

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(**Н И У « Б е л Г У »**)

ФАКУЛЬТЕТ ГОРНОГО ДЕЛА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Кафедра природопользования и земельного кадастра

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДРЕВОСТОЯ
ЗАПОВЕДНОГО УЧАСТКА «ЛЕС НА ВОРСКЛЕ»**

Выпускная квалификационная работа студентки

**очной формы обучения
направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
4 курса группы 81001203
Черновой Ирины Анатольевны**

Научный руководитель
кандидат географических наук,
доцент Митряйкина А.М.

БЕЛГОРОД 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
	·
ВВЕДЕНИЕ.....	3
..	5
Глава 1. Формирование годичного кольца и его строение.....	5
1.1. Факторы, определяющие величину ежегодного радиального прироста древесины.....	8
1.2. Строение годичного кольца и особенности его прироста в типичных лесостепных условиях Среднерусской возвышенности.....	10 15 15 16
1.3. Цикличность временных рядов.....	20
Глава 2. Материалы и методика исследования.....	21 22
2.1. Объекты исследования и объём выполненных работ.....	25
2.1.1. Характеристика условий произрастания объектов.....	25
2.1.2. Эколого-биологические особенности сосны обыкновенной.....	29 39
2.1.3. Эколого-биологические особенности дуба черешчатого.....	56
2.2. Методика проведённых исследований.....	59 60
Глава 3. Анализ радиального прироста и его взаимосвязи с	

основными климатическими перемен-	
ными.....	
3.1. Динамика основных климатических переменных за	
исследуемый пе-	
риод.....	
3.2. Построение и анализ древесно-кольцевых хроноло-	
гий.....	
3.2.1. Отклик ранней и поздней древесины на динамику	
рассматриваемых параметров кли-	
мата.....	
3.3. Оценка реакции ежегодного радиального прироста	
древесины на температуру и осадки 1955-2014 гг.	
.....	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	
...	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ	
ЛИТЕРАТУРЫ.....	

ВВЕДЕНИЕ

Существенное изменение состояния окружающей среды, наблюдаемое в последние десятилетия, находит отражение на разных уровнях организации экосистем (организменный, видовой, популяционный и т.д.) [2]. По данным многолетних метеорологических наблюдений установлено, что за последнее столетие средняя температура воздуха на Земле увеличилась на 0,74 °С и это не предел её роста; в целом по России этот показатель ещё выше: потепление составило 1,29 °С [17].

Ввиду существенных природно-обусловленных территориальных различий климата, изменение его характеристик неоднозначно и носит ярко выраженный региональный характер. В связи с этим, детализированные исследования по регионам особенно важны.

Данная работа является малой частью многолетних исследований структуры и динамики ежегодного радиального прироста деревьев типичной лесостепной ландшафтной зоны.

Анализ временных рядов радиального прироста позволяет найти ответ на широкий спектр вопросов, связанных с реконструкцией и прогнозированием природно-климатических изменений, а также с динамикой леса. Благодаря этому, всестороннее изучение особенностей прироста древесины основных лесообразующих пород особенно **актуально** в наше время.

Предмет исследования: закономерности воздействия основных климатических переменных на ширину годичного кольца.

Цель работы состоит в установлении особенностей влияния климатических характеристик на радиальный прирост сосны обыкновенной и дуба черешчатого в типичной лесостепной зоне.

Достижение поставленной цели осуществлялось путём решения следующих **задач**:

1. Изучить теоретические аспекты особенностей формирования годичного слоя прироста.
2. Отобрать керны древесины, подготовить их к исследованию и посчитать ширину годичных колец образцов (в том числе ранней и поздней древесины).
3. Выявить закономерности влияния основных климатических переменных (осадков и температуры) на годичный слой прироста в целом, а также на раннюю и позднюю древесину.

Объект исследования: ежегодный радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.).

Методы исследования: анализ, синтез, измерение, сравнение, описание; экспедиционный, дендрохронологический, статистический, геоинформационный.

Материалы исследования: керны древесины сосны обыкновенной и дуба черешчатого, ряды данных по среднегодовой температуре воздуха и годовому количеству осадков метеостанции «Готня» за 1951-2014 гг.

Научная новизна: изучены керны древесины сосны обыкновенной (14 экземпляров) и дуба черешчатого (18 экземпляров), отобранные на территории ООПТ «Лес на Ворскле».

Практическое значение работы: изучение динамики радиального прироста основных лесообразующих пород юга лесостепи Среднерусской возвышенности позволит в дальнейшем проводить реконструкцию климатических условий прошлого на исследуемой территории и их прогнозирование. Это даёт возможность предвидеть и минимизировать отрицательные последствия изменений климата в природных и агросистемах.

Глава 1. Формирование годичного кольца и его строение

Исследования, представленные в данной работе, были проведены в рамках раздела дендрохронологической науки – дендроклиматологии. Она занимается датированием годичных колец деревьев и выяснением связи динамики радиального прироста деревьев с изменением климатических факторов с целью восстановления и создания прогнозов климатических изменений. Деревья обладают хорошей «памятью» и чётко фиксируют преобразование условий

произрастания, влияющих на их развитие [13]. Древесные кольца принято считать классическим примером природных регистрирующих структур. Особенности их формирования и строения будут рассмотрены в данной главе.

1.1. Факторы, определяющие величину ежегодного радиального прироста древесины

Величина годичного прироста зависит от целого спектра факторов, как внутренних, так и внешних, действующих комплексно (см. рис. 1.1).



Рис. 1.1. Обобщённая схема факторов, воздействующих на величину радиального прироста древесины

Э.Д. Лобжанидзе в 1961 году [12] выделил ряд факторов, которые оказывают воздействие на ширину годичных колец деревьев, среди них:

1. Древесная порода. Одни растения имеют широкие годичные кольца, более 1 см (различные виды тополей), другие – узкие, например, у бука они не превышают 1 мм.

2. Возраст дерева. Считается, что ширина радиального прироста у деревьев уменьшается с возрастом, исключая узкие присердцевинные слои. Н.Е. Косинченко [9] отмечает, что у сосны уменьшение ширины прироста

продолжается до 30-35 лет, после чего оно колеблется в ту или иную сторону, в зависимости от действия факторов среды.

3. Происхождение дерева. Деревья семенного происхождения в первые годы жизни образуют узкие годичные слои, затем, с усилением корневой системы, их ширина увеличивается и только после этого начинается падение величины прироста; дерево порослевого происхождения, наоборот, в первые годы жизни образует широкие годичные кольца, которые с возрастом постепенно сужаются.

4. Плодоношение. Оно характеризуется значительным расходом пластических веществ на развитие плодов и семян, вследствие чего для формирования годичных колец их расходуется значительно меньше, то есть обильное плодоношение напрямую влияет на ширину годичного слоя. Это усложняет реконструкцию климатических условий, но не сводит возможность её проведения на «нет», так как не все деревья в древостое плодоносят или имеют обильные урожаи. Изучение прироста по совокупности деревьев дает возможность объективно оценить воздействие климатических факторов [32].

5. Внешние условия:

5.1. Освещение. Хорошо освещённое дерево формирует широкие годичные кольца, если же лучше освещена одна из сторон ствола, прирост будет неравномерно развиваться по его окружности. Это происходит из-за того, что весной камбий в затенённой части ствола пробуждается позднее и развивается при наименее благоприятной для него температуре.

5.2. Географическая широта и высота над уровнем моря. На Крайнем Севере или в высокогорной местности годичные кольца у деревьев более узкие.

5.3. Почвенные и метеорологические условия (влажность, температура почвы и воздуха, количество осадков, плодородие почв) значительно влияют на продолжительность и интенсивность радиального прироста.

Детально воздействие биологических свойств и факторов окружающей среды рассматриваются и другими зарубежными и отечественными авторами

[5; 18; 22; 34; 37; 38]. Следует отметить, что ежегодный прирост деревьев также зависит от наследственной индивидуальной изменчивости, взаимоотношений в фитоценозе, катастрофических явлений разного характера (пожаров, нападения вредителей, буреломов) и хозяйственной деятельности человека [4; 10] (см. рис. 1.1).

В итоге, величина радиального прироста деревьев контролируется внутренними факторами и преобразуется внешними. С физиологической точки зрения, требования растений к внешней среде сводятся к созданию условий, обеспечивающих образование достаточного количества питательных веществ для роста и сохранения внутреннего водного баланса. Причём баланс воды деревьев одинаково зависим как от атмосферной, так и от почвенной влажности, потому что определяется относительной интенсивностью поглощения воды и транспирацией [13].

Особенно значительно на величину прироста воздействуют климатические факторы, отклоняясь от средней многолетней величины, они вызывают ответную реакцию растений [20]. Поскольку в течение жизненного цикла на рост и развитие растений влияет комплекс факторов, связь между шириной годичных колец и климатическими параметрами не всегда бывает однозначна. В этом случае для исследований подбирают группы модельных деревьев, а прирост в определённых территориальных особенностях обычно определяется одним из факторов, в соответствии с законом толерантности В. Шелфорда [33].

Обычно развитие растительности лимитируют атмосферные осадки и температуры воздуха вегетационного периода, что подтверждено проведенными ранее исследованиями в Центрально-Чернозёмном и других регионах [14; 20].

1.2. Строение годичного кольца и особенности его прироста в типичных лесостепных условиях Среднерусской возвышенности

Для древесных растений, произрастающих в пределах зон умеренного пояса с ярко выраженной сменой сезонов года, характерна периодическая активность камбиального слоя. Она проявляется только в период вегетации, а в холодное время года камбий находится в состоянии покоя. Как правило, у деревьев с каждым годом за время вегетации появляется только один слой прироста, а их совокупность хорошо различима в виде колец (на поперечном срезе).

В начале благоприятного для роста и развития растений периода, у хвойных видов образуются крупные и тонкостенные клетки. Этот слой носит название «ранняя древесина» (или весенняя). В конце периода происходит формирование более мелких и толстостенных клеток – «поздняя древесина» (летняя), которая характеризуется наличием меньшего количества сосудов или их отсутствием, а также более тёмной окраской. Клетки поздней древесины лучше приспособлены для выполнения механической функции, а клетки ранней – для проведения восходящих потоков жидкости [36]. Лиственные (кольцесосудистые) породы имеют более сложное строение, поэтому их годовые кольца различать труднее. Это проявляется в хорошо заметных крупных ранних сосудах, диаметр которых убывает в сторону поздней древесины [26].

Каждое годовое кольцо имеет постепенный переход от клеток ранней к клеткам поздней древесины, а между соседними кольцами он резкий, что обусловлено формированием на внешней границе кольца терминальной древесины. Она состоит из тонкого слоя толстостенных клеток, сплюснутых в радиальном направлении. Эта особенность позволяет с лёгкостью отличать соседние кольца друг от друга. У ложных колец строение несколько иное: граница между слоями поздней и ранней древесины отсутствует, а само кольцо прослеживается не по всей окружности годового слоя прироста [31]. Снижение деятельности камбия в основании стволов в неблагоприятные для дерева годы приводит к формированию «выпавших» колец. Они отсутствуют в определённом месте ствола.

Наибольшей значимостью обладают узкие кольца, потому что их формирование происходит в климатически неблагоприятные (так называемые «реперные») годы у большинства деревьев, произрастающих одновременно в районе, однородном по климатическим условиям.

Общепринятым является тот факт, что радиальный прирост деревьев с возрастом сокращается и к концу жизни у дерева формируются более узкие годовые кольца. В типичных условиях лесостепи, характеризующихся неравномерным увлажнением, и сосна обыкновенная, и дуб черешчатый имеют убывающий возрастной тренд, что подтверждено исследованиями Митрайкиной А.М. [20]. Кроме того, у хвойных пород, произрастающих в лесостепной зоне, ширина поздней древесины остается почти постоянной в течение всего периода роста. Из этого следует, что ширина годового кольца с возрастом уменьшается за счёт ранней древесины, а процент летней древесины с годами увеличивается [9]. Соответственно, прирост древесины лиственных деревьев имеет обратную закономерность.

Кроме того, во всех типах лесорастительных условий Центральной лесостепи Восточно-Европейской равнины складывается более благоприятный комплекс климатических факторов для прироста ранней части годового кольца, чем для поздней древесины, доля и изменчивость которой увеличивается от сухих к влажным условиям [15; 16].

1.3. Цикличность временных рядов

В природе существенные черты событий повторяются циклично, то есть через определённый промежуток времени, не обязательно строго равномерный. Циклы различны по своей длительности и вносят разнообразный вклад в ход развития природных процессов. Для нас наиболее актуальным является рассмотрение следующих их видов:

- цикл Брикнера (30-35 лет);
- цикл Хейла (магнитный цикл, 22 года);

- цикл Швабе-Вольфа (солнечный, 11 лет);
- циклы меньших порядков: 5-6 летние, 3-4 летние, менее 2 лет [13].

В ходе цикла Швабе-Вольфа первые 4 года происходит быстрое увеличение количества солнечных пятен, а в течение последующих 7 лет их постепенное уменьшение. За 11 лет (условно) зона образования пятен на Солнце немного сдвигается к экватору, а также протекают другие периодические изменения. Цикл Хейла часто называют двойным солнечным циклом, за период которого изменяется магнитная полярность пятен (пятна обычно образуют биполярные группы). В ходе каждого цикла, длительностью 11 лет, полярность всех головных пятен одинакова в северном полушарии и противоположна им в южном полушарии. Аналогично и у хвостовых пятен, обладающих полярностью, всегда противоположной головному пятну. В последующие 11 лет происходит смена полярности ведущих и хвостовых пятен на противоположные и магнитного поля Солнца в целом. Описанный процесс длится, в среднем, 22 года. Солнечный и магнитный циклы вызывают возмущение магнитного поля земного шара и циркуляцию атмосферы, вследствие чего происходят колебания температуры и увлажнения.

Цикл Брикнера более расплывчат, в отдельных случаях его продолжительность может колебаться от 25 до 50 лет. Он выражается сменой тёплых сухих периодов холодными влажными.

Все перечисленные выше циклы относятся к наноциклам, продолжительностью 1-100 лет. Они возникают из-за активности Солнца, которая детерминирует не только режим верхних слоёв атмосферы, но и интенсивность, и тип тропосферной циркуляции. Цикличность солнечной деятельности оказывает большое влияние на циркуляцию атмосферы, которая трансформирует солнечную активность в цикличность колебаний температуры, неравномерность выпадения осадков, а также в регулярно повторяемые грозы, ураганы, тайфуны [13].

В итоге, явления, наблюдаемые в газовой оболочке Земли, становятся результатом сложного взаимодействия реакций, вызванных земными и космическими силами. Поэтому атмосфера, в ответ на колебания солнечной активности, не может реагировать однотипно. Интересным является тот факт, что аномальная синоптическая обстановка лета 2010 года была обусловлена наложением минимумов трёх циклов солнечной активности: 11-летнего, Брикнера и векового в комплексе с изменениями климата и подстилающей поверхности, вызванными антропогенным воздействием [14].

Воздействие солнечной активности на циркуляцию атмосферы, а через неё на климат и, в конечном счёте, на радиальный прирост деревьев территориально неоднородно. На Земле выявлено существование обширных географических районов, где температура, осадки, давление одинаково реагируют на усиление активности Солнца: «плюс»-районов (районы климатических антициклонов), в которых с увеличением солнечной активности возрастает давление, и «минус»-районов (циклонов), где происходит противоположный процесс. По отношению к среднегодовой температуре «плюс»-районами являются север Азии, почти вся Европа, а Австралия, Северная Америка, южная часть Азии попадают в отрицательную область. Наряду с ними существуют широкие «пояса изменчивости», в которых реакция климата на изменение солнечной активности приобретает то положительный, то отрицательный характер.

Динамика солнечной активности неоднородна и во времени. На разных фазах солнечных циклов климатическая реакция может проявляться по-разному в ответ на одно и то же воздействие внеземного происхождения.

В умеренных широтах при возрастании солнечной активности количество атмосферных осадков, повторяемость циклонов увеличиваются, наступают влажные периоды, и ширина годичных колец сосны растёт. Уменьшение активности Солнца приводит к усилению антициклонов и вызывает засухи, на что сосна реагирует снижением интенсивности прироста [29].

На предмет цикличности нами были рассмотрены образцы дуба черешчатого, их возраст превышает возраст сосны и хронология вмещает большее количество циклов.

При визуальном анализе графиков, в динамике прироста дуба хорошо прослеживается цикл Брикнера, длительность которого варьирует у рассмотренных образцов от 28 до 48 лет. Приведём несколько показательных примеров.

Построенный график для образца № 2 (см. рис. 1.2) позволяет выделить 4 периода колебаний радиального прироста древесины. Их продолжительность изменяется от 36 до 42 лет:

- 1 цикл длился 42 года – с 1816 по 1858 (min: 1858 год – 1,02 мм, max: 1829 год – 2,24 мм);
- 2 цикл (41 год): 1858-1899 гг. (min: 1872 год – 0,89 мм, max: 1984 год – 2,44 мм);
- 3 цикл (36 лет): 1927-1963гг. (min: 1927 год – 0,83 мм, max: 1939 год – 1,71 мм);
- 4 цикл (37 лет): 1963-2000 гг. (min: 1986 год – 0,59 мм, max: 1970 год – 1,35 мм).

Этот образец является самым старовозрастным из всех изучаемых, его возраст составляет 231 год.

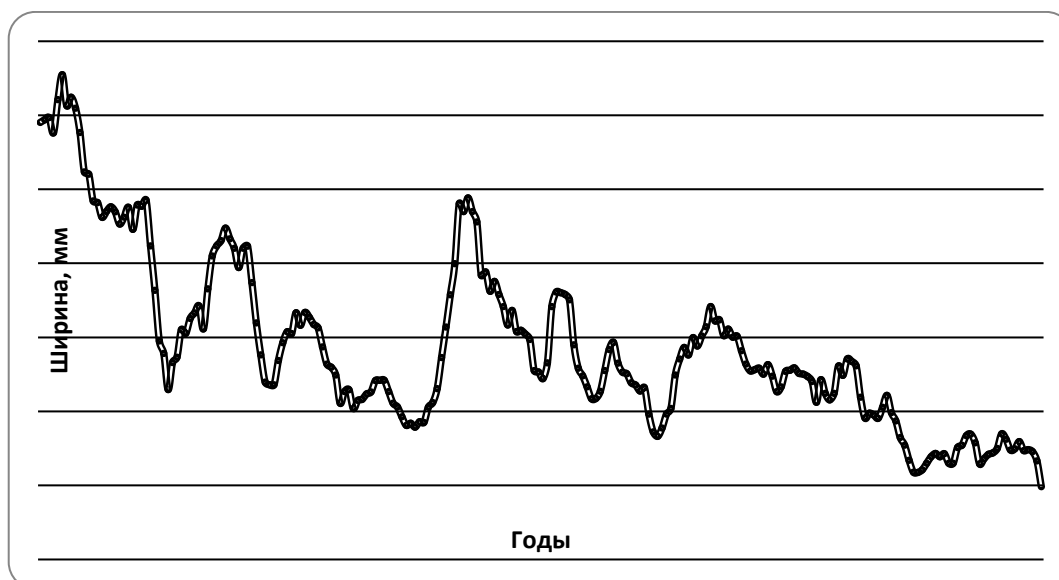


Рис. 1.2. Динамика радиального прироста дуба черешчатого, образец № 2

На следующем графике (см. рис. 1.3) прослеживается Брикнеров цикл с эталонной продолжительностью, равной 35 годам. Это отрезок времени с 1964 по 1999 год (min: 1974 год – 1,42 мм, max: 1991 год – 2,4 мм). Возраст дуба – 70 лет.

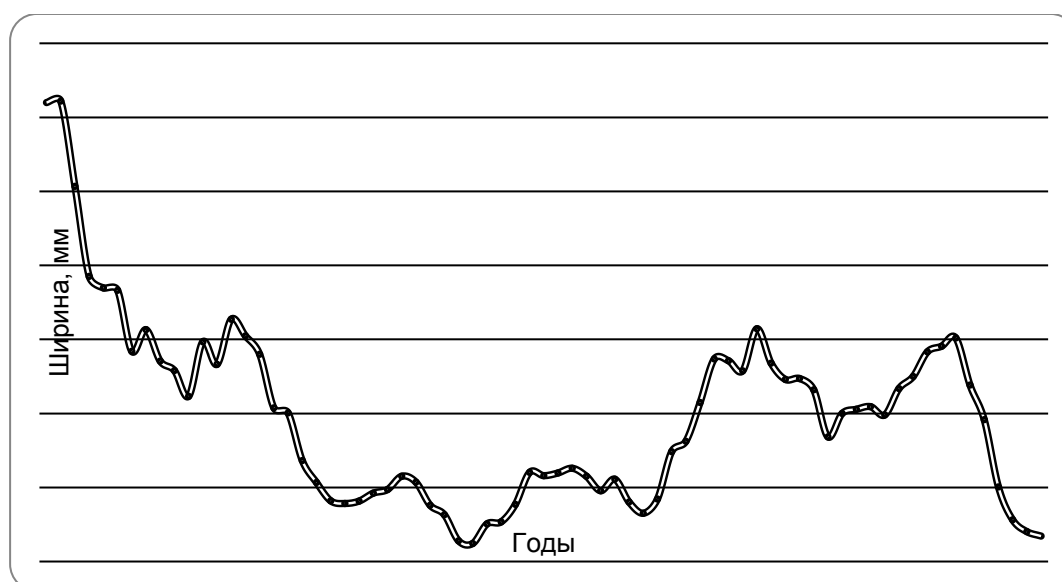


Рис. 1.3. Динамика радиального прироста дуба черешчатого, образец № 5Б

Два цикла, продолжительностью 33 года, запечатлены в многолетней динамике радиального прироста образца №1 (возраст дерева составляет 113 лет), а именно (см. рис. 1.4.):

- 1 цикл: 1923-1956 (min: 1923 год – 1,52 мм, max: 1930 год – 3,6 мм);
- 2 цикл: 1956-1989 (min: 1989 год – 1,46 мм, max: 1979 год – 2,83 мм).

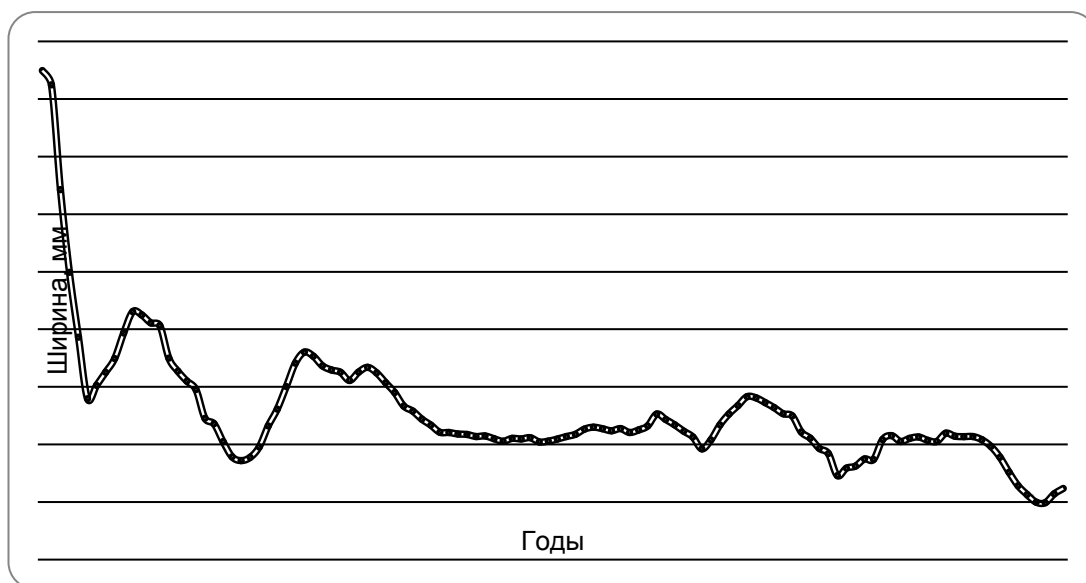


Рис. 1.4. Динамика радиального прироста дуба черешчатого, образец № 1

В заключение, следует отметить, что среди рассмотренных хронологий дуба черешчатого встречается практически равное количество циклов Брикнера с продолжительностью, близкой к 35 годам и превышающей 40 лет.

Глава 2. Материалы и методика исследования

2.1. Объекты и объём выполненных работ

В качестве объекта исследования нами были выбраны сосна обыкновенная и дуб черешчатый, а именно, их радиальный прирост. Дуб, наряду с сосной, является основной лесообразующей породой территории юга лесостепи Среднерусской возвышенности. Эти деревья удобны в использовании для получения дендрохронологической информации, так как имеют чётко различимые годовичные слои прироста, отличаются долголетием и экологической пластичностью, при этом высокочувствительны к колебаниям внешних условий, выраженных через радиальный прирост. Дополнительным преимуществом сосны служит слабое влияние плодоношения на динамику ежегодного радиального прироста древесины.

Среди существующих видов сбора образцов (круговой поперечный спил, брусок древесины по радиусу и диаметру, сектор) нами было отдано предпочтение буровым кернам древесины, что обусловлено природоохраным режимом территории произрастания сосен (район исследования – ООПТ «Лес на Ворскле»). Радиальные керны древесины имеют диаметр 4,35-5,15 мм, а их длина колеблется от 10 до 60 см, что наиболее безопасно для живых деревьев. Кроме того, взятие образцов в таком виде требует меньше времени и усилий, по сравнению с другими разновидностями, а их небольшой вес и размеры позволяют проводить массовый сбор материала.

Керны были отобраны в июле 2014 года, всего проанализировано 14 образцов древесины сосны и 18 образцов дуба. Возраст деревьев колеблется от 84 до 111 лет в первом случае, от 64 до 235 лет – во втором.

Осреднённые результаты измерений ширины годовичных колец по двум видам деревьев сведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Статистическая характеристика дендрохронологических рядов сосны
обыкновенной и дуба черешчатого**

Хронология	Кол-во кер- нов	Период	Кол-во лет	Ширина годичного кольца, мм	
				Средняя	Максимальная
По соснам:	14	1955-2014	59	2,23	3,59
ранняя дре- весина				1,34	1,97
поздняя дре- весина				0,89	1,65
По дубам:	18	1955-2014	59	1,66	1,92
ранняя дре- весина				0,80	0,91
поздняя дре- весина				0,87	1,05

Судя по полученным данным, средняя и максимальная ширина годичных колец сосен значительно выше, чем дубов. Лишь средняя величина прироста поздней древесины близка по значению у обоих видов деревьев.

2.1.1. Характеристика условий произрастания объектов

Местом произрастания исследуемых видов деревьев является кластерный участок «Лес на Ворскле» заповедника «Белогорье», расположенный на юго-западном скате Среднерусской возвышенности, полого спускающейся к Днепропетровской депрессии.

«Лес на Ворскле» – исключительно значимый резерват флоры, в котором зарегистрировано около 500 видов, что приближается к половине флоры высших растений всей Белгородской области. Из древесных пород доминируют дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клён остролистный, липа мелколистная, сосна обыкновенная [30]. Территориально он представлен одним лесным массивом, несколько вытянутым с северо-запада на юго-восток (см. рис. 2.1). Участок расположен на высоком правом берегу р. Ворсклы в Борисовском

районе Белгородской области. С юга и востока его ограничивает река Ворскла, с запада – Готня (приток Ворсклы) с притоком Локня. Общая площадь ООПТ – 1038 га [23].

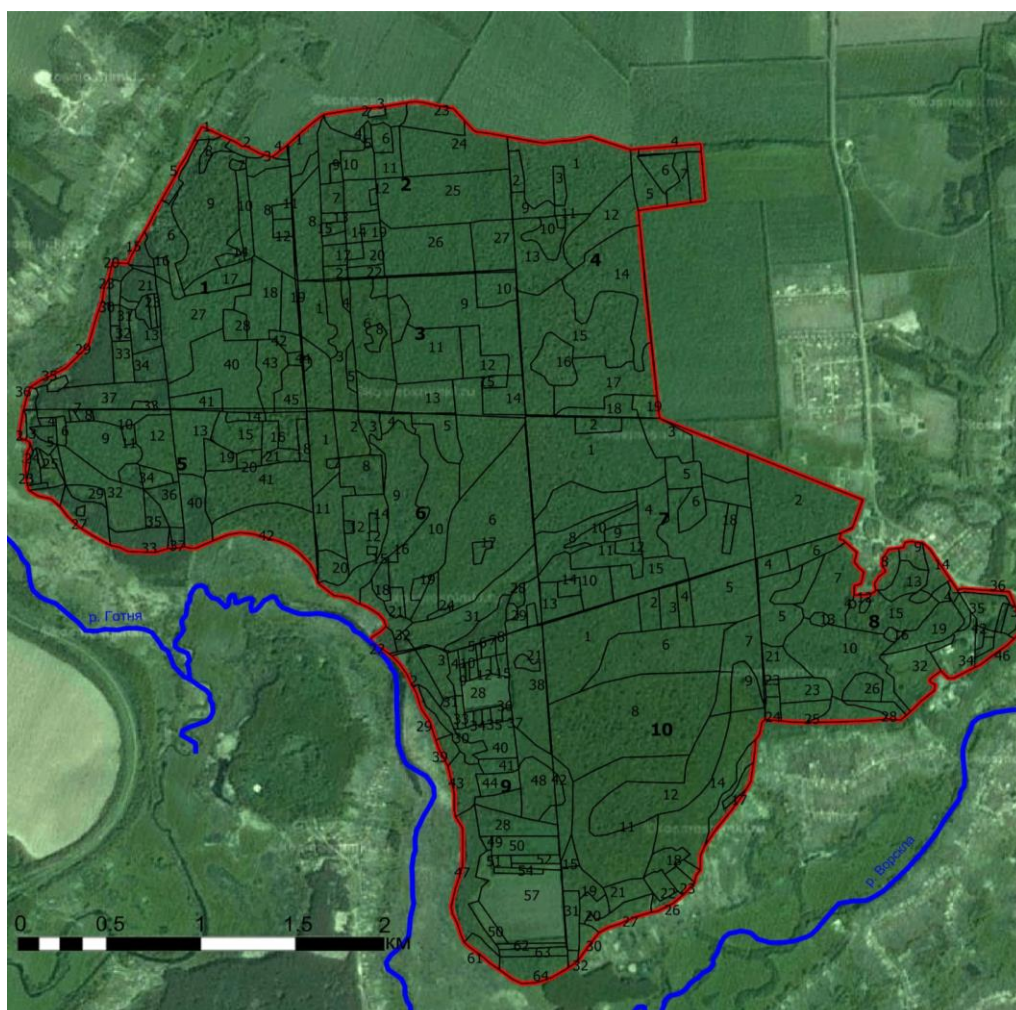
По классификации Б.П. Алисова (1974 г.) территория кластера относится к южной части атлантико-континентальной климатической области у самой границы с континентальной областью. По лесорастительному районированию «Лес на Ворскле» размещён в западной части Восточного кленово-липово-дубравного района с ясенем центральной лесостепной зоны [24].

Район отбора образцов расположен в юго-восточной части левобережно-днепровского геоботанического округа средневропейской подпровинции восточно-европейской провинции Европейско-Сибирской лесостепной области. Пробная площадь №1, на которой отбирались образцы древесины сосны, находится в 1 квартале 37 выдела, а №2 – место отбора образцов дуба – в 8 квартале 15 выдела. Их таксационная характеристика представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Таксационная характеристика пробных площадей

№ ПП	Тип леса/ТУМ	Состав	Возраст, лет/класс возраста/группа возраста	Бонитет	Д ср, см	Н ср, м	Положение в рельефе	Площадь, га	Полнота, га	Запас, м ³ /га
1	Д1В/Д1	10С	110/9/спел	1	36	26	Пологий склон юго-западной экспозиции, пойма реки Готня	7,3	0,6	175
2	Д1Б/Д2	7Д2Лп1Кл	310/29/пер	2	96	28	Нижняя часть водораздельного северного склона	13,0	0,6	340



Условные обозначения

- Реки
- Границы кварталов, выделов
- Граница ООПТ

Рис. 2.1. Карта-схема ООПТ «Лес на Ворскле»

В целом, флора пробных площадей кластерного участка «Лес на Ворскле» является типичной для лесостепной дубравы. Основной доминант из числа древесных пород – дуб черешчатый. В заповеднике преобладает его летняя форма. Встречаются насаждения культур сосны обыкновенной с другими широколиственными породами (липа мелколистная, клен, ясень, ильм). Подлесок состоит из кустарниковых пород – бересклета европейского, бересклета бородавчатого, клена полевого, боярышника, терна, редко встречается лещина. Живой напочвенный покров в основном представлен снытью обыкновенной (на ровных плато и пологих северных склонах), осокой волокнистой (на склонах террас и балок), звездчаткой ланцетовидной (сухие бровки крутых

южных склонов балок), мятликом дубравным (на южных склонах боровой террасы). Источником постоянного запаса травянистых растений, несвойственных дубовым насаждениям служат прилегающие к территории полевые и луговые угодья, а также жилой сектор.

Пробные площади были заложены в районе средней террасы на северном склоне (ПП №2) и на нижней террасе в центральной её части (ПП №1).

ПП №1 представлена лесокультурами дубо-сосняка звездчаткового. Во втором ярусе преобладают деревья липы мелколистной и клена полевого естественного происхождения. Насаждение расстроенное, в окнах идёт возобновление лиственных пород. В подросте – ясень обыкновенный, частично дуб черешчатый, липа мелколистная и другие, средней густоты, высотой до 5 м, располагаются группами. Подлесок представлен в основном бересклетом европейским, единично произрастает терн. Живой напочвенный покров развит очень слабо за счет большого слоя лесной подстилки, преобладают травянистые виды звездчатки, будры плющевидной, фиалки.

ПП №2 – заповедный липо-дубняк естественного семенного происхождения. Во втором ярусе преобладают деревья липы мелколистной и клена полевого естественного происхождения. Подрост состоит из клёна, липы мелколистной, ильма, средней густоты, высотой до 15 м, располагаются равномерно. Подлесок представлен в основном единично бересклетом бородавчатым. Живой напочвенный покров развит хорошо, преобладают травянистые виды осоки, сныти, звездчатки.

Насаждение располагается на склоне северной экспозиции. Керны древесины отбирались из перестойных деревьев на пологих северных склонах или по дну лесных оврагов, где, кроме атмосферного увлажнения, наблюдается подток влаги с выше расположенных частей рельефа и более медленное таяние весной снежного покрова. Даже в летний период, когда проводился отбор образцов, территория имела устойчивое увлажнение.

2.1.2. Эколого-биологические особенности сосны обыкновенной

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) относится к семейству Сосновые, представляет собой вечнозелёное хвойное дерево, достигающее в высоту 35-40 м с диаметром ствола около 1 м. Особенно широко она распространена в лесной и лесостепной зонах европейской части России, произрастает в смешанных лесах или образует боры. Крона молодых деревьев имеет конусовидную форму, с увеличением возраста она становится округлой, более широкой, а в старости приобретает зонтиковидную или плоскую форму [27].

Сосна способна существовать в самых разнообразных условиях: с различной продолжительностью светового дня, на бедных и богатых почвах, в условиях засухи и переувлажнения, что говорит её о высоких адаптационных возможностях. В отличие от других хвойных пород, она может формировать древостой на бедных песчаных почвах, в условиях олиготрофного заболачивания (способствует многоярусная корневая система) или на скалах (благодаря микотрофности [35]), а также выносит наличие в почве извести. Однако предпочтительно произрастает на среднесухих, ненасыщенных, рыхлых почвах. Сосна достаточно устойчива к завяданию, что обусловлено особым строением хвои, которое обеспечивает сохранение влаги в тканях [11].

Характеризуемая порода является очень светолюбивой, холодостойкой, солевыносливой породой и при оптимальных условиях произрастания её возраст может достигать 350 лет. При этом она обладает слабыми конкурентными способностями во взаимоотношениях с другими породами деревьев (быстро вытесняется лиственными породами, елью), что зачастую не позволяет ей произрастать на высокоплодородных почвах и проявлять высший потенциал производительности [8]. Кроме того, сосна мало устойчива к воздействию атмосферных поллютантов [21; 28].

Период цветения сосен длится с апреля по май. В это время над лесом появляются целые «тучи» жёлтой пыли.

Радиальный прирост древесины сосны обыкновенной находится в явно выраженной зависимости от температуры воздуха и количества осадков за вегетационный период. Во время похолодания темпы прироста резко снижаются, а при продолжительных засухах могут возобновляться лишь после дождей.

Вид подвержен повреждению многими насекомыми-вредителями, на территории степи и лесостепи их массовое размножение происходит каждые 9-11 лет [20].

2.1.3. Эколого-биологические особенности дуба черешчатого

Дуб черешчатый является представителем семейства Буковых (*Quercus robur* L.) и главным эдификатором широколиственных лесов Восточно-Европейской равнины.

Дуб – лиственное, летне-зелёное дерево с широкой, округлосводчатой кроной, достигающее высоты 45 м. Высокую продолжительность жизни (может дожить до 1000 лет), продуктивность и устойчивость породы обеспечивают ряд его биологических особенностей. Дуб черешчатый очень светолюбив, не выносит затенения сверху, а на боковое затенение откликается положительно – усилением роста в высоту. Дерево достаточно требовательно и по отношению к тепловым условиям, что проявляется в чувствительности к заморозкам и сильным морозам [6]. Однако повреждения заморозками лишь ослабляют его конкурентные возможности во взаимоотношениях с другими растениями и не приводят к гибели.

Интенсивность роста дуба черешчатого, по сравнению с другими древесными породами, умеренная. В молодом возрасте он растёт медленно, а спустя 10 лет прирост достигает 30-50 см в год. К 60-70 годам вновь происходит замедление роста [20]. Эта порода предпочитает богатые и влажные почвы, но может расти на каменистых и довольно сухих почвах.

Стержневая корневая система дуба распространяется на глубину до пяти метров, но физиологически активные корни концентрируются в верхних пятидесяти сантиметрах почвы. Именно поэтому для дерева неприемлемы повреждение и уплотнение почвы. К его особенностям относят и развитие на корнях микоризы, благодаря которой улучшается потребление корнями зольных элементов и азота из почвы. Корневая система дуба хорошо регенерируется [7].

Дуб черешчатый достаточно засухоустойчив, ветроустойчив и солевынослив, хорошо возобновляется порослью от пня даже в возрасте 150 лет. Деревья порослевого происхождения менее долговечны, чем семенного, но плодоносить начинают раньше

Дуб широко применяется в различных отраслях хозяйства. Твёрдая и прочная древесина позволяет использовать его при производстве мебели, в судостроении. Засухоустойчивость даёт возможность применять эту породу в полезащитном лесоразведении на степных и лесостепных территориях. Благодаря своим декоративным качествам дуб незаменим при создании садово-парковых ландшафтов.

2.2. Методика проведённых исследований

Образцы древесины отбирались с помощью приростового бурава Пресслера (шведского производства Haglöf) перпендикулярно продольной оси ствола дерева. Сбор и транспортировка производилась по стандартным дендрохронологическим методикам [19; 39].

Каждая пробная площадь (всего было заложено 2) находилась на однородной по климатическим и ботанико-географическим условиям территории. Предпочтение отдавалось старовозрастным образцам, выделялись модельные деревья, на которые неклиматические факторы влияли наименьшим образом (в местах, где явно не происходило изменение почвенно-грунтовых

условий – процессов заболачивания, иссушения, смыва территории, незначительно выражено влияние фитоценологических факторов и т.д.).

Керны отбирались на высоте 1-1,3 м, кодировались (указывались код местообитания, номер модельного дерева, его вид и т.д.) и транспортировались в бумажных контейнерах и твёрдой таре, во избежание их поломки, затем образцы сушились.

Отобранные керны в лабораторных условиях наклеивались на рейку прямоугольной формы, шириной и высотой примерно 1 см и длиной, превышающей длину бурового образца. После полного высыхания клея их поверхность тщательно зачищалась скальпелем. Для увеличения контрастности колец в зачищенную поверхность кернов сосны обыкновенной втирался мел, а керны дуба черешчатого постоянно смачивались водой.

Перед измерениями поверхность образца должна быть такой, чтобы под микроскопом при большом увеличении была четко различима клеточная структура древесины. От качества зачистки зависит возможность обнаружения узких колец, чаще всего состоящих из одного-двух рядов клеток, поэтому первичная обработка бурового образца является важным этапом, от которого зависит правильность результатов исследования.

Ширина годичных колец измерялась на полуавтоматической установке LINTAB-6, соединённой с персональным компьютером и пакетом программного обеспечения TSAP-Win (Professional 4.0). Данные с кернов автоматически вводятся в компьютерную базу данных, точность измерений – 0,001 мм.

TSAP-Win является стандартным инструментом анализа временных последовательностей и их представления в дендрохронологии и её разделах. Данная программа позволяет проводить измерения, редактировать их результаты, синхронизировать, создавать хронологии, проводить математический анализ и графически изображать временные последовательности [41].

После измерения ширины годичных колец нами была проведена стандартизация полученных данных. В силу воздействия на величину прироста

различных неклиматических сигналов (влияния возраста, почвенно-грунтовых условий, конкуренции, катастроф) интенсивность естественного радиального прироста снижается и возникает необходимость вычисления индексов прироста. Они помогают значительно уменьшать или полностью исключать влияние указанных сигналов.

Индексы определялись путём вычисления средней фактической ширины колец за 5 календарных лет (из первых пяти по порядку значений прироста, далее, из пяти значений, начиная со второго, затем – с третьего и т.д.[1]). Пятилетний интервал сглаживания был выбран ввиду относительно небольшой продолжительности периода исследования. Индексация ширины годовых колец проводилась для каждой индивидуальной хронологии.

Построение графиков, расчёт индексов и корреляционный анализ связей ширины годовых колец с основными климатическими переменными осуществлялись с помощью пакета программ Microsoft Excel.

Глава 3. Анализ радиального прироста и его взаимосвязи с основными климатическими переменными

Измерение ширины годичных колец исследуемых образцов дало возможность построить древесно-кольцевые хронологии и сопоставить их графически с изучаемыми параметрами климата. В этой главе будут проанализированы взаимосвязи между основными климатическими переменными (температурой воздуха и атмосферными осадками) и ежегодным радиальным приростом выбранных видов деревьев, изучены эти же зависимости отдельно с приростом ранней и поздней древесины дуба и сосны; а также проведена оценка реакции прироста на изменение количества выпадающих осадков и температурных показателей.

3.1. Динамика основных климатических переменных за исследуемый период

Для дендроклиматического анализа полученных древесно-кольцевых хронологий были использованы ряды данных метеостанции Готни за 1951-2014 гг.

Рассмотрим особенности динамики среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы атмосферных осадков в изучаемый период времени. Судя по построенному графику динамики температурных показателей (см. рис. 3.1.), на протяжении последних 63 лет среднегодовая температура в целом увеличивалась, что подтверждается ходом линии линейного тренда. Так, с 1951 года по 2014 год она возросла на 1,7 °С.

Построение полиномиального тренда (см. рис. 3.1) даёт возможность выделить периоды, характеризующиеся относительным потеплением или похолоданием. В частности, похолодание наблюдалось в 50-е годы и с 1967 по 1985 год. Периоды потепления наступали в 1956-1966 гг. и с 1986 года по

настоящее время. Норма средней за год температуры воздуха составляет 6,0 °С. Исходя из этого, можно выделить конкретные годы, в которые происходило понижение или повышение температуры относительно её нормального значения. «Холодные» годы: 1953, 1954, 1956, 1959, 1963-1965, 1968, 1969, 1973, 1976-1978, 1980, 1985, 1987, 1993, 1996, 1997. Более чем на градус температура снизилась в 1956 году на 4,1 °С, далее – 1969 (4,9 °С), 1976 (4,3 °С), 1980 (4,8 °С), 1985 (4,6 °С), 1987 (3,8 °С). В итоге, самая низкая температура воздуха была характерна для 1987 года. В 1958 и 2003 годы она достигла нормы. В остальное время на территории области господствовала температура, превышающая показатель нормы. Максимальная среднегодовая температура наблюдалась в 2010 году и достигла 8,4 °С.

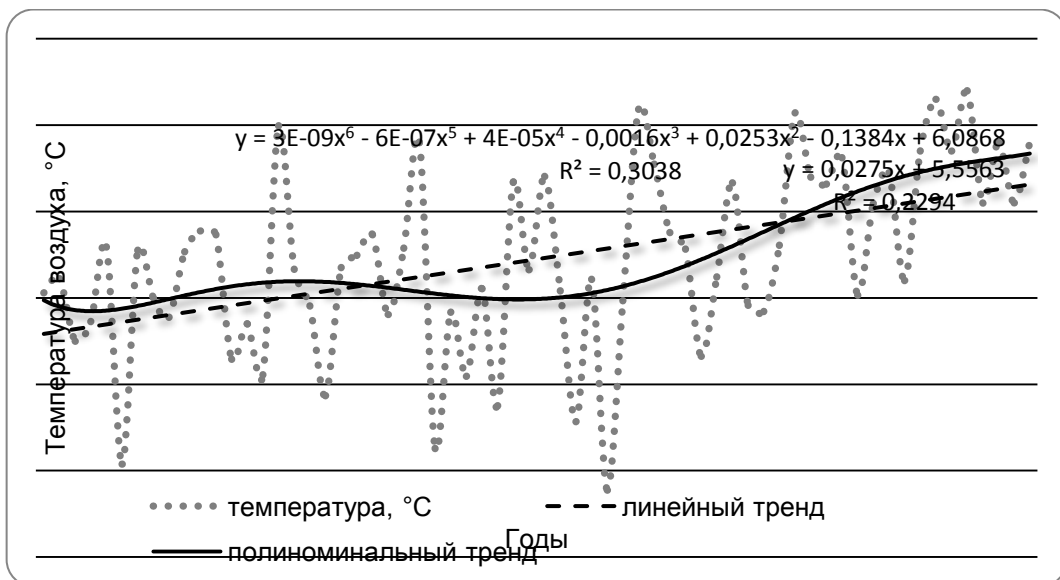


Рис. 3.1. Изменение среднегодовой температуры воздуха за 1951-2014 гг.

В лесоводстве началом вегетационного периода принято считать время, когда устанавливается среднесуточная температура воздуха около +10 °С. Согласно исследованиям Н. Г. Балыкова [3], рост побегов у сосны обыкновенной начинается при температуре +8... 14 °С. Наличие данных по среднемесячным температурам позволяет выделить наиболее благоприятные месяцы для роста и развития сосны, ими являются 5 месяцев: май, июнь, июль, август, сентябрь.

В отношении осадков прослеживаются несколько иные закономерности (см. рис. 3.2). Линейный тренд на построенном графике указывает на их общее увеличение за рассматриваемый интервал времени. С помощью линии полиномиального тренда можно выделить относительно влажные и засушливые периоды, наблюдавшиеся в течение 63 лет.

Так, начиная с 1954 г. происходило уменьшение количества атмосферных осадков, которое продолжалось до 1962 года. Затем указанный процесс сменился обратным, и с 1963 года прослеживается увеличение количества выпадающих осадков, продолжающееся до 1980 года. 1980-1994 гг. – относительно сухой период, сменившийся относительно влажным в 1995-2008 гг. С 2009 года сумма годовых осадков устойчиво уменьшалась.

Норма осадков составляет 596 мм в год. Значительно ниже нормы их количество снизилось в следующие годы: 1951, 1953-1955, 1957, 1959, 1961-1964, 1967, 1971, 1972, 1975, 1983, 1984, 2011, 2014. Это позволяет назвать перечисленные годы самыми засушливыми за исследуемый интервал времени. Следует отметить, что в Готне наблюдается значительная изменчивость в выпадении осадков по календарным годам, она варьирует от 378 до 1089 мм, то есть минимум осадков приходится на 1962 год, а максимальное их количество выпало в 2008 году.

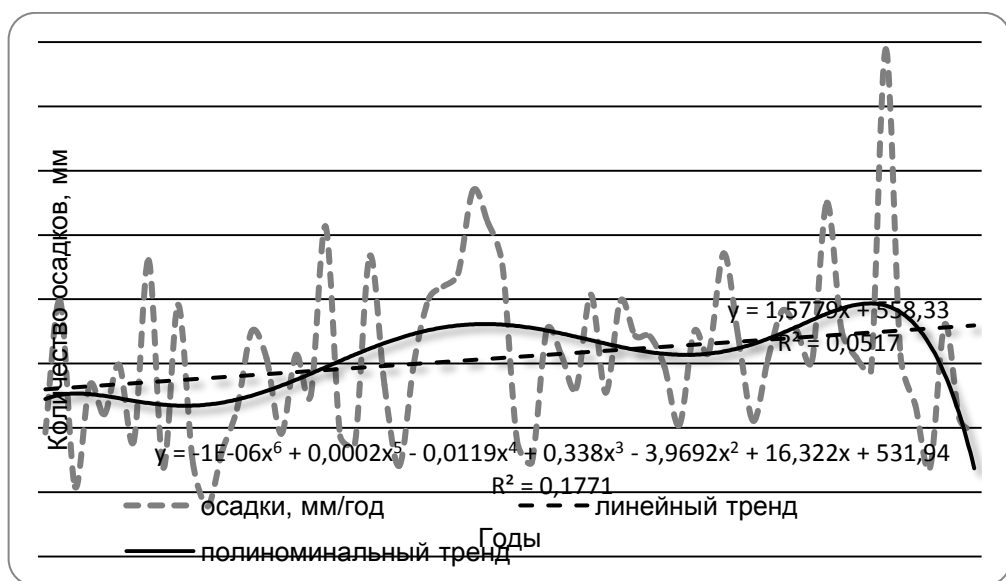


Рис. 3.2. Изменение годовой суммы осадков за 1951-2014 гг.

Далее данные по среднегодовым температурам и осадкам были обработаны пятилетней скользящей средней, что позволило рассмотреть временные ряды на предмет цикличности.

Так, на рис. 3.3 чётко прослеживаются циклы температурных показателей с периодом 9 лет (1971-1980, 1988-1997, 1997-2006 гг., их максимумы приходятся на 1975, 1992, 2002 годы соответственно), 8 лет (1979-1988 гг. с пиком в 1983 году), близкие к 11-летним солнечным циклам Швабе-Вольфа. До 1971 года наблюдались циклы меньших порядков: 4-летние (1956-1960 гг., 1965-1969 гг.), 5-летний (1960-1965 гг.), 6-летний (1965-1971 гг.).

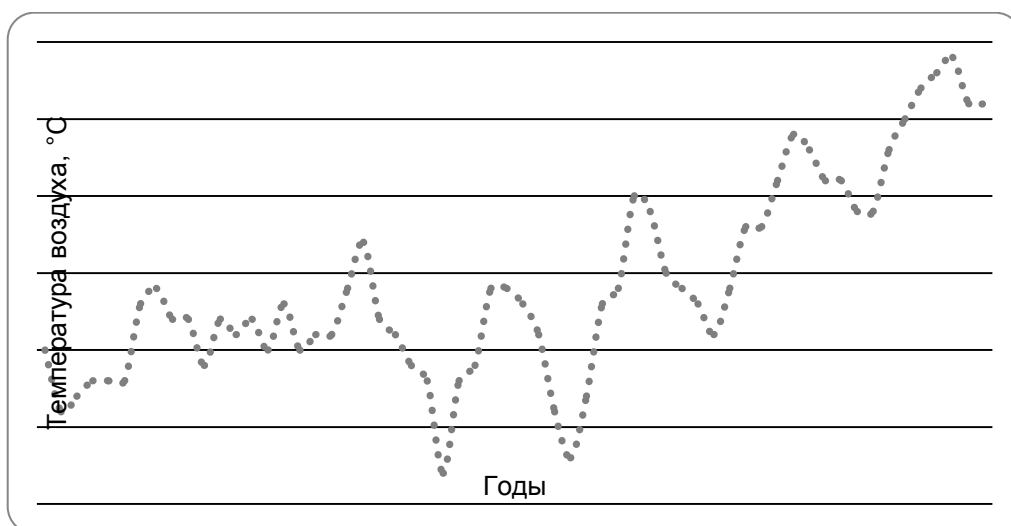


Рис. 3.3. Многолетняя динамика среднегодовой температуры воздуха (после стандартизации данных)

В ряду данных среднегодового количества осадков (см. рис. 3.4) можно выделить циклы длительностью 6 (1957-1963 гг. с максимумом в 1969 г.), 8 (1987-1995 и 1995-2003 гг.) и 12 (1963-1975 гг.) лет. Цикл, длившийся с 1975 по 1987 г. с пиком в 1982 году, является периодом максимально влажного климата.

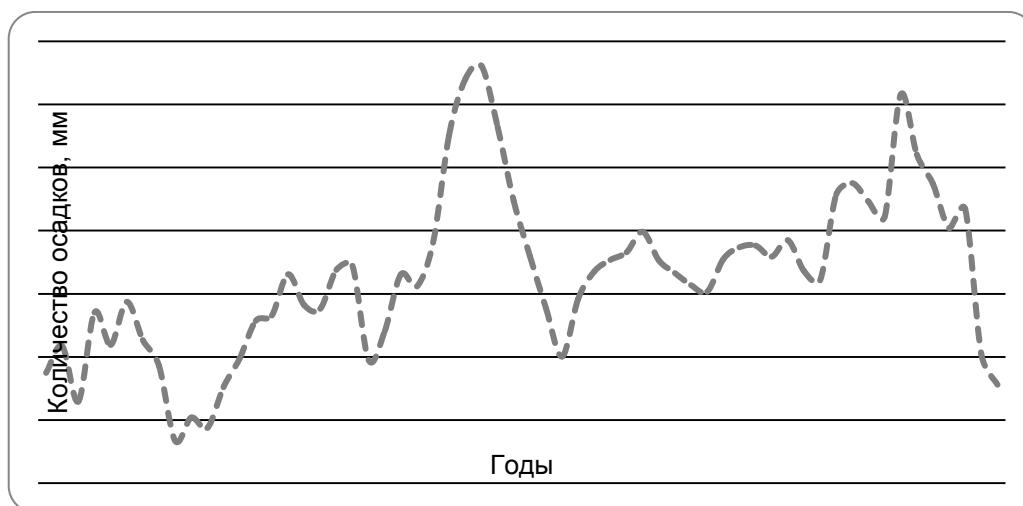


Рис. 3.4. Многолетняя динамика годовой суммы атмосферных осадков (после стандартизации данных)

В целом, цикличность температурных показателей выражена отчётливее, чем цикличность количества атмосферных осадков.

3.2. Построение и анализ древесно-кольцевых хронологий

Использование пятилетней скользящей средней позволило сгладить влияние возрастного тренда на величину радиального прироста, а также других неклиматических сигналов, и более наглядно проследить воздействие атмосферных осадков и температур воздуха на флуктуацию прироста сосны обыкновенной и дуба черешчатого. После стандартизации данных изучаемый интервал времени сократился с 63 до 59 лет и включает 1955-2014 гг., т.к. при их обработке четыре первых по счёту года выпадают.

При анализе полученных данных были выявлены образцы (в частности, № 24, 26, 27 – в отношении сосны, № 4, 8, 11 – в отношении дуба), которые наиболее показательно реагировали на многолетнюю динамику годовой суммы атмосферных осадков и среднегодовой температуры воздуха.

Остановимся на анализе взаимосвязей годовой суммы осадков и среднегодовой температуры воздуха с радиальным приростом древесины сосны обыкновенной.

График керна сосны № 24 (см. рис. 3.5 (А)) позволил установить, что изменение её ширины годичного кольца находится в обратной зависимости от многолетней динамики атмосферных осадков. Его величина изменяется асинхронно количеству их выпадения. Уменьшение прироста под воздействием растущего количества осадков наблюдалось в 1960, 1982, 2005 г., увеличение – в 1972, 2010 г. или с лагом в 1 год, когда большему приросту способствовало снижение количества осадков предшествующего года (1958, 2004 г.). Отрицательная корреляционная связь между двумя сравниваемыми показателями составила $-0,46$.

Взаимосвязь между среднегодовой температурой воздуха и ежегодным радиальным приростом сосны (см. рис. 3.5 (Б)) выражена более отчётливо. Коэффициент корреляции указанных параметров оказался выше предыдущего и при этом также имеет отрицательное значение ($-0,71$), что указывает на обратную зависимость и в отношении температурных показателей: повышение температуры воздуха вызывает снижение величины прироста древесины (например, в 2005 г.). Интенсивный рост температуры в последние десятилетия негативно сказывается на жизнедеятельности растений.

Кроме того, на построенных графиках (см. рис. 3.5) можно проследить период значительного угнетения ежегодного радиального прироста древесины сосны – с 1990 по 2007 год. Оно происходило под воздействием существенно возросшей температуры воздуха и при некотором увеличении выпадения атмосферных осадков.

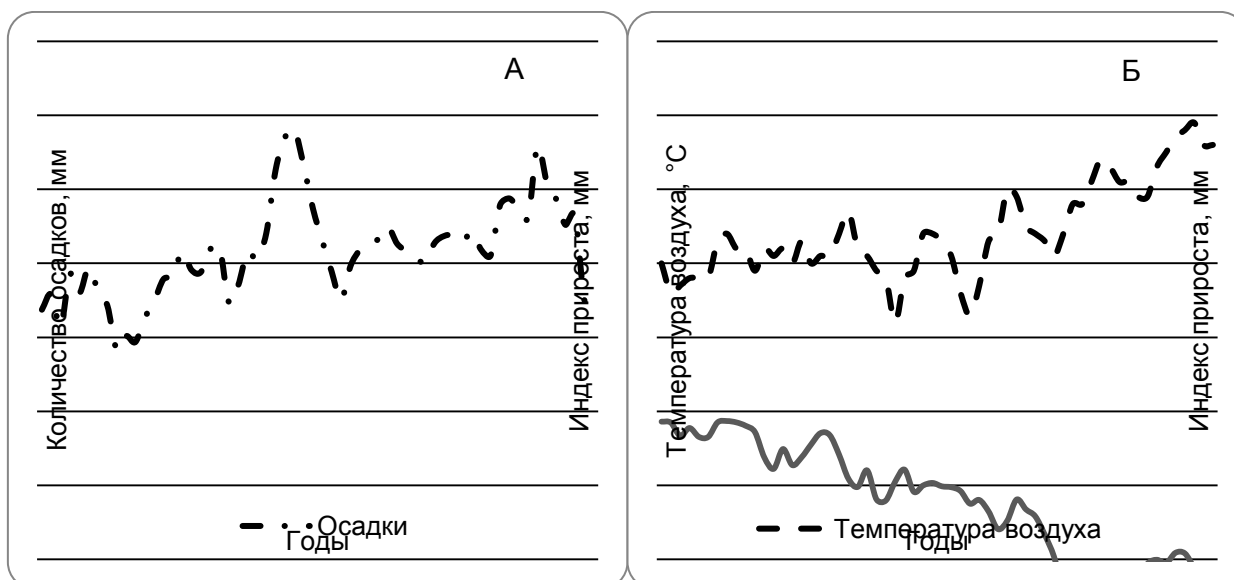


Рис. 3.5. Зависимость между радиальным приростом древесины сосны обыкновенной, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец № 24

Следующая зависимость, отражённая на графике А (см. рис. 3.6), демонстрирует, что в 1981, 2001, 2005, 2008 г. повышение количества выпадающих осадков обусловило уменьшение величины радиального прироста этих же лет, а их уменьшение в 1957, 1972, 1987 (с лагом 1 год), 1996, 2003, 2007 вызвало рост ширины годичных колец сосны. Корреляция между анализируемыми показателями равна $-0,47$.

Температура воздуха коррелирует с величиной ежегодного радиального прироста более значимо, коэффициент составляет $-0,66$. Прирост уменьшается в годы, характеризующиеся повышением среднегодовых значений температуры воздуха (см. рис. 3.6 (Б)), что отражает построенный график. в 1962, 1966, 1980, 1988, 2002; обратный процесс происходил в 1980, 2004 годы.

Радиальный рост в 1984 году снизился из-за предшествующего увеличения температуры 1983 года и, наоборот, её снижение в 1955 году дало толчок более интенсивному радиальному приросту в следующем году, следовательно, прослеживается лаг времени 1 год.

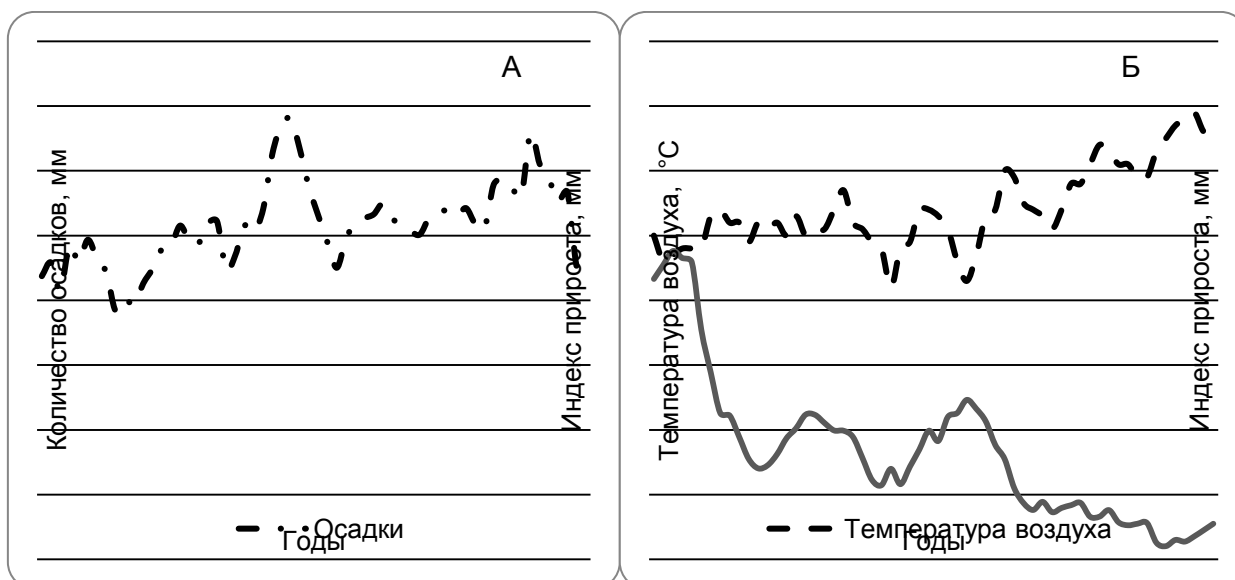


Рис. 3.6. Зависимость между радиальным приростом древесины сосны обыкновенной, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец № 26

Визуально ход древесной хронологии, изображённой на рис. 3.6, является зеркальным отражением линии осадков и температур на графике.

Для ряда данных по радиальному приросту 27-го образца сосны относительно осадков (см. рис. 3.7 (А)) характерно угнетение величины прироста древесины в годы их наибольшего выпадения (например, в 1977, 1992, 2001, 2005 годах) или его увеличение при снижении количества осадков в 1957, 1978; 1964, 1976 (с лагом 1 год).

Влияние температуры воздуха на величину прироста (см. рис. 3.7 (Б)) по-прежнему выражается обратной зависимостью. Наиболее чётко повышение температурных показателей и сопутствующее этому явлению уменьшение ширины годичных колец по годам прослеживается в следующие периоды: 1955-1962, 1965-1971, 1972-1988 гг.

Коэффициент корреляции принимает значения, равные $-0,55$ (для прироста и осадков) и $-0,68$ (в случае взаимодействия радиального прироста и температур).

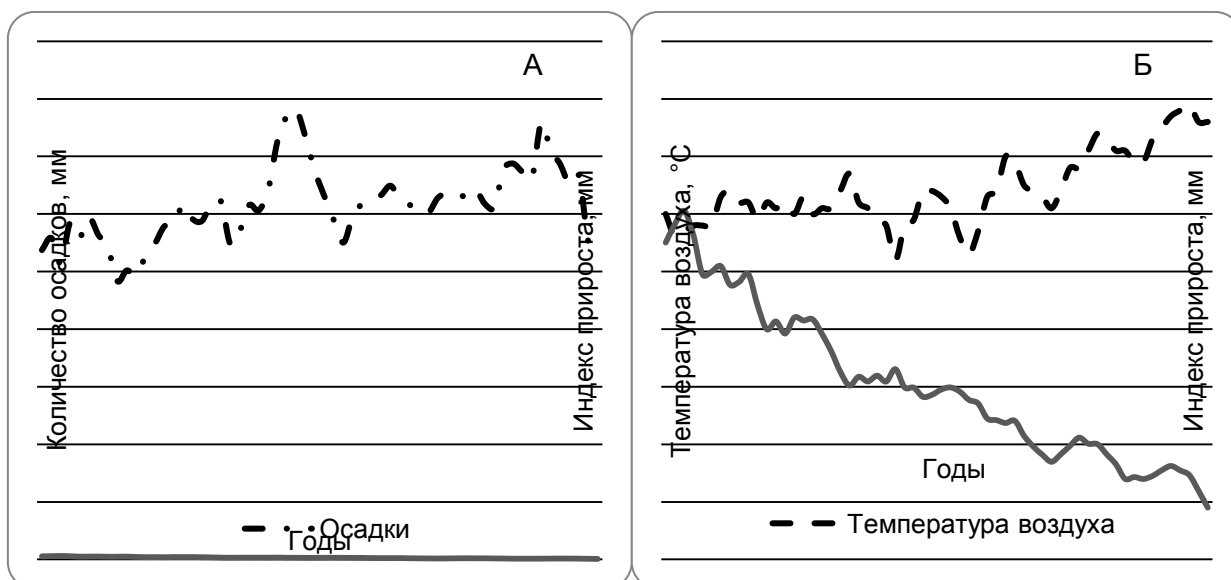


Рис. 3.7. Зависимость между радиальным приростом древесины сосны обыкновенной, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец № 27

После выявления показательных хронологий, достаточно интенсивно откликающихся на воздействие динамики основных климатических переменных, о чём говорят относительно высокие коэффициенты корреляции, нами была построена обобщённая хронология для всей пробной площади и также проанализированы полученные зависимости.

Комплексный анализ индексированного ряда прироста (см. рис. 3.8) подтверждает установленные по отдельным хронологиям взаимосвязи. В отношении осадков корреляция составила $-0,44$, что незначительно ниже коэффициентов некоторых показательных хронологий, рассмотренных выше. Установленная закономерность находит своё подтверждение и в обобщённой хронологии, например: 2005, 2008 – годы повышения количества атмосферных осадков и снижения величины ежегодного радиального прироста и годы его увеличения – 1957, 1978.

Корреляционная взаимосвязь с температурными показателями равна $-0,65$. Высокие температуры также вызывают уменьшение прироста (например, в 1975 году) и, наоборот, в 1956, 1980, 2002 г. (см. рис. 3.8 (Б)) его увеличение было достигнуто за счёт снижения температур воздуха.

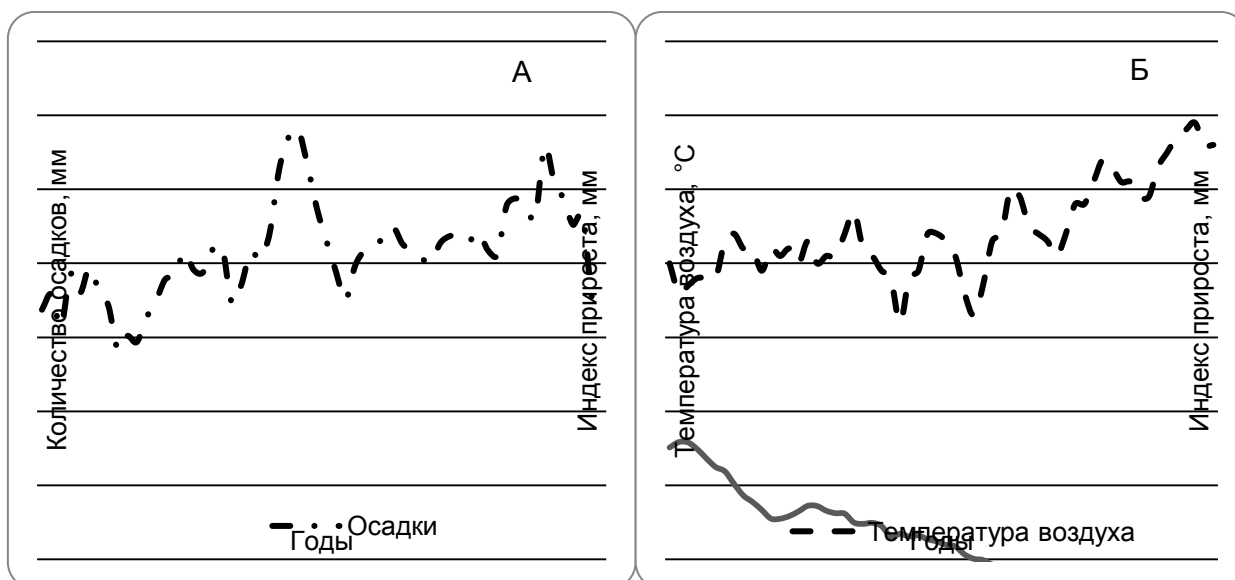


Рис. 3.8. Зависимость между радиальным приростом древесины сосны обыкновенной, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), обобщённая хронология

Одновременное уменьшение количества выпадающих осадков и снижение температуры воздуха вдвойне неблагоприятно воздействуют на ширину годичных колец сосен, что наглядно демонстрирует график в период с 1992 по 2002 год.

Аналогичным образом, графически и посредством анализа, нами была сопоставлена величина ежегодного радиального прироста дуба черешчатого с годовой суммой осадков и среднемесячными температурами воздуха за тот же временной интервал, что и у сосен. Ниже представлены некоторые из наиболее показательных хронологий.

При анализе графика, построенного для образца № 4 (см. рис. 3.9 (А)), было установлено, что прирост закономерно увеличивался в годы с наименьшей величиной выпадения осадков, а именно в 1959, 1962, 1965, 2000, 2004 (с лагом 1 год), 2007, 2010 г. На уменьшение ширины годичных колец воздействовало увеличивающееся количество осадков, которое было характерно для 1964, 1975, 2005, 2008 г. Хотя корреляционная взаимосвязь ежегодного радиального прироста дуба с годовой суммой осадков менее выражена, чем со

среднемесячной температурой воздуха (коэффициент корреляции равен соответственно $-0,3$ и $-0,74$), на графике А чётко прослеживаются выявленные ранее закономерности.

Ширина годичного кольца уменьшалась и при росте температуры, что прослеживается на графике (см. рис. 3.9 (Б)) в следующие годы: 1999, 2002, 2005, 2012. Обратную тенденцию можно проследить, например, в 1956, 1969, 1980 и 1997 – с лагом 1 год, 2007 г.

1971-1987 гг. (см. рис. 3.9) – период, в котором пиковое увеличение количества осадков происходило одновременно с ростом радиального прироста дуба на фоне общего снижения среднесуточных температур (на 1980 год приходится минимальное значение температуры воздуха, равное $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). То есть увеличению ширины годичного кольца способствовал рост осадков вместе с понижением температуры воздуха. С 1981 года наблюдается постепенное снижение величины прироста, минимум которой приходится на 2005 год. Его причиной, вероятно, является возрастание количества выпадающих осадков и тенденция к увеличению среднемесячных температур воздуха.

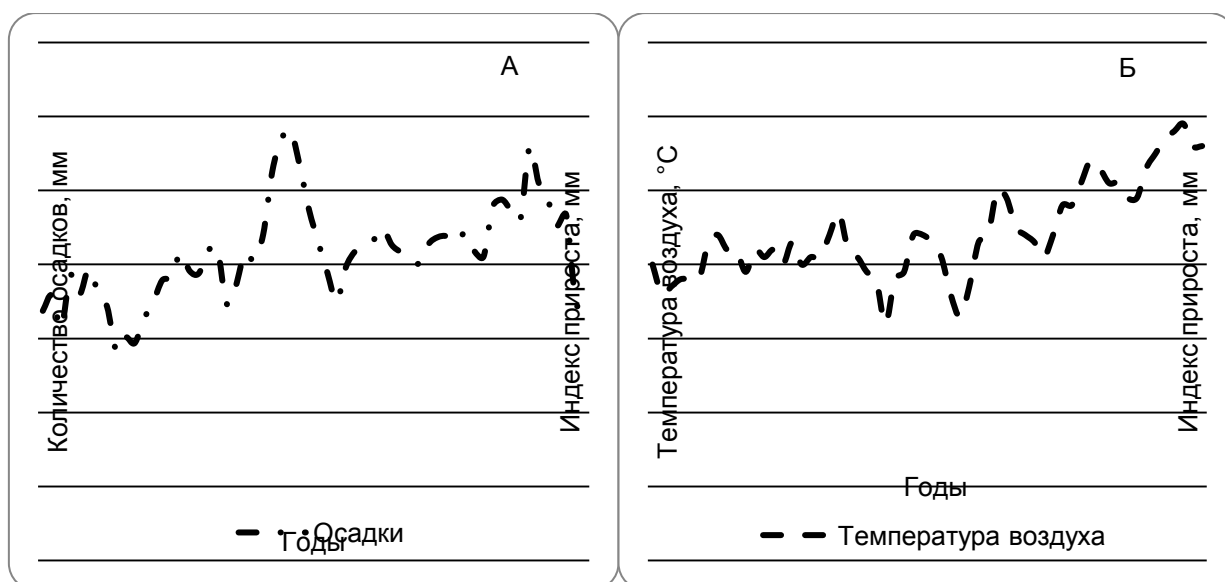


Рис. 3.9. Зависимость между радиальным приростом древесины дуба черешчатого, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец №4

Закономерное увеличение радиального роста образца дуба № 8 (см. рис. 3.10 (А)) хорошо прослеживалась в годы с уменьшением выпадения осадков: 1959, 1965, 1975, 1977, 1996. Снижение интенсивности прироста было вызвано увеличением их количества в 1974, 1977 г., а также в 1983 и 2006 г., когда этим годам предшествовали интенсивные осадки предшествующего года, следовательно, лаг времени составил 1 год.

Уменьшение ширины годичного слоя прироста при возрастании температурных показателей было зафиксировано в 1966, 1970, 1993 (с лагом 1 год), а её увеличение в 1965, 1971, 1980 (см. рис. 3.10 (Б)). Значения коэффициентов корреляции основных климатических переменных с приростом древесины различаются на одну сотую и составляют с температурой $-0,57$ и с осадками $-0,58$.

С 1989 на рис. 3.10 можно проследить как синергетическое влияние температуры воздуха и атмосферных осадков особенно угнетающе воздействует на величину прироста, которая заметно уменьшается при их совместном увеличении.

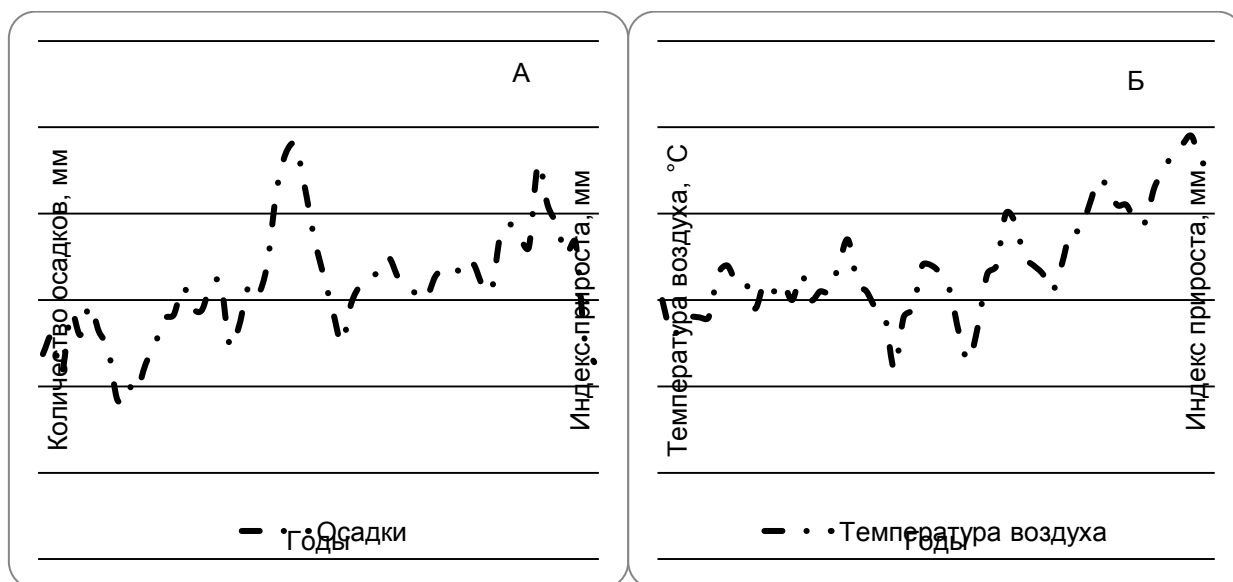


Рис. 3.10. Зависимость между радиальным приростом древесины дуба черешчатого, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец № 8

Для динамики прироста образца № 11 (см. рис. 3.11. (А)) характерно увеличение ширины годовых колец под влиянием уменьшающегося количества выпадающих осадков в 1957, 1959, 1963, 1969, 1979 г. Чётко прослеживается и обратный процесс: уменьшение прироста в годы с повышением атмосферных осадков (1958, 1964, 1974 г.).

Зависимость величины радиального прироста от величины температуры воздуха обратная, также как и в случае с осадками (см. рис. 3.11 (Б)). В 1958, 1962, 1970 и в 2003 году (с лагом 1 год) увеличение температуры привело к снижению величины прироста, а рост ширины годовичного кольца в 1957 (с лагом 1 год), 1963, 1969, 1988, 1998 (с лагом 1 год) г. был вызван уменьшением её показателей.

Значения температуры воздуха и атмосферных осадков со средней силой коррелируют с индексами прироста исследуемого временного интервала, коэффициенты корреляции достигают $-0,57$ и $-0,6$ соответственно.

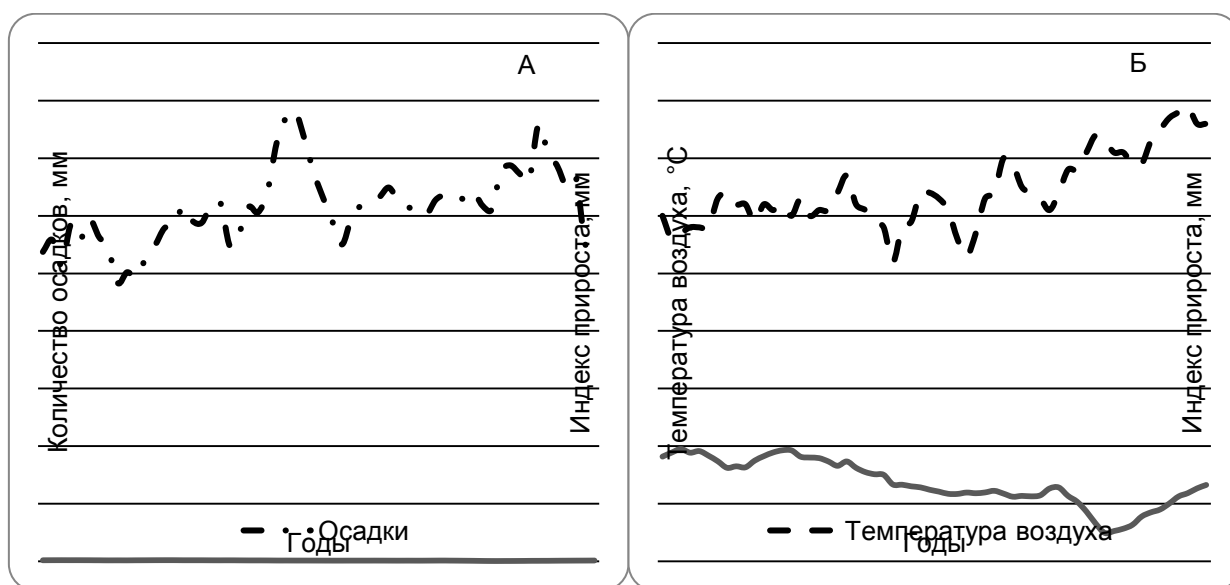


Рис. 3.11. Зависимость между радиальным приростом древесины дуба черешчатого, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), образец № 11

Анализ зависимостей между ежегодным радиальным приростом дуба черешчатого, среднегодовой температурой и годовой суммой осадков был за-

вершён изучением закономерностей их взаимодействия на примере обобщённой хронологии (см. рис. 3.12). Её построение подтверждает установленные выше связи прироста, осадков и температур. Корреляционные связи прироста с показателями температур и осадков также имеют отрицательный знак, как и по индивидуальным хронологиям. Однако корреляция с атмосферными осадками выражена крайне слабо, коэффициент корреляции равен лишь $-0,2$ (в случае с температурой – $-0,7$). При этом, на графике (см. рис. 3.12 (А)) хорошо прослеживается, как в годы увеличения осадков заметно уменьшается ежегодный прирост древесины (например, в 1956, 1960, 1974, 1983 (с лагом 1 год), 2005, 2012 г.), а также его увеличение в годы с уменьшением выпадения осадков, а именно в 1965, 2000, 2007.

Вариация ширины годичного кольца под влиянием температурных показателей протекает с теми же тенденциями. Их рост, судя по графику (см. рис. 3.12 (Б)), вызвал уменьшение ширины годичного кольца в 1966, 1983, 1993 и 2003 – с лагом 1 год, 2005, 2012, а в 1965, 1969, 1980 (с лагом 1 год), 1988, 1997, 2007 г. слой прироста активно увеличивался, благодаря общему снижению среднегодовой температуры воздуха.

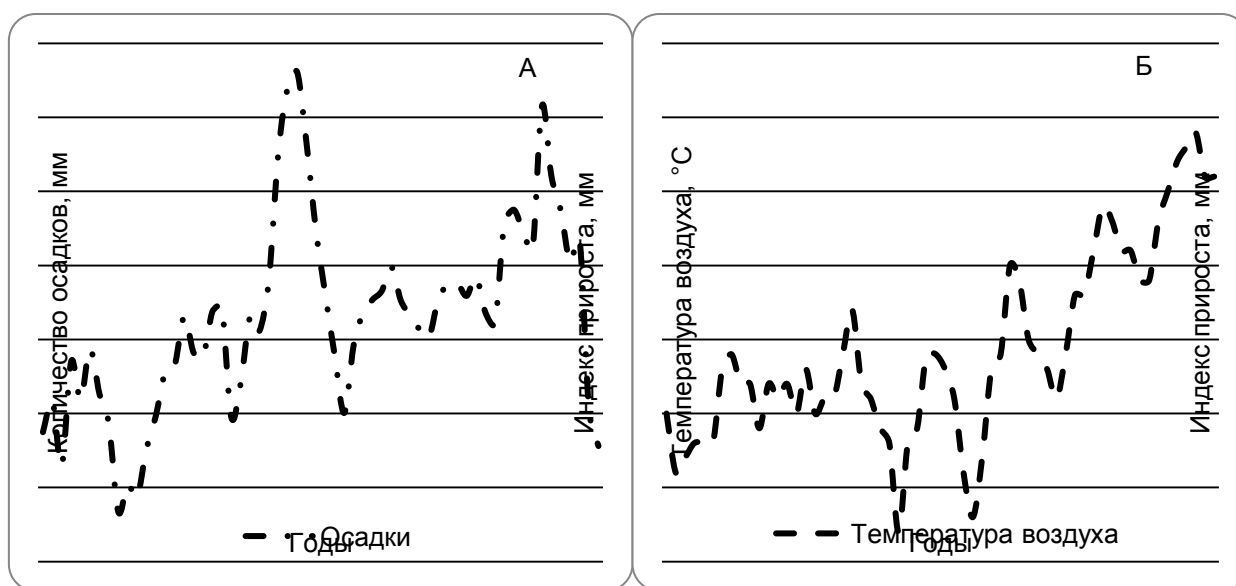


Рис. 3.12. Зависимость между радиальным приростом древесины дуба черешчатого, годовой суммой атмосферных осадков (А) и среднегодовой температурой воздуха (Б), обобщённая хронология

Таким образом, графики с обобщённой хронологией, приведённые на рис. 3.12, отражают основные закономерности влияния среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков на динамику индексированного радиального прироста дуба.

3.2.1. Отклик ранней и поздней древесины на изменение рассматриваемых параметров климата

Для более детального анализа воздействия температур воздуха и атмосферных осадков на ход линии прироста мы отдельно рассмотрели влияние этих параметров климата на ежегодный рост ранней и поздней древесины.

Данные по величине прироста ранней (весенней) древесины были сопоставлены с температурными показателями и осадками за март-июнь, для поздней (летней) древесины – за июль-сентябрь. Этот интервал времени мы использовали для анализа зависимостей и по дубу, и по сосне, так как наличие хвои у сосны часто даёт ложные кольца, когда при наступлении оттепелей дерево просыпается раньше, чем дуб.

Среди индивидуальных хронологий (по ранней древесине) наиболее показательны на изменение климатических переменных реагировали образцы древесины дуба № 4, 8, 11, сосны – № 14, 24, 27, которые и проанализированы в данной работе ниже.

Зависимость, представленная на рис. 3.13, позволяет выявить годы, в которые прирост ранней древесины дуба черешчатого откликается на динамику изучаемых компонентов климата. В отношении осадков проявляется обратная реакция, судя по отрицательному коэффициенту корреляции, равному $-0,61$. То есть снижение количества их выпадения приводит к увеличению слоя прироста ранней древесины, что отражает график А (см. рис. 3.13 (А)) в 1966, 1968, 1971, 1981, 1987 г.; в 1999, 2003 и 2007 с лагом 1 год. Противоположная тенденция характерна для 1958, 1961, 1967, 1970, 1982, 1986 г. и 1994, 1998, 2004, 2006 г. с лагом 1 год, когда на снижение величины прироста воздействовало увеличение выпадающих осадков.

Уменьшение температуры воздуха оказывает влияние на величину радиального прироста ранней древесины, вызывая его увеличение (см. рис. 3.13 (Б)) в 1956, 1959, 2000 г. и в 1998 2007 с лагом 1 год. Закономерное снижение её прироста происходит при увеличении температурных показателей (1970, 1975, 1986, 1995, 1999, 2002 (с лагом 1 год)). Сильную взаимосвязь сравниваемых величин подтверждает высокий коэффициент корреляции, составляющий $-0,71$.

В 1975 году (см. рис. 3.13) чётко прослеживается глубокое угнетение прироста, которое обусловлено снижением количества выпадающих атмосферных осадков и повышением температур воздуха.

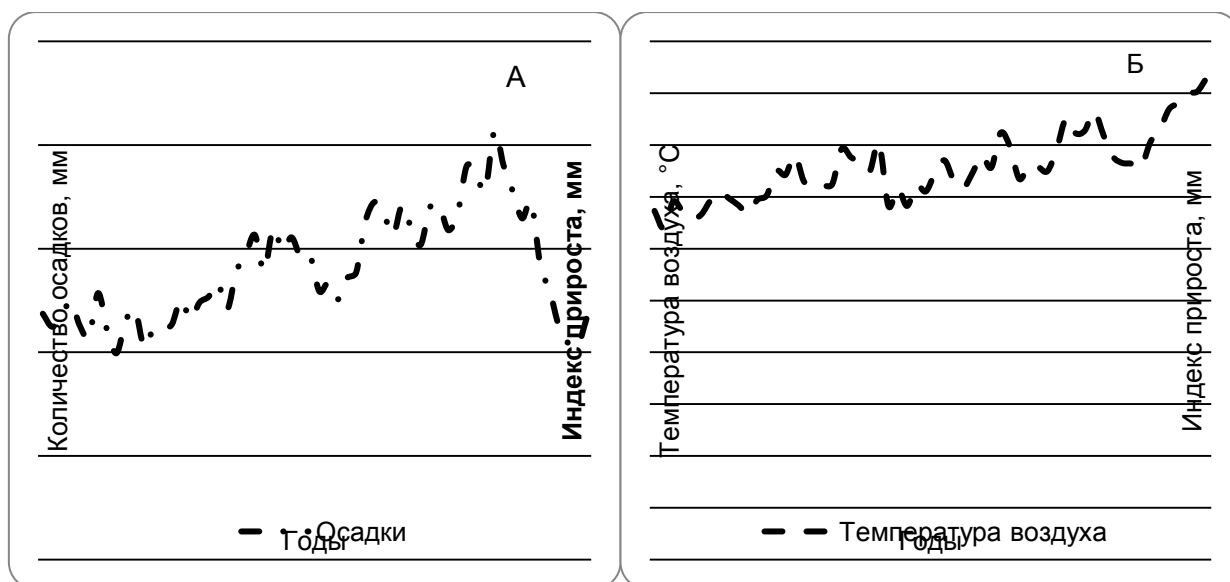


Рис. 3.13. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 4

Следующая показательная хронология (см. рис. 3.14) позволяет проследить годы с наиболее чёткой реакцией прироста ранней древесины образца № 8 на воздействие основных климатических переменных.

Как видно на графиках (см. рис. 3.14), ежегодный радиальный прирост весенней древесины увеличивается во время уменьшения количества выпадающих осадков (см. рис. 3.14 (А)) – в 1968, 1971, 1975, 2003 г., а также при

снижении показателей температуры (рис. 3.14 (Б)), что отражено на указанном рисунке в 1965, 1978, 1980, 1982, 1984, 1988, 1997, 2000 г.

К уменьшению роста ранней древесины дуба приводит как повышение величины осадков (1970, 1974, 1991, 2001, 2004 (с лагом 1 год)), так и увеличение температуры воздуха (1957, 1970, 1979, 1981, 1983, 1990 (с лагом 1 год), 1999 г.).

Высокие коэффициенты корреляции носят отрицательные значения и подтверждают наличие обратной зависимости между анализируемыми показателями. Между приростом и осадками он равен $-0,75$, а между приростом и температурой – $-0,52$, которые являются значимыми.

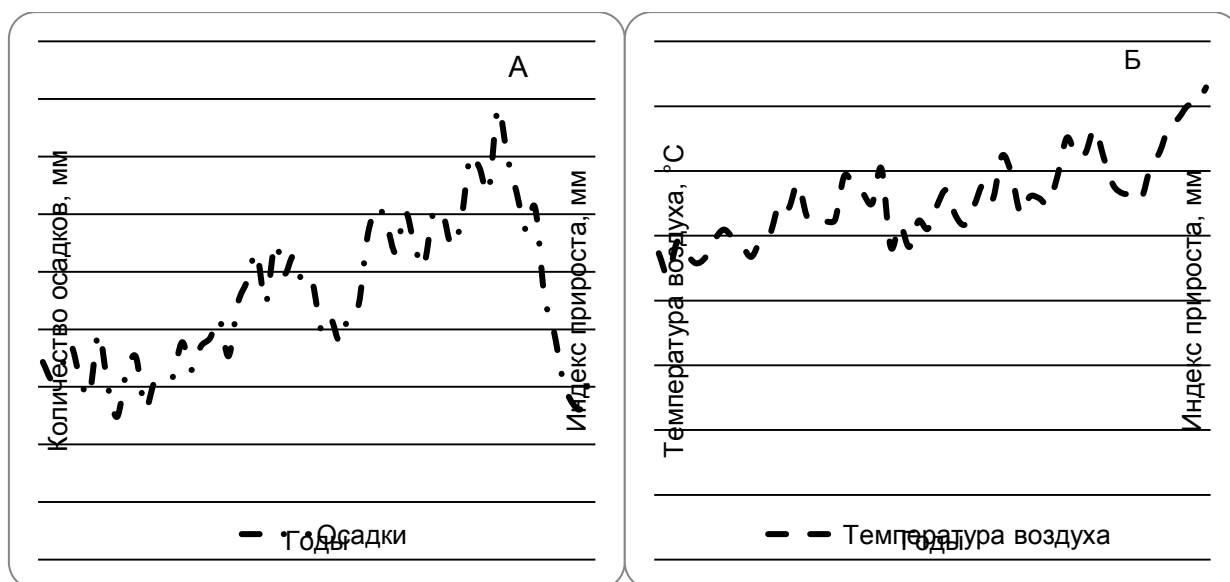


Рис. 3.14. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 8

На примере образца № 11 (см. рис. 3.15 (А)) снижение прироста ранней древесины дуба происходит под действием увеличивающегося количества выпадающих осадков в 1958, 1970, 1974, 1980 г., а их уменьшение благоприятствует большему приросту в 1956 (с лагом 1 год), 1969, 1971, 1975, 2003 г.

Кроме того, ежегодный радиальный прирост увеличивается одновременно с уменьшением температуры воздуха, что демонстрирует график (см.

рис. 3.15 (Б)) в 1959, 1969, 1982, 1984, 1988, 1991, 2007 (с лагом 1 год) г. Заметное снижение прироста отмечается при возрастающих температурных показателях в следующие годы: 1970, 1979 (с лагом 1 год), 1983, 1990, 1992, 2002 (с лагом 1 год).

Величины коррелируют между собой с большой силой, особенно в отношении осадков, коэффициент составляет $-0,78$ (между температурой воздуха и радиальным приростом он равен $-0,52$).

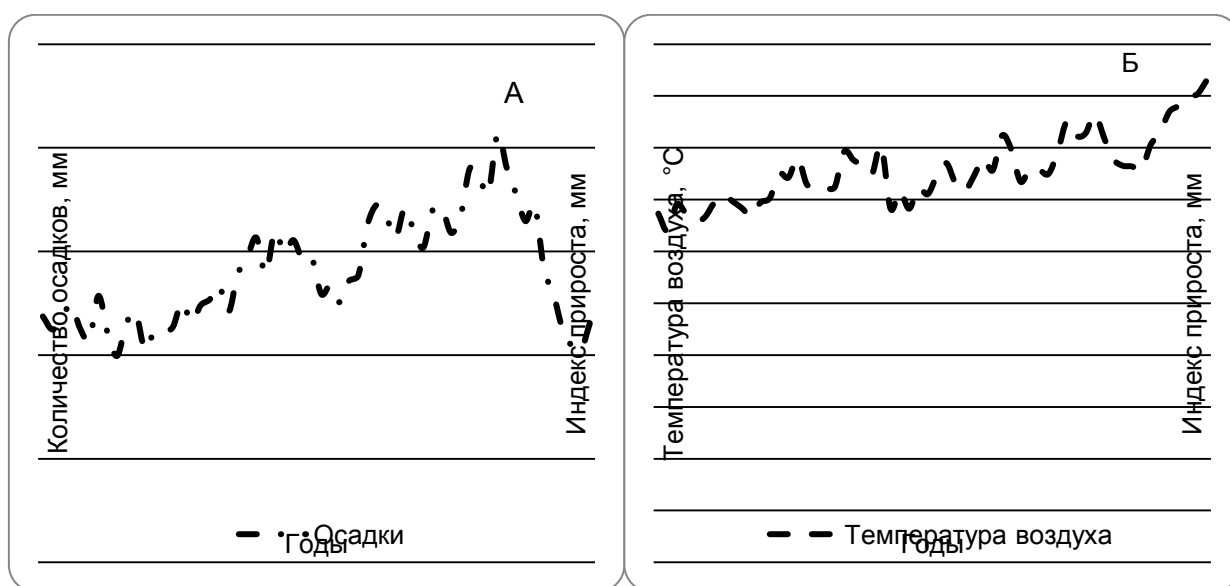


Рис. 3.15. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 11

По совокупности обработанных пятилетней скользящей средней индивидуальных хронологий, была вычислена средняя ширина слоёв прироста ранней древесины дуба черешчатого в период с 1955 по 2014 год, на основе которой нами была построена обобщённая хронология (см. рис. 3.16).

Графически установлено, что снижение выпадения осадков и температурных показателей способствуют увеличению ширины прироста весенней древесины. Под воздействием осадков (см. рис. 3.16 (А)) она возрастала в 1971, 1979, 1987 г. (с лагом 1 год), температуры (см. рис. 3.12 (Б)) повышали прирост в 1965, 1969, 1982, 1984, 2007 г.

К росту ширины слоя ранней древесины приводит уменьшающееся годовое количество атмосферных осадков (см. рис. 3.16 (А)) в 1970, 1974, 1980, 1991. Под воздействием среднемесячных температур воздуха (см. рис. 3.16 (Б)) аналогичный процесс происходит в 1957, 1970, 1983 г.; 1992 и 2002 г. – с лагом 1 год.

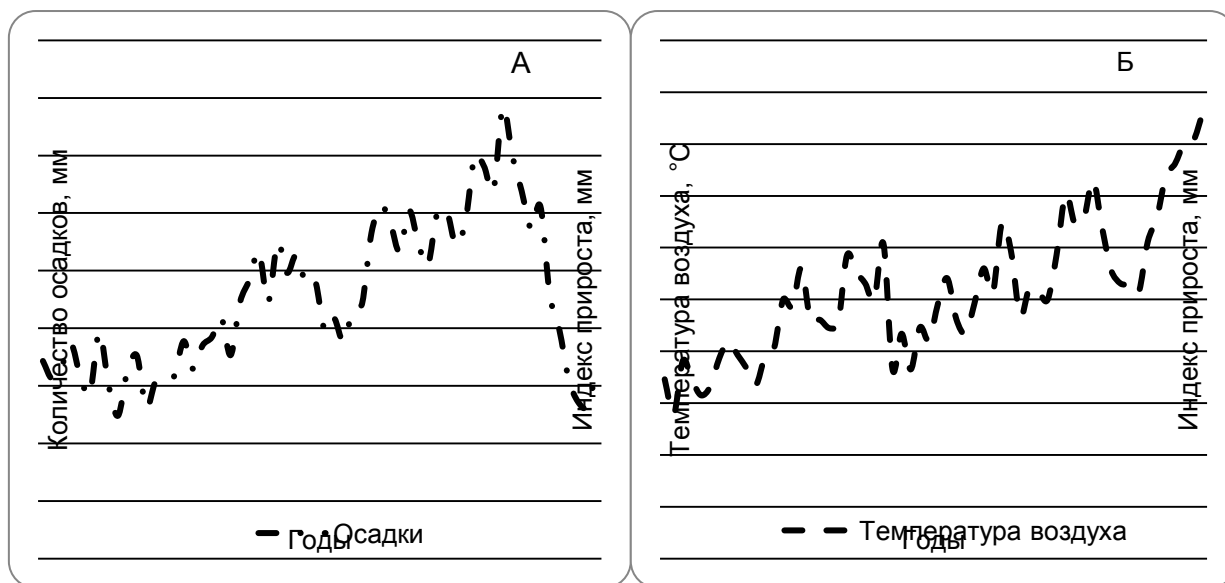


Рис. 3.16. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), обобщённая хронология

Таким образом, обобщённая хронология радиального роста ранней древесины дуба подтверждает выявленные ранее закономерности динамики прироста по индивидуальным хронологиям и с достаточной силой коррелирует с температурой воздуха (-0,63) и с атмосферными осадками (-0,48).

Далее мы проанализировали взаимодействие ежегодного прироста весенней древесины сосны обыкновенной с изучаемыми параметрами климата.

Рассмотрим показательную хронологию № 14 (см. рис. 3.17). Ширина ранней древесины сосны увеличивается одновременно с уменьшением количества осадков (см. рис. 3.17 (А)) в 1963, 1966, 2003 г., а сокращение их выпадения вызывает снижение интенсивности прироста, что демонстрирует график в 1965, 1988 (с лагом 1 год), 1998 г.

Ежегодный радиальный прирост ранней древесины возрастает при снижении температурных показателей в 1974, 1978, 1982, 1984, 1991, 1994 г., а уменьшается под действием их повышения в 1957, 1968, 1979, 1981, 2002 (см. рис. 3.17 (Б)).

Тесное взаимодействие между значениями температуры и радиального прироста весенней древесины отражает высокий коэффициент корреляции, равный $-0,76$ (с осадками корреляция меньше – $-0,48$).

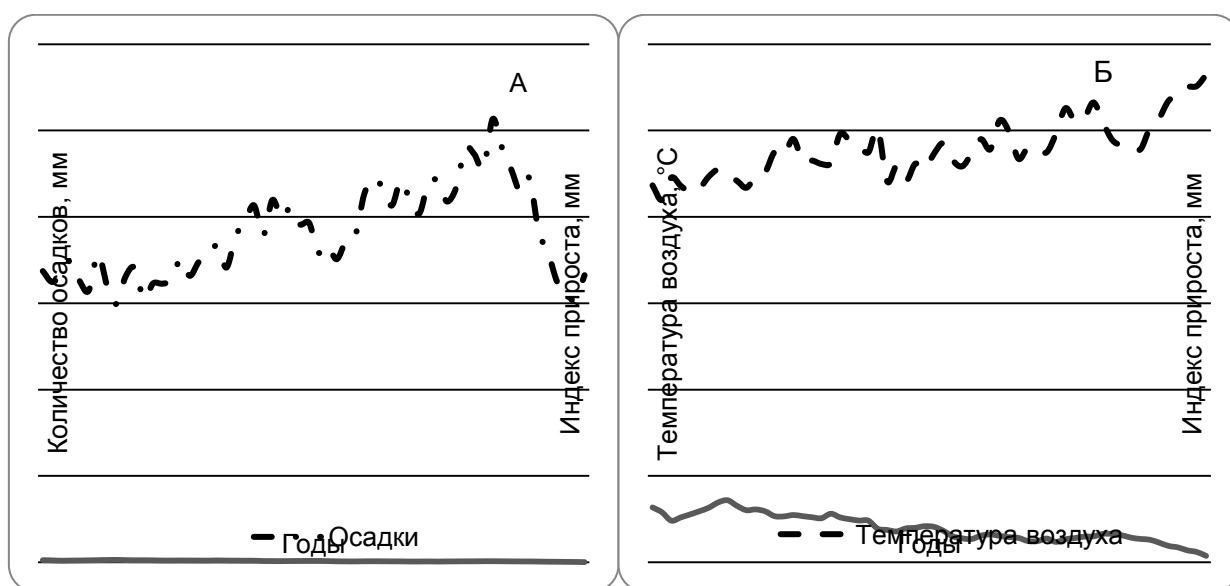


Рис. 3.17. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 14

Для следующего исследуемого образца характерны высокие коэффициенты корреляции между приростом ранней древесины, температурой и осадками, которые составляют $-0,79$ и $-0,65$ соответственно. Тесная взаимосвязь хорошо выражена и визуально, на графиках (см. рис. 3.18).

К увеличению ширины прироста весенней древесины сосны приводит уменьшение количества выпадающих осадков, что демонстрирует график А в 1956, 1964, 1981, 1987, 1993 г., на графике Б происходит тот же процесс, но под воздействием уменьшения температуры воздуха (1956, 1959, 1965, 1984, 2007 г. (с лагом 1 год)).

Снижению величины прироста способствует увеличение количества осадков (1967, 1970, 1982, 1986, 1991, 1998, 2001г. (с лагом 1 год)), и температуры воздуха (1957, 1970, 1979, 1986, 2002.).

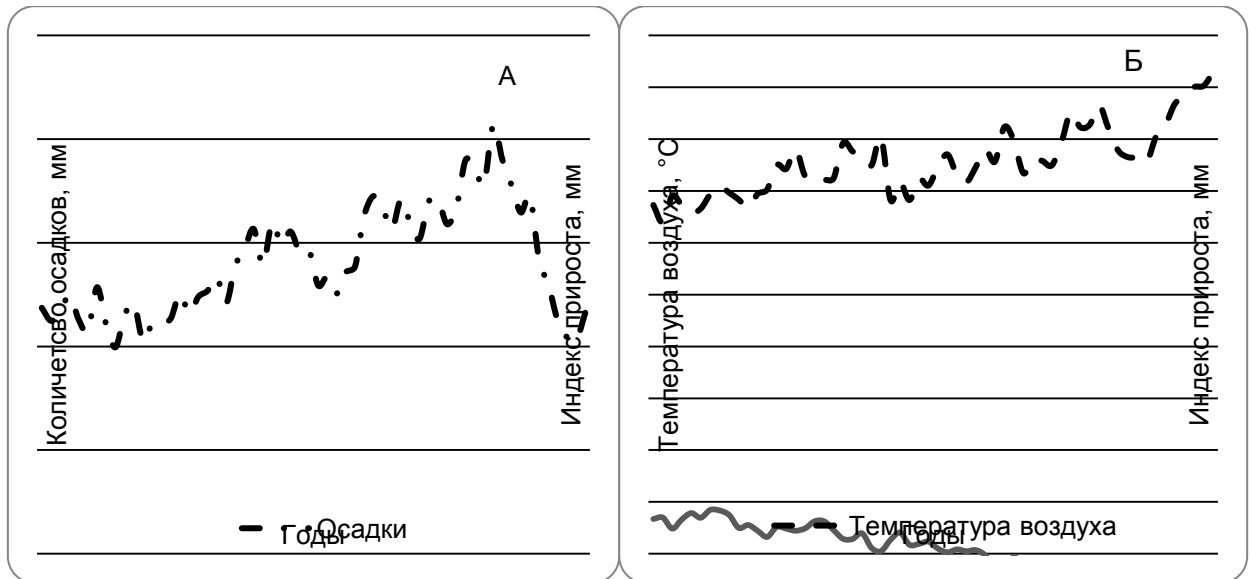


Рис. 3.18. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 24

Ещё одна показательная зависимость между ежегодным приростом ранней древесины сосны и осадками изображена на рис. 3.19 (А). Осадки и прирост оказывают друг на друга взаимное влияние. На графике выделяются следующие годы, в которые рост ранней древесины происходил под воздействием снижения величины выпадающих осадков: 1956, 1971, 1989, 1993, 1999 (с лагом 1 год), противоположный процесс характерен для 1984, 1988, 2001, 2008 г. Коэффициент корреляции при этом является отрицательной величиной и достигает значения $-0,61$.

С температурными показателями происходит более тесное взаимодействие, судя по корреляции ($-0,70$), превышающей величину коэффициента между приростом и осадками.

За счёт снижения среднемесячной температуры воздуха в 1956, 1969, 1971, 1978, 1980, 1957, 2000, 2007 г. величина радиального прироста ранней древесины увеличивалась. На её уменьшении сказалось воздействие высоких температур воздуха в 1962, 1968, 1975, 1979, 1983, 1990 г. (рис. 3.19 (Б)).

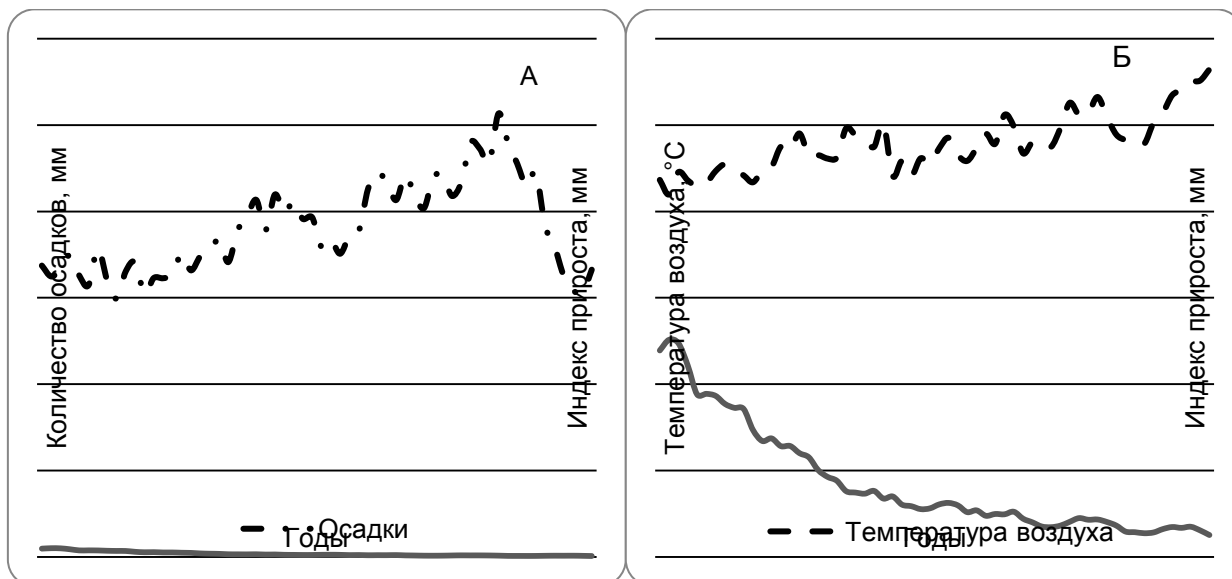


Рис. 3.19. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), образец № 27

Обобщённая хронология (см. рис. 3.20), построенная на основе взаимодействия осреднённой величины прироста, среднемесячной температуры воздуха и годового количества атмосферных осадков, демонстрирует высокую степень зависимости этих величин друг от друга. Коэффициенты корреляции составляют $-0,74$ (между приростом ранней древесины и температурой) и $-0,61$ (между приростом ранней древесины и осадками).

Тесная зависимость хорошо выражена и графически на рис. 3.20, что позволяет выделить годы уменьшения ширины прироста ранней древесины под воздействием возросшего количества осадков (например, 1988, 1998, 2008 г.) или при влиянии высоких температур воздуха (1957, 1968, 1975, 1979, 1983, 1992, 2002 г.).

Значительное увеличение прироста ранней древесины возможно при снижении количества выпадающих осадков (рис. 3.20 (А)) и наблюдается в 1956, 1971, 2007 г.; под воздействием низких температур воздуха величина прироста возрастала в 1956, 1978, 1980, 1984, 2007 г. (рис. 3.20 (Б)).

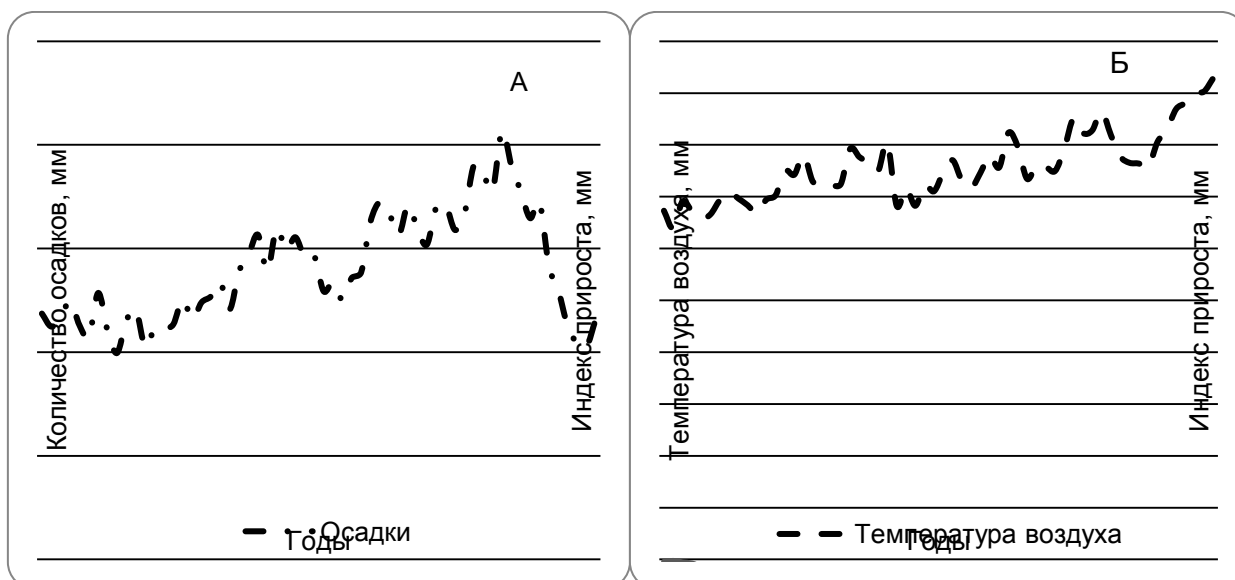


Рис. 3.20. Зависимость между радиальным приростом ранней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за март-июнь (Б), обобщённая хронология

Таким образом, взаимодействие прироста ранней древесины сосны обыкновенной и основных климатических переменных отражает ранее установленные закономерности, то есть находится в обратной зависимости от среднемесячных температур воздуха и годового количества атмосферных осадков. Весенняя древесина сосны реагирует на колебания осадков и температур аналогично ранней древесине дуба черешчатого, с высокими коэффициентами корреляции, имеющими отрицательное значение.

В совокупности индивидуальных хронологий (по поздней древесине) наибольший отклик на динамику климатических переменных выявлен у образцов дуба № 3, 12, 12А и сосны № 20, 21, 27.

Рассмотрим характер взаимодействия прироста поздней древесины с атмосферными осадками, а также с температурами воздуха для образца древесины дуба черешчатого № 3 (см. рис. 3.21).

Уменьшение ширины поздней древесины происходит синхронно со снижением количества осадков (см. рис. 3.21 (А)) в 1972, 1975, 1996, 2002, 2001 г. (с лагом 1 год), также и увеличение выпадения осадков вызывает рост слоя прироста поздней древесины, что прослеживается на графике в 1958, 1974, 1982, 1997, 2000 г.

Зависимость величины прироста поздней древесины от температурных показателей сохранилась прежней: за увеличение прироста ответственно уменьшение температуры воздуха, это отражает график Б (см. рис. 3.21) в 1997, 2000, 2007, 2013 г. Высокие температуры воздействуют на прирост через его уменьшение в 1963, 1972, 1975, 1979, 1983, 1992 и 1995 (с лагом 1 год), 2002, 2012.

Коэффициенты корреляции говорят о прямой зависимости между шириной прироста поздней древесины образца №3 и осадками (0,50) и обратной зависимости величины прироста поздней древесины от температуры воздуха (-0,45).

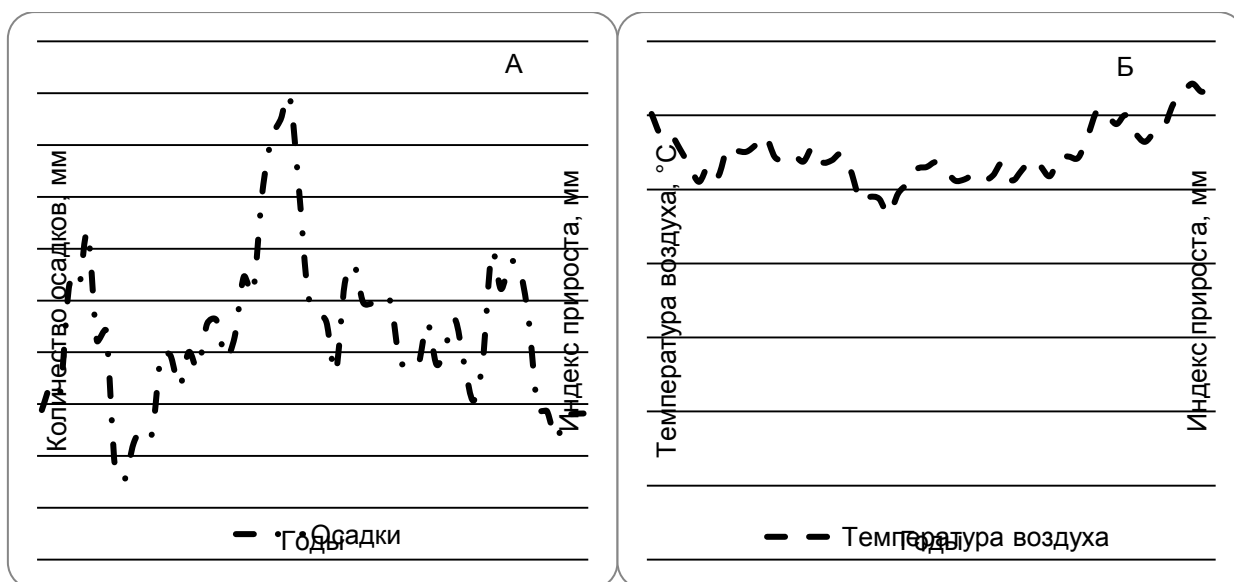


Рис. 3.21. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 3

Для хронологии образца № 12 (см. рис. 3.22) характерен наибольший отклик на влияние динамики температурных показателей, что отражает высокий коэффициент корреляции, равный -0,75.

Меньшая, но устойчивая зависимость установлена в отношении осадков (0,30), при этом в отдельные периоды времени корреляционная взаимосвязь выражена сильнее, например, в 1955-1978 коэффициент возрастает до 0,61.

Сокращение ширины кольца поздней древесины происходит под воздействием снижения выпадающих осадков (1972, 1978, 1986 (с лагом 1 год), 2005, 2009 г.) либо при увеличении температуры воздуха (1956, 1963, 1972, 1992, 1995, 2012 г.), что отражено на графиках А и Б (см. рис. 3.22). И, напротив, величина прироста поздней древесины возрастает, благодаря снижению температурных показателей (1965, 1977, 1987, 2007 (с лагом 1 год), 2009 г.) или одновременно с увеличением количества осадков (1968, 1971, 1977, 2004).

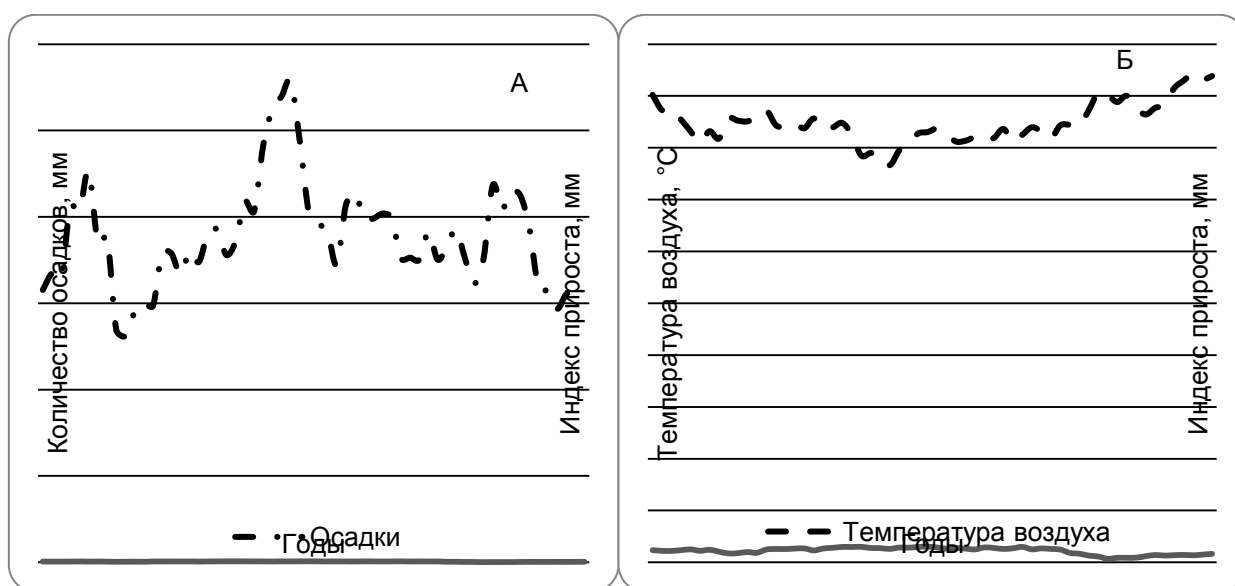


Рис. 3.22. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 12

На представленных графиках (см. рис. 3.23) увеличение ширины прироста поздней древесины происходит за счёт возрастания количества осадков (1965 (с лагом 1 год), 1992, 1995, 2005 г.) либо понижения температур воздуха (1962, 1965, 1990, 1997, 2004, 2013 г.).

Радиальный рост летней древесины дуба черешчатого угнетает уменьшение величины выпадающих осадков, что отражено на рис. 3.23 (А) в 1973 (с лагом 1 год), 2000, 2004 г., а также рост температурных показателей (1957, 1963, 1989, 1992, 2002 г.) – рис. 3.23 (Б).

Корреляционная взаимосвязь подтверждает уже установленный характер зависимости, коэффициент равен 0,58 в отношении годовой суммы атмосферных осадков и -0,63 в отношении среднегодовых температур воздуха.

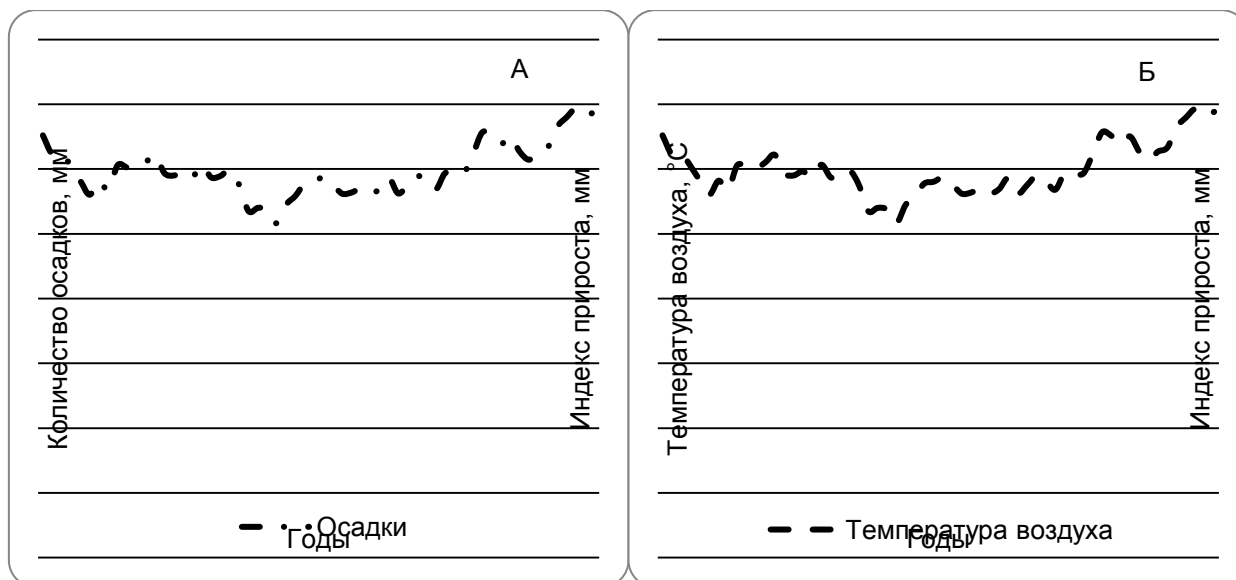


Рис. 3.23. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 13

Обобщённая по 18 образцам поздней древесины дуба хронология, которая представлена на рис. 3.24, сохраняет тенденцию отрицательной корреляции прироста с температурой воздуха (-0,46) и положительной с атмосферными осадками (0,30).

Пики увеличения количества осадков совпадают с максимумами прироста поздней древесины дуба в 1958, 1969, 1978 с лагом 1 год, 1992, 1997, 2002 г. (см. рис. 3.24 (А)). Уменьшение выпадения осадков снизило интенсивность прироста в 1964, 1987, 1996 г., а в 1998, 2002 и 2001 г. указанная тенденция проявлялась с лагом времени 1 год.

В 1965, 1969, 1984, 1997, 2007, 2013 г. (см. рис. 3.24 (Б)) за уменьшением температуры воздуха последовало увеличение ширины прироста поздней древесины. Обратный процесс, сопровождавшийся уменьшением величины ежегодного прироста, наблюдался, например, в 1989, 1994 (с лагом 1 год), 2012 г.

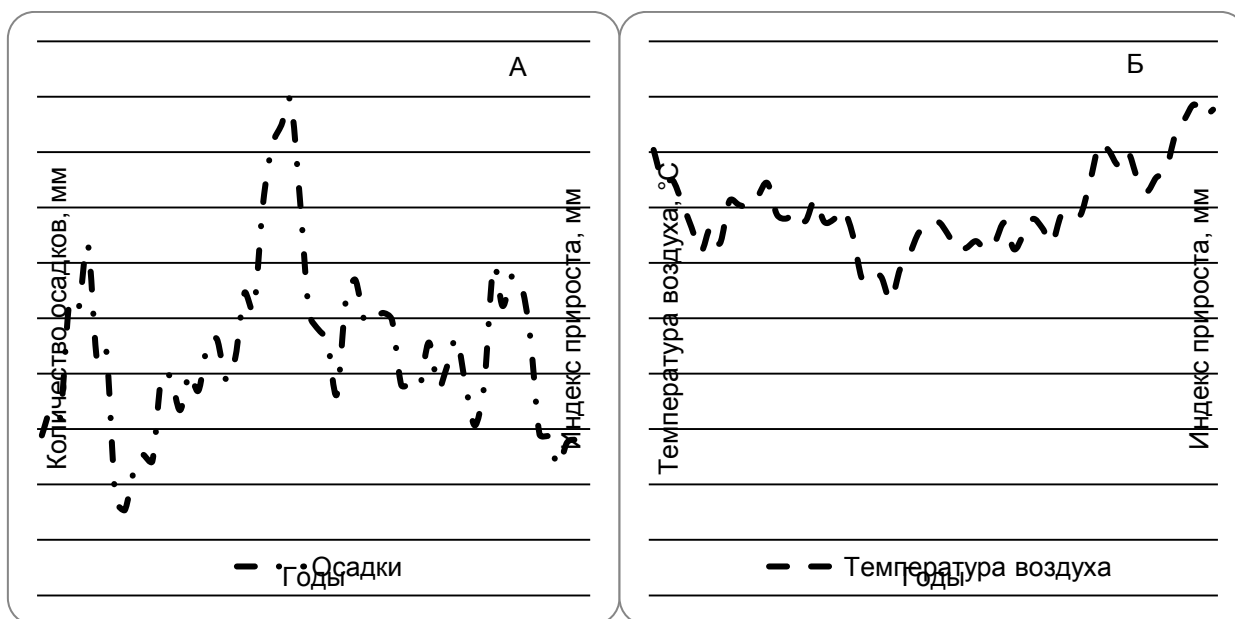


Рис. 3.24. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины дуба черешчатого, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), обобщённая хронология

Следует отметить, что на приведённых графиках (см. рис. 3.21-3.24), судя по величине коэффициентов корреляции, отклик поздней древесины сосны наиболее выражен на динамику температур воздуха, нежели на изменение количества выпадающих осадков.

Наконец, рассмотрим реакцию поздней древесины сосны обыкновенной на изменение во времени температурных показателей и количества выпадающих на поверхность осадков.

Прирост поздней древесины увеличивается в те годы, когда выпадает большое количество осадков (1960, 1974, 1977, 1989, 2004 г.) или снижается среднемесячная температура воздуха (1956, 1960, 1968, 1977, 1980, 2004, 2007 г.), что отображено на рис. 3.25.

Увеличение температурных показателей воздействовало на прирост в сторону его уменьшения в 1963, 1972, 1975 (с лагом 1 год), 1985, 2002, 2005, 2012 (см. рис. 3.25 (Б)). А, например, в 1972, 1975 (с лагом 1 год), 2002 г. он уменьшался под воздействием малого количества осадков. Сравнимые величины взаимодействуют между собой с достаточной силой, коэффициент

корреляции составляет 0,43 (прирост и осадки) и -0,52 (прирост и температура).

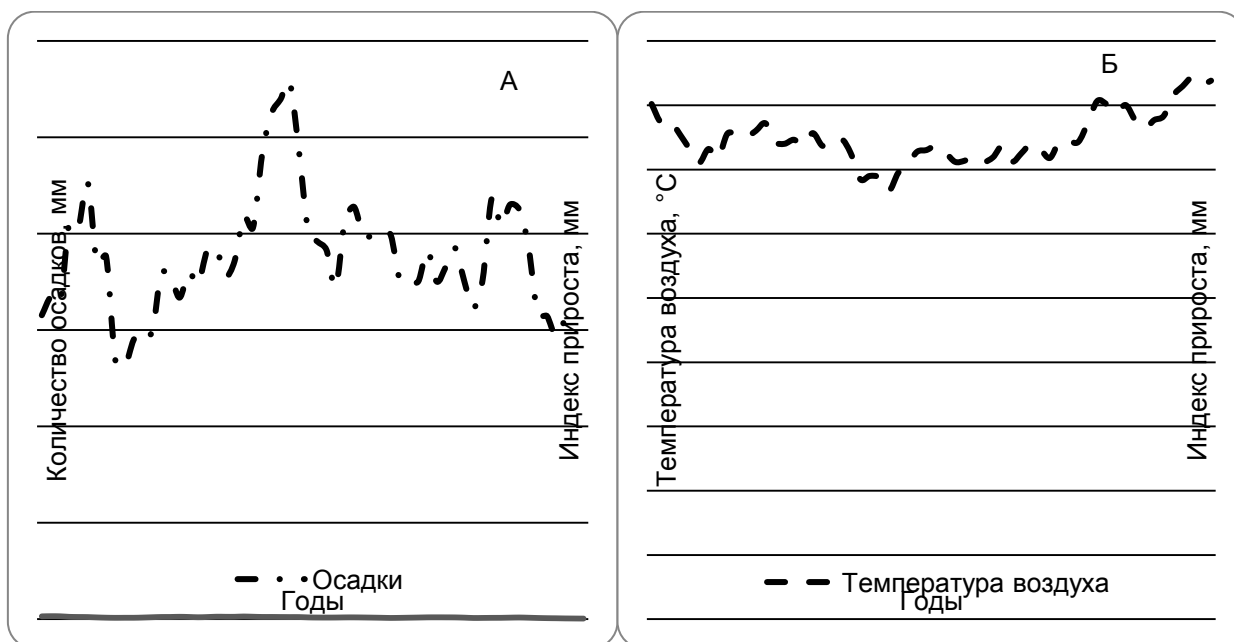


Рис. 3.25. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 20

Для образца № 21 (см. рис. 3.26) снижение величины прироста летней древесины фиксируется в следующие годы:

- под воздействием уменьшения выпадения осадков в 1964, 1987, 1996, 2002, 2005 г. (см. рис. 3.26 (А));

- при увеличении среднемесячной температуры воздуха в 1963, 1972, 1985, 1995 (с лагом 1 год), 2002, 2005, 2012 с лагом 1 год (см. рис. 3.26 (Б)).

Увеличение ширины годичного слоя прироста поздней древесины сосны происходит одновременно с ростом выпадения осадков, что показывает график А в 1958, 1962, 1977, 2000, 2004, 2006 г. Связь прироста с температурой обратная и на увеличении его интенсивности сказывается снижение температурных показателей в 1962, 1977, 2000, 2004, 2007 (см. рис. 3.26 (Б)).

Корреляционная зависимость рассматриваемых показателей выражается в следующих коэффициентах: 0,52 (прирост и осадки) и -0,69 (прирост и температура).

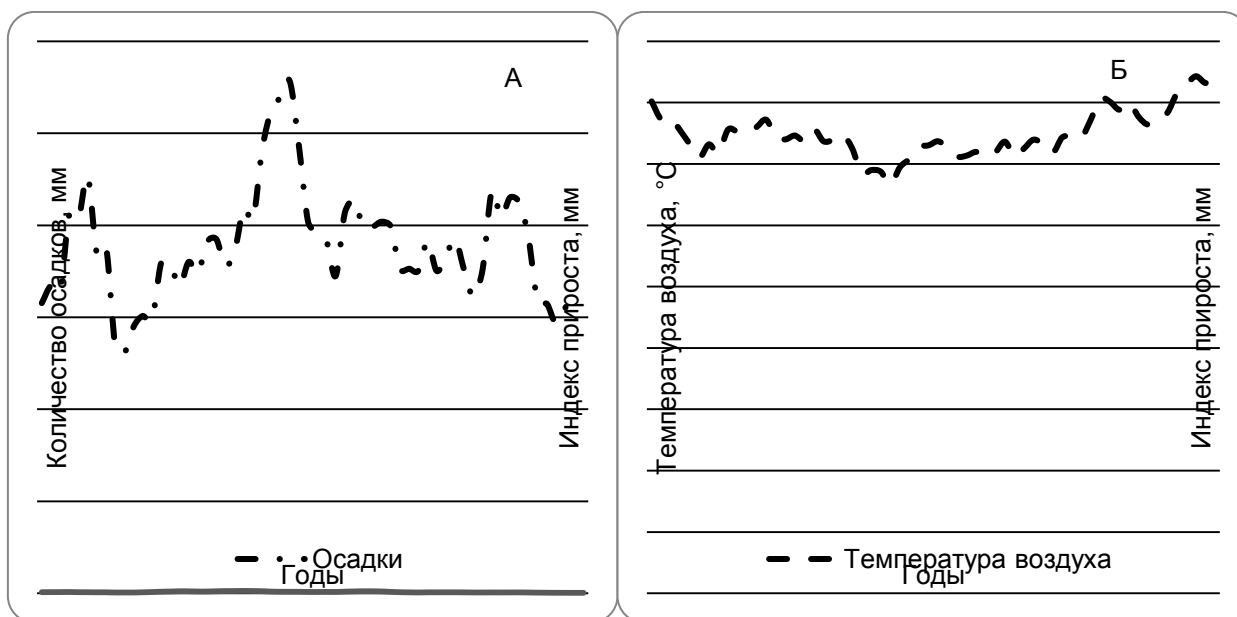


Рис. 3.26. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 21

Анализ графиков, представленных на рисунке 3.27, позволил установить, что увеличение ширины прироста поздней древесины сосны под воздействием возрастающего количества осадков для образца № 27 (см. рис. 3.27 (А)) происходило в 1958, 1971 (с лагом 1 год), 1982, 1993, 2000, 2006, 2010; а её уменьшение – при сокращении поступления осадков, в 1959, 1975, 2005. Коэффициент корреляции имеет положительное значение и достигает 0,40.

Рост температуры воздуха приводит к снижению значения, на которое увеличивается величина прироста поздней древесины в 1975, 1983, 2005 г. (см. рис. 3.27 (Б)). 1980, 1993, 2000 – годы, в которые формируется более широкое кольцо прироста поздней древесины под воздействием снижающихся температурных показателей. Коэффициент корреляции указывает на высокую взаимосвязь анализируемых показателей и составляет -0,77.

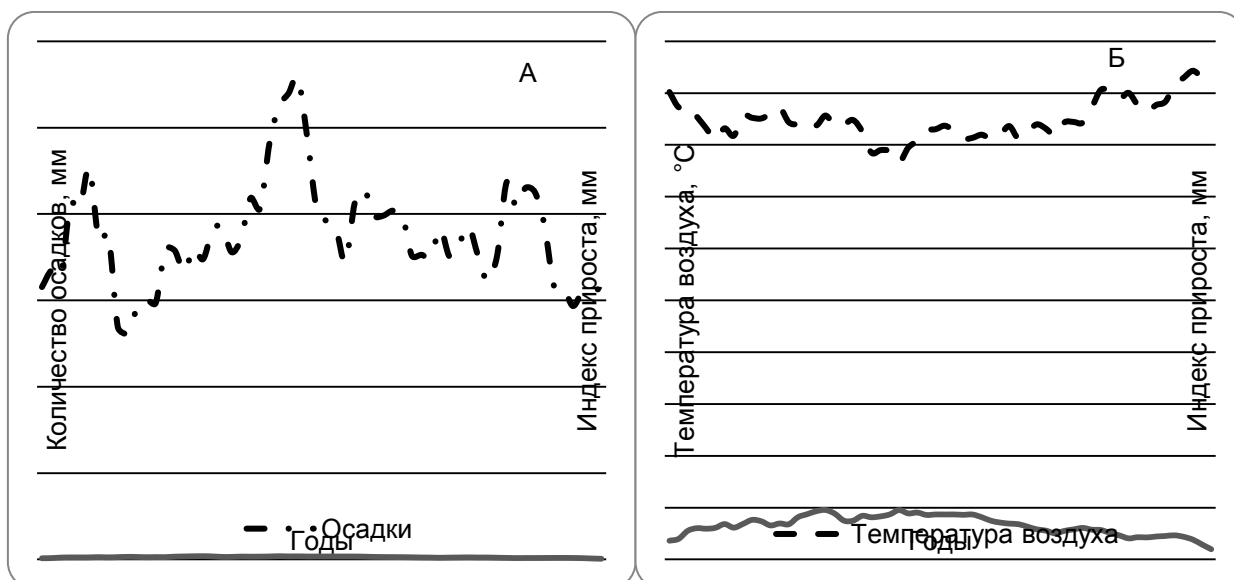


Рис. 3.27. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), образец № 27

На обобщённой хронологии климатический сигнал выражен гораздо слабее. Прирост поздней древесины сосны обыкновенной коррелирует с температурой воздуха, демонстрируя обратную зависимость величин, коэффициент достигает значения $-0,33$. Корреляция с осадками составляет лишь $0,2$, однако коэффициент сохраняет положительный знак, что указывает на прямое их воздействие на прирост.

На графике А (см. рис. 3.28) всё же можно проследить годы, подтверждающие указанную закономерность. Так, синхронное уменьшение выпадения осадков и снижения величины, на которую изменяется ширина годичного слоя прироста поздней древесины, происходило в 1975, 2002, 2005, 2011 г., а их увеличение – в 1971, 1982 (с лагом 1 год), 1992, 2000, 2006.

Возрастающая температура воздуха снижает прирост в 1963, 1972, 1975, 1979, 2005 г., что было установлено на графике Б (см. рис. 3.28). Вслед за снижением температурных показателей происходит активное увеличение ширины прироста в 1971, 1973, 1977, 2007.

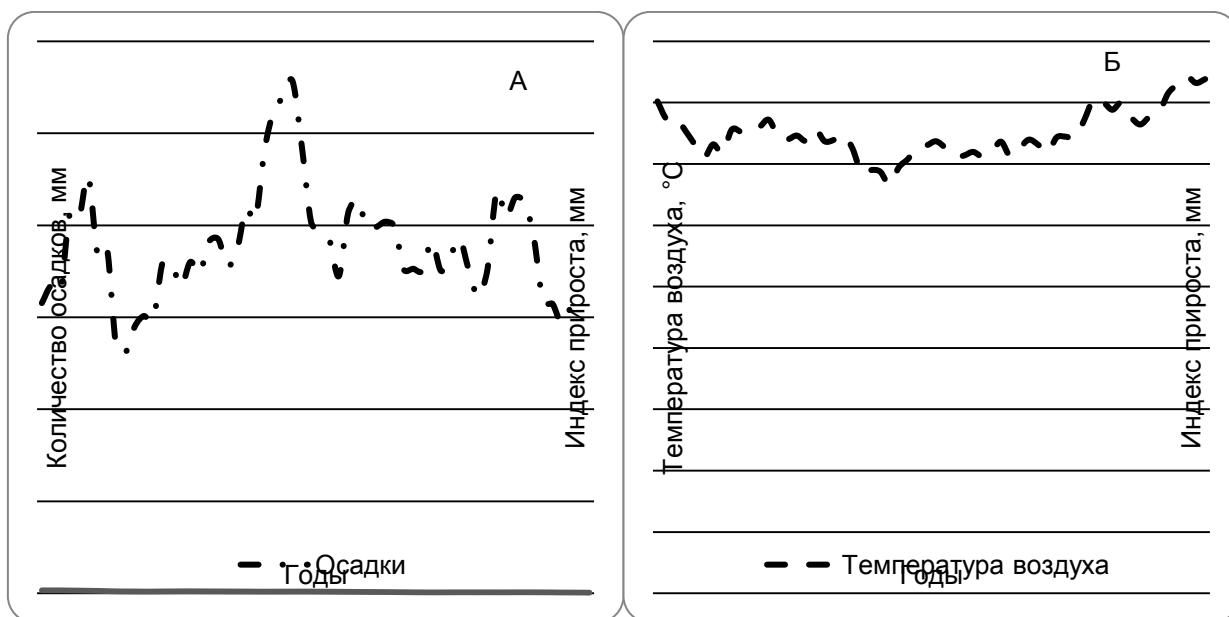


Рис. 3.28. Зависимость между радиальным приростом поздней древесины сосны обыкновенной, суммой атмосферных осадков (А) и средней температурой воздуха за июль-сентябрь (Б), обобщённая хронология

Таким образом, влияние основных климатических переменных на прирост поздней древесины сосны обыкновенной носит несколько иной характер, что проявилось в хронологиях и дуба, и сосны. Поздняя древесина, формирующаяся в период с июля по сентябрь, нуждается в осадках и активно растёт под их воздействием. Ширина её прироста напрямую зависит от количества выпадающих осадков и снижается при увеличении температурных показателей. Это отражено как на графиках, построенных по индивидуальным хронологиям, так и по обобщённым.

Схожая зависимость выявлена в отношении взаимодействия прироста годичного кольца в целом и его ранней древесины с основными климатическими переменными, поздняя же древесина реагирует на их динамику иначе. Это проявляется как в хронологиях дуба черешчатого, так и сосны обыкновенной.

3.3. Оценка реакции ежегодного радиального прироста древесины сосны обыкновенной на температуру и осадки 1955-2014 гг.

Комплексный анализ индексированных рядов прироста по отдельным показательным древесно-кольцевым хронологиям и хронологиям, обобщённым по пробным площадям, позволяет оценить в целом их отклик на изменение основных климатических переменных и обозначить его особенности.

В ходе проведённого исследования было установлено, что минимальные и максимальные значения индексов ежегодного прироста кольца сосны обыкновенной и дуба черешчатого совпадают с аномальными значениями среднегодовой температуры воздуха и годовой суммой осадков. Минимальные значения прироста отражают увеличение количества выпадающих осадков текущего года, или предшествующего ему, то есть это неблагоприятно воздействует на радиальный рост и развитие сосны и дуба. В отношении температуры также проявляется обратная взаимосвязь, и её увеличение способствует образованию более узкого годичного кольца, что объясняется возникновением неблагоприятных условий роста, которые, при повышении температуры воздуха, становятся засушливее. Подобный характер взаимосвязи прироста с осадками может быть связан с высокой увлажнённостью территории произрастания изучаемых видов деревьев, обильно выпадающие осадки вызывают переувлажнение, в результате которого деревья и замедляют свой радиальный рост.

Подавление годичного слоя прироста высокими температурами и большим количеством выпадающих осадков отражает устойчивая отрицательная корреляционная связь.

Сравнивая реакцию поздней и ранней древесины дуба и сосны на динамику основных климатических переменных, необходимо отметить, что ранняя древесина изучаемых деревьев, также как и весь годичный слой прироста, реагирует на увеличение выпадения осадков и на рост температурных показателей снижением величины прироста. Динамика ширины прироста находится в

обратной зависимости от изучаемых параметров климата и это подтверждают отрицательные коэффициенты корреляции.

В отношении же поздней древесины выражена закономерность иного характера: её прирост напрямую зависит от количества выпадающих осадков и увеличивается при их повышении, а рост температурных показателей снижает интенсивность увеличения ширины поздней древесины.

Кроме того, при анализе полученных зависимостей было выявлено синергетическое воздействие температур и осадков на радиальный прирост древесины, величина которого заметно снижается в периоды одновременного повышения количества выпадающих атмосферных осадков и температурных показателей.

При сопоставлении результатов измерений величины радиального прироста древесины с рядами данных по атмосферным осадкам и температуре воздуха метеостанции «Готня» было установлено, что климатический сигнал носит устойчивый характер. Это подтверждается высокой корреляционной зависимостью изучаемых параметров. Следует отметить, что с температурными показателями она выше, нежели с количеством выпадающих осадков.

Таким образом, радиальный прирост древесины выступает как итоговый показатель, результирующий ростовые функции сосны обыкновенной и дуба черешчатого на изменение внешних воздействий, рассмотренных в работе. Причём сами по себе температура воздуха и выпадающие осадки являются независимыми переменными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были изучены теоретические аспекты формирования годичного слоя прироста у хвойных и кольцесосудистых растений, его строение и особенности прироста в условиях типичной лесостепи Среднерусской возвышенности. Установлено, что на рост и развитие годичного кольца оказывает воздействие комплекс внешних и внутренних факторов. Однако в районах с преобладанием одного-двух лимитирующих факторов влияние других условий проявляется несущественно.

Изучение древостоя заповедного участка «Лес на Ворскле» проводилось на примере основных лесообразующих пород умеренной зоны. Согласно описанной выше методике, были отобраны и подготовлены к исследованию 18 кернов древесины дуба и 14 – сосны. По измеренной ширине ежегодного радиального прироста их древесины были построены графические зависимости древесно-кольцевых хронологий от основных климатических переменных. Наиболее показательными оказались образцы древесины № 24, 26, 27 – в отношении сосны, № 4, 8, 11 – в отношении дуба. Значимый региональный климатический сигнал отчётливо проявлялся в приросте ранней древесины образцов дуба № 4, 8, 11, сосны – № 14, 24, 27, поздней древесины № 3, 12, 12А (дуб) и № 20, 21, 27 (сосна).

Сила связи между радиальным ростом древесины изучаемых деревьев, среднегодовой температурой воздуха и годовым количеством осадков, судя по преобладающим значениям коэффициентов корреляции, высокая. Наиболее тесная зависимость выявлена между радиальным приростом и температурными показателями, в отдельных хронологиях коэффициент достигает значения $-0,85$. При этом ранняя древесина активно реагирует и на осадки, сила связи возрастает до $-0,78$, что может быть вызвано избытком влаги в период таяния снежного покрова. И лишь в случае с поздней древесиной и атмосферными осадками коэффициент корреляции имеет положительный знак. Воз-

можно, прямая зависимость прироста поздней древесины от количества выпадающих осадков обусловлена высокими температурами, характерными для периода её формирования, которые создают засушливые условия. Поэтому её прирост активно откликается на осадки, то есть увеличение их выпадения способствует росту годичного кольца, в то время как температура воздуха оказывает обратное воздействие, её высокие показатели снижают интенсивность прироста. Кроме того, было выявлено синергетическое воздействие температур и осадков на ширину годичного кольца дуба и сосны: периоды одновременного их увеличения заметно снижают величину прироста. На представленных графиках выделяются целые периоды угнетения радиального роста исследуемых видов деревьев.

Необходимо отметить, что указанные особенности динамики прироста древесины под влиянием основных климатических переменных, характерны как для дуба черешчатого, так и для сосны обыкновенной. Деревья одинаково реагируют на изменение параметров климата и ширина их годичных колец напрямую зависит от количества выпадающих осадков (в случае с поздней древесиной) и находится в обратной зависимости от температурных показателей (в случае всего годичного слоя прироста и ранней древесины).

Обобщая полученные результаты исследования, можно сделать вывод о том, что общий избыток увлажнения при высоких температурах является лимитирующим фактором, определяющим прирост древесины в районе исследования.

Учитывая существенный отклик ежегодного радиального прироста сосны обыкновенной и дуба черешчатого на многолетнюю динамику среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков, территорию заповедного участка «Лес на Ворскле» можно рассматривать как перспективную для будущих дендроклиматических исследований.

На основе установленных закономерностей, можно проводить прогнозирование климатических условий исследуемой территории, что позволит

предвидеть и минимизировать отрицательные последствия изменений климата в природных и агросистемах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. – М.: Мир, 1976. – 235 с.
2. Бабушкина, Е.А. Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания / Е.А. Бабушкина, А.А. Кнорре, Е.А. Ваганов // География и природные ресурсы. – 2011 . – № 1. – С. 159-166.
3. Балыков, Н.Г. Ритады роста сосны и температура / Н.Г. Балыков // Термический фактор в развитии растений различных географических зон: Мат-лы Всесоюз. конф: Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 27-31 января 1979. – М.: МФГО СССР, 1979. – С. 35-36.
4. Ваганов, Е. А. Рост и структура годичных колец хвойных / Е. А. Ваганов, А. В. Шашкин. – Новосибирск: Наука, 2000. – 214 с.
5. Ваганов, Е. А. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов, В. С. Мазепа. – Новосибирск: Сиб. изд. РАН, 1996. – 246 с.
6. Григорьев, А.И. Эколого-биологические особенности дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в южной лесостепи Омской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / А.И. Григорьев; АН СССР. УНЦ. Институт экологии растений и животных. – Свердловск, 1978. – 21 с.
7. Дикорастущие полезные растения СССР / И. А. Губанов, И. Л. Крылова, В. Л. Тихонова и др.; под ред. Т. А. Работнова. – М.: Мысль, 1986. – 360 с.
8. Евстигнеев, О.И. Популяционные стратегии видов деревьев / О.И. Евстигнеев // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. – М.: Наука, 2004. – С. 176-205.

9. Косиченко, Н.Е. Влияние генотипа-среды на формирование микро-структуры стебля и диагностика технических свойств, роста и устойчивости древесных растений / Н.Е. Косиченко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 42 с.
10. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
11. Лантратова, А.С. Деревья и кустарники Карелии / А.С. Лантратова. – Петрозаводск: Карелия, 1991 г. – 232 с.
12. Лобжанидзе, Э. Д. Камбий и формирование годичных колец древесины / Э.Д. Лобжанидзе. – Тбилиси: Изд-во АН ГрузССР, 1961. – 159 с.
13. Матвеев, С. М. Дендрохронология: учебное пособие / С. М. Матвеев, Д.Е. Румянцев. – Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2013. – 140 с.
14. Матвеев, С.М. Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области / С.М. Матвеев, С.В. Матвеева, Ю.Н. Шурыгин // Журнал Сибирского федерального ун-та. Биология. – 2012. – № 1. – С. 27-42.
15. Матвеев, С.М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи / С.М. Матвеев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 272 с.
16. Матвеев, С.М. Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности / С.М. Матвеев // Лесной журнал. – 2005 . – № 1-2. – С. 15-22.
17. МГЭИК, 2007: Изменения климата, 2007: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Л. Бернштейн, П. Бош, О. Канциани и др.; под ред. Р.К. Пачаури и А. Райзингера. – Швеция: МГЭИК, 2008 – 104 с.
18. Мелехов, И.С. Значение структуры годичных слоев и ее динамики в лесоводстве и дендроклиматологии / И.С. Мелехов // Лесной журнал. – 1979. – № 4. – С. 6-14.

19. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно–кольцевой информации: Учебно-методич. пособие / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов и др.; под ред. С.Г. Шиятова и Е.А. Ваганова. – Красноярск: КрасГУ, 2000. – 80 с.

20. Митряйкина, А.М. Геоэкологическая оценка влияния гелиоклиматических факторов на радиальный прирост деревьев: Дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / А.М. Митряйкина; Белгородский государственный университет. – Воронеж, 2006. – 197 с.

21. Михайлова, Т. А. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Т. А. Михайлова, Н. С. Бережная, О. В. Игнатьева. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. – 134 с.

22. Молчанов, А. А. Дендроклиматологические основы прогнозов погоды / А. А. Молчанов. – М.: Наука, 1976. – 167 с.

23. Нешатаев, Ю. Н. «Лес на Ворскле» (краткий естественно-исторический очерк) / Ю. Н. Нешатаев, О.В.Петров, Л.С. Счастливая // Учен. зап. ЛГУ, сер.биол.наук. – 1967. – № 331, вып.50. – С. 11-36.

24. Проект организации и ведения лесного хозяйства учебно-опытного лесхоза «Лес на Ворскле». Том 1. – Ирпень, 1986. – 255 с.

25. Рыжков, О.В. Состояние и развитие дубрав Центральной лесостепи (на примере заповедников Центрально-Чернозёмного и «Лес на Ворскле») / О.В. Рыжков. – Тула: ЦЧГЗ, 2001. – 182 с.

26. Рысин, Л. П. Дуб обыкновенный / Л.П. Рысин, Г. П. Рысина // Биологическая флора Московской области. – 1990. – № 8. – С. 102-130.

27. Сазонова, Т.А. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной / Т.А. Сазонова, В.К. Болондинский, В.Б. Придача. – Петрозаводск: Verso, 2011. – 206 с.

28. Сергейчик, С.А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде / С.А. Сергейчик. – Минск: Наука и техника, 1994. – 279 с.

29. Таранков, В. И. Радиальный прирост древостоев сосны обыкновенной в зоне действия промышленного загрязнения / В. И Таранков, С.М. Матвеев // Лесной журнал. – 1994. – № 4. – С. 47-51.

30. Тихомиров, В.Н. О флоре заповедника «Лес на Ворскле» / Тихомиров В.Н., Девятов А.Г., Полевова С.В., Гузь Г.В. // Бюл. Моск. общ-ва испытателей природы. Отд. биол. –1996. – № 3. – С. 82-86.

31. Тишин, Д.В. Дендрэкология (методика древесно-кольцевого анализа) / Д.В. Тишин. – Казань: Казанский университет, 2011. – 33 с.

32. Феклистов, П.А. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги / П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В. М. Барзут. – Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. – 140 с.

33. Чернова, Н.М. Общая экология / Н.М. Чернова, А.М. Былова. – М.: ДРОФА, 2004. – 416 с.

34. Шиятов, С.Г. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала / С.Г. Шиятов, В.С. Мазепа // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 134–160

35. Шубин, В.И. Микотрофность древесных пород / В.И. Шубин. – Л.: Наука, 1973. – 264 с.

36. Эсау, К. Анатомия растений / К. Эсау, – М.: Мир, 1969. – 612 с.

37. Douglass, A.E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity / A.E. Douglass. – Washington: Carnegie Inst., 1919. – Vol. 1. – 127 p.

38. Fritts, H.C. Tree rings and climate / H.C. Fritts. – London, New York, San Francisco: Academic Press, 1976. – 576 p. – Mode of Access:

39. Methods of Dendrochronology: Application in Environmental Sciences / E.R. Cook, L.A. Kairiukstis, S. G. Shiyatov et al.; ed. E.R. Cook and L.A. Kairiukstis. – Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. – 394 p.

40. Olivar, J. Climate impact on growth dynamic and intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes /

Jorge Olivar, Stella Bogino, Heinrich Spiecker, Felipe Bravo // *Dendrochronologia*.
– 2012. – V. 30. – Pp. 35-47.

41. Rinn, F. TSAP-Win – time series analysis and presentation: dendrochronology and related applications / F. Rinn. – Heidelberg, Germany, 2003. – 91 p.