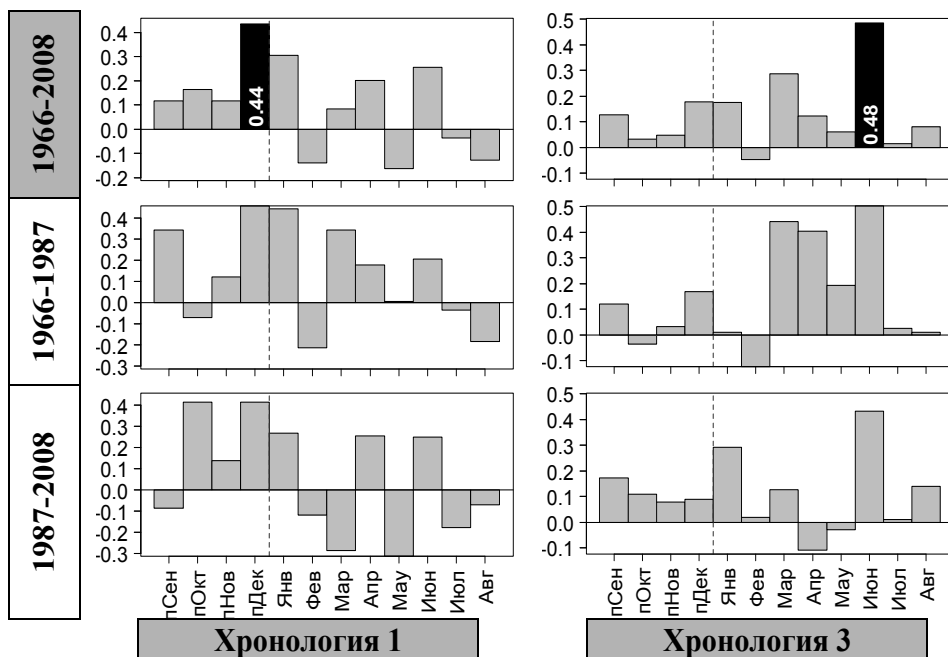


Рис. 5. Корреляция индексов прироста двух хронологий с количеством осадков метеостанции «Умба» за разные периоды времени. Приставка «п» в названии месяца обозначает предыдущий год. Черным цветом показаны статистически значимые корреляции (заданный критический уровень значимости 0,01).

Таблица 3. Характеристики регрессионных деревьев. Индексы радиального прироста стандартизованы (среднее значение равно 0, СКО равно 1)

Хронология 1	Хронология 2	Хронология 3
<p>Темп. Апр &lt; -0.7°C</p> <p>Осад. Авг &lt; 81 мм</p> <p>0.7</p> <p>0.004</p>	<p>Темп. пНоя &lt; -3.6°C</p> <p>Осад. Авг &lt; 68 мм</p> <p>0.7</p> <p>0.3</p>	<p>Осад. Июнь &lt; 35 мм</p> <p>Темп. пСен &lt; 8.5°C</p> <p>0.66</p> <p>0.2</p> <p>1</p>
<b>Среднемесячная температура</b>		
апрель	ноябрь прошл. года	сентябрь прошл. года
<b>Суммы осадков</b>		
август	август	июнь
<b>Коэффициент корреляции прогнозируемого и измеренного индекса прироста</b>		
0.62	0.60	0.66

Таблица 4. Возможные сценарии формирования радиального прироста

	Благоприятный сценарий, радиальный прирост выше среднего	Сценарий нейтрального роста, радиальный прирост близок к среднему значению	Неблагоприятный сценарий, радиальный прирост ниже среднего
KER_01	Теплый апрель (температура выше минус 0,7 °С)	Холодный апрель (ниже минус 0,7 °С) и влажный август (осадки более 80 мм).	Холодный апрель (температура ниже минус 0,7 °С)
KER_02	Теплый ноябрь прошлого года (температура выше минус 3,7 °С)	Холодный ноябрь прошлого года (температура ниже минус 3,7 °С) и влажный август (осадки более 68 мм)	Холодный ноябрь прошлого года (температура ниже минус 3,7 °С)
KER_03	Теплый сентябрь прошлого года (температура выше 8,5 °С) и влажный июнь (осадки более 35 мм)	Обильные осадки в июне (более 35 мм)	Низкое количество осадков в июне (менее 35 мм)

для сосны болотного участка не наблюдалось значимой корреляции ни с одним климатическим фактором, учет влияния уже всего двух показателей делает картину связей более понятной.

### Обсуждение

Имеющиеся данные позволили отобразить комплексную связь радиального прироста с климатическими факторами, как с температурой, так и с осадками. Наблюдаемая реакция прироста деревьев указывает на различия условий местопроизрастания изучаемых древостоев. Для прироста сосны суходольных участков значение имеют осадки зимнего и летнего периода. Сосна болотного участка находится в условиях постоянного достатка влаги, поэтому не было выявлено значимых связей радиального прироста ни с зимними, ни с летними осадками.

Непостоянство отклика радиального прироста сосны на температуру скорее всего связано с региональным изменением климата, наблюдаемым в последнее десятилетие и фиксируемым по данным метеонаблюдений. Наблюдаемая картина, когда значимый для

прироста месяц сдвигается в сторону более позднего времени, может свидетельствовать о более поздних сроках инициации камбиальной активности сосны обыкновенной. Возможно, это связано с более поздним стаиванием снегового покрова, так как увеличение твердых осадков в зимний период приводит к увеличению снежного покрова и не компенсируется наблюдаемым потеплением весенних месяцев.

Комплексный учет факторов позволяет предположить три сценария, в результате которых формируется повышенный, средний или пониженный радиальный прирост (табл. 4). Следует отметить, что влияние выявленных моделью температур и осадков конкретных месяцев в составленной таблице можно обобщить на температуры и осадки всего сезона, к которому относятся данные месяцы, так как с увеличением ряда данных и изменением климата возможны подвижки зависимостей. Например, температура апреля может характеризовать начало весны и температуру весеннего периода в целом, осадки августа, вполне возможно, обобщают осадки летнего периода, отражая его засушливость.



## Заключение

Дендроклиматический анализ показал, что для роста сосны района исследования важны метеорологические условия зимне-весеннего периода. Значимые связи были выявлены только для деревьев суходольных участков. Наряду с этим связь радиального прироста с климатом оказалась не постоянной во времени, что, вероятно, вызвано изменением сроков начала ростовых процессов из-за увеличения количества зимних осадков, имеющегося в последние десятилетия, по данным инструментальных наблюдений. Кроме того, таяние обильного снега долж-

но увеличить запасы влаги в почве, что не могло не отразиться на почвенном климате. Выявленные связи могут быть использованы в работе по изучению роста и адаптации деревьев в условиях регионального изменения климата.

Невысокие показатели корреляции не позволяют корректно использовать полученные хронологии для реконструкции климата исследуемого региона. Однако они могут дать представление о климатических условиях, которые могли вызывать экспрессию или депрессию роста сосновых лесов исследуемого региона в прошлом.

## Список литературы

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. (1996) Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 246 с.

Володичев О.И., Степанов В.С., Лукашев А.Д. (1999) Геология и геоморфология охраняемых территорий Беломорья. В: Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на Карельском побережье Белого моря. Петрозаводск, с. 55–65.

Головина Е.О., Баранова Е.А. (2006) Флора островов Керетского архипелага Белого моря. Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 154 с.

Горячев В.М. (1991) Сезонный рост и развитие древесных растений в первобытных пихтово-еловых лесах. В: Экологические особенности и восстановительная динамика темнохвойных лесов Среднего Урала. Свердловск: УрО АН СССР, с. 78–100.

Кучеров С.Е. (1990) Влияние непарного шелкопряда на радиальный прирост дуба черешчатого. Лесоведение 2: 20–29.

Кучеров И.Б., Головина Е.О., Чепинога В.В., Гимельбрант Д.Е., Максимов А.И., Максимова Т.А. (2009) Сосновые леса и редколесья Карельского берега Белого моря. руды Карельского научного центра РАН 4:30–52.

Лазуренко Л.Б. (2002) Дендроклиматология сосны обыкновенной в условиях центральной лесостепи. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Воронеж, 22 с.

Магда В.Н. (2003) Радиальный прирост древесных растений как показатель увлажнения на юге Сибири. Автореф. дисс... канд. биол. наук. Красноярск, 18 с.

Мазепа В.С. (1999) Погодичная реконструкция средней летней температуры воздуха на севере Западной Сибири с 1690 года на основе данных о радиальном приросте деревьев. Сибирский экологический журнал 4: 36–43.

Назарова Л.Е. (2008) Многолетние изменения температуры воздуха в Карелии. География и природные ресурсы 3: 75–79.

Пугачев П.Г. (1975) Динамика годичного прироста *Pinus sylvestris* L. в Тургайской впадине в связи с климатическими факторами. Ботанический журнал 3: 401–412.

Рудаков В.Е. (1961) Сосны Бузулукского бора как определители хода колебаний осадков в этом бору Известия ВГО 93: 527–531.

Тишин Д.В. (2006) Влияние природно-климатических факторов на радиальный прирост основных видов деревьев Среднего Поволжья. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Казань, 20 с.

Хантемиров Р.М. (1999) Древесно-кольцевая реконструкция летних температур на севере Западной Сибири за последние 3248 лет. Сибирский экологический журнал 2: 185–191.

Феклистов П.А. (1978) Дендроклиматический анализ прироста по диаметру в сосняке мохово-лишайниковом северной тайги. Лесоведение 2: 23–28.

Шведов Ф.Н. (1892) Дерево как летопись засух. Метеорологический вестник 5: 163–178.

Шиятов С.Г. (1981) Климатически обусловленные колебания радиального прироста древесных растений на Приобском Севере. В: Структура и функционирование биогеоценозов Приобского Севера. Свердловск, с. 45–53.

Шиятов С.Г. и др. (2000) Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КрасГУ, 80 с.

Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J. (1984) Classification and regression trees. Monterey: Wadsworth & Brooks/Cole, 368 p.

Briffa K.R. (2000) Annual climate variability in the Holocene: interpreting the message of ancient trees. Quaternary Science Reviews 19: 87–105.

Holmes R.L. (1992) Dendrochronological program library [computer program].

Hurrell J.W. (1995) Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation. Science 269: 676–679.

Mazepa V.S. (2005) Stand density in the last millennium at the upper tree-line ecotone in the Polar Ural Mountains. Can. J. For. Res. 35: 2082–2091.

R Development Core Team. (2011) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>.

Shiyatov S.G. (2003) Rates of change in the upper treeline ecotone in the Polar Ural Mountains. Pages News 1: 8–10.

Therneau T.M., Atkinson B., Ripley B. (2011) rpart: Recursive Partitioning. R package version 3.1-50. <http://CRAN.R-project.org/package=rpart>.

**Dendroclimatic Investigations  
of *Pinus Sylvestris* L.  
on Keretsky Archipelago Islands,  
the White Sea**

**Denis V. Tishin and Nelli A. Chizhikova**  
*Kazan Federal University*  
*18 Ulitsa Kremlevskaya, Kazan, 420008 Russia*

---

*The radial growth dynamics of *Pinus sylvestris* from different habitats of Keretsky archipelago, the White Sea, was analyzed. Two tree-ring chronologies for dry pine forest and the third one for swamp habitat were built. A positive link of radial growth and climatic factors of winter and spring period was detected. It was shown that relationship of radial growth with climate varies in time. This fact probably is related with winter precipitation increase during last decades detected by weather station, which could alter time of grow process initiation.*

*Keywords: *Pinus sylvestris* L., radial growth, temperature, precipitation, dendroclimatology, Keretsky Archipelago, White Sea.*

---