

УДК 630.111 : 630.561.22 : 582.475.41(479.21)

Определение временных интервалов влияния температурных факторов на формирование радиального прироста в сосновых древостоях Кольского региона

А.В. Кузьмин¹, Е.Ю. Полоскова^{2,3}, О.А. Гончарова²

¹ *Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, кафедра химии и агрохимии*

² *Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН*

³ *Апатитский филиал МГТУ, кафедра геоэкологии*

Аннотация. На примере модельных древостоев, расположенных на континентальных, приморских и притундровых территориях, установлены временные и пространственные закономерности формирования годичных радиальных приростов. Проведена дифференцированная оценка удельного веса воздействия положительных и отрицательных температур в направлении географических трендов, ориентированных по отношению к границе леса. Найдено принципиальное решение задачи проведения объективного ретроспективного анализа многолетних рядов годичных радиальных приростов на основе элементарных единиц древостоя.

Abstract. The subject of the investigation is pine stand growth affected by temperature. The model stands are located at seaside and forest-tundra territories alongside of the forest spreading limit. Temporal and spatial regularities of annual radial increment formation have been determined on the base of retrospective analysis of long-term series of meteorological and dendrochronological data. Effect of positive and negative temperatures on pine growth has been evaluated separately. The study has proved reliability of the used approach when analyzed of long-term series of annual radial increments.

Ключевые слова: годичный радиальный прирост, сосна обыкновенная, температурные факторы

Key words: annual radial growth, Scots pine, temperature factors

1. Введение

Динамическое описание процесса формирования древесных запасов в условиях глобального изменения климата и оценка потенциального использования данного вида растительного ресурса являются фундаментальными проблемами, имеющими теоретическую и прикладную значимость. Разработка указанных двух проблемных направлений в качестве эмпирической основы предполагает изучение погодичной динамики процесса накопления древесины. Эту информацию можно получить, оперируя дендрохронологическими данными, поскольку регулярные таксационные описания на пробных площадях не могут обеспечить требуемый пространственный и временной диапазон экспериментального материала (*Growth trends*, 1996).

Процесс формирования древесных запасов определяется климатическими и экологическими факторами. Подавляющее большинство исследователей основное внимание уделяет эффекту воздействия температуры воздуха (*Молчанов*, 1961; *Кайрюкитис*, *Юодвалькис*, 1968; *Пугачев*, 1975; *Шпалтэ*, 1978; *Рогальский*, *Черкашин*, 1987; *Priit*, 1992; *Ваганов и др.*, 1996) на примере локальных древостоев. Значительное количество публикаций посвящено изучению макроклиматической обусловленности динамики формирования многолетних рядов годичных радиальных приростов (ГРП) в пространственном и временном масштабах (*Jacoby*, *D'Arrigo*, 1989; *Lindholm et al.*, 1996; *Kalela-Brundin*, 1999; *Jacoby et al.*, 2000; *Lindholm et al.*, 2000; *Raspopov et al.*, 2004). В приведенных выше исследованиях методология дендрохронологического анализа основана на усреднении серий ГРП для каждой пробной площади. Кроме того, в случаях изучения макроклиматических флуктуаций, проводится статистическое сглаживание исходных рядов годичных радиальных приростов по временным интервалам. Очевидно, что использование в качестве эмпирической основы усредненных и сглаженных ГРП, построение соответствий с метеорологическими параметрами аналогичного рода позволяет выявить наиболее общие эффекты климатического воздействия.

Результаты относительно недавно проведенных исследований позволили выявить объективные свойства структурной организации главного элемента лесной экосистемы. В основе используемого далее подхода находится экспериментально проверенное утверждение о том, что совокупность элементов древостоя представляет собой сложную организованную гетерогенную систему. При этом различные динамические

типы деревьев в пределах экосистемы характеризуются неоднородной реакцией на воздействие температуры воздуха (Кузьмин и др., 2004а). Кроме того, в древостоях с естественной ненарушенной структурой происходит дифференцированное по времени и равномерное в пространстве распределение влияния метеорологических факторов между отдельными деревьями (Кузьмин и др., 2004б). С точки зрения временной организации главного элемента лесной экосистемы установлено, что в модельных древостоях по мере приближения к границе леса происходит увеличение числа древесных организмов с короткими циклами, полученными на основе анализа временных рядов ГРП. Данное свойство является адаптивной реакцией насаждений различного географического происхождения на ухудшение условий произрастания, так как деревья с короткими циклами имеют меньшее кумулятивное воздействие внешних факторов. Длительные временные циклы составляют около 14 лет, короткие менее 5 лет (Кузьмин и др., 2004в).

В настоящей работе планируется решение следующих основных задач. Проведение дифференцированной оценки реакции элементов древостоя на воздействие температурного фактора в пределах годового цикла с использованием пробных площадей, расположенных в различных районах. Количественное описание динамики эффектов положительного и отрицательного влияния температурного фактора на формирование годичных радиальных приростов в различные сезоны года. Выявление географических тенденций системной восприимчивости насаждений к воздействию температурного фактора.

2. Материалы и результаты исследований

С целью решения представленных выше задач в южной части Мурманской области по меридианальному направлению выбраны три модельные площади, представляющие собой географическую трансекту от континентальных северотаежных лесов к притундровым, протяженностью около 400 км с запада на восток (рис. 1). Как видно из представленного рисунка, рассматриваемые локальные лесные экосистемы находятся на расстоянии, не превышающем 10 км от населенных пунктов Алакуртти, Умба, Кашкаранцы.

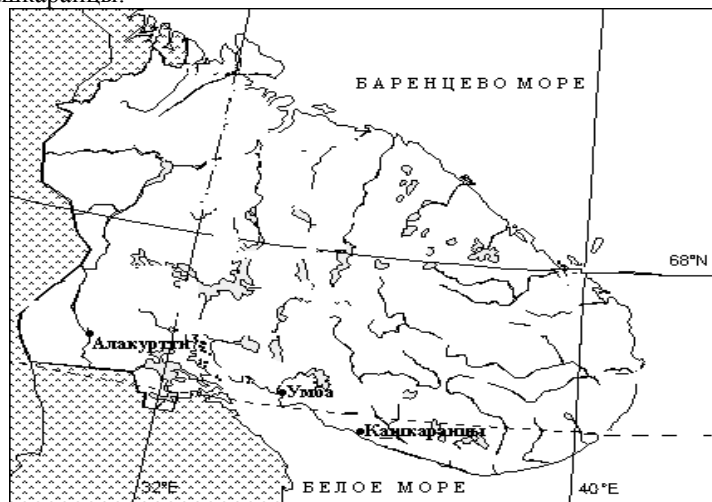


Рис. 1. Схема расположения модельных площадей

Из всей совокупности модельных площадей (МП), расположенных в южном секторе Кольского региона, выбраны экспериментальные древостои, имеющие максимальное сходство по основным характеристикам главного элемента леса (см. табл.). Кроме того, исследуемые насаждения не имеют существенных различий по положению в рельефе, поскольку данный фактор достоверно влияет на структуру древостоя (Алексеев, Черниковский, 2001). В сравнительном аспекте по комплексу параметров, представленных в таблице, модельные насаждения относительно однородны.

Типологическое описание исследуемых локальных лесных массивов выглядит следующим образом.

Модельная площадь №1. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-сфагновый. Подрост-сосна (группами), ель (группами), подлесок – береза, ива (группами), жимолость (единично).

Модельная площадь №2. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С, тип леса – лишайниково-вороничный. Подрост – сосна обильно, ель единично, подлесок – береза единично.

Модельная площадь №3. Рельеф местности ровный, состав древостоя 10С+Е, тип леса – сфагново-вороничный. Подрост – сосна (группами) обильно, ель редко, подлесок – можжевельник единично.

На основании представленных описаний можно сделать заключение, что выбранные модельные насаждения занимают достаточно близкие позиции с точки зрения лесотипологической классификации.

Таблица. Основные характеристики главного элемента леса на модельных площадях

| № площади | Класс возраста (А) | Высота (H) ствола, м | Диаметр (D) ствола, см |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 8±0.3 | 12,5±0.4 | 21,2±1.1 |
| 2 | 9±1.0 | 14,1±0.5 | 29,1±1.7 |
| 3 | 9±0.3 | 12,5±0.4 | 20,2±1.0 |

Эксперименты, проведенные с географическими культурами сосны обыкновенной в различных климатических районах, свидетельствуют о существенном отличии климатипов лесотундрового происхождения по показателям радиального прироста и фенологической динамике (Савва и др., 2001; Наквасина, Бедрицкая, 2001). Предметом рассмотрения настоящей статьи является проведение дифференцированных оценок между локальными сосновыми экосистемами, расположенными в подзоне северной тайги на различном удалении от границы леса.

В пределах каждой из трех МП для сбора эмпирической информации использовались 30 деревьев, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Каждое дерево было охарактеризовано по следующим параметрам: высоте (H), диаметру ствола на высоте груди (D), классу возраста (А). Для каждого из учтенных деревьев буровом Пресслера собраны образцы древесных кернов. Измерение годовых приростов проводилось с использованием автоматизированной системы телеметрического анализа с точностью до 0,01 мм (Кузьмин и др., 1989). Сформированный параметрический комплекс в сочетании с характеристиками модельных объектов являются достаточно точной эмпирической основой для решения поставленных исследовательских задач.

Количественный анализ исходных данных основан на применении стандартных статистических методов (Кендалл, Стьюарт, 1973; Зайцев, 1978; 1984). Для определения существенных интервалов воздействия температурного фактора на развитие главных лесообразующих пород использован специально разработанный алгоритм. Данный подход основан на построении интервальных соответствий между независимыми и зависимыми параметрами (Кузьмин и др., 2004г). В результате для каждого дерева определяются временные интервалы в один месяц, на протяжении которых температура существенно влияет на формирование размеров годового радиального прироста. Идентификация существенных интервалов (СИ) в данном случае проводится с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r). В рассмотрение включаются только значимые величины (на доверительном интервале 0,95) указанного коэффициента. Информативность коэффициента Спирмена для СИ интервалов проверена экспериментально на различных объектах (Кузьмин и др., 2004а; 2004в). В отличие от коэффициента корреляции Пирсона, используемый непараметрический коэффициент позволяет более детально идентифицировать существенные интервалы, поскольку r не чувствителен к типу распределения плотности вероятностей и позволяет выявить нелинейные связи (Кузьмин и др., 2004б; 2004в). Квалифицированное использование коэффициента Спирмена при описании видовой структуры сообщества, обитающего в стохастически изменчивой внешней среде, обеспечило получение интересных с биологической точки зрения теоретических результатов (Суханов, Жуков, 2003).

На основе использования эмпирической базы и метода идентификации существенных интервалов построены диаграммы количественного участия элементов древостоя в формировании годовых радиальных приростов под воздействием температуры воздуха и поверхности почвы (рис. 2-7). На указанных рисунках по оси абсцисс представлена нумерация месяцев, по оси У фиксируется количество деревьев, имеющих существенную связь с температурным фактором. При этом для каждого модельного древостоя положительное (А) и отрицательное (Б) влияние рассматривается отдельно, поскольку характер реакции деревьев имеет принципиально важное значение. Анализ интервальных трендов в течение годового цикла проводится по полиномиальным сглаженным кривым, которые соответственно представлены на указанных рисунках. Достоверность полиномиальной аппроксимации оценивается с применением коэффициента детерминации – R^2 .

Прежде чем перейти к рассмотрению результатов выполненных расчетов необходимо ввести некоторые дополнительные определения. Существенные интервалы определяются для каждого дерева, и как указывалось ранее, количество реагирующих древесных организмов в суммарном выражении по месяцам представлено на графиках. При этом следует подчеркнуть, что часть древесных организмов имеют несколько СИ. Кроме того, как будет показано далее, отдельная группа главного элемента леса не имеет существенных интервалов по температурному фактору. В соответствии с методом определения СИ отдельное дерево в конкретно выбранном месяце может иметь только один существенный интервал, или положительный или отрицательный по характеру воздействия.

На первом этапе проведения анализа, построим ординацию месяцев в порядке уменьшения значимости по количеству СИ. Краткая запись для района Алакуртти по температуре воздуха в положительной части имеет следующий вид. Первое число соответствует порядковому номеру месяца, второе, указанное в скобках, обозначает количество деревьев, для которых данный интервал является существенным.

$$5 (8), 11 (5), 4 (4), 2 (3), 10 (3), 1 (2), 9 (2), 3 (1), 6 (1), 12 (1), 7 (0), 8 (0). \quad (1)$$

Таким образом, можно сделать заключение, что наиболее массовое положительное воздействие на формирование размеров годовичного радиального прироста оказывает температура воздуха в мае. Следующим по значимости определяется ноябрь. Используя температурные характеристики данного района, можно установить причину выявленной положительной реакции деревьев. В первом случае установленный феномен совпадает с переходом положительным T_v , во втором – к отрицательным. Минимальное количество (1) существенных интервалов отмечается в летние месяцы: июнь-август. Для МП 1 можно установить, что период положительных температур продолжается с мая по сентябрь включительно, оставшиеся 7 месяцев характеризуются отрицательными значениями T_v . Соответственно данным, представленным на рис. 2, соотношение числа особей, у которых радиальный прирост положительно связан с температурой в мае – сентябре (положительные значения) и октябре – апреле (отрицательные значения) составляет 11:19. Следовательно, наиболее массовое положительное влияние на формирование ГРП оказывают отрицательные температуры.

Используя полиномиальную кривую, представленную на рис. 2, можно описать тренды активности формирования годовичных радиальных приростов в пределах годового цикла. Приведенная аппроксимация достаточно точно описывает временной ряд существенных интервалов, поскольку коэффициент детерминации $R^2=0,51$ является достоверным. Рассматриваемая кривая имеет два максимальных экстремума (май, ноябрь) и один минимальный (август). При этом определяются следующие устойчивые тенденции. Увеличение активности положительного влияния температуры на прирост 12-5 месяцы, уменьшение 5-8 и снова увеличение 8-11 месяцы. Таким образом, максимально значимые временные интервалы для формирования годовичных радиальных приростов приурочены к переходным периодам: вторая половина весны и вторая половина осени.

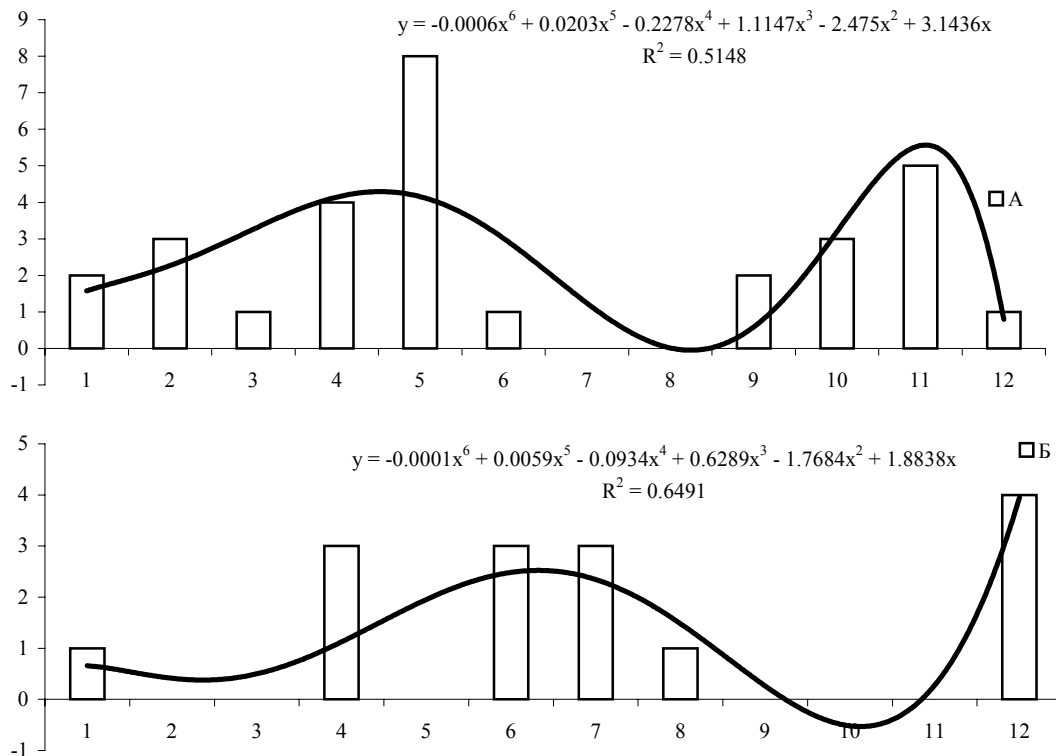


Рис. 2. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой воздуха (п. Алакуртти)

* по оси абсцисс – месяц, по оси ординат – число особей с положительными (А) и отрицательными (Б) корреляциями

Представим аналогичную краткую запись для отрицательных корреляций ГРП с Тв, для модельного насаждения в районе Алакуртти.

$$12 (4), 4 (3), 6 (3), 7 (3), 1 (1), 8 (1), 2 (0), 3 (0), 5 (0), 9 (0), 10 (0), 11 (0). \quad (2)$$

Прежде всего, следует отметить, что количество особей с достоверной отрицательной связью между ГРП и температурой воздуха существенно ниже, чем с положительной. Число случаев значимых корреляций равномерно распределено по интервалам действия положительных и отрицательных температур (7:8). Аппроксимирующая кривая включает два экстремума: максимальный (июнь-июль), минимальный (октябрь). Во всех рассматриваемых случаях в качестве экстремумов определяются максимальные и минимальные значения непрерывной функции (*Математическая энциклопедия*, 1985). При этом точками максимума и минимума определяются те, в которых действительная функция принимает наибольшие или наименьшие значения по области определения (*Математическая энциклопедия*, 1982). Поскольку, представленное на рис. 2Б значение в декабре месяце является маргинальным, требования непрерывности функции и области определения не могут быть выполнены. Следовательно, в декабре отмечается только максимальное значение. Тренды активности в течение года распределяются следующим образом: уменьшение (12-1 месяц), увеличение (1-7), уменьшение (7-10), увеличение (10-12). В данном случае в скобках указаны порядковые номера месяцев.

Приведенные выше данные (рис. 2Б) позволяют сделать заключение, что у наибольшего числа особей обнаруживается отрицательная связь ГРП с температурой воздуха в летние месяцы. Кроме того, на основе сопоставления трендов положительных и отрицательных влияний Тв обнаруживается тенденция обратного соотношения числа положительных и отрицательных связей. Увеличению числа положительных связей соответствует уменьшение отрицательных и наоборот.

Используя аналогичную схему описания, рассмотрим интервалы влияния температуры поверхности почвы на величину годовых радиальных приростов (рис. 3). Соответствующая краткая запись в части положительного воздействия имеет следующий вид:

$$1 (3), 2 (3), 5 (3), 4 (1), 7 (1), 10 (1), 11 (1), 12 (1), 3 (0), 6 (0), 8 (0), 9 (0). \quad (3)$$

В данном случае наиболее значимыми месяцами являются январь, февраль, май. В целом количество СИ по Тп значительно ниже по сравнению с Тв. Распределение количества значимых корреляций по периодам действия отрицательных и положительных температур определяется как 4:10. Следовательно, отмечается преобладание положительного влияния отрицательных температур. Тренды в общем виде можно представить следующим образом: уменьшение (1-9), увеличение (9-12). Графически заметные приращения в интервале апрель – июль по линии аппроксимации следует признать несущественными.

Отрицательное воздействие Тп (рис. 3Б) представлено единичными событиями и даже по отношению к предварительно рассмотренной составляющей позитивного влияния температуры поверхности почвы отмечается принципиальное сокращение существенных интервалов. Соответствующая краткая запись имеет следующий вид:

$$6 (2), 1 (1), 12 (1), 2 (0), 3 (0), 4 (0), 5 (0), 7 (0), 8 (0), 9 (0), 10 (0), 11 (0). \quad (4)$$

В соответствии с представленной ранее трансектой, рассмотрим следующую в восточном направлении МП 2 (рис. 1). Диаграммы значимых связей ГРП с температурой воздуха представлены на рис. 4. Проведем ординацию месяцев по количеству СИ на основе краткой записи.

$$5 (8), 12 (5), 2 (4), 4 (4), 10 (4), 11 (4), 1 (2), 6 (2), 3 (1), 7 (1), 9 (1), 8 (0). \quad (5)$$

Проведем сравнение настоящей записи с аналогичной по Тв, полученной для МП 1 (Запись 1). Как видно из представленного ряда, начальные группы имеют существенное сходство по составу. Исключение составляет дополнение декабря месяца в качестве второго элемента ряда. В записи 1 и 5 основной удельный вес приходится на май месяц. Тенденция минимальной значимости летних месяцев сохраняется при незначительном увеличении существенных интервалов в данный период. Кроме выявленных элементов сходства между 1 и 2 модельными площадями отмечается существенное различие, которое заключается в увеличении значимости зимних месяцев (декабрь, февраль) в формировании ГРП.

Продолжительность периода действия положительных температур на данной площади увеличивается на 1 месяц (май-октябрь). Распределение существенных интервалов по периодам с Тв выше и ниже нуля градусов дает следующую пропорцию – 16:20. Как и в районе МП 1 наибольшее количество положительных связей относится к временному отрезку с отрицательными температурами. При этом прямо пропорциональное воздействие положительных температур существенно увеличивается.

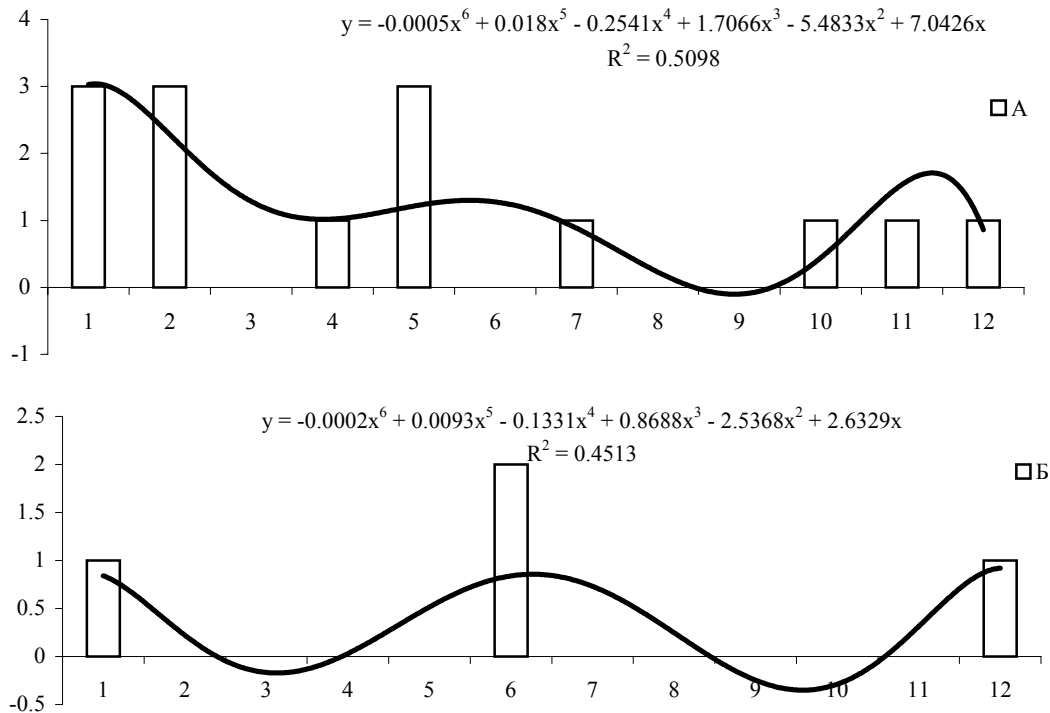


Рис. 3. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой поверхности почвы (п. Алакургтти)

Рассмотрим интервальные полиномиальные тренды в пределах годового цикла, представленные на рис. 4. Коэффициент детерминации в данном случае имеет достоверное значение (0,49), что свидетельствует о достаточно точной аппроксимации исходного временного ряда. Указанная кривая имеет два максимальных экстремума (май, декабрь) и один минимальный (август). В сравнительном аспекте экстремумы в значительной степени совпадают с модельной площадью №1. Исключение составляет смещение с ноября на декабрь, что можно объяснить увеличением действия положительных температур на один месяц (октябрь). Тренды определяются следующим образом: увеличение 10-5, уменьшение 5-8, увеличение 8-12. Это свидетельствует о практически полном совпадении с результатами, полученными на МП 1. В данном случае максимально значимые временные интервалы фиксируются во второй половине весны и начале зимы. Как указывалось ранее, произошло перемещение второго интервала на один месяц. Краткая запись на основе отрицательных корреляций Тв с ГРП для МП 2 выглядит следующим образом:

$$10 (5), 4 (3), 5 (3), 6 (3), 1 (2), 2 (2), 3 (2), 8 (1), 9 (1), 1 (1), 12 (1), 7 (0). \quad (6)$$

Следует заметить, что количество отрицательных связей в сравнении с положительными снижается, но не так значительно, как на первой пробной площади. Наибольшее количество корреляций отмечается в октябре. Сравним приведенный ряд с записью 2, характеризующей отрицательное воздействие Тв в районе МП 1. По начальным группам сходство отмечается только для апреля, июня и января. По временным интервалам действия положительных и отрицательных температур суммарные количества СИ близки 13:11. В целом для рассматриваемой пробной площади характерно существенное увеличение (на 45 %) отрицательного воздействия Тв на формирование ГРП. Данное утверждение относится к положительным и отрицательным значениям температуры воздуха. Применительно к настоящей пробной площади (рис. 4Б) не представляется возможным провести анализ трендов, поскольку для полученной аппроксимации не выдерживаются требования достоверности ($R^2=0,27$). Сравнивая части А и Б рис. 4 можно сделать заключение, что характерной особенностью для модельной площади №2 является одновременное увеличение общего количества существенных интервалов (60) в положительной и отрицательной частях. Наиболее наглядно данное свойство проявляется в мае и октябре. В первом случае наблюдается явное преобладание положительных эффектов, во втором – отрицательных.

Рассмотрим динамику корреляций ГРП с температурой поверхности почвы (рис. 5). На МП 2 сохраняется, количество СИ для интервала июнь-август увеличивается существенно. Количественное участие зимних месяцев уменьшается (на 3 СИ).

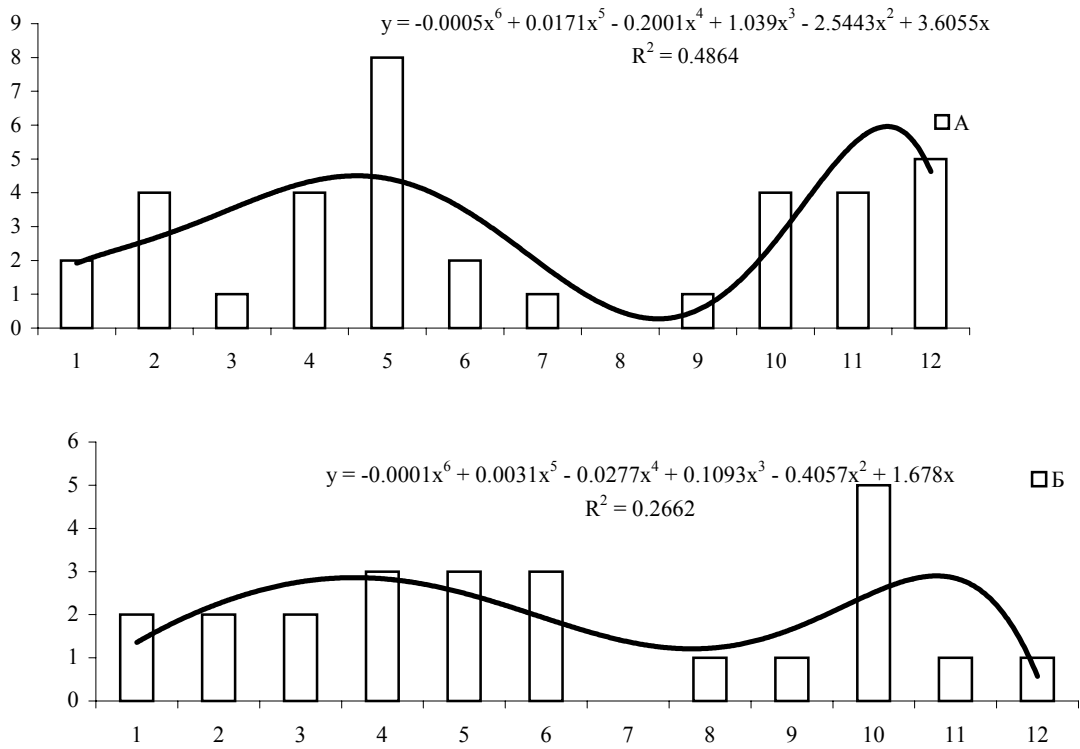


Рис. 4. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой воздуха (п. Умба)

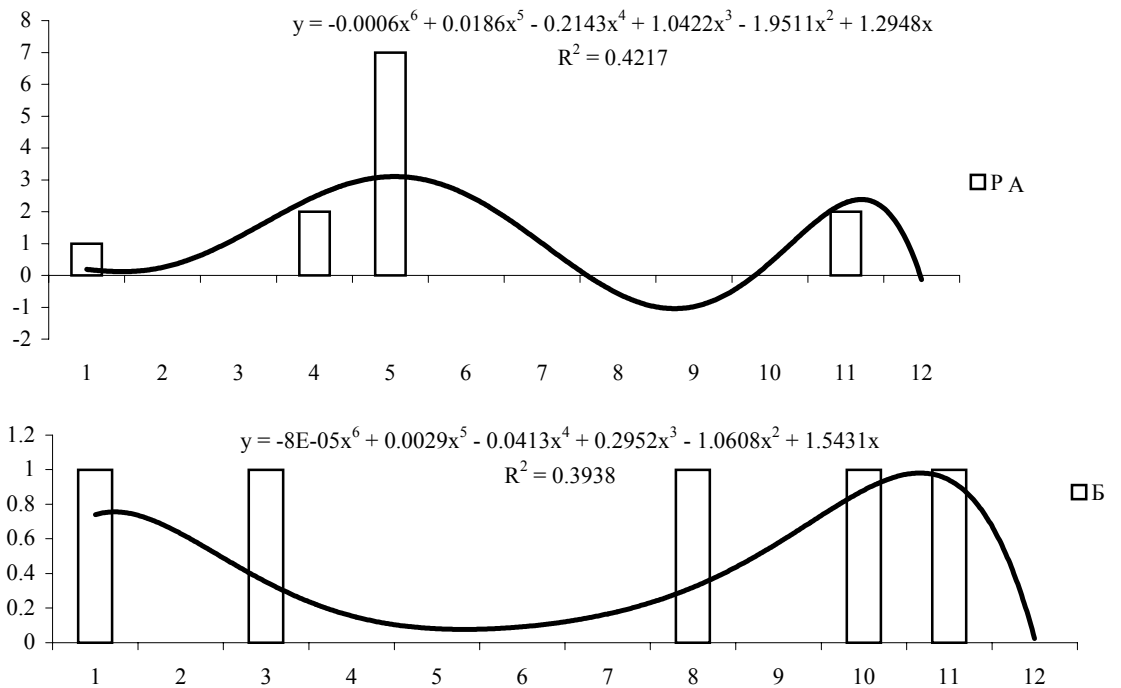


Рис. 5. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой поверхности почвы (п. Умба)

В части положительного влияния (А) можно представить следующую краткую запись:

$$5 (7), 4 (2), 11 (2), 1 (1), 2 (0), 3 (0), 6 (0), 7 (0), 8 (0), 9 (0), 10 (0), 12 (0). \quad (7)$$

Из представленного ряда видно, что наиболее высокое число случаев существенной связи наблюдается в мае. Как и в районе Алакуртти фиксируется существенное снижение значимости Тп в сравнении с Тв. Соотношение количества случаев существенной связи положительных и отрицательных температур дает следующую пропорцию 7:5. В сравнительном аспекте с МП 1 отмечается преобладание корреляций с положительными температурами. При этом общее количество СИ по Тп в положительной части на МП 1 и 2 близки по величине 13 и 12 соответственно. Тренды в данном случае имеют достаточно простой характер. Явное увеличение существенных связей происходит в мае, остальные корреляции можно рассматривать как единичные события. Таким образом, для данной пробной площади максимальная сопряженность годовичного радиального прироста с Тв и Тп отмечается в мае.

Приведем краткую запись по отрицательному влиянию Тп для модельной площади № 2:

$$1 (1), 3 (1), 8 (1), 10 (1), 11 (1), 2 (0), 4 (0), 5 (0), 6 (0), 7 (0), 9 (0), 12 (0). \quad (8)$$

Представленные единичные корреляции свидетельствуют о незначительном обратном пропорциональном влиянии температуры поверхности почвы на ГРП.

Самой восточной модельной площадью, максимально приближенной к границе леса, является МП 3 (рис. 1). Диаграмма суммарного распределения существенных интервалов для данной пробной площади представлена на рис. 6.

Рассмотрим краткую запись распределения СИ в пределах годового цикла по Тв:

$$12 (5), 5 (3), 8 (3), 10 (3), 1 (2), 4 (2), 6 (2), 7 (2), 2 (1), 9 (1), 11 (1), 3 (0). \quad (9)$$

На основе проведения сравнительного анализа настоящего ряда с аналогичной краткой записью (5) для МП 2 можно сформулировать следующие определения. Сходство отмечается по наибольшему количеству связей в декабре, мае и октябре. Различия заключаются в увеличении значимости декабря и августа. Тенденция увеличения значимости летних месяцев, обнаруженная на МП 2 сохраняется, количество СИ для интервала июнь-август увеличивается существенно. Количественное участие зимних месяцев уменьшается (на 3 СИ).

Период положительных среднемесячных температур по данным метеостанции Кашкаранцы продолжается с мая по октябрь включительно. Соотношение общего числа существенных интервалов за данный период года и оставшиеся месяцы составляет пропорцию 14:11. Отметим, что в отличие от предыдущих экспериментальных точек более существенное положительное влияние на величину ГРП оказывает Тв в период с мая по октябрь, чем в период с ноября по апрель. Этот эффект обусловлен главным образом существенным снижением количества СИ, приуроченных к периоду влияния отрицательных температур.

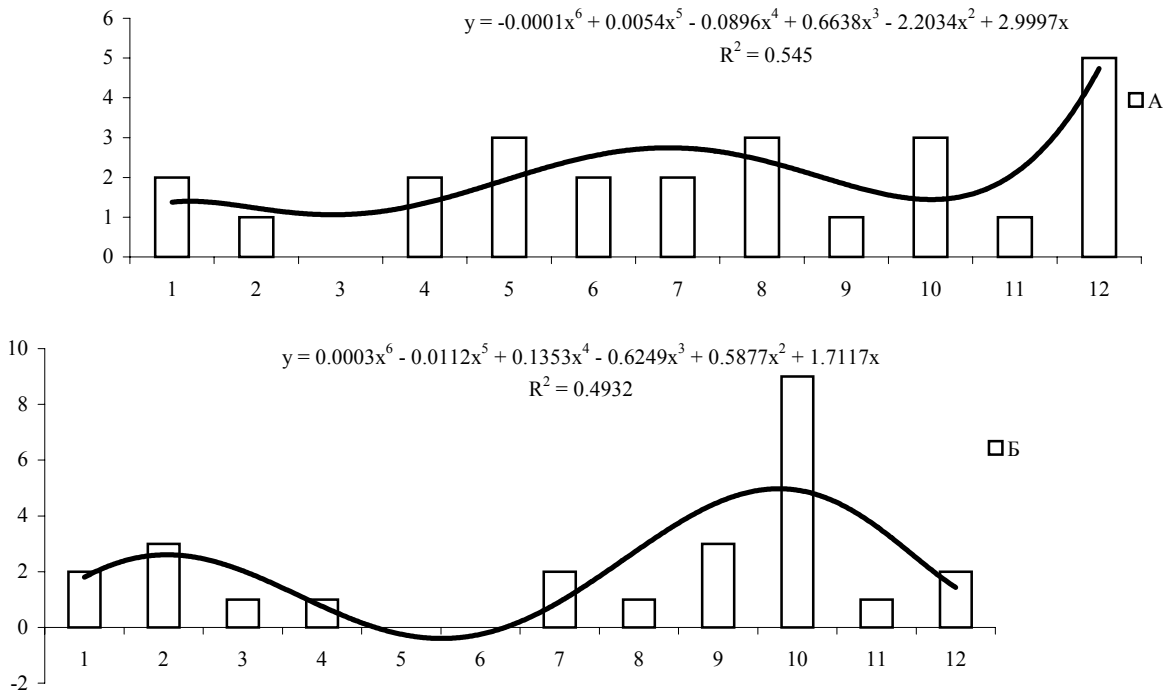


Рис. 6. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой воздуха (п. Кашкаранцы)

Анализ полиномиальных трендов (рис. 6А) позволяет сформулировать следующие определения. Коэффициент детерминации имеет достоверное значение ($R^2=0,55$), следовательно, аппроксимация годовичного ряда существенных интервалов соответствует необходимым требованиям точности. Экстремумы в данном случае не выражены так явно, как на предыдущих модельных площадях. Можно говорить о тенденции увеличения СИ с начала года к летнему периоду, осенью происходит снижение, далее следует максимальное увеличение в декабре. В отличие от МП 1 и 2 основная часть прямо пропорционального воздействия T_v на формирование годовичных радиальных приростов смещается на вторую половину года.

Используя порядок рассмотрения аналогичный для 1 и 2 модельных площадей, приведем краткую запись отрицательных существенных интервалов в районе населенного пункта Кашкаранцы:

$$10 (9), 2 (3), 9 (3), 1 (2), 7 (2), 12 (2), 3 (1), 4 (1), 8 (1), 11 (1), 5 (0), 6 (0). \quad (10)$$

Из приведенной записи следует, что в сравнении с Умбой суммарное количество случаев значимой отрицательной связи ГРП с температурой воздуха не уменьшается, а остается на прежнем уровне. Соотношение числа случаев положительной и отрицательной связи (рис. 6) составляет 25:25. Наибольшее количество корреляций фиксируется для октября по аналогии со 2 модельной площадью, но в данном случае отмечается явное увеличение числа случаев значимой связи. Распределение корреляций по приуроченности к периодам, включающим T_v выше и ниже нуля, определяет пропорцию 15:10. В данном случае значительно усиливается доля отрицательного влияния положительных температур.

Тренды для отрицательного влияния T_v на формирование ГРП в сравнительном аспекте по отношению к позитивному воздействию находятся в противофазе. Это означает, что увеличение положительного влияния (рис. 6А) соответствует уменьшению отрицательного воздействия (рис. 6Б). Следовательно, по аналогии с МП 1, можно сделать утверждение о сбалансированности общего влияния температуры воздуха на формирование годовичных радиальных приростов. Характерной особенностью для МП 3, как и в случае прямо пропорционального влияния T_v , является значимое смещение количества СИ на вторую половину года.

Диаграмма временного распределения связей ГРП с температурой поверхности почвы для МП 3 представлена на рис. 7.

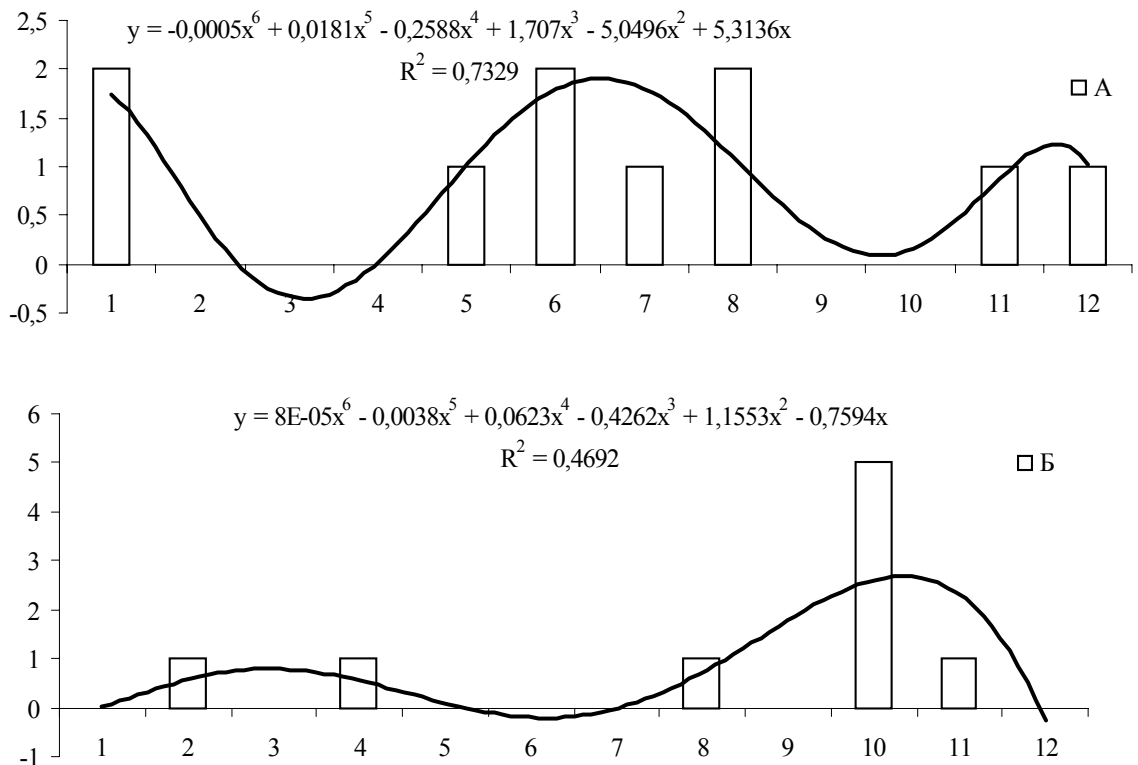


Рис. 7. Динамика связи радиального прироста сосны обыкновенной с температурой поверхности почвы (п. Кашкаранцы)

Рассмотрим соответствующую краткую запись, характеризующую прямо пропорциональное влияние:

$$1 (2), 6 (2), 8 (2), 5 (1), 7 (1), 11 (1), 12 (1), 2 (0), 3 (0), 4 (0), 9 (0), 10 (0). \quad (11)$$

Из представленного ординированного ряда видно, что в данном случае временного совмещения связей не наблюдается. При этом общее количество существенных интервалов под воздействием Тп в положительной части составляет 13, 12 и 10 для 1, 2 и 3 модельной площади соответственно. Следовательно, различия между модельными древостоями заключаются главным образом в характере распределения корреляций по месяцам.

По количеству связей для МП 3, как и для предыдущих площадей, отмечается существенное снижение удельного веса Тп по сравнению с Тв. Распределение СИ по временным интервалам положительных и отрицательных температур определяется следующей пропорцией 6:4. Большая величина относится к периоду положительных температур, аналогичный вывод получен для Умбы. На МП 3 общее количество СИ по Тп снижается, в сравнении с 1 и 2 площадями до 10 в положительной части.

Представленная на рис. 7 полиномиальная аппроксимация имеет достоверное значение ($R^2=0,73$). Минимальные экстремумы отмечены в марте и октябре, максимальный – в июне. Тренды в течение года распределяются следующим образом: декабрь – март (уменьшение), март – июнь (увеличение), июль – октябрь (уменьшение) и октябрь – декабрь (увеличение). При этом суммарное количество случаев существенной связи в отдельные месяцы незначительно (1-2). В отличие от предыдущих площадей максимальное количество корреляций относится к летнему периоду.

Отрицательная сопряженность ГРП с температурой почвы в районе населенного пункта Кашкаранцы характеризуется следующей краткой записью:

$$10 (5), 2 (1), 4 (1), 8 (1), 11 (1), 1 (0), 3 (0), 5 (0), 6 (0), 7 (0), 9 (0), 12 (0). \quad (12)$$

В соответствии с данной записью максимальное число значимых связей выявлено в октябре, оставшиеся временные интервалы представлены единичными корреляциями. Выраженной закономерностью для модельной площади №3 является увеличение числа отрицательных связей прироста с Тп до 9, в то время как для 1 и 2 площадей количество существующих величин равно 4 и 5.

Представленное выше описание реакции деревьев сосны обыкновенной на воздействие температурного фактора позволяет выявить общие тенденции и специфические свойства насаждений, ординированных по отношению к границе леса. Влияние температуры воздуха и поверхности почвы на формирование годичных радиальных приростов в течение годового цикла происходит с различной интенсивностью.

3. Заключение

На основе проведенного анализа в настоящей работе решена задача идентификации временных интервалов в пределах годового цикла, на протяжении которых температурные условия оказывают существенное воздействие на размеры годичного радиального прироста сосны обыкновенной.

В крайнем западном пункте экспериментальной трансекты (Алакургти), представляющем континентальные леса, определяются следующие основные свойства влияния температурных условий на величину годичного радиального прироста. Прямо пропорциональное воздействие (А) температуры воздуха на ГРП составляют 67 %, обратно пропорциональное (Б) 33 %. При этом в части прямо пропорционального влияния максимальное значение имеет временной период с отрицательными температурами, летний период является наименее важным. С другой стороны, обратно пропорциональное влияние температуры воздуха на размеры годичного радиального прироста главным образом отмечается в летний период.

На следующей в восточном направлении пробной площади (Умба) прямо пропорциональное воздействие Тв на ГРП составляет 60 %, обратно пропорциональное – 40 %. В сравнении с предыдущей пробной площадью отмечается уменьшение составляющей А и увеличение составляющей Б общего влияния температуры воздуха на размеры годичного радиального прироста. Свойства минимальной значимости летних месяцев и преобладающие значения отрицательных температур для величины ГРП сохраняются.

Наиболее удаленная в восточном направлении модельная площадь, расположенная в зоне притундровых лесов (Кашкаранцы), имеет равное соотношение прямо пропорционального и обратно пропорционального воздействия – 50 %. Следовательно, тенденция уменьшения воздействия составляющей А и увеличения составляющей Б сохраняется в восточном направлении. Принципиальное отличие в характере реагирования деревьев на данной пробной площади заключается в преобладающем

влиянии положительных температур на ГПП. Во всех рассмотренных ранее случаях прямых и обратных связей, в соответствии с используемым методом, проводился анализ корреляций абсолютных значений T_v с числовыми рядами годовых радиальных приростов за аналогичный период. Качественное изменение температуры воздуха от отрицательных к положительным и наоборот при вычислении коэффициентов корреляции Спирмена не являются определяющими.

В сравнении с T_v температура поверхности почвы оказывает существенно меньшее, округленно в три раза, влияние на формирование размеров годового радиального прироста.

Литература

- Growth trends in European forests. Ed. by H. Spiecker et al. Berlin, New York, Springer Verlag, 347 p., 1996.
- Jacoby G.C., D'Arrigo R.** Reconstructed Northern Hemisphere annual temperature since 1671 based on high-latitude tree-ring data from North America. *Climatic Change*, v.14, p.39, 1989.
- Jacoby G.C., Lovelius N.V., Shumilov O.I., Raspopov O.M., Karbainov Ju., Frank D.** Long-term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia. *Quaternary Research*, v.53, p.312-318, 2000.
- Kalela-Brundin M.** Climatic information from tree-rings of *Pinus sylvestris* L. and reconstruction of summer temperatures back to AD 1500 in Femund-marka, Eastern Norway, using partial least squares regression (PSL) analysis. *Holocene*, N 9, p.59-69, 1999.
- Lindholm M., Lehtonen H., Koström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M.** Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. *Silva Fennica*, v.34/4, p.317-330, 2000.
- Lindholm M., Timonen M., Meriläinen J.** Extracting midsummer temperatures from ring-width chronologies of living pines at the northern forest limit in Fennoscandia. *Dendrochronologia*, N 14, p.99-113, 1996.
- Priit K.** Climate – radial increment relationships in Estonian conifer stands. *Изв. АН Эстонии. Экология*, v.2, N 1, p.22-27, 1992.
- Raspopov O.M., Dergachev V.A., Koström T.** Periodicity of climate conditions and solar variability derived from dendrochronological and other palaeoclimatic data in high latitudes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.209, p.127-139, 2004.
- Алексеев А.С., Черниховский Д.М.** Структура и продуктивность лесов в связи с формами рельефа Карельского перешейка. *Лесоведение*, № 3, с.23-30, 2001.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. *Новосибирск, Наука*, 245 с., 1996.
- Зайцев Г.Н.** Комплексная оценка надежности результатов массовых фенологических наблюдений. Методы современной биометрии. М., Изд-во МГУ, с.113-118, 1978.
- Зайцев Г.Н.** Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., Наука, 423 с., 1984.
- Кайрюкшис Л.А., Юодвалькис А.И.** Сезонный рост деревьев и зависимость интенсивности роста от факторов внешней среды. Материалы Всесоюз. совещ. по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии. Вильнюс, Ин-т ботаники АН Лит ССР, 89-93 с., 1968.
- Кендалл М., Стьюарт А.** Статистические выводы и связи. М., Наука, 899 с., 1973.
- Кузьмин А.В., Кузьмина Л.И., Полоскова Е.Ю.** Структурная организация и потенциальная устойчивость интродуцированных насаждений *Larix sibirica* Ledeb. в условиях Кольского региона. *Растительные ресурсы*, т.40, вып. 1, с.18-28, 2004г.
- Кузьмин А.В., Олейник А.Г., Олейник О.В., Зотов А.И.** Автоматизированная система телеметрического анализа древесных кернов. *Экология*, № 3, с.79-80, 1989.
- Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И.** Краткий анализ системной восприимчивости температурного фактора сосновым древостоем в условиях Кольского региона. *Апатиты, КНЦ РАН*, 21 с., 2004а.
- Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И.** Структура временной детерминации роста соснового древостоя комплексом метеорологических факторов. *Успехи современной биологии*, т.124, № 4, с.390-396, 2004в.
- Кузьмин А.В., Полоскова Е.Ю., Кузьмина Л.И.** Структурные и пространственные основы устойчивости сосновых древостоев Кольского региона. М., Наука, 119 с., 2004б.
- Математическая энциклопедия. М., Советская энциклопедия, т.3, 1184 с., 1982.
- Математическая энциклопедия. М., Советская энциклопедия, т.5, 1247 с., 1985.
- Молчанов А.А.** Рост и плодоношение древесных пород в связи с метеорологическими условиями. *Тр. лабор. лесоведения*, т.3, с.5-51, 1961.

- Наквасина Е.Н., Бедрицкая Т.В.** Динамика вступления в репродукцию северных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области. *Лесоведение*, № 3, с.17-22, 2001.
- Пугачев П.Г.** Динамика годовичного прироста сосны обыкновенной в Тургайской впадине в связи с климатическими факторами. *Ботан. журн.*, т.60, № 3, с.401-412, 1975.
- Рогальский А.И., Черкашин В.П.** Влияние экологических условий на прирост сосны по диаметру в Инском бору (Минусинская котловина). Временные и пространственные изменения климата и годовичные кольца деревьев. *Каунас; Вильнюс, Ин-т ботаники АН Лит ССР*, ч.3, с.13-21, 1987.
- Савва Ю.В., Милютин Л.И., Ваганов Е.А.** Изменчивость структуры годовичных колец в географических культурах сосны в южной тайге. *Лесоведение*, № 2, с.53-61, 2001.
- Суханов В.В., Жуков В.Е.** Закономерности в изменчивости видовой структуры прибрежного сообщества водорослей-макрофитов: модельный анализ. *Журнал общей биологии*, т.64, № 3, с.248-262, 2003.
- Шпалте Э.П.** Влияние метеорологических факторов на радиальный прирост сосны в Латвийской ССР. *Лесоведение*, № 3, с.11-18, 1978.