

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

ФГБУ «Государственный заповедник Большая Кокшага»

Марийское региональное отделение Русского географического общества

Ю. П. ДЕМАКОВ

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ
НА РОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ
РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Монография

Йошкар-Ола
2023

УДК 630*182:581.5
ББК 43.8
Д 30

Рецензенты:

Ретеюм А. Ю., доктор географических наук (Москва);
Матвеев С. М., доктор биологических наук (Воронеж);
Румянцев Д. Е., доктор биологических наук (Москва)

**Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда
№ 23-16-00220 (<https://rscf.ru/project/23-16-00220/>)**

*Рекомендовано к печати
отделением Всероссийской общественной организации
«Русское географическое общество» в Республике Марий Эл,
редакционно-издательским советом ПГТУ*

Демаков, Ю. П.

Д 30 Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл : монография / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. – 480 с.
ISBN 978-5-8158-2348-8

На основе изучения литературных источников и анализа обширного эмпирического материала, выполненного с помощью оригинальных авторских методик, показано, что характер роста деревьев сосны обыкновенной на территории Республики Марий Эл определяется комплексом абиотических, биотических и антропогенных факторов, среди которых особенно выделяются вулканические извержения, землетрясения, вспышки на Солнце и взрывы сверхновых звезд, дестабилизирующие состояние всей геосферы. Вклад же метеорологических параметров каждого отдельно взятого месяца и сезона года, которые практически не сопряжены друг с другом и изменяются в очень больших пределах без какой-либо четкой периодичности, в колебания годичного прироста деревьев весьма невелик. Пожары, антропогенная деятельность и биотические факторы не искажают общей картины динамики прироста деревьев.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов географического, экологического и лесохозяйственного профилей, а также лесоводов-практиков.

УДК 630*182:581.5
ББК 43.8

ISBN 978-5-8158-2348-8

© Ю. П. Демаков, 2023
© Поволжский государственный
технологический университет, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. Состояние вопроса	7
1.1. Развитие идей, методов и задач дендрохронологии	7
1.2. Колебания климата и определяющие их факторы	19
1.3. Формовое разнообразие сосны обыкновенной	67
ГЛАВА 2. Объекты и методика исследований	76
2.1. Природные условия Республики Марий Эл	76
2.2. Цель, программа, объекты и методика исследований	79
ГЛАВА 3. Динамика параметров климата	83
3.1. Продолжительность солнечного сияния	83
3.2. Температура воздуха	90
3.3. Атмосферные осадки	106
3.4. Атмосферное давление	112
3.5. Упругость водяного пара	117
3.6. Изменение напряженности магнитного поля Земли	122
3.7. Динамика солнечной активности	130
3.8. Связи между параметрами среды	136
3.9. Микроклимат почв лесных биогеоценозов	159
ГЛАВА 4. Закономерности динамики годичного прироста деревьев в высоту	187
4.1. Особенности динамики прироста деревьев в разных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл	187
4.2. Влияние густоты древостоев на динамику их прироста	207
4.3. Динамика прироста деревьев в очаге корневой губки	218
4.4. Динамика прироста деревьев в зоне выбросов завода сили- катного кирпича	220
4.5. Индивидуальные особенности динамики прироста деревьев в ценопопуляциях и возможности раннего отбора хозяй- ственноценных особей	225
ГЛАВА 5. Динамика радиального годичного прироста деревьев в одновозрастных ценопопуляциях	242
5.1. Динамика прироста деревьев в разных ТЛУ и типах леса	242
5.2. Особенности роста деревьев разного рангового положения в ценопопуляциях	276
5.3. Влияние густоты насаждений на прирост деревьев	305

5.4. Реакция деревьев на изреживание насаждений	321
5.5. Изменение характера роста деревьев после лесных пожаров	329
5.6. Годичный прирост деревьев, пораженных смоляным раком	331
5.7. Влияние колоний цапли на динамику прироста деревьев	333
ГЛАВА 6. Закономерности динамики радиального прироста	
деревьев в разновозрастных ценопопуляциях	343
6.1. Заболоченные боры	343
6.2. Пойменные экотопы	372
6.3. Приручьевые экотопы	382
6.4. Приозерные экотопы	386
6.5. Сухие и свежие боры	394
6.6. Особенности отклика деревьев во всех изученных экотопах на геофизические и космические явления	417
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	422
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	425

*Светлой памяти доктора географических наук
Виктора Никифоровича Киселева, впервые
ярко и убедительно показавшего влияние
вулканических извержений на состояние
хвойных лесов Белоруссии, посвящается*

ВВЕДЕНИЕ

Задача рационального использования и воспроизводства эколого-ресурсного потенциала лесов Республики Марий Эл как важнейшего её природного богатства, обеспечивающего сохранение благоприятной среды обитания людей и устойчивое социально-экономическое развитие общества, является важной в научном и практическом отношениях. Для её успешного решения необходимо познать закономерности развития лесных биогеоценозов, что возможно сделать лишь на основе системного подхода, рассматривающего все объекты и явления материального мира во всеобщей связи и взаимодействии друг с другом.

Для оценки реакции лесных экосистем на природные и антропогенные воздействия лучше всего использовать методы дендрохронологии, основанные на анализе рядов годичного прироста деревьев, позволяющие точно датировать время наступления благоприятных и неблагоприятных периодов в их жизни (Douglass, 1919, 1928, 1936; Schulman, 1956; Шиятов, 1973; Битвинскас, 1974; Ловелиус, 1979; Адаменко и др., 1982; Юкнис и др., 1985; Lovelius, 1997; Демаков, 2000, 2001; Матвеев, 2003; Дендрохронологическая информация ..., 2007; Румянцев, 2010; Хвойные леса ..., 2010). Этой проблематике посвящено множество публикаций, однако некоторые вопросы являются дискуссионными или слабо освещенными, что связано с разнообразием как самих лесных биогеоценозов, так и характера экологических воздействий на них, а также подходов исследователей к решению поставленных задач. Большинство дендрохронологических исследований проведено в экстремальных условиях обитания древесных растений на границах их географического и экологического ареалов, где наиболее четко выделяется отклик деревьев на климатический «сигнал». Выбор же темы нашего исследования, сбор исходного материала для которого был начат еще в 1988 году, обусловлен необходимостью познания закономерностей роста деревьев в зоне смешанных лесов и интенсивного ведения лесного хозяйства, где лимитирующие факторы не столь четко выделены и часто сменяют друг друга во времени. Особый интерес представляло изучение ответных реакций деревьев на экстремальные погодные условия и воздействия иных абио-

тических и биотических факторов. Весьма актуально также создание банка данных об изменчивости радиального прироста деревьев разных поколений леса, так как с их вырубкой или естественной гибелью ценная информация, значение которой для мониторинга среды, биогеоценологии и лесного хозяйства трудно переоценить, будет навсегда утрачена.

В монографии описано развитие идей, методов и задач дендрохронологии, проведен анализ данных о колебаниях климата и определяющих их факторах, отражены сведения об особенностях биологии и экологии сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которая, благодаря своей эвритопности и полиморфности, наиболее широко распространена в лесах Республики Марий Эл, описаны закономерности роста её деревьев и ценопопуляций в различных типах лесорастительных условий, оценены их ответные реакции на колебания метеорологических параметров и иных возмущающих факторов, в том числе извержений вулканов, выделен вклад генотипа особой в дисперсию их годовичного прироста по высоте и диаметру ствола.

В сборе обширного эмпирического материала, на основе анализа которого написана эта книга, большое участие принимали в разное время Е.К. Кудрявцев, А.В. Иванов, А.В. Полевщиков, И.А. Козлова, М.Г. Сафин, А.В. Исаев, Т.В. Нуреева, Д.В. Тишин, И.П. Демитрова и Н.В. Андреев, за что автор им искренне благодарен. Весьма ценные замечания, которые помогли улучшить качество данной монографии, были высказаны уважаемыми рецензентами – докторами наук Алексеем Юрьевичем Ретеюмом, Сергеем Михайловичем Матвеевым и Денисом Евгеньевичем Румянцевым.

Хочется надеяться, что эта книга, в которой использованы оригинальные методические приемы анализа большого объема исходных данных и содержится много важной информации об особенностях динамики годовичного прироста деревьев сосны обыкновенной в разных ценопопуляциях Республики Марий Эл и их ответных реакций на внешние возмущения, вызовет определенный интерес в среде ученых и лесоводов-практиков. Она будет полезна также аспирантам и студентам вузов географического, экологического и лесохозяйственного профилей.

Работа выполнена за счет **гранта Российского научного фонда № 23-16-00220 (<https://rscf.ru/project/23-16-00220/>)** с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола, соглашение № 075-15-2021-674/3).

ГЛАВА 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Информация, содержащаяся в многолетних рядах годичного прироста деревьев, представляет собой совокупность сведений не только о динамике их состояния, но также обо всех прямо или косвенно воздействующих на него абиотических и биотических факторов окружающей среды, выделение которых по генезису является очень сложной задачей. Вскрытие закономерностей роста деревьев, совершенствование методов «расшифровки» дендрохронологической информации и поиск путей её прикладного использования возможны поэтому на основе интеграции знаний в области климатологии, биоценологии, математики, а также экологии и биологии изучаемого вида древесного растения. Дендрохронологический метод позволяет исследователю получить за сравнительно короткое время огромный объем информации об ответных реакциях лесных экосистем на изменения условий их существования, для сбора которой путем регулярных натурных наблюдений не хватило бы целой человеческой жизни. Важно при этом правильно подобрать объекты исследования и определить круг решаемых задач.

1.1. Развитие идей, методов и задач дендрохронологии

Рост организмов – одно из наиболее сложных и интегральных биологических явлений, неотъемлемое свойство живой материи, одно из проявлений ее развития, в ходе которого происходит формирование подсистем различного функционального назначения, необходимых для поддержания устойчивого существования организма и популяции. Рост древесных растений – это самоуправляемый процесс реализации потенциальных возможностей организма, т.е. развертывания во времени заложенных в генотипе существующих задатков (Эйтинген, 1962), характеризующийся как увеличением его размеров, так и степенью организованности всех внутренних структур. В процессе роста деревьев происходят усложнение клеточных масс, становление новых структур и появление новых регуляторных механизмов (Леопольд, 1968; Рост растений ..., 1978). Биологический смысл роста заключается в достижении организмом определенных размеров, обеспечивающих ему, согласно закону оптимальности (Реймерс, 1994), максимально эффективную реализацию всех необходимых жизненных функций в эволюционно сложившемся биотическом окружении и экологической обстановке.

Проблема познания закономерностей роста организмов, являясь очень многогранной и представляющей особую актуальность для цело-

го ряда областей теоретической и практической биологии, давно привлекает внимание исследователей различного профиля. Она охватывает широкий круг вопросов, связанных с математическим моделированием хода роста организмов в онтогенезе, классификацией описывающих его форм кривых, филогенетическими аспектами их становления, познанием энергетики и механизмов самого процесса роста (Гофман, 1938; Гофман-Кадошников, 1975). В разработке проблемы в различное время принимали активное участие такие крупные ученые-естествоиспытатели, как Ю. Сакс (Sachs, 1873), Ч. Майнот (Minot, 1907), И.И. Шмальгаузен (1928, 1935, 1984), Л. фон Берталанфи (Bertalanffy, 1934, 1938, 1957, 1960), П. Медевар (Medawar, 1940), С. Броди (Brody, 1945) и П.П. Лазарев (1945), заложившие фундамент общей теории роста организмов. Интерес к этой проблеме не ослабевает и ныне, что обусловлено необходимостью поиска путей устойчивого развития человечества в условиях возрастающего дефицита всех природных ресурсов.

Данная проблема является одной из центральных и в лесоводственных науках. По сути дела все лесоводственные и таксационные исследования сводятся, в конце концов, к ней, поскольку успешность решения задач рационального использования ресурсов леса, эффективного управления продуктивностью и устойчивостью лесных экосистем полностью зависят от степени ее изученности. Познание процесса роста деревьев, выделяющихся среди растений особым долголетием, интересно также и тем, что позволяет ретроспективно восстановить и проанализировать динамику взаимодействия сил в системе «организм - среда» на очень большом отрезке времени, глубже понять механизмы саморегуляции лесных систем, изученные пока крайне слабо. Кривые динамики таксационных параметров древостоев во времени и созданные на их основе математические модели – важнейшие лесоводственные нормативы, позволяющие оценивать текущее состояние насаждений и корректировать ход их развития в нужном для человека направлении (Алексеев, 1988).

Рост – это не только физиологический, но и информационный процесс (Фрей, 1978), в ходе которого организм осуществляет свою жизнедеятельность исключительно на основе сигналов внешней среды. Полученная организмом информация не исчезает при этом бесследно, а постоянно накапливается в различных структурных элементах (ячейках памяти), что приводит к изменению как его внешнего облика, так и генотипа. Поэтому кинетические параметры роста и размеры организмов являются важнейшими характеристиками состояния их жизнеспособности и таксономического положения. Они, как показано в частности исследователями на примере лесных древесных растений, служат крите-

риями конкурентоспособности особей, степени соответствия индивидуальных потребностей организма экологическим условиям и антропогенным воздействиям (Карманова, 1976; Ловелиус, 1979; Терсков, Терскова, 1980; Котов, 1981; Яковлева, 1981, 1992; Сапанов, 1984; Юкнис и др., 1985; Стравинскене, 1987; Комин, 1990; Таранков, Матвеев, 1994; Matvejev, 1998; Матвеев, Чеботарев, 2002; Матвеев, 2003; Битков, 2007; Некоторые направления ..., 2009). Не случайно поэтому проблема познания закономерностей процесса роста организмов признается в современной биологии одной из важнейших, имеющих большое теоретическое и прикладное значение.

Отрывочные письменные упоминания об информативном значении годичного прироста тех или иных структурных элементов деревьев содержатся, как отмечает Д.Е. Румянцев (2010), в трудах Теофраста, жившего в 372-287 гг. до н.э., Леонардо да Винчи, Карла Линнея и Ж. Бюффона, а первые же результаты научных дендрохронологических исследований были опубликованы во второй половине XIX века Д. Кюхлером (Kuechler, 1859), А.Н. Бекетовым (1868), Ф.Н. Шведовым (1892), Д.И. Менделеевым (1899) и Д. Кептейном (Kueptejn, 1914). Основателем классической дендрохронологии по праву считается американский астрофизик А.Е. Дуглас (Douglass, 1919, 1928, 1936), учеником и прямым продолжателем дела которого явился Е. Шульман (Schulman, 1956). Изучению изменчивости прироста деревьев как показателя состояния экосистем и окружающей среды посвящено очень большое число публикаций. Подробные обзоры проблем дендрохроноклиматологии и дендроиндикации сделаны В. Штудхалтером, В. Глоком и С. Агертером (Studhalter, Glok, Agerter, 1963), Т.Т. Битвинскасом (1974), А.А. Молчановым (1976), Н.В. Ловелиусом (1979, 1997), С.Г. Шиятовым, Г.Е. Коминым (1986), С.М. Матвеевым (2003) и Д.Е. Румянцевым (2007, 2010). В них показано, в частности, что методы «расшифровки» дендрохронологической информации определяются целями и задачами проведения исследований, которые сводятся не только, как это обычно принято считать, к реконструкции динамики климата в прошлом и истории формирования лесных экосистем, но также к оценке текущего состояния и перспектив развития древостоев, поиску путей повышения их производительности с использованием различных лесоводственных мероприятий и отбора в ценопопуляциях наиболее перспективных в хозяйственном отношении особей. Так, при разработке моделей хода роста древостоев исследователь стремится выделить в динамике изучаемых показателей только возрастной тренд, очищая исходные ряды данных от ненужной для него «шумовой» информации. В дендроклима-

тохронологии, наоборот, выделяют сигнал о динамике состояния внешней среды, сильно «замаскированный» воздействием возраста и биотического окружения деревьев, в результате чего его вклад в общую дисперсию их годовичного прироста редко превышает 30-40 % (Fritts, 1962, 1976, 1991; Чершкенен, 1972; Битвинскас, 1974; Адаменко, 1986; Глебов и др., 1986; Сабиров, 1986; Дьяконов, Бочкарев, 2010). Только в Урало-Сибирских районах Субарктики исследователям удалось установить достоверное влияние на изменчивость индексов прироста деревьев средней температуры июня и июля, объясняющей около 60 % их дисперсии (Ваганов и др., 1996). Поэтому при проведении дендроклиматохронологических исследований особенно важен выбор районов и местообитаний, для которых не только имеется метеорологическая информация за довольно длительный отрезок времени, но и где климатический сигнал довольно четко проявляется в рядах годовичного прироста деревьев.

Одним из важнейших аспектов дендроклиматохронологических исследований является выявление в рядах прироста деревьев некоторых ритмов, представляющих собой определенную повторяемость различного рода событий и явлений. Прикладные аспекты природной ритмики, являющейся одним из фундаментальных свойств материального мира, очень разнообразны. Это относится, в первую очередь, к ритмичности климата. Каким бы великим ни казалось нынешнее могущество человечества, оно по-прежнему в очень сильной степени зависимо от капризов погоды.

Есть ли общие закономерности в ритмике роста деревьев, присутствуют ли в ней строго детерминированные волновые компоненты и какова их природа, насколько синхронны колебания индексов прироста древостоев в разных экотопах и природных зонах? Ответ на эти вопросы исследователи пытаются получить давно. Причем больший интерес к проблеме проявляют не столько лесоводы, сколько специалисты в области экологии, климатологии, археологии, гео- и астрофизики. В настоящее время по данной проблеме опубликовано более тысячи работ, но окончательного ответа на поставленные вопросы пока не получено.

Многими исследователями хотя и выявлено наличие в дендрохронологических рядах различных волновых компонент (Douglass, 1919, 1928, 1936; Schulman, 1956; Костин, 1960, 1974, 1975; Галазий, 1967; Комин, 1970, 1971, 1974; Битвинскас, 1974; Оленин, 1974, 1976; Ловелиус, 1979; Берри и др., 1979; Шиятов, Мазепа, 1986; Ваганов и др., 1996; Дьяконов, Бочкарев, 2010), однако их частотно-амплитудные характеристики настолько широки и изменчивы, что практически исключаются всякие

попытки выделения общих закономерностей. Следует к тому же добавить, что до недавнего времени исследователи выделяли волновые компоненты во временных рядах исходных данных в большинстве случаев чисто визуально – по графикам кривых. Сделать это часто довольно сложно, так как эти графики напоминают, образно выражаясь, бушующее море: на большие волны, период которых, как правило, непостоянен, накладываются средние, на них – маленькие и т.д. У исследователей, естественно, возникает стремление к выделению какого-то порядка, что неизбежно приводит к субъективным оценкам и суждениям, ведь желаемое часто выдается за действительное. Современная дендроклиматохронология не дает точного и однозначного ответа на вопрос о причинах сравнительно регулярно повторяющихся периодов депрессии и экспрессии прироста деревьев, что объясняется, по мнению ряда исследователей (Розанов, 1972; Полюшкин, 1979; Бузыкин, Хлебопрос, 1981; Юкнис и др., 1985; Демитрова, 2000; Демаков, 2000, 2001), недооценкой внутренних свойств лесных экосистем.

Вопрос о выделении волновых компонент во временных рядах индексов прироста достаточно сложен. Существенным недостатком традиционных методов, в частности метода Фурье, является то, что они не распознают прерывистого и затухающего характера волн, которые представляют собой переходы состояния биосистем из одного состояния в другое и по самой своей природе не могут быть строго периодическими, а тем более гармоническими (Свирижев, Елизаров, 1972; Свирижев, Логофет, 1978; Свирижев, 1987). Полученные результаты к тому же очень сильно зависят от длины анализируемых рядов. Волновой характер прироста – неизбежное следствие инерционности «работы» основного механизма саморегуляции биологических систем, действующего на основе принципа обратной связи между слагающими их элементами. Жестко детерминированная система была бы беспомощной, неустойчивой и не способной к развитию в нашем бесконечно разнообразном мире, где все хотя и протекает закономерно, но ничего не повторяется вновь. Только постоянно подстраиваясь к конкретным условиям среды, регулируя ход своих внутренних часов, биосистема сохраняет свою устойчивость. Чередования внешних воздействий различной мощности и природы, не отличающихся особой регулярностью, формируют, во взаимосвязи с внутренними свойствами экосистем, сложный квазипериодический ход древесного прироста, сугубо специфичный для каждого биотопа. Этот факт свидетельствует о невозможности использования во многих случаях дендрохронологических данных для реконструкции, а тем более прогноза динамики климата. К тому же следует принимать во

внимание и тот факт, что следствие всего лишь объясняет причину, но не предопределяет ее (по ходу отклика, обусловленного многими причинами, невозможно восстановить ход каждого отдельного фактора). Популяции древесных растений к тому же довольно неоднородны по характеру роста слагающих их особей (Курдиани, 1908; Козубов, 1962; Лигачев, 1962; Петров, 1964; Правдин, 1964; Мамаев, 1972; Мамаев, Горчаковский, 1972; Шульга, 1974; Хохрин, 1977; Божок, 1979; Роне, 1980; Абросов и др., 1982; Голиков, 1985; Романовский, 1994; Петрова, Санников, 1996; Путенихин, 2000; Санников, Петрова, 2003; Тарakanов, 2003; Шейкина, 2004; Тарханов и др., 2006; Махатков и др., 2007; Новикова, Назимова, 2007; Тихонова, 2007; Абдуллина, Петрова, 2012; Пименов, Седельникова, 2012; Рогозин, 2013; Тарханов, Бирюков, 2013; Генетическая ..., 2013; Романовский, Щёкалев, 2014; Пименов, 2016; Пинаевская, Тарханов, 2016; Пинаевская, 2018; Демаков, Нуреева, 2019; Шейкина, Гладков, 2020). Так, в пределах одного древостоя только у 10 % всех деревьев отмечается сходство динамики годичного прироста выше 80 %, а у четверти особей оно не превышает 56 % (Битвинскас, 1974). Накопленные наукой данные свидетельствуют о неоднозначности реакции прироста деревьев в ответ на одни и те же изменения внешних условий. И, наоборот, разные по природе воздействия могут отражаться на них сходным образом. Вопрос о реальности существования строго периодических составляющих в дендрохронологических рядах древостоев в пределах лесной зоны становится, таким образом, открытым, что показали результаты наших исследований, проведенных в различных по породному составу, возрасту, происхождению и типам леса древостоях Марийского Заволжья и отраженных в многочисленных публикациях (Демаков, Полевщиков, 2007; Демаков, 2000, 2001; 2013; Демаков, Козлова, 2004; Демаков, Исаев, 2009; 2015; Демаков, Медведкова, 2009; Демаков и др., 2007, 2015, 2020; Демаков, Андреев, 2014; Демаков, Майшанова, 2015).

При поиске причинно-следственных связей необходимо учитывать, что ритмика роста деревьев – не простое отражение внешнего сигнала, а некоторая его трансформация, характер которой определяется внутренними свойствами как отдельных деревьев, так всей экосистемы в целом. Характер искажения сигнала может быть оценен в простейшем случае по времени задержки и затухания сигнала, которые зависят от индивидуальных свойств деревьев и лесных экосистем, а также от силы внешнего воздействия. Величина ответной реакции деревьев на внешнее раздражение зависит также от их текущего состояния и определяется, в конечном итоге, не суммарным действием всех внутренних и внешних

сил, а, согласно широко известному правилу Ю. Либиха, лишь одной из них, которая является в текущий момент времени лимитирующей. Так, к примеру, в густых насаждениях прирост деревьев отражает влияние в основном ценотического фактора, в редкостойных – климатического. Все эти моменты необходимо учитывать при анализе отклика древостоев на флуктуации параметров климата.

Причины variability ширины годичных колец деревьев, как следует из всего изложенного выше, довольно разнообразны, и сводить их к какой-либо одной в принципе недопустимо. Этим объясняются в основном неудачные попытки многих исследователей связать ритмику роста деревьев с колебаниями климата (Молчанов, 1976), которые, как известно, не имеют строгой периодичности, не позволяющей климатологам делать точные долгосрочные прогнозы. Применительно к росту деревьев задача усложняется тем, что ширина их текущего годичного кольца зависит в определенной мере от метеорологических показателей не только вегетационного периода года, но и каждого отдельно взятого месяца и даже декады, значения которых изменяются во времени не синхронно. Так, к примеру, сильные морозы, во время которых температура в Республике Марий Эл опускалась до -52°C (Демаков, 2000), удерживались в течение зимы 1978/1979 годов всего в течение нескольких дней, но вызвали гибель фруктовых садов и многих деревьев дуба. Необходимо также принимать во внимание тот факт, что величина прироста деревьев снижается в равной мере как после засух, так и после холодных лет с избытком осадков (Демаков, Нуреева, 2019).

В каждой науке первым шагом является простое словесное описание явления, которое называется концептуальной моделью (Алексеев, 1988). Очень часто такой подход оказывается недостаточным для объяснения наблюдаемых эффектов и связей их с другими явлениями, поэтому появляется настоятельная потребность в количественной оценке и математическом описании. При этом часто оказывается, что при переводе на язык математического формализма проблема становится гораздо ясней. Нередко только при попытке математического моделирования того или иного природного явления обнаруживаются недостаточно изученные его черты. Построение математических моделей сложных природных явлений, представляющих собой, как правило, совокупность одновременно протекающих разнородных процессов, – это единственная возможность выделить и проанализировать их элементарные составляющие. Математическое моделирование природных процессов является наиболее эффективным методом выбора рационального и эффективного воздействия на ход их течения, позволяющим рассмотреть множество

возможных вариантов решения, оценить возможные последствия, избежать слепого поиска и ненужных затрат времени, сил и средств. Математическая модель природного явления есть строгое воплощение некоторой сформулированной исследователем гипотезы (Ляпунов, 1981). Сопоставление модели и реального явления представляет собой проверку этой гипотезы. Неадекватность отражения моделью реальной действительности указывает на необходимость отказа от исходной гипотезы или, во всяком случае, ее усовершенствования.

Первое количественное описание процесса роста организмов было сделано более 100 лет назад ботаником Ю. Саксом (Sacks, 1873). Им было показано, что кривая изменения размеров растений в течение их жизненного цикла, или большого периода роста, имеет характерную S-образную форму и четко выраженную верхнюю асимптоту. Кривая текущего прироста, являющаяся первой производной функции роста размеров организма, асимметрично колоколообразна: начинаясь с бесконечно малой величины, прирост постепенно увеличивается, достигает в определенном возрасте максимального уровня, а затем гиперболически снижается, приближаясь в бесконечности к нулю. Эта закономерность была в последующем многократно подтверждена исследователями и относится к наиболее обоснованным и важным биологическим правилам.

Ни одно биологическое явление, по-видимому, не подвергалось в такой мере математическому анализу и моделированию, как процесс роста растений. Результаты экспериментальных исследований и оригинальных подходов к решению этого вопроса отражены в многочисленных публикациях (Backman, 1932; Дракин, Вуевский, 1940; Хильми, 1955, 1957; Воропанов, 1956, 1961; Taylor, 1962; Дворецкий, 1964; Полетаев, 1966, 1979; Фильрозе, 1967; Ursin, 1967; Антанайтис, Загреев, 1969; Krüger, 1970; Антанайтис, 1971; Фильрозе, Шмелькова, 1971; Зотина, Зотин, 1973; Ханин, Дорфман, 1973; Зейде, 1975; Зотин, 1975; Инсаров, 1975; Коноплев, Зотин, 1975; Ермаков, Севастьянов, 1978; Верхунов, 1979; Галицкий, Комаров, 1979; Полетаев, 1979; Рачко, 1979; Севастьянов, 1980; Галицкий, 1981; Юдицкий, 1982; Кишенков, Глушенков, 1983; Бредихин, 1985; Антанайтис и др., 1986; Атрощенко, 1986; Гутман А.Л., Гутман М.А., 1986; Мурахтанов и др., Алексеев, 1988; Богачев, 1990, 1991; Березовская и др., 1991; Гутман, Успенский, 1991; Корзухин, Семевский, 1992; Зотин, Зотина, 1993; Карев, 1994; Мазуркин, 1994; Казимиров, 1995; Черных, 1995; Верхунов и др., 1996; Черных, Грачев, 1996; Карев, Скоморовский, 1997, 1998; Демаков, 2000; Шолохов, 2000). Несмотря на длительную историю проблемы и боль-

шое число проведенных исследований, до настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос о том, как правильно математически описать ход роста древесных растений.

При моделировании роста организмов используют два основных подхода. Первый и наиболее часто применяемый подход заключается в том, чтобы описать ход роста организма в течение его жизненного цикла одной математической функцией. Число предложенных различными исследователями эмпирических функций хода роста, как свидетельствуют детальные обзоры, проведенные П.Б. Гофманом (1938), В. Пешелем (Peschel, 1938), А.И. Зотиным (1975, 1993), Р. Вальтером и И. Лампрехтом (1976), И.В. Кармановой (1976), В.В. Кузьмичевым (1977, 2013), Н.Н. Сваловым (1979), И.А. Терсковым и М.И. Терсковой (1980), Г.Б. Кофманом (1986) и А.К. Кивисте (1988), давно уже перевалило за сотню и продолжает неуклонно увеличиваться. Ряд ученых (Фильрозе, 1967; Фильрозе, Шмелькова, 1971; Гофман-Кадошников, 1975; Карманова, 1976; Терсков, Терскова, 1980; Жирмунский, Кузьмин, 1990) придерживается другого мнения. Они, опираясь на концепцию И.И. Шмальгаузена (1928, 1935, 1984) о стадийности развития организмов, считают, что рост на протяжении всего онтогенеза не протекает монотонно и не может поэтому описываться одной достаточно простой математической функцией. Предлагаемый ими подход связан с разделением кривой роста на ряд отрезков, в пределах которых процесс протекает монотонно и описывается степенной или экспоненциальной функциями с различными значениями констант. Данный подход логичен и глубоко биологически обоснован. Он, однако, позволяет решить задачу моделирования либо в случае неизменности границ этапов роста у организмов одного таксона или их незначительной вариабельности, либо в случае установления тесной связи их продолжительности с условиями среды. С позиций этих двух подходов рост рассматривается как строго детерминированный процесс, что является довольно грубым приближением к реальной действительности. Организм растет, постоянно взаимодействуя со средой обитания, которая лишь в крайне редких случаях бывает стабильной, изменяя свои размеры исходя из реальных возможностей экологической обстановки.

Одной из причин возникновения противоречий во мнениях различных исследователей в области дендроклиматохронологии является отсутствие единого подхода к выделению временного тренда – своеобразного «позвоночника» большого жизненного цикла роста дерева. Несмотря на огромное число публикаций, эта задача, от которой полностью зависят результаты выделения ритмических составляющих,

окончательно не решена, что ставит под сомнение многие выводы и концепции дендрохроноклиматологии. Причиной неудач, по мнению ряда исследователей (Бузыкин, Хлебопрос, 1981; Юкнис и др., Мазепа, 1986; Нильсон, Кивисте, 1986), является также недоучет воздействия на ритмику роста деревьев внутриценотических факторов. Так, при проведении исследований мы столкнулись с большим разнообразием форм кривых динамики радиального годичного прироста древостоев, произрастающих в близких по экологическим условиям типах леса (рис. 1.1): в одних экотопах происходит четкое снижение прироста, связанное с увеличением конкурентных отношений между деревьями в процессе развития насаждений, а в других же возрастной тренд в динамике прироста практически не проявляется. Подчеркнем, что все это происходило в один и тот же период времени, когда древостои во всех экотопах находились под сходным воздействием климатических факторов. Задача по выделению климатического сигнала в рядах прироста деревьев, относящихся к разным отрезкам времени, становится еще более сложной.

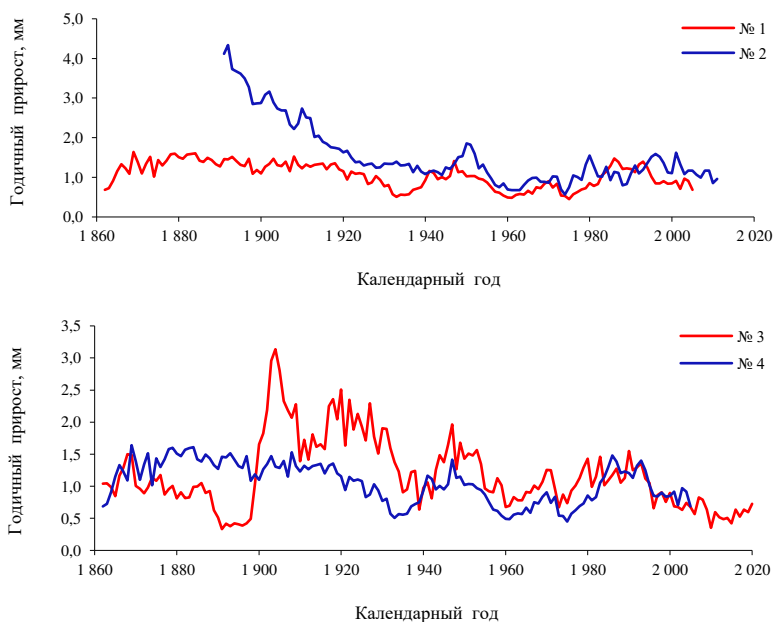


Рис. 1.1. Динамика радиального годичного прироста деревьев в сосняках брусничниковых и лишайниково-мшистых Республики Марий Эл: № 1 – кв. 90 заповедника «Большая Кокшага»; № 2 – прибрежная полоса оз. Яльчик; № 3 – кв. 32 заповедника «Большая Кокшага»; № 4 – кв. 87 Визимьярского лесничества

Ход роста деревьев, таким образом, довольно сложен и описать его с высокой точностью какой-либо одной достаточно простой математической функцией вряд ли принципиально возможно. Его не следует рассматривать ни как полностью детерминированный, ни как полностью стохастический процесс. К росту, скорее всего, следует подходить как к процессу виртуальных (возможных) перемещений системы, протекающему исходя из имеющихся связей, причинно-следственных отношений, определенных вариаций параметров среды и ряда биологических ограничений. Полная математическая модель его будет, по мнению некоторых исследователей (Юкнис и др., 1985), представлять собой некоторую смесь функций возрастного тренда (X_t), волновой составляющей (W_t) и случайной «шумовой» компоненты (Z_t), т.е. иметь следующий вид: $Y_t = X_t + W_t + Z_t$. Каждая из этих составляющих будет зависеть от внутренних видоспецифических потенциальных возможностей организма, заложенных в его генотипе, и динамики состояния всей экосистемы (абиотической среды и биотического окружения организма). Для этого нужно располагать обширным материалом, отражающим особенности годовичного прироста древостоев в пределах одного и того же отрезка времени, но различающихся между собой по возрасту, происхождению, структуре и лесорастительным условиям.

Разработка математических моделей, адекватно отражающих реальную действительность, – работа нетривиальная, требующая детального знания исследуемого биологического объекта и явления, глубокого осмысления экспериментального материала, способности исследователя к абстрактному мышлению, его умения выявить ведущие факторы и второстепенные, которыми можно в первом приближении пренебречь, а также установить причинно-следственные связи и выразить их языком математики. Математическое моделирование – это неформальный процесс творческих поисков общих природных закономерностей, главную роль в котором играет целенаправленный эксперимент. Оно, как отмечают М.Д. Корзухин и Ф.Н. Семевский (1992), не имеет ничего общего ни со сглаживанием эмпирических рядов данных с помощью полиномов, ни с оторванными от действительности упражнениями математиков в несуществующей области математической экологии. *Математическое моделирование является своего рода искусством*, которое, так же как и поэзия, литература или инженерное проектирование, требует привлечения только того, что необходимо для достижения цели, и не более. *Модели должны быть максимально упрощенным средством познания*: авторы моделей должны непременно ограничивать себя, чтобы достичь хороших результатов. Разработку сложных моделей целесообразно ве-

сти поэтапно, используя так называемый принцип «минимального угла зрения» (Галицкий, 1981), постепенно усложняя их увеличением числа переменных. Экспериментальный материал должен при этом быть «чистым», содержащим как можно меньше «шумов», искажающих моделируемый процесс. Для получения материала лучше всего использовать опытные стационарные объекты, за состоянием которых проводятся длительные и регулярные наблюдения.

До сего времени многие исследователи, к сожалению, подбирают математические модели чисто эмпирически, «вслепую», а не исходя из общих представлений о биофизических процессах и характере изменений моделируемых параметров. Любую стационарную, т.е. бесконечно дифференцируемую функцию всегда можно аппроксимировать полиномом n -ной степени (m эмпирических точек могут быть описаны с нулевой ошибкой полиномом степени $m-1$), однако такое описание исключает возможность какой-либо интерпретации, лишено содержания, а тем более биологического смысла (Экологические системы ..., 1981; Розенберг, Феклистов, 1982). Математическая модель должна рассматриваться не только как средство описания конкретных эмпирических данных, а как метод познания механизмов и закономерностей роста (Гофман-Кадошников, 1975; Вальтер, Лаппмрехт, 1976; Шмальгаузен, 1984). Ценность математической модели определяется главным образом ее возможностями как инструмента исследования. Задача моделирования, исходя из этого, заключается не столько в том, чтобы описать процесс с помощью формул, сколько в объяснении его глубинной сущности, что позволит эффективнее управлять им. Математическая формула для биолога представляет ценность в том случае, если она отражает определенную закономерность и объясняет суть происходящих процессов, подводя фундамент точной количественной обоснованности (Шмальгаузен, 1984). Задача математического моделирования заключается также в том, чтобы сформулировать новые интересные гипотезы и положения, наметить пути их экспериментальной проверки. Это позволит в полной мере воплотить в практику научных исследований известный лозунг Михаила Ломоносова: «Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения».

Познание процесса роста древостоев, представляющего собой одно из важнейших явлений динамики лесных экосистем, должно в полной мере основываться на законах кинематики, рассматривающей общие свойства и качества движений материальных объектов с геометрической точки зрения. Полное представление о течении процесса во времени, согласно положениям этой науки, может быть получено лишь в резуль-

тате анализа динамики трех параметров движения объекта: пути, скорости и ускорения. Основным интегралом движения является путь, пройденный объектом за определенный отрезок времени. Скорость является первой производной функции пути, а ускорение – второй производной. Следовательно, выразив математически динамику пути как функцию от времени, можно легко аналитическим путем найти функцию скорости и ускорения. Применительно к процессу роста древостоев динамика пути представляет собой процесс увеличения размеров деревьев; первая производная этой функции – динамика текущего годовичного прироста, а вторая производная – скорость изменения величины текущего годовичного прироста.

1.2. Колебания климата и определяющие их факторы

Климат – главный фактор, лимитирующий состав и производительность фитоценозов во многих регионах Земли (Будыко, 1971; Вальтер, 1974; Одум, 1975; Лархер, 1978; Риклефс, 1979; Базилевич, 1993; Усольцев, 2007), однако значения всех его параметров значительно изменяются во времени и пространстве. Оценка величины этих изменений, выяснение вызвавших их причин, в частности современного глобального потепления, наличия определенной периодичности и реакций на них экосистем и биосферы в целом – важнейшие научные задачи, разные взгляды ученых на которые отражены в многочисленных публикациях. Для успешного решения этих задач необходимо количественно оценить изменения параметров климата в прошлом и детально их проанализировать.

Какие же факторы влияют на текущие флуктуации климата? Известно (Теоретические ..., 2019), что всё многообразие климата Земли в разнообразные эпохи определяли состав и прозрачность атмосферы, а также альбедо земной поверхности и облачного покрова, средний же годовой приток тепла к земной поверхности определялся количеством солнечной радиации, поступавшей на верхнюю границу атмосферы. Эта величина, называемая «астрономической солнечной постоянной», испытывает долгопериодные и короткопериодные колебания, связанные с процессами, происходящими как на нашем светиле, так и в дальнем космосе, о чем будет подробно сказано отдельно. Основным источником энергии, определяющим тепловой баланс и термический режим нашей планеты, является, несомненно, Солнце (Восейков, 1948; Солнечная активность ..., 1948; Берлянд, 1956; Abbot, 1957; Эйгенсон, 1963; Будыко, 1974, 1980; Витинский и др., 1976; Кондратьев, Никольский, 1978; Мирошниченко, 1981; Монин, 1982; Кондратьев, 1987), выбрасы-

вающее непрерывно в окружающее пространство в течение 4,5 млрд лет каждую секунду 4 млн тонн вещества и огромное количество разнообразных электромагнитных излучений. Однако, несмотря на этот неоспоримый факт, вопрос о влиянии вариации «жизнедеятельности» Солнца на климат и биосферу Земли уже в течение продолжительного времени продолжает оставаться, по мнению исследователей (Монин, Шишков, 2000; Абдусаматов, 2009; Dudok, Watermann, 2010; Федоров, 2015), дискуссионным, что во многом связано с отсутствием достаточно убедительных теорий, объясняющих непосредственно сам механизм воздействия светила на планетарные процессы.

Вера в то, что Солнце активно вмешивается в нашу жизнь, уходит вглубь тысячелетий, составляя основу всех языческих религий, однако первое вполне научное исследование принадлежит астроному В. Гершелю, показавшему в 1804 году, что цены на Лондонской хлебной бирже коррелируют, как отмечают в своей работе В.Н. Обридо и Ю.А. Наговицын (2017), с числом солнечных пятен. Колоссальная работа была проведена А.Л. Чижевским (2004), показавшим влияние изменения солнечной активности на физическое состояние человека и многие социально-исторические процессы, включая эпидемии, войны и революции. В последнее время появились работы ученых, показывающие влияние солнечной активности даже на колебания цены нефти (Белкин, 2015, 2016, 2017). Впрочем, статистические исследования такого рода неоднократно вызывали в прошлом, да иногда и сейчас, недоверие ученых в силу существовавших долгое время неясностей в физических механизмах таких связей.

Солнечный цикл – квазипериодическое повторение явлений солнечной активности с типичным временем 11 ± 3 года. Всем циклам присвоены номера, причем первым назван цикл, начавшийся в 1755 году. Началом цикла считается период минимума. В настоящее время отмечается 25-й солнечный цикл. Кроме этого цикла существуют и более продолжительные: 22-летний, 80-90-летний (цикл Гляйсберга) и ещё более длинные (циклы Зюсса и Холлстатта). В многолетнем ряду накопленных наукой данных выделяют также определенные периоды, во время которых солнечная активность была очень низкой. Впоследствии, благодаря развитию новых технологий и методов датирования образцов различных материалов, удалось реконструировать динамику солнечной активности за 1200 лет, позволившую выявить весьма неравномерный её ход и наличие продолжительных по времени периодов максимума и минимума (рис. 1.2 и 1.3). Первый из этих периодов, получивших наименование минимум Оорта, приходится на 1050-1150 годы. Следу-

ющие периоды низкой солнечной активности были отмечены в 1280-1350 (минимум Вольфа), 1450-1550 (минимум Шпёра), 1645-1715 (минимум Маундера), 1790-1820 (минимум Дальтона) и 1880-1920 годах (минимум Гляйсберга). В настоящее время также отмечается резкий спад активности Солнца, который может, по оценкам некоторых специалистов (Козлов, 2006, 2018; Обридко, Шельтинг, 2009; Обридко, 2011; Обридко, Наговицын, 2017), продлиться до 2050 года и быть сопоставимым по последствиям с малым ледниковым периодом. Об этом предвещают, возможно, замерзание Ниагарского водопада и выпадение снега в Сахаре, отмечавшиеся в 2014-2016 годах.

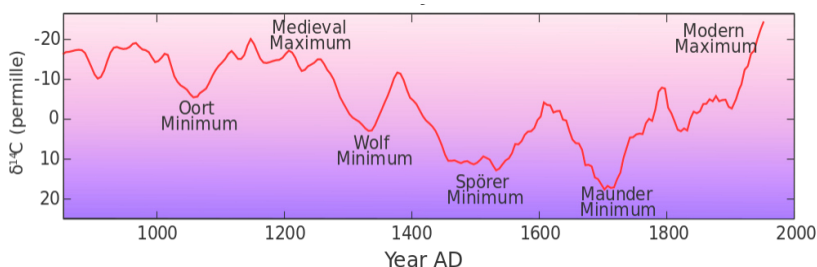


Рис. 1.2. Динамика солнечной активности за 1200 лет по данным радиоуглеродного анализа (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Carbon14_with_activity_labels.svg/1000px-Carbon14_with_activity_labels.svg.png)

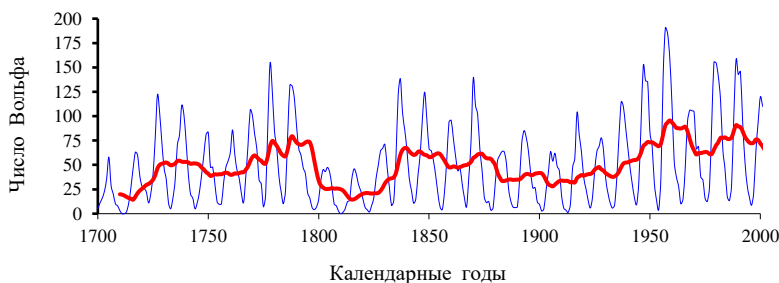


Рис. 1.3. Динамика солнечной активности за 300 лет инструментальных наблюдений

В периоды всех минимумов солнечной активности происходило значительное похолодание, особенно сильно выраженное во время минимума Маундера и названное малым ледниковым периодом (МЛП). Наиболее заметно он проявился в северном полушарии Земли (Grove, 1988; Леви, 2014; Федоров, Фролов, 2020). Временной интервал этого события был достаточно протяжённым и, по оценкам некоторых специалистов

(Ladurie, 1971; Lamb, 1972; Matthew, Briffa, 2005; Abrupt onset ..., 2012; The Little ... , 2017), продолжался приблизительно 580 лет с 1300 по 1880 год. В течение МЛП среднегодовая температура воздуха в Северном полушарии была наиболее низкой за предшествующие 2 тысячи лет (Pfister et al., 1996; Winter air ..., 1998; Global signatures ..., 2009). Максимальное похолодание в Европе наблюдалось в 1433 году. Относительное потепление началось только в 1440 году, однако с 1560 года температура вновь начала медленно понижаться. В Гренландии начали наступать ледники, летнее оттаивание грунтов становилось всё более кратковременным, а к концу XVI века здесь прочно установилась вечная мерзлота и исчезли поселения викингов. Замерзли не только каналы в Голландии, по которым катались на коньках (рис. 1.4), но также Темза и Дунай, а в 1621-1669 годах замерзали Черное море и пролив Босфор.



Рис. 1.4. Хендрик Ван Аверкамп. Ледяные забавы возле города (1608 г.)

Новую волну похолодания Европа пережила в 1740-е годы, а в 1784 году в окрестностях Парижа устойчивый снежный покров сохранялся до конца апреля (Kosłowski, Glaser, 1995). МЛП предшествовал малый климатический оптимум, отмечавшийся в X-XIII веках и характеризовавшийся сравнительно тёплой и ровной погодой, мягкими зимами и отсутствием сильных засух. Самым же теплым на Русской равнине за последние 2 тыс. лет был X век. С 1808 по 1814 год зимы на севере Европы, как писал известный климатолог А.И. Воейков (1948), были необычайно холодными. Во многих местах России, включая Москву, наблюдатели отмечали, что в градусниках замерзала ртуть. Историки, упоминающие о войне между Россией и Швецией в 1808-1809 годах, замечают, что необычайно длинная и суровая зима была очень благо-

приятна для русских войск, дав им возможность перейти в Швецию двумя путями: по льду средней более узкой части Ботнического залива и через Аландские острова к Стокгольму. В 1823, 1849 и 1862 годах вновь замерзал пролив Босфор (рис. 1.5). Причиной МЛП явилось не только уменьшение солнечной инсоляции, но и увеличение вулканической активности (Леви, 2014).



Рис. 1.5. Айвазовский И.К. Замерзший Босфор под снегом (1874 г.)

Климатические события МЛП в целом, как и резкие его изменения в отдельные годы, должны были найти, несомненно, четкое отражение в динамике годичного прироста деревьев, однако это встречается далеко не во всех публикациях по дендрохронологии (Fritts, 1962, 1976, 1991; Молчанов, 1976; Ваганов и др., 1996), что ставит под сомнение правильность методики реконструкции колебаний значений метеорологических параметров.

Понятие солнечной активности поначалу отождествлялось с изменением числа пятен на видимом диске Солнца, которые на протяжении многих лет были единственным доступным источником информации. Солнечная активность, однако, чрезвычайно сложное и многообразное явление, представления ученых о котором за последние десятилетия полностью изменились и стали сравнимы с прежними, по образному выражению В. Н. Обридо и Ю. А. Наговицына (2017), как цветная картина маслом и начальный набросок её углем. Солнечные пятна даже в максимуме активности светила занимают лишь несколько тысячных

долей его видимой поверхности, поэтому числа Вольфа и числа групп пятен являются с физической точки зрения малообоснованными индексами солнечной активности, включающей в себя много разносторонних, иногда пространственно и не синхронных, но физически связанных процессов. Различные стороны активности Солнца, кроме числа пятен, их групп и суммарной площади, отражает яркость короны, потоки рентгеновского, ультрафиолетового и радиоизлучения, значения величин которых также варьируют во времени с определенной периодичностью. В то же время на Солнце повсюду встречаются магнитные поля, образующие сложную систему разного масштаба, для которых тоже характерна циклическая вариация, наиболее адекватно отражающая динамику солнечной активности. Особое значение для оценки солнечной активности имеет тот факт, что более 90 % солнечного магнитного потока может быть сконцентрировано, как отмечают В.Н. Обридко и Ю.А. Наговицын (2017), в тонкоструктурных элементах – узлах или жгутах, где его напряжённость достигает очень больших величин.

Во второй половине XX столетия с началом запусков космических аппаратов были обнаружены такие новые явления на Солнце, как солнечные вспышки, корональные выбросы массы и корональные дыры, которые энергетически гораздо мощнее, чем пятна, и их количество может служить индексом вариации солнечной активности (Обридко, Наговицын, 2017). Солнечные вспышки происходят очень часто, по несколько событий в день, и, как правило, в областях со сложной структурой магнитного поля. Это значит, что Солнце вообще нельзя выпускать из виду: пропуск даже нескольких минут может иметь весьма серьёзные последствия, и необходим круглосуточный мониторинг. Было открыто также явление солнечного ветра, представляющего собой потоки заряженных частиц и облака плазмы, заполняющих гелиосферу, которая простирается за пределы Солнечной системы, защищающего Землю и все остальные планеты от мощного потока космических лучей.

Каждый цикл солнечной активности характеризуется, кроме отмеченных выше показателей, также его продолжительностью, причины и механизмы изменения которой до сих пор не имеют, однако, какого-либо физического объяснения (Обридко, Наговицын, 2017). Да, ученые понимают, что основную роль в генерации магнитных полей играют дифференциальное вращение и механизмы адвекции и диффузии, но объяснить, почему этот цикл имеет именно такую продолжительность и почему он устойчив на протяжении многих тысячелетий, пока определенно не могут. Показано, что наблюдавшаяся за последние 400 лет периодичность солнечной активности не может быть объяснена теорией

магнитного динамо и феноменологической моделью Бэбкона-Лейтона. Некоторыми исследователями (Котов и др., 2012) выдвинуто предположение, что она имеет космологическую природу, о чем свидетельствует согласие средней продолжительности цикла с голографической временной шкалой Вселенной. Это предположение, однако, не позволяет объяснить причины сбоя 11-летних циклов и возникновения длительных периодов низкой активности Солнца. Другие ученые (Никулин, 2009; Охлопков, 2012, 2013) утверждают, что циклы солнечной активности связаны с воздействием на наше светило планет Солнечной системы, особенно Венеры, Земли и Юпитера, период обращения последнего из которых вокруг Солнца составляет 11,86 земных года. Влияние планет на Солнце осуществляется при этом в основном не за счет силы гравитации, а за счет электродинамического воздействия. При обращении планет вокруг Солнца ими генерируются, согласно теории Максвелла, электромагнитные поля, взаимодействие которых, как отмечает А.В. Сухарев (2004, 2012), неизбежно порождает волновой космический резонанс. Наконец, нельзя исключать связи солнечной активности с активностью других звезд и вспышками сверхновых, и всячески поддерживать, как считают В.Н. Обридко и Ю.А. Наговицын (2017), их изучение.

Исследования вариаций поступающей к Земле солнечной радиации, связанной с изменением физической активности нашего светила и небесно-механическими процессами, имеют давнюю историю (Миланкович, 1939; Шараф, Будникова, 1967, 1968, 1969; Белецкий, 1972; Vernekar, 1972; Витинский и др., 1976; Кондратьев, Никольский, 1978; Berger, 1978, 1988; Мирошниченко, 1981; Витинский, 1983; Хргиан, 1986; Кондратьев, 1987; Laskar, 1988; Berger, Loutre, 1991; Владимирский, Темурьянц, 2000; Монин, Шишков, 2000; Сидоренков, 2002; Владимирский и др., 2004; Дзюба, Панин, 2007; Абдусаматов, 2009; Dudok, Watermann, 2010; Fedorov, 2012, 2013, 2014; Федоров, 2015; Обридко, Наговицын, 2017). Долгопериодные колебания в приходе солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы связаны прежде всего с периодическими изменениями элементов земной орбиты, наклона земной оси и временем предварения равноденствий. Так, эксцентриситет орбиты, характеризующий её отклонение от круговой, испытывает колебания с периодами 100, 415–420 и 1200 тысяч лет. Наклон земной оси изменяется от $22^{\circ}06,8'$ до $24^{\circ}56,8'$ (современное значение $23^{\circ}45'$) с периодичностью 23, 41 и 200 тыс. лет. Изменение прецессии (времени предварения равноденствий) происходит с периодами 19 и 23 тыс. лет и определяется положением оси вращения Земли в пространстве под влиянием притяжения Луны и планет Солнечной системы.

Интенсивное развитие в последние десятилетия астрофизики, геофизики, палеонтологии, палеомагнитологии и других естественных наук способствовало построению более ясной картины окружающего мира, важнейшим элементом которой можно считать представление о Солнечной системе как о системе синергетической, где в процессе длительной эволюции сформировался некий единый колебательный режим движения планет (Молчанов, 1973, 2013; Белецкий, Хентов, 1975; Сухарев, 2004, 2012). Планеты и их спутники, как электрически заряженные тела, воздействуют друг на друга и на Солнце не только посредством гравитации, но и посредством магнитных полей, изменяя потоки заряженных частиц, вызывая волновые электромагнитные резонансы и выступая тем самым главными «возмутителями» всех явлений, процессов и событий в ближнем космосе. Подобные закономерности отображают фундаментальный принцип самоорганизации систем, который выражается в мощном стремлении природы к формированию структур, строго упорядоченных во времени и в пространстве. Солнце, планеты и их спутники представляют собой, таким образом, открытую, автоматически регулируемую, колебательную большую самоорганизующуюся систему. Условия резонанса определяются равенством частот вынужденных, т.е. определяемых действием внешних силы, и собственных колебаний.

Спектральный анализ кислородно-изотопных данных глубоководных океанических осадков и ледяных кернов, отражающих изменение температуры воды и объемов континентальных льдов в разные эпохи прошлого, показал, что наиболее четко выделяются колебания с периодами 20, 40 и 100 тысяч лет, близкие к периодам изменения элементов земной орбиты. Это явилось весьма убедительным свидетельством в пользу астрономической теории чередования ледниковых и межледниковых периодов в плейстоцене (Будыко, Васищева, 1971; Будыко и др., 1986; Зубаков, 1986; Котляков, 2000; Изменения климата ..., 2001).

Приходящие от Солнца облака плазмы, заполняя гелиосферу, затрудняют приход к Земле галактических космических лучей, обладающих очень высокой энергией, и изменяют текущее состояние магнитосферы Земли, которая простирается на расстояние более 50 тыс. км от её поверхности и защищает биосферу от космического излучения (Russell, McPherron, 1973; Акасофу, Чепмен, 1975; Коваленко, 1983; Cliver et al., 2002; Operative center ..., 2005; Писанко, 2011; Солнечная активность ..., 2013). Наблюдения показывают, что интенсивность галактических лучей вблизи орбиты Земли в годы максимума солнечного цикла существенно снижается, а в минимуме же цикла, когда межпланетное маг-

нитное поле ослабевает, напротив, увеличивается. Чем ниже солнечная активность, тем выше интенсивность галактических космических лучей, и наоборот. Космические же лучи, в свою очередь, воздействуют на состояние верхней земной атмосферы, оказывают определенное влияние на атмосферное электричество, способствуют конденсации водяного пара в атмосфере Земли и увеличению облачности, существенно изменяя, тем самым, стабильность работы ее климатической системы (Neher, 1971; Веретененко, Пудовкин, 1994; Ролдугин, Вашенюк, 1994; Ion balance ..., 1997; Marsh, Svensmark, 2000, 2003; Крымский, 2005; Кудрявцев, Юнгнер, 2008, 2011; О природе ..., 2009; Ермаков и др., 2009; Распопов, Веретененко, 2009; Кривоуцкий, Репнев, 2012; Васильев и др., 2014; Ивлев, Довгалоук, 2015).

Солнце воздействует на магнитосферу Земли не прямым своим излучением в видимой части спектра, т.е. фотонами, а солнечным ветром, состоящим из потока корпускулярных электрически заряженных частиц, мощность которых достигает иногда миллиарды мегатонн в тротиловом эквиваленте – столько энергии вся наша цивилизация могла бы потребить за миллион лет. Магнитосфера же Земли представляет собой «облако» электрически заряженных частиц, которое «сплющено» с солнечной стороны планеты и сильно вытянуто с теневой. Оно весьма неоднородно и разделено на ряд поясов. Внутренний пояс, простирающийся до высоты около 10 тыс. км, образуется в результате разрушения атомов атмосферных газов космическими электрически заряженными частицами, приходящими от Солнца и дальнего Космоса, которые движутся почти со скоростью света и обладают большой разрушительной силой. Во внутреннем поясе наблюдается в основном концентрация протонов, а во внешнем же – электронов с энергией частиц порядка 100 тыс. электрон-вольт. Части распавшихся атомов атмосферы также электрически заряжены и двигаются в магнитном поле Земли по его силовым линиям от экватора к полюсам, где их присутствие проявляется в виде полярных сияний.

Магнитное поле Земли весьма нестабильно и изменяется в пространстве и времени сложным образом. Одной из важных его особенностей является систематический дрейф магнитных полюсов. Так, по результатам прямых измерений, положение Северного магнитного полюса с 1904 года сместилось из Канадского Арктического архипелага через Ледовитый океан по направлению к Восточной Сибири на расстояние более 1100 км. Скорость его движения до 1970 года составляла примерно 9 км/год, а в настоящее время уже более 50 км/год (Recent acceleration ..., 2002; Кокоуров, 2005). Движение географических полюсов Зем-

ли вызвано сезонными перемещениями масс атмосферы и океана, а также влиянием упругих и вязких свойств литосферы. Переменная же компонента магнитного поля Земли создается электрическими токами в ионосфере и магнитосфере. Она испытывает флуктуации различных временных масштабов, в результате чего сила магнитного поля ослабла за последнее столетие на 10 %. Сильные изменения напряженности геомагнитного поля получили название геомагнитных бурь, интенсивность и количество которых также варьирует во времени.

Существует два основных класса явлений, способных вызвать магнитную бурю на Земле: прохождение корональной дыры через центр солнечного диска и эруптивные явления (вспышки, исчезновения волокон) в центральной зоне солнечного диска (Обридко, Наговицын, 2017). Этим классам солнечных явлений соответствуют два типа геомагнитных возмущений: высокоскоростные потоки солнечного ветра из низкоширотных корональных дыр и крупномасштабные выбросы солнечного вещества (Солнечная активность ..., 2013). И в том и в другом случае у Земли, как правило, возрастает скорость солнечного ветра, но самые большие скорости (иногда >2000 км/с) связаны с потоками из корональных дыр, вызывающими на Земле наиболее мощные и продолжительные магнитные бури. Однако далеко не всегда влияние этих источников магнитных бурь можно разделить, т.к. они часто действуют одновременно, создавая сложные межпланетные возмущения и геомагнитные эффекты смешанной природы. Солнечный ветер испытывает также мощные возмущения со стороны космических лучей, обладающих очень высокой энергией. Время распространения возмущений от Солнца к Земле составляет от 15 часов до 6 дней. Магнитные бури продолжаются обычно 1–2 дня и менее, но часто приводят к нарушениям радиосвязи на коротких волнах и многочисленным помехам.

Самое мощное воздействие солнечной активности на Землю оказывают солнечные вспышки, которые развиваются в активных областях нашего светила и затрагивают всю толщу его атмосферы. Размеры этих вспышек весьма внушительные: высотой до 100 тыс. км и площадью до 1000 км². Продолжаются они от нескольких минут до нескольких часов. Количество вспышек составляет от одной за несколько месяцев до 10–20 за сутки (до 1100 за месяц). С 1947 года по настоящее время в среднем за месяц происходило 437 вспышек разной интенсивности (14 вспышек за сутки). В максимально активный год на Солнце происходит около 11 тыс. вспышек, из которых примерно только 30 наиболее мощных. Энергия большой солнечной вспышки достигает величины, равной взрыву 10 мегатонных водородных бомб, что в 100 раз больше тепловой энергии,

полученной при сжигании всего углеводородного сырья на Земле. И это количество энергии испускается всего за $1/20$ долю секунды, однако оно составляет лишь сотую долю процента от мощности полного излучения Солнца. Вспышки порождают поток всевозможных излучений, которые через 26 часов вызывают на Земле магнитные бури. Особо опасны для Земли протонные вспышки, которые происходят на видимой стороне экватора Солнца (подобное отмечено, например, в октябре 2003 года). Во время вспышек возникают большие всплески радиоизлучения сначала на коротких, а затем и на длинных волнах (в метровом диапазоне радиоизлучение возрастает на несколько минут в миллионы раз).

Первое документальное описание магнитной бури было сделано, как отмечают В.Н. Обридо и Ю.А. Наговицын (2017), английским астрономом-любителем Р. Кэррингтоном, который 1 сентября 1859 года вел обычные зарисовки солнечных пятен, и в какой-то момент его внимание привлекли четыре небольших ярких пятнышка в большой группе пятен. Это было первое наблюдение самой мощной, как потом было установлено, за всю историю наблюдений солнечной вспышки, которая была видна даже невооруженным глазом. Через 17 ч 40 мин в Америке и Европе были зарегистрированы серьезные нарушения проводной телеграфной связи, продолжавшиеся в течение нескольких часов. Той же ночью полярные сияния появились в небе Рима, Гаваны и Гавайских островов – единственный случай их наблюдения вблизи экватора.

Огромное пятно на Солнце радиусом примерно в 150 тыс. км было замечено астрономами 13 мая 1921 года, а 15 мая на Земле разразилась магнитная буря, которая получила название «железнодорожный шторм», поскольку вывела из строя половину техники Нью-Йоркской Центральной железной дороги и оставила без телеграфной связи почти всё Восточное побережье США. Сильная геомагнитная буря была отмечена также 24 марта 1940 года, во время которой на нескольких электрических подстанциях северо-востока США вышли из строя силовые трансформаторы и частично прекратилась подача электроэнергии в штатах Новая Англия, Нью-Йорк, Миннесота и Пенсильвания. Самая крупная группа пятен на Солнце появилась в апреле 1947 года, а 8 апреля она достигла своего максимума 18,13 млрд км², что больше размеров Земли в 100 раз. Самая долгоживущая группа солнечных пятен наблюдалась в июне 1943 года и просуществовала 200 дней. Одна из крупнейших в XX столетии вспышек на Солнце, вызвавшая магнитную бурю, произошла 23 февраля 1956 года. Следующая солнечная вспышка и геомагнитная буря, приведшая к аварии энергосистемы канадской провинции Британская Колумбия, были зафиксированы в августе 1972 года.

Мощная геомагнитная буря, последовавшая за вспышкой на Солнце, произошла 14 марта 1989 года. Она привела к помехам в радиосвязи во всем мире, выходу из строя высоковольтных линий электропередач в канадской провинции Квебек, а также северных провинциях США.

Мощную солнечную вспышку «засекли» искусственные спутники Земли 14 июля 2000 года в день взятия Бастилии. Выброс был настолько сильным, что его регистрировали даже аппараты Вояджер-1 и Вояджер-2, находившиеся в это время уже на краю Солнечной системы. По всей Земле отмечались перебои с радиосвязью. Аномально большой поток солнечных частиц наблюдался 7 ноября 2004 года, а через два дня разразилась экстремальная магнитная буря. Вспышка рекордной мощности была отмечена 5 декабря 2006 года, которую от начала до конца отслеживали два космических аппарата STEREO, однако её действие не было направлено в сторону Земли. Крупные вспышки, вызвавшие магнитные бури, яркие полярные сияния и помехи в радиосвязи, произошли также в 2011, 2012, 2015 и 2017 годах.

Геомагнитные возмущения описываются целым рядом индексов, наиболее распространенным из которых является aa-индекс, хорошо коррелирующий с другими параметрами геомагнитной активности (Обридко, Наговицын, 2017). Он вычисляется на основе измерений горизонтальной компоненты магнитного поля Земли, наблюдаемого для 3-часовых интервалов на антиподальных станциях в Южной Англии и Австралии. Одним из важных достоинств имеющегося ряда значений этого индекса является его сравнительно большая продолжительность (с 1868 года до наших дней), однако и этого интервала часто не хватает для практики геофизических и гелиогеофизических исследований. В качестве основного физического параметра воздействия солнечного и межпланетного магнитного поля на геомагнитные возмущения, климат и биосферу Земли в последнее время чаще всего стали рассматривать так называемый открытый солнечный магнитный поток (Wang et al., 2000, 2002; Солнечная активность ..., 2013; Обридко, Наговицын, 2017), напряжённость которого выросла за XX столетие, по данным одних исследователей, в два раза, а других – всего лишь на 20 %.

Геомагнитная активность хотя и является отражением солнечной, однако текущая геофизическая обстановка – явление комплексное, для полной характеристики которой необходимо располагать информацией о состоянии магнитосферы Земли, межпланетной среды, а также объектов, находящихся в дальнем космосе: квазарах, пульсарах, магнетарах и черных дырах (Пушков, 1974; Акасофу, Чепмен, 1975; Joselyn, 1995).

Исследования показали, что геомагнитная активность имеет четко выраженную сезонную изменчивость с максимумами вблизи дней весеннего и осеннего равноденствий и с минимумами в июне и декабре около дней солнцестояния, хотя в отдельные годы эта закономерность существенно искажена или даже практически отсутствует, что объясняется возмущениями солнечного ветра межпланетным магнитным полем (Кокоуров, 2005; Обридко, Наговицын, 2017). Так, в многолетней динамике значений aa-индекса также четко прослеживается 11-летний цикл, однако в ряде случаев отмечается их смещение по фазе по отношению к циклу чисел Вольфа (рис. 1.6), что связано с вариациями магнитного поля гелиосферы и степени насыщенности её галактическими лучами (Feynman, 1982; Vennerstrom, Friis-Christensen, 1996).

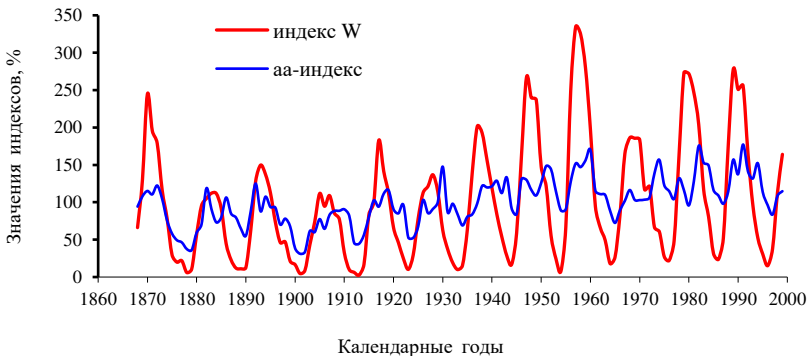


Рис. 1.6. Динамика значений индексов геомагнитной и солнечной активности

Значительное снижение корреляции между солнечной и геомагнитной активностью, произошедшее приблизительно в середине XX века (Kishcha et al., 1999), связано во многом с особенностями деятельности самого светила. Дело в том, что магнитные возмущения разделяются на два типа: магнитные бури с внезапным началом и магнитные бури с постепенным началом (Солнечная активность ..., 2013). Коэффициент корреляции между числом солнечных пятен и встречаемостью бурь с внезапным началом довольно велик ($0,872 \pm 0,06$), а между встречаемостью бурь с постепенным началом практически равен нулю. Магнитные бури с внезапным началом определяются выбросами вещества, а бури же с постепенным началом связаны с высокоскоростными потоками из корональных дыр, количество которых возрастает на фазе спада цикла. Поэтому эти магнитные бури смещены во времени на несколько лет. За последние 100 лет геомагнитная активность возросла в 2 раза, а за по-

следние 300 лет – даже в 4-5 раз (Lockwood et al., 1999). Результаты математического моделирования изменений aa-индекса показали, что экстремально высокие его значения отмечались в 1360-1385, 1945-1960 и 1975-2000 годах, а экстремально низкие – в 1295-1340, 1414-1422, 1455-1490, 1640-1715 и 1807-1813 годах (Обридко, Наговицын, 2017). Это свидетельствует о наличии минимумов геомагнитной активности типа Маундеровского (вторая половина XVII века) с продолжительностью 35–75 лет и минимумах типа Дальтоновского (начало XIX века) с длительностью 5–8 лет.

Механизм возможного влияния солнечной активности на климат Земли связан, по мнению ряда исследователей (Шнейдер, 1980; Герман, Голдберг, 1981; Витинский и др. 1986; Хргиан, 1986; Авдюшин, Данилов, 2000; Монин, Сонечкин, 2005; Алексеев, 2007; Авакян, 2008, 2012; Обридко, 2011; Обридко, Наговицын, 2017), в основном с изменениями земного альбеда вследствие вариаций облачности, повышенный уровень которой возникает в результате концентрации заряженных атмосферных капель воды, ионизированных в тропосфере галактическими космическими лучами. Поток последних активно модулируется, в свою очередь, гелиосферой, а её состояние напрямую зависит от солнечной активности (Крымский, 2005; Солнечная активность ..., 2013; Обридко, Наговицын, 2017). При увеличении солнечной активности повышается напряженность магнитного поля в гелиосфере, увеличивается плотность солнечного ветра и возрастает количество корональных выбросов массы. Все эти факторы, воздействуя на магнитосферу Земли, препятствуют доступу галактических космических лучей к Земле, которые обычно ответственны за возникновение ядер конденсации в земной атмосфере. Рост их потока приводит к увеличению облачности и влияет на глобальную электрическую цепь в атмосфере. Увеличение же облачности уменьшает температуру Земли и наоборот. Здесь работают два механизма: сокращение доступа солнечного излучения к Земле и парниковый эффект.

Ситуация, конечно же, не так проста, и наблюдаемые эффекты сильно меняются от одной области Земли к другой. Вариация солнечной активности приводит, кроме того, к увеличению потоков коротковолнового излучения нашего светила, также оказывающего влияние на атмосферные процессы. Расчеты, проведенные В. Н. Обридко и Ю. А. Наговицыным (2017), показали, что вклад солнечной активности в изменения глобальной земной температуры в целом невелик и сильно зависит от масштаба циклов: для 11-летних он составляет около 1 % и постепенно увеличивается, достигая 40–50 % для 200-летнего цикла Жюсса.

Такой подход к оценке солнечно-земных связей является, на наш взгляд, довольно упрощенным. Дело в том, что климатическая система Земли работает по своим законам в саморегулирующемся режиме на основе обратных связей между её различными частями: атмосферой, океаном, ледниками, горами, лесами, пустынями и проч. Солнце вызывает лишь некоторые изменения в работе этой сложной системы, не нарушая в целом имеющиеся связи, но запуская в ней новые процессы, являясь их триггером. Величина отклика климатической системы при этом не пропорциональна в большинстве случаев силе воздействия на неё и запаздывает во времени по отношению к поступившему сигналу. Использование простой корреляционной связи между явлениями в этом случае некорректно.

Вариабельность климата во многом зависит от радиации, приходящей на верхнюю границу тропосферы, которая получила название «метеорологической солнечной постоянной» (Будыко, 1974, 1980; Кондратьев, Никольский, 1978; Шнейдер, 1980; Мирошниченко, 1981; Монин, 1982; Витинский, 1983; Витинский и др., 1986; Хргиан, 1986; Кондратьев, 1987). Её величина, как установлено (Теоретические ..., 2019), испытывает значительные короткопериодные колебания в результате изменения концентрации в стратосфере аэрозоля, являющегося неотъемлемой природной составляющей атмосферы в целом и стратосферы в частности (Юнге, 1965; Hunten, 1975; Кондратьев, 1981; Кондратьев и др., 1983, 2007; Петрянов-Соколов, Сутугин, 1989; Ивлев, Довгалюк, 1999; Израэль и др., 2007). Аэрозольные частицы могут поступать в стратосферу как из ниже- и вышележащих слоев атмосферы, так и образовываться непосредственно в самой стратосфере. Выделено пять основных источников поступления аэрозольных частиц в стратосферу: вещества космического происхождения, прямой вынос газов-предшественников и собственно аэрозольных частиц из тропосферы в стратосферу, образование аэрозольных частиц в самой стратосфере в результате химических газофазных реакций, выброс двигателей высотной авиации и вулканических извержений (Теоретические ..., 2019).

Одним из важнейших источников стратосферных аэрозолей размером более микрона является поток метеоритов, интенсивность которого колеблется в широких пределах – от 0,015 до 5 Мт/год (Юнге, 1965; Лебединец, 1976; Hunten et al., 1980; Кондратьев и др., 1983; Барабанов, 1985; Ивлев, Довгалюк, 1999; Thomason, Peter, 2006; Inferring ..., 2014). Земля подвергается постоянной бомбардировке веществом из космоса. Вторгающиеся объекты различаются по размеру от камней весом в несколько килограммов до микроскопических частиц, весящих меньше

миллионной доли грамма. Метеорное вещество обычно входит в атмосферу со скоростью около 15 км/с, хотя в зависимости от направления по отношению к движению Земли скорость колеблется от 11 до 73 км/с. Частицы среднего размера, нагреваясь от трения, испаряются на высоте порядка 120 км и, оставляя кратковременный след ионизированного газа, гаснут к высоте порядка 70 км. На высоте более 20 км аэрозольные частицы менее 0,01 мкм имеют в основном метеоритное происхождение, а в нижних слоях атмосферы их доля составляет уже менее 10 % (Effects of meteoric, 1981).

Установлено (Ермаков и др., 2009; Огурцов, Распопов, 2011), что атмосферный аэрозоль метеорной природы служит ядрами конденсации влаги, а заряженные метеорные частицы, время осаждения которых с высоты 100 км до поверхности Земли составляет около недели, изменяют глобальную токовую цепь. Это в итоге отражается на атмосферных процессах, изменяя глобальную облачность, альбедо и климат Земли.

Влияние метеорной пыли на вариабельность количества атмосферных осадков впервые обнаружил в середине прошлого века австралийский исследователь Е. Боуэн (Bowen, 1953), хотя о возможной связи этих явлений и необходимости её изучения еще ранее писали, как отмечает Е.А. Леонов (2010), русские ученые Ф.Н. Шведов и В.И. Вернадский. Факт влияния метеорных потоков, многие из которых связаны с кометами, на формирование облачного покрова Земли, вариацию выпадения количества атмосферных осадков и величины стока рек, а также температуры воздуха достоверно подтвержден в настоящее время на богатом эмпирическом материале (Дмитриев, Кузменко, 1965; Изменчивость осадков ..., 1990; Мартынов, 1998; Леонов, 2010; Ретеюм, Россинская, 2011). Так, Е.А. Леонов (2010) указывает на статистически достоверную связь между кометной активностью и стоком рек (табл. 1.1), а А.Ю. Ретеюм и Т.М. Россинская (2011) отмечают, что при прохождении наиболее мощных и регулярных метеорных потоков суточные осадки в Московской области в 1,5–2 раза увеличиваются в дни пика активности или же с запаздыванием на двое суток. Ими, кроме того, обнаружена погодная аномалия, связанная с потоком Леонид, отмечавшимся в ноябре 1965–1967 и 2000–2001 годов.

Кометы и связанные с ними метеорные потоки оказывают влияние, по данным некоторых исследователей (Дмитриев, Кузменко, 1965; Rao, 1998), на сейсмическую и вулканическую активность, а также иные стихийные бедствия. Удары метеорных потоков по атмосфере Земли приводят, как показали недавние исследования (Антонов, 2014, 2015, 2017, 2018; Абрамов, Бычков, 2018; Антонов, Антонова, 2019; Антонов, По-

номаренко, 2019), к сейсмическим и гравитационным пульсациям, имеющим исключительно большую амплитуду и воздействующим на все геофизические поля, приводя в итоге к вариациям климатических параметров. Эти пульсации синхронно регистрируются во всех пунктах наблюдений и имеют четко выраженную сезонность, однако далеко не все метеорные потоки вызывают их образование. Так, наиболее зрелищный метеорный поток Персеид, наблюдаемый в середине августа, практически не вызывает пульсаций, а вот потоку Центаврид (февраль), у которого зенитное число на два порядка меньше, соответствуют интенсивные и длительные пульсации. Это объясняется тем, что наблюдаемые метеоры создаются наиболее крупными частицами, а плотность метеорного потока чаще определяется мелкими частицами.

Метеорные потоки по ориентации к движению Земли делятся, кроме того, на догоняющие и встречные, так что момент силы удара зависит от скорости потока и угла его встречи с Землей. Если же комета и связанный с ней метеорный поток окажется между Солнцем и нашей планетой, то он, несмотря на низкую плотность в нем вещества, перекрывает путь заряженным частицам и ослабляет их воздействие на магнитосферу Земли и далее на магнитотеллурическое поле. Параллельно идет еще процесс уменьшения переноса тепла на Землю, что также отражается на вариациях климата.

Таблица 1.1

Влияние прохождения комет на сток некоторых рек Европы

Год пролета кометы	Название кометы	Величина среднего годового стока рек, м ³ /с			
		Рейн		Неман	
		до	после	до	после
1843	Исполинская	1655	2420 (+46 %)	350	484 (+38 %)
1866	Темпеля-Туттля	1554	2163 (+39 %)	456	552 (+21 %)
1900	Темпеля-Туттля	1964	2146 (+9 %)	604	524 (-13 %)
1910	Галлея	1771	2782 (+57 %)	507	574 (+13 %)
1914	Делована	1980	2523 (+27 %)	587	588 (+0,2 %)
1957	Мркоса	1941	2446 (+26 %)	515	775 (+50 %)
1965	Икея-Секи	1355	2955 (+118 %)	403	455 (+13 %)
1966	Темпеля-Туттля	2364	2651 (+12 %)	479	481 (+0,4 %)
В среднем		1823	2511 (+38 %)	488	555 (+14 %)

Кометы и метеорные потоки воздействуют на все геофизические поля и климатическую систему нашей планеты, таким образом, несколькими путями: 1) метеорная пыль и трассы ионизированного её частица-

ми воздуха способствуют конденсации влаги в тропосфере и стратосфере; 2) заряженные метеорные частицы, находящиеся в мезосфере, изменяют общее атмосферное сопротивление и таким образом влияют на глобальную токовую цепь; 3) потоки метеоритной пыли, входя в атмосферу планеты, приводят к сейсмическим и гравитационным пульсациям, имеющим исключительно большую амплитуду; 4) кометы и связанные с ними метеорные потоки, находясь между Солнцем и нашей планетой, перекрывают путь заряженным частицам, ослабляют их воздействие на магнитосферу Земли и уменьшают в некоторой степени поступление света, т.е. видимой части электромагнитного излучения. Круговорот воды на нашей планете, как следует из этого, регулируется не только солнечной энергией, но и потоками космического вещества. Необходимо отметить, что влияние на климат и биосферу Земли комет, которых в прошлом недаром считали предвестниками природных катастроф и социальных бедствий, изучен в целом крайне слабо и требует пристального внимания исследователей.

Большинство комет и метеорных роев являются членами Солнечной системы и обращаются вокруг Солнца по определенным орбитам, периодически вновь возвращаясь к Земле. В настоящее время известно около 30 крупных метеорных потоков, регулярно посещающих окрестности нашей планеты, и несколько сотен более мелких, поведение которых исследовано пока еще слабо. Часть метеорных потоков врзается в атмосферу Земли ежегодно (табл. 1.2), а часть же с гораздо большей периодичностью. Так, например, период обращения кометы Энке составляет 3,3 года, Лекселя – 5,5 лет, Джакобини-Циннера – 6,4 года, Темпеля-Тутля – 33 года, Галлея – 75,5 года, а Свифта-Таттла – 133,3 года. Наблюдаются также спорадические потоки, связанные с различными кометами. В 1908 году к окрестностям Земли приблизилась комета Морхауза, в 1961 – Хьюмасона, в 1965 – Икэя-Сэки, в 1976 – Веста, а в 2006 – Макнота.

Интенсивность метеорных потоков не остается постоянной во времени, иногда наблюдаются так называемые «метеорные дожди» и даже «метеорные ливни». Так, встреча Земли с ядром потока, связанного с кометой Темпеля-Тутля, приводила к образованию метеорных дождей в 1799, 1833, 1866, 1933, 1966 и 1999 годах. В ночь с 13 на 14 ноября 1833 года за 7 часов наблюдений было зарегистрировано свыше 240 тыс. падений метеоров и они падали, по словам Б.А. Воронцова-Вельяминова (1976), как хлопья снега в зимнюю метель. В 1866 году за минуту отмечалось до 100 метеоров, в 1966 году метеорный дождь продолжался всего лишь 20 минут, но в каждую из них вспыхивало свыше 1 тыс. метео-

ров, а в 1999 году их число достигало 5 тыс. в час. Зрелищные метеорные потоки, не связанные с этой кометой, наблюдались в 1803, 1852, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877, 1882, 1885, 1887, 1903 и 1912 годах, когда по ночам на небе в течение часа можно было увидеть несколько тысяч метеоров. В октябре 1933 года, когда произошла встреча Земли с метеорным потоком, порожденным кометой Джакобини-Циннера, за час пролетало до 25 тыс. метеоров. Метеорные дожди, связанные с различными потоками, наблюдались в разных районах Земного шара также в 1922, 1938, 1946, 1947, 1952, 1966, 1980, 1984, 1985 и 2003 годах.

Таблица 1.2

Большие ежегодные метеорные потоки

Название потока	Параметры потока		Даты проявления	
	V, км/с	N, шт./ч	максимум	пределы
Квадрантиды	41	120	3 января	28.12-12.01
α -Центавриды	56	5	8 февраля	28.01-21.02
Лириды	49	18	22 апреля	16.04-25.04
эта-Аквариды	66	50	6 мая	19.04-28.05
Ариетиды	38	50	7 июня	14.05-24.06
Южные дельта-Аквариды	41	16	30 июля	12.06-23.08
Персеиды	59	150	13 августа	17.07-24.08
Ориониды	66	15	21 октября	02.10-07.11
Леониды	71	15	17 ноября	06.11-30.11
Пуппиды-Велиды	40	10	7 декабря	02.12-15.12
Геминиды	35	120	14 декабря	04.12-17.12
Урсиды	33	10	22 декабря	17.12-26.12

Наиболее значительные изменения концентрации аэрозоля (до трех порядков величины вариации) связаны с поступлением вулканического вещества в виде пепла и газов при мощных и катастрофических извержениях вулканов взрывного типа, которые доставляют их выбросы (пепел и газы) непосредственно в верхнюю тропосферу и стратосферу (Раст, 1982; Теоретические ..., 2019). Весьма значимо практически постоянное поступление вулканогенной серы в верхнюю тропосферу, откуда она в виде диоксида проникает в стратосферу. Количество аэрозольного вещества, поступающего в стратосферу при мощном вулканическом извержении, может достигать сотен мегатонн, т.е. превышать средний уровень в сотни и даже тысячи раз. Такие инъекции в стратосферу вулканогенных материалов ослабляют приходящую солнечную радиацию, в результате

чего происходит снижение температуры воздуха у земной поверхности. Исследования газового состава атмосферы в прошлом, выполненные на основе косвенных расчетов и прямых измерений газов в ледниковых кернах Гренландии и Антарктиды, показали, что содержание диоксида углерода, метана и закиси азота – основных парниковых газов, влияющих на температуру воздуха, испытывали значительные естественные колебания в прошлом (Climate and atmospheric ..., 1999; Котляков, 2000). По различным модельным и эмпирическим оценкам вулканические извержения в отдельные исторические периоды (например, во время похолодания «малой ледниковой эпохи») могли определять до 30 % изменчивости глобальной температуры (Crowley, 2000; Борзенкова и др., 2011; Теоретические ..., 2019).

Из всех вулканических газов наиболее важную роль в формировании стратосферного аэрозольного слоя играют серосодержащие газы, и прежде всего SO_2 . Существует постоянный поток этого газа из верхней тропосферы в нижнюю стратосферу в местах разрыва тропопаузы в тропических и средних широтах. Средняя годовая эмиссия SO_2 вулканического происхождения изменяется от года к году в широких пределах и составляет от 1,5 до 50 Мт. В процессе образования мелкодисперсного аэрозоля, состоящего из капелек серной кислоты, его масса значительно увеличивается (Zielinski, 2000).

Извержение вулкана может иметь климатический отклик, если, по оценкам специалистов (Global tracking ..., 1992; Stratospheric ..., 1997), в стратосферу поступает от 1 до 5 Мт SO_2 . Во время же катастрофического извержения исландского вулкана Лаки в 1783-1784 годах, которое явилось крупнейшим геологическим событием в истории Земли за последнюю тысячу лет, в стратосферу поступило не менее 95-120 Мт этого газа (Thordarson, Self, 2003), что привело к образованию более 200 Мт сернокислого аэрозоля (Atmospheric ..., 2007; Gao, 2008; Gao et al., 2008). Кислотное облако накрыло всю Европу, проникло в Северную Африку и Азию. При извержении вулкана Пинатубо в 1991 году на высоту более 30 км было выброшено около 17 Мт оксида серы, который в результате превращения в сернокислый аэрозоль увеличил свою массу до 30 Мт (McCormick et al., 1995; The atmosphere ..., 1996; Кондратьев и др., 2007). После мощных извержений вулканов наблюдается, как правило, значительное и продолжительное похолодание. Такое отмечалось, как установлено исследователями (D'Arrigo, Jacoby, 2003; D'Arrigo et al., 2006; D'Arrigo, Wilson, 2013; Леви, 2014), после извержений вулканов Саламас (1257), Кувае (1452), Билли Митчелл (1580), Лонг-Ай-

ленд (1660), Тамбора (1815), Ключевской (1820), Кракатау (1883), Косигуина и Санта-Мария (1902).

В процессе извержений в атмосферу поступает также большое количество водяного пара: во время слабой и умеренной вулканической деятельности оно составляет от 10 до 100 Мт/год, возрастая на порядок при мощных извержениях (Мархинин, 1958; Вулканы ..., 1986; Новейший ..., 2005). Так, при извержении вулкана Эль-Чичон в 1982 году в стратосферу было выброшено не менее 80 Мт водяного пара (Satellite ..., 1983), а при извержении Пинатубо (1991) – около 250-500 Мт (The atmosphere ..., 1996). В общем объеме вулканических выбросов количество водяного пара изменяется от 50 до 90 %. Второй по предстательности газ в вулканических выбросах (по объему до 40 %) – диоксид углерода. В вулканических выбросах присутствует также небольшое количество хлоринов, основное влияние которых на климат связано с уменьшением концентрации озона (Sulfur and halogen ..., 1979).

Наряду с вулканическими газами в атмосферу выделяется поток пепла и пыли, величина которого в тропосферу от постоянно «курящихся» вулканов и фумарол оценивается в довольно широких пределах – от 4 до 10 Мт в год, что примерно на два порядка меньше по сравнению с потоком пыли, поступающей в тропосферу от эрозии почв и пыльных бурь (Теоретические ..., 2019). Практически вся вулканическая пыль, поступающая в тропосферу, не достигает стратосферы из-за вымывания и гравитационного оседания, однако при мощных извержениях определенное её количество может достигать верхней тропосферы и даже нижней стратосферы, оказывая влияние на формирование облаков верхнего яруса и частично на образование стратосферного аэрозоля. Аномально большое количество тонкодисперсного пепла (до 10 Мт) было выброшено в стратосферу во время извержения вулкана Эль-Чичон в 1982 году (Вулканы ..., 1986). Влияние вулканического пепла на приход солнечной радиации к земной поверхности имеет чаще всего локальный и относительно кратковременный характер.

Химический состав и количество вулканических выбросов зависит от происхождения вулкана, а также типа извержения. Существует три основных типа вулканических извержений, способных оказать заметное влияние на состояние стратосферного аэрозольного слоя и термический режим у земной поверхности: 1) извержения вулканов островных дуг и континентальных окраин, 2) кальдерообразные извержения, 3) крупнейшие «трещинные» излияния базальтов в рифтовых зонах (Теоретические ..., 2019). Извержение вулканов островных и континентальных дуг и кальдерообразные извержения чаще всего носят эксплозивный

(взрывной) характер, в то время как извержения вулканов в рифтовых зонах имеют более спокойный (эффузивный или «трещинный») характер излияния магмы и других продуктов вулканического происхождения. Последствия же извержения определяют, кроме того, местоположение вулкана, мощность извержения, время года и текущая климатическая обстановка (Вулканы ..., 1986; Stratospheric ..., 1997). Температурная стратификация атмосферы, вертикальный профиль ветра, преобладающий тип циркуляции (циклонический или антициклональный), высота струйного течения и высота тропопаузы могут способствовать или, наоборот, препятствовать проникновению вулканических газов из верхней тропосферы в нижнюю стратосферу (Теоретические ..., 2019). Данные спутниковых наблюдений показали, что уже через 22 дня вулканическое облако от извержения вулкана Пинатубо (Филиппины, 1991) обогнуло земной шар (The atmosphere ..., 1996). В течение первого месяца после извержения оно на высоте 26 км распространилось от экватора до 30° с.ш., а к началу 1993 года стратосферный аэрозоль от извержения был зафиксирован уже в высоких широтах северного полушария на высотах от 18 до 26 км.

Различие эффектов воздействия вулканов на климат может быть продемонстрировано следующим примером. Так, при извержении вулкана Сент-Хеленс было выброшено существенно больше пылевых частиц, но в несколько раз меньше вулканических газов, содержащих соединения серы, чем при извержении вулкана Эль-Чичон. В результате этого извержение вулкана Эль-Чичон привело к снижению глобальной температуры у земной поверхности не менее чем на 0,2–0,3°C, а при извержении Сент-Хеленс понижения глобальной температуры практически не отмечено (Вулканы ..., 1986). Извержение вулкана Пинатубо вызвало впоследствии более сильное похолодание, чем извержение Кракатау, из-за большего количества выбросов SO₂ (Yang, Schlesinger, 2002).

Детальное изучение последствий «трещинных» извержений вулканов Исландии, происходящих обычно в течение длительного времени (от нескольких недель до нескольких месяцев и даже лет) при относительно низкой высоте тропопаузы в этих широтах (в зимнее время около 10–12 км и ниже) и являющихся важнейшими поставщиками серы в верхнюю тропосферу и нижнюю стратосферу, показало, что они играют существенную роль в изменении климата Земли (Zielinski, 2000; Thordarson, Self, 2003). Так, при извержениях вулканов Лаки и Гримсвётн в 1783 году в верхнюю тропосферу поступило количество серосодержащих газов, сравнимое с эмиссией этих газов от катастрофического извержения вулкана Тамбора в 1815 году (Thordarson, Self, 2003; Atmos-

pheric ..., 2007; Gao, 2008; Gao et al., 2008; Synchronous ..., 2008). Эксплозивные извержения (или извержения взрывного типа) являются основными поставщиками в верхнюю тропосферу и стратосферу различных продуктов вулканического происхождения, ответственных за формирование стратосферного аэрозольного слоя, оказывающего большое влияние на климат Земли. Процесс влияния на климатическую систему Земли извержения исландского вулкана Эйяфьятлайокудль, проснувшегося после почти 200-летней спячки весной 2010 года, осуществлялся, по данным исследователей (О роли ..., 2011), следующим образом. За двое – трое суток изверженное в тропо- и стратосферу облако вулканического пепла, газа, паров воды и прочих материалов с температурой около 1300 °С быстро распространилось на большой высоте к востоку над Северной Европой и достигло Кольского полуострова, что обусловлено вращением нашей планеты и особенностями циклонической деятельности. В начале мая это перегретое облако зависло над северными таежными и центральными лесными регионами России вплоть до Урала и начало отдавать свое тепло в атмосферу, преимущественно в нижние её слои. С востока распространению этого облака препятствовал северо-восточный антициклон. Холодные плотные воздушные массы северного региона не пропускали это облако, а более разреженный теплый воздух средней полосы не препятствовал его распространению над 21 областью Центральной и Восточной России. Установившаяся засушливая погода способствовала возникновению природных пожаров. Данный процесс продолжался вплоть до зимы 2011 года, пока тепло не рассеялось и не перемешалось с нижними слоями атмосферы. В Южном полушарии, напротив, в это же самое время наблюдались нехарактерные для этих широт морозы до -20°C и ниже, приведшие к выпадению большого количества снега, чего не отмечалось много лет.

Существует и иной взгляд на причину образования в 2010 году малоподвижного блокирующего антициклона и установления на долгое время экстремально жаркой и сухой погоды на большей части ЕТР. Эта погодная аномалия возникла, по мнению Н.С. Сидоренкова и К.А. Сумеровой (2011), в результате гравитационных сил в процессе медленного изменения взаимного положения Луны, Земли, Солнца, вращения их больших осей (апсид) и движения узлов их орбит. Изменения взаимных конфигураций в системе «Земля–Луна–Солнце» и изменения орбитальных параметров этих небесных тел порождают медленно движущиеся в околоземном пространстве гравитационные возмущения, которые индуцируют в атмосфере Земли барические волны (антициклоны и депрессии), перемещающиеся в ее пространстве.

Каким образом Луна, являющаяся холодным небесным телом, может влиять на колебания температуры воздуха на Земле? Дело в том, что приливы влияют на величину облачности в атмосфере: давно замечено, что в дни полнолуний и новолуний ясная погода случается чаще, чем в дни первой и третьей четвертей. При облачной погоде значительно уменьшается поступление солнечной радиации днем, зато ночью существенно сокращаются потери тепла за счет инфракрасного излучения. Поэтому при облачной погоде знаки аномалий температуры воздуха изменяются на обратные: днем и летом преобладают отрицательные аномалии, а ночью и зимой – положительные. Так, взаимодействие гравитационных эффектов Луны с радиационными условиями в атмосфере Земли из-за изменения облачности создают колебания суточных аномалий температуры воздуха с периодами 355, 206, 87 и 27 суток, амплитуда которых зависит от физико-географических условий местности.

Лунно-солнечные приливы являются основным механизмом вынужденной синхронизации атмосферных процессов на Земле, обуславливающим вариации метеорологических параметров (Sidorenkov, 2009; Сидоренков, Сумерова, 2010; Сидоренков, 2015). За 355 суток протекает ровно 13 сидерических (относительно звезд) и 12 синодических (относительно Солнца) лунных месяцев. Цикл 206 суток возникает из-за вращения большой оси лунной орбиты относительно большой оси земной орбиты. Совместно с лунными циклами проявляют себя и циклы больших планет, прежде всего Юпитера и Сатурна, периоды обращений которых (11,86 и 29,46 лет) имеют общее наименьшее кратное, равное 60 годам. Помимо лунного года, имеются еще более длительные циклы, одним из которых является давно известный в климатологии цикл Брикнера, длительность которого изменяется от 30 до 45 лет (Brückner, 1890), во многом связанный с астрономическими циклами и «биениями» в многолетнем ходе изменения метеорологических параметров.

Извержения вулканов, особенно мощных, приводят, как показали длительные лидарные наблюдения аэрозольного наполнения стратосферы, проводимые с 1976 года, к разрушению озонового слоя атмосферы, которое в конце XX века было беспрецедентным и носило аномальный характер (Тенденции ..., 2000; Зуев, 2008). Истощение озоносферы в этот период вызвало, в свою очередь, повышение уровня УФ-радиации, что привело к снижению продуктивности растений (Зуев, Бондаренко, 2007). Причем у вечнозеленых хвойных деревьев, являющихся основой бореальных лесов, этот стресс усиливался за счет кумулятивного эффекта, что четко проявилось в снижении их годовичного прироста (Trends ..., 2008). Лишь в 1996 году, когда аэрозольное содержание в страто-

сфере стало приближаться к фоновому уровню, озоносфера стала быстро восстанавливаться.

Радиационный режим планеты, который, как показано выше, определяет климат планеты, во многом зависит от альбеда подстилающей поверхности, изменяющегося со временем в зависимости от площади снежного покрова и ледников, а также степени их загрязнения выбросами вулканического пепла. Большое влияние на величину альбеда оказывают также облака, верхняя кромка которых может отражать до 90 % приходящей солнечной радиации. Они, однако, обладают и парниковым эффектом, поглощая уходящее от земной поверхности тепловое излучение. В целом для земного шара выхолаживающий эффект облаков, как показали исследования (Теоретические ..., 2019), преобладает над парниковым, но в зимнем полушарии они примерно равны между собой. Величина альбеда всей этой системы изменяется, в свою очередь, под действием мощных извержений вулканов взрывного типа в результате выпадения пепла и поступления его в стратосферу (Вулканы ..., 1986; Crutzen, 2006). Влияние единичного даже очень сильного извержения имеет, однако, ограниченный временной масштаб и продолжается не более 4–5 лет (Раст, 1982; Логинов и др., 1983; Логинов, 1984, 1992; Volcan ..., 1984; Логинов, Кравчук, 1986; Вулканы ..., 1986; Stoiber et al., 1987; Pyle et al., 1996; Schmincke, 2004; Crutzen, 2006). Заметное влияние на глобальную и региональную температуру воздуха у земной поверхности может оказать только серия достаточно мощных вулканических извержений, в результате которых в течение длительного времени поддерживается высокая концентрация аэрозоля в стратосфере (Lamb, 1970, 1983; Mitchell, 1970, Будыко, 1985; Будыко и др. 1986; Robock, Free, 1995, 1996; Муравьев, 2007; Хаин, Халилов, 2008; Елисеев, Мохов, 2008; Осика и др., 2011; Борзенкова, 2012; Бритков и др., 2014; Baillie, McAneney, 2015; Northern European ..., 2016; The Extratropical ..., 2016; Теоретические ..., 2019). Подобный сценарий мог иметь место, например, во время похолодания «малой ледниковой эпохи», когда в течение нескольких десятилетий происходили сильные извержения взрывного типа (Robock, 2000; Volcanism ..., 2008; Global ..., 2009).

В последние годы наблюдается значительный прогресс в развитии новых методов и технологий, позволяющих выявить динамику содержания аэрозоля в стратосфере и восстановить на основе этого изменение температуры воздуха в разных районах земного шара за несколько тысяч лет. Чаще всего в качестве источника информации используют керны льда из Антарктиды и Гренландии (Spatial-temporal ..., 2004; Northrn ..., 2005; D'Arrigo et al., 2006). Анализ температуры воздуха

внетропической зоны Северного полушария за последние 2000 лет показал, что периодам относительно слабой вулканической деятельности соответствовали низкие значения концентрации сернистого аэрозоля в стратосфере, близкие к фоновым, и высокие температуры воздуха в Северном полушарии. Пики же концентрации аэрозоля, обусловленные сильными и мощными вулканическими извержениями, соответствовали снижению температуры (Теоретические ..., 2019). Так, исследователи из Центра льда и климата (Институт Нильса Бора университета Копенгагена) обнаружили в слоях ледовых кернов из трех районов Гренландии следы крупного вулканического извержения, произошедшего в 536 году н.э. Масса выброшенных этим извержением в атмосферу газов, оказалась, по оценкам накопления сульфатов в ледовых колонках, на 40 % больше, чем при извержении вулкана Тамбора, что позволяет считать извержение 536 года одним из самых крупных за последние два тысячелетия. На основе сопоставления данных гренландских и антарктических ледовых колонок выдвинуто предположение, что его источник находился в экваториальной области севернее вулкана Тамбора. Описываемый в византийских летописях «мистический» туман покрыл обширную территорию Евразии, вызвав в Италии и Месопотамии страшный голод и мор людей в результате гибели урожая от холода и засух. Во многих провинциях Китая, согласно летописям, в июле и августе 536 года были заморозки и снег, погубившие зерновые культуры и вызвавшие голод, продолжавшийся до 538 года. На севере Западной Сибири, согласно ямальской и таймырской хронологиям, в 536 году также отмечалось резкое похолодание. Наблюдалась активизация горного и Арктического оледенения в Северном полушарии, однако отклики этого похолодания были зафиксированы в изменении окружающей среды также в Новом Свете (Cooling ..., 2016). Особо впечатляет извержение вулкана Тоба на о. Суматра, произошедшее 73 тыс. лет назад, после которого наступил ледниковый период, продлившийся 60 тыс. лет.

Сравнительно длительный теплый период, начавшийся около 800 года н.э. и отмеченный относительно слабой вулканической деятельностью (Spatial-temporal ..., 2004), был прерван серией мощных вулканических извержений, произошедших между 1260-1350, 1420-1570, приведших к значительному и длительному снижению температуры в Северном полушарии и возникновению малого ледникового периода (Stothers, 2000; Jones, 1965; Jones, Mann, 2004; Gao et al., 2008; Volcanism ..., 2008; Борзенкова и др., 2011; Борзенкова, 2012; Source ..., 2013; Climate ..., 2017). В 1257 году произошло сильнейшее за 7 тыс. лет извержение вулкана Самалас в Индонезии (Stothers, 2000; Oppenheimer,

2003; Source ..., 2013; Climate ..., 2017). Только со второй половины XIII столетия начался рост температуры, который закончился к середине XIV столетия в результате катастрофических извержений в 1452-1453 и 1458 годах вулкана Куваэ на Новых Гибридах (The 1452 ..., 2006; Atmospheric ..., 2007; Gao, 2008).

Последующий за этой холодной осцилляцией период относительно кратковременного потепления был вновь прерван в 1601 году мощным извержением вулкана Уайнапутина в Перу (De Silva, Zielinski, 1998), в результате которого в Европе установилась летом холодная погода, в середине августа на реках образовался устойчивый ледовый покров (на Москве-реке это произошло 19 августа на яблочный Спас) и пропал урожай, что привело к массовому голоду населения. В одной только Москве в 1601-1603 годах от голода погибло 120 тыс. человек, что стало, вероятно, одним из факторов, приведших к Смуте. Затем в конце XVIII – начале XIX веков произошла целая серия мощных извержений вулканов (Гущенко, 1979; Stothers, 1984, 1996), сопровождавшихся сильнейшими землетрясениями (Мушкетов, Орлов, 1893; Трифионов, Караханян, 2008; Левин, Сасорова, 2015). В целом же между 1600 и 1830 годами произошло не менее 12 мощных извержений вулканов, оказавших сильное влияние на температуру воздуха в обоих полушариях Земли (Cold decade ..., 2009; Теоретические ..., 2019). В 1737-1742 годах отмечалась региональная природная катастрофа на Камчатке, имевшая комплексный характер: извергались или находились в стадии повышенной активности вулканы Шивелуч, Ключевской, Плоский Толбачик, Малый Семячик, Карымский, Жупановский, Авачинский, Горелый, Мутновский, Камбальный, Кошелева (Дирксен, Мелекесцев, 1999; Реконструкция ..., 1999). Было извержено 2,9-3,1 км³ продуктов весом 6,3-6,7 млрд т, произошли шесть мощных землетрясений, которые сопровождались катастрофическими цунами. Участок тихоокеанского побережья Камчатки был поднят на 3-4 м. Холодный период между 1600 и 1850 годами был наиболее продолжительным в Северном полушарии за последние 1000 лет.

Увеличение температуры внетропической части Северного полушария началось лишь после 1850 года, но было вновь прервано извержениями вулканов Кракатау (1883), Мон-Пеле, Суффриер, Санта-Мария (1902), Катмай (1912). Затем последовал непродолжительный период слабой вулканической активности, характеризовавшийся, по данным актинометрических наблюдений, максимальными значениями солнечной радиации и увеличением температуры во внетропической зоне (30-60°) Северного полушария (Будыко, Пивоварова, 1967; Ефимова, 1979;

Вулканы ..., 1986). Затем вновь последовала серия значительных извержений вулканов: Ключевской (1945), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1964), Фернандина (1968), Фуэго (1974). Это привело к значительному разбалансированию климатической системы Земли. После извержения вулканов Эль-Чичон (1982) и Пинатубо (1991) вновь началось снижение глобальной температуры приземного слоя атмосферы. Следует отметить, что на Земле насчитывается более 1,5 тыс. активных вулканов и ежегодно происходит около 50 их извержений (рис. 1.7), т.е. масштабы вулканической деятельности и её вклад в колебания климата огромны. Установлено (Тобратов и др., 2022) соответствие этих событий 1650-летним и 60-70-летним циклам природной динамики, которые порождены гравитационными взаимодействиями Земли с объектами Солнечной системы. Отмечено, что максимальные по магнитуде извержения концентрируются на стыках смежных циклов, индикаторную роль играет при этом замедление осевого вращения Земли, с которым синхронизируются крупные эруптивные события.

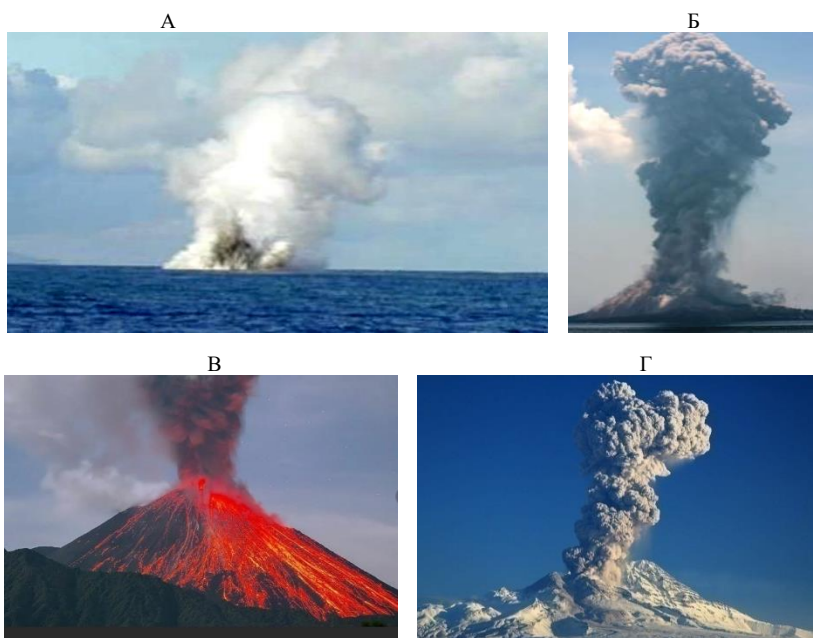


Рис. 1.7. Вид некоторых вулканов мира: А – извержение подводного вулкана Кавачи 14 мая 2000 года; Б – извержение вулкана Анак-Кракатау 22 декабря 2018 года; В – извержение вулкана Этна в 2022 году; Г – извержение вулкана Шивелуч в 2022 году

Количество извержений вулканов мира в настоящее время увеличилось по отношению к началу XIX века, как показал анализ данных, приведенных на сайте <https://www.volcanodiscovery.com>, в 20 раз (рис. 1.8). Особенно интенсивное увеличение вулканической активности происходит в текущее десятилетие. Так, 28 ноября 2021 года «проснулись» вулканы Мауна-Лоа и Килауэа на Гавайях, а также Котопакхи в Эквадоре, 1 декабря началось извержение вулкана Вильяррика в Чили, а на следующий день – Сакурадзима в Японии. На этом серия извержений вулканов не закончилась: 3 декабря произошел выброс пепла и газов из вулканов Керинчи (Суматра) и Шивелуч (Камчатка), 4 декабря – Попокатепетль (Мексика), а 6 декабря – Семеру (о. Ява, Индонезия). В январе 2022 года произошли извержения вулканов в Индонезии, Вануату, США, Мексике, Колумбии, Гватемале, Италии, Эфиопии, Эквадоре и Тонга, а 5 июня на Филиппинах. Миллионы тонн вулканических газов и пепла было выброшено в атмосферу, что привело к возникновению локальных погодных аномалий в результате ее загрязнения. В связи с этим возникает логичный вопрос – что же будет дальше? Игнорировать угрозу последствий извержения вулканов является сегодня верхом безрассудства со стороны человечества, а своевременное получение информации о происходящих событиях даст возможность загодя подготовиться к грядущим событиям. Увеличение вулканической активности, динамику которой, как показали расчеты, наилучшим образом описывает уравнение $Y = \exp[9,735 \times 10^{-3} \times (t - 1630)]$, где t – календарный год, привело к подъему уровня мирового океана (рис. 1.9). Этот факт убедительно свидетельствует, что причиной современного потепления климата в связи с увеличением концентрации в атмосфере парниковых газов явно является не техногенная деятельность человечества.

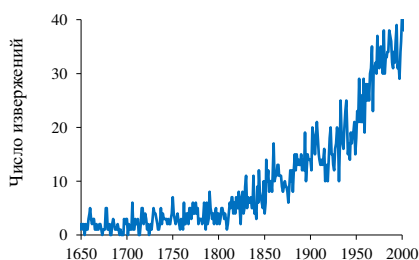


Рис. 1.8. Динамика извержений 100 вулканов Земли за последние 400 лет

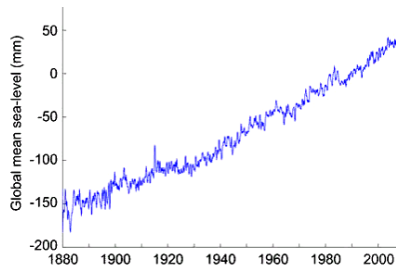


Рис. 1.9. Изменение уровня Мирового океана (по: Dumont et al., 2022)

Активность вулканической активности на Земле, как свидетельствуют приведенные данные, не только стабильно возрастает, но и сильно варьирует во времени. Это особенно четко проявляется в динамике индексов данного показателя, соответствующих отношению его фактической величины к модели временного тренда, вычисленной по приведенному выше уравнению (рис. 1.10).

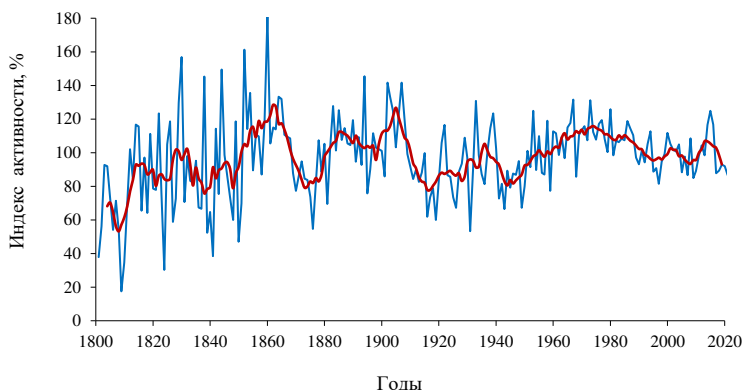


Рис. 1.10. Изменение индексов вулканической активности за последние 220 лет

В динамике деятельности вулканов, как видно на графике, отмечается бессистемная флуктуация возле значений временного тренда, что дестабилизирующе действует на климатическую систему Земли. Наиболее активная вулканическая деятельность наблюдалась в 1860-1870, 1885-1887, 1908-1909, 1938-1939, 1970-1990 и 2018 годах, а менее же всего она была в 1801-1811, 1816-1818, 1820-1821, 1823-1824, 1827-1828, 1839-1840, 1850-1851, 1869-1877, 1911-1920, 1932, 1942-1950, 1997, 2005, 2009-2010 и 2017-2022.

Непостоянна была также активность отдельно взятого вулкана, количество извержений которого изменялось за последние 400 лет от 1 до 279 (рис. 1.11).

Больше всего вулканов на нашей планете извергается довольно редко, а количество же активных вулканов очень мало (рис. 1.12), однако последствия их эруптивных извержений огромны.

Наиболее часто извергаются вулканы Сангай (Sangay), расположенный в Эквадоре, и Мерапи (Merapi), находящийся в Индонезии (табл. 1.3).

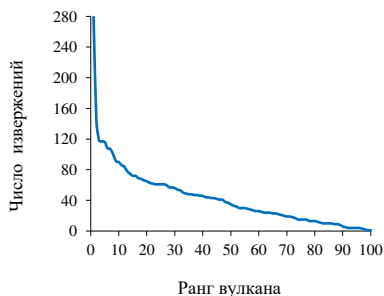


Рис. 1.11. Ранговый ряд вулканов по числу их извержений за последние 400 лет

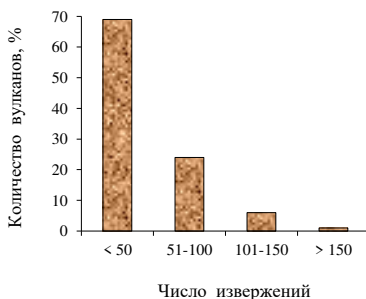


Рис. 1.12. Распределение количества вулканов по числу их извержений

Таблица 1.3

Список 10 наиболее часто извергающихся вулканов

Название вулкана	Количество извержений за последние 400 лет
1. Сангай (Sangay)	279
2. Мерапи (Merapi)	145
3. Асама (Asama)	118
4. Ключевской	117
5. Семеру (Semeru)	116
6. Вильяррика (Villarrica)	108
7. Манам (Manam)	107
8. Сакурадзима (Sakurajima)	100
9. Питон-де-ла-Фурнез (Piton de la Fournaise)	91
10. Багана (Bagana)	90

Обобщение актинометрической информации, проведенное рядом исследователей (Pinker et all., 2005; Decadal ..., 2006; Kerr, 2007; Stanhill, 2007; Wild et all., et all., 2007), показало изменение знака тренда величины приходящей к земной поверхности солнечной радиации, связанной с колебаниями прозрачности атмосферы, ознаменовав переход в начале 90-х годов прошлого столетия от глобального «помутнения» атмосферы к глобальному её «прояснению». После извержения крупных вулканов, как показали многочисленные исследования (Oswalt, 1957; La Marche, Hirschboeck, 1984; Манько, Сидельников, 1989; Scuderi, 1990; Наурзбаев и др., 2001; Gervais, MacDonald, 2001; Шиятов и др., 2002; D'Arrigo, Jacoby, 2003; Krakauer, Randerson, 2003; Сидорова и др., 2005; Влияние ..., 2006; Радиальный прирост ..., 2007; Salzer, Hughes, 2007; Хвой-

ные леса ..., 2010; Борзенкова и др., 2011; Особенности ..., 2011; Последствия ..., 2013; D'Arrigo, Wilson, 2013; Канатьев и др., 2016; Теоретические ..., 2019; Демаков и др., 2020), во многих районах Северного полушария Земли происходит четкое и довольно продолжительное снижение годовичного прироста деревьев.

Вулканизм относится к природным явлениям планетарного масштаба, однако вулканы распределены по земной поверхности неравномерно, поэтому роль их извержений в модуляции тех или иных климатических флуктуаций может различаться. Как это ни парадоксально, но до сих пор неизвестно точное число активных вулканов на Земле. Связано это с тем, что периоды покоя отдельных вулканов могут достигать нескольких тысячелетий. Кроме того, большое количество вулканических сооружений существует на дне морей и океанов планеты.

По оценкам разных исследователей, на земном шаре насчитывается от 650 до 1200 действующих вулканов, которые находятся в той или иной степени активности или дремлющем состоянии. Большинство располагается близко к границам литосферных плит либо вдоль дивергентных или конвергентных окраин. Активизация вулканизма происходит, как показано некоторыми исследователями (Параев, Еганов, 2015), в результате мощных явлений, происходящих в дальнем космосе, о чем свидетельствует одновременный рост температуры на Земле и на Марсе за последние 30 лет наблюдений.

На климатическую систему Земли оказывает влияние не только вулканическая, но и её сейсмическая активность (О роли ..., 2011; Осика и др., 2013), приводящая к мощным выбросам в атмосферу парниковых газов эндогенного происхождения (рис. 1.13), несущих с собой также геотермальную энергию. Так, за два года до Дагестанского землетрясения, произошедшего 14 мая 1970 года, был установлен факт регионального увеличения плотности теплового потока из недр Земли в среднем в два раза, а непосредственно перед землетрясением – в четыре раза. Землетрясение в Индийском океане 26 декабря 2004 года с эпицентром около индонезийского острова Суматра освободило энергию, которая в два раза превосходила энергию всех боевых снарядов, взорванных во время Второй мировой войны, включая две атомные бомбы, сброшенные на Хиросиму и Нагасаки. Перед этим событием с земной поверхности площадью около 62 млн км² было выделено свыше 4 км³ газов, из которых 2/3 представлены метаном, а 1/3 двуокисью углерода (О роли ..., 2011).

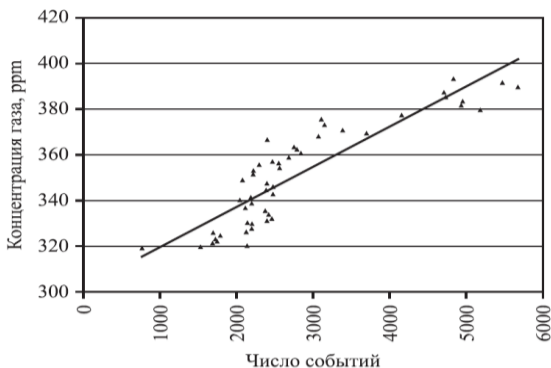


Рис. 1.13. Влияние частоты землетрясений с $M \geq 5$ на среднегодовую концентрацию углекислого газа в атмосфере Земли ($r = 0.67$) за период с 1960 по 2015 год на обсерватории Мауна-Лоа (по К.Н. Дьяконову и А.Ю. Ретеюму, 2016)

В 2010 году атмосфера вновь пополнилась гигантским количеством тепла и парниковых газов в связи с Чилийским землетрясением, что и усугубило масштабы глобального потепления климата. За несколько дней до печально известного своими последствиями землетрясения в Японии, произошедшего 11 марта 2011 года, с помощью спутниковых снимков была выявлена мощная инфракрасная аномалия (Рогожин, Шестопалов, 2007; Тронин, 2011), которая привела в дальнейшем к установлению в регионе жаркой погоды и засухи. Это явление, на которое обращают внимание далеко не все исследователи, присуще всем землетрясениям, число которых на Земле составляет до 100 тыс. в год. Многолетние наблюдения показали, что даже в сейсмически неактивных областях центральной полосы России прослеживается зависимость колебаний среднегодовой температуры воздуха от количества сильнейших землетрясений на всей планете (Рогожин, Шестопалов, 2007; Тронин, 2011; Левин, Сасорова, 2015). Наблюдаемое в последнее время так называемое глобальное потепление связано в определенной мере с непосредственным увеличением сейсмичности и наложением не успешных рассеяться тепловых аномалий предыдущих десятилетий. Интересно отметить, что в большинстве своем землетрясения происходили в дни новолуний или полнолуний. Случайность, или же Луна оказывает свое влияние и на их возникновение?

Российские ученые (Лобковский, 2020; Гарагаш, Лобковский, 2021) показали, что причиной резкого потепления климата в Арктике, отмечавшегося в 1920-1940 годах и в конце XX века, являются мощные

землетрясения, произошедшие в Алеутской зоне субдукции примерно за 20 лет до этого, а не деятельность человека. Возникшие деформационные тектонические волны, двигаясь со скоростью около 100 км в год, способствовали разрушению находящихся в арктическом шельфе метастабильных газогидратов – природных хранилищ метана. В результате этот газ попадал в атмосферу, что и способствовало заметному потеплению арктического климата. Аналогичный сейсмогенно-триггерный механизм работает и в Антарктике. Здесь наступление фазы аномального потепления климата произошло практически синхронно с Северным полушарием, когда в 1960 году в центральной части Чилийской зоны в относительной близости к Антарктиде произошло самое мощное за всю историю наблюдений землетрясение с магнитудой 9,5 баллов. Данная геодинамическая модель предсказывает дальнейшее ускорение разрушения ледников и потепление климата в Антарктиде в ближайшем будущем из-за беспрецедентного роста частоты землетрясений в южной части Тихого океана в конце XX и начале XXI веков.

Не следует думать, что вулканическая и сейсмическая активность оказывает влияние на развитие лесных экосистем и биоты в целом только в тех районах Земли, где происходят эти события. Данная концепция является в корне неверной, т.к. отголоски этих явлений четко проявляются в различных местах нашей планеты, распространяясь по определенным линейным структурам литосферы (линеаментам). Так, к примеру, в ряде северных и центральных областей России, в частности в бывших Архангельской, Вологодской и Вятской губерниях, на территории современных республик Татарстан и Марий Эл, в Москве и Санкт-Петербурге незначительные землетрясения отмечались в 1802, 1807, 1809, 1829, 1840, 1847, 1848 и 1851 годах (Мушкетов, Орлов, 1893). 10 ноября 1940 года в Москве отмечались небольшие толчки, вызванные очень мощным землетрясением в Восточных Карпатах Румынии, а 28 декабря 1945 года до Москвы докатились отголоски сильнейшего землетрясения, произошедшего к югу от Австралии в районе Антарктиды. Самые же сильные подземные толчки в Москве были зафиксированы 4 марта 1977 года, вызванные опять-таки мощным землетрясением в Восточных Карпатах Румынии. Подобные события происходили также в 1986, 1990 и 2004 годах. 24 мая 2013 года москвичи вновь ощутили отголоски землетрясения в Охотском море, где произошли толчки магнитудой 8,2 балла.

Динамика вулканической деятельности, сейсмичности и климата Земли находятся, в свою очередь, как установлено исследователями

(Манк, Макдональд, 1964; Киселев, 1980; Викулин, 1992; Горькавый и др., 1994; Сидоренков, 2002, 2004; О связи ..., 2005; Акуленко и др., 2007; Горшков, 2010; Уткин, Цурко, 2010; Уткин и др., 2012; Levin et al., 2014; Левин, Сасорова, 2015, 2017; Доманский, Левин, 2017; Конюхов, 2017; Сасорова, Левин, 2017), в прямой зависимости от скорости вращения планеты (рис. 1.14), а также действия внешних космических факторов (Владимирский, Темуриянц, 2000; Владимирский и др., 2004; Сидоренков, 2004). Так, наибольшее увеличение общей сейсмичности планеты наблюдается при смене ускорения скорости ее вращения. Стадии же максимального торможения скорости вращения Земли практически совпадают по времени с максимумами солнечной активности.



Рис. 1.14. Динамика среднегодовой величины отклонения суток от эталонных

Неравномерность вращения планеты является одним из наиболее мощных триггеров, воздействующих на земную кору и приводящих к инициализации землетрясений в различных точках планеты. Вариации вращения планеты всегда предшествуют росту общей сейсмичности Земли, поскольку изменение скорости её вращения вызывает перераспределение масс и соответствующее воздействие на участки земной коры в результате избытка кинетической энергии, приводящей к движению литосферных плит. Наибольшее увеличение общей сейсмичности наблюдается при смене знака ускорения вращения Земли на противоположный, что является надежным краткосрочным предвестником всех мощных землетрясений. Нестабильность вращения Земли оказывает влияние также на циркуляционные процессы в атмосфере (Шараф, Будникова, 1967, 1968), а тем самым на термический и гидрологический режимы (рис. 1.15).

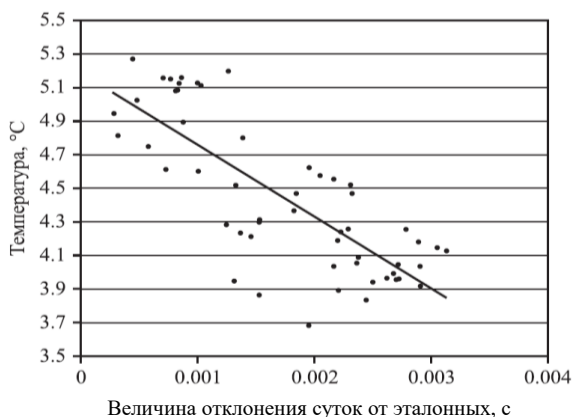


Рис. 1.15. Влияние скорости вращения Земли на среднегодовую температуру поверхностного слоя атмосферы ($r = -0.78$) в 1962–2015 годах (по К.Н. Дьяконову и А.Ю. Ретеюму, 2016)

Сомнения в постоянстве скорости суточного вращения Земли возникли после открытия Э. Галлеем в 1695 году ускорения движения Луны. В результате этого, как предположил в 1755 году И. Кант, неизбежно происходит замедление вращения Земли. В действительности же причин неравномерной скорости вращения Земли вокруг своей оси довольно много: процессы, происходящие внутри планеты, сезонные изменения в пространственном распределении температуры и давления атмосферы, океанические течения, а также воздействия Луны, планет Солнечной системы и объектов дальнего космоса (Андрианова, Белевич, 2003). Кроме сезонных, многолетних и вековых вариаций скорости вращения планеты, возникают и внезапные её изменения, когда продолжительность суток за 1-3 года резко уменьшается или возрастает на несколько миллисекунд. Наиболее значительные из них произошли в 1864, 1876, 1898 и 1920 годах, причина которых окончательно не установлена.

Неравномерность вращения Земли приводит, в свою очередь, к трансформациям зональной циркуляции атмосферы и гидросферы, а также к изменению формы планеты, развитию зон деформации и усилению сейсмической активности (Андрианова, Белевич, 2003; О связи ..., 2005; Неравномерности ..., 2010). Так, при возрастании угловой скорости вращения Земли её экваториальный радиус и площадь поверхности увеличиваются, вследствие чего уменьшается напряжение между лито-

сферными плитами и, соответственно, снижается степень сейсмической активности. При уменьшении же скорости вращения Земли расстояние между литосферными плитами, наоборот, уменьшается, что приводит к возрастанию напряженности в среде и увеличению сейсмической активности. Д. Д. Иваненко и Б. Н. Фроловым (1984) высказали мнение о том, что деформации Земли происходят вследствие гравитационного эффекта, вызываемого различными космическими объектами. В результате более чем двухсотлетних измерений гравитационной постоянной, выполненных различными исследователями, установлено, что её величина варьирует под влиянием изменений температуры, атмосферного давления и геомагнитного поля, а также взаимного положения Земли, Луны и Солнца. Величина силы тяжести на поверхности Земли довольно тесно коррелирует, как показали исследования, с угловой скоростью вращения планеты (Буланже, 1981; Парийский, 1984; Викулин, 2014). В настоящее время Земля входит в начальную фазу нового процесса торможения суточного вращения, что может привести к усилению глобальной сейсмической активности (Сасорова, Левин, 2017).

Поиски связей между вариациями различных процессов, протекающих на Земле и в космосе, всегда были предметом пристального внимания исследователей, пришедших, в конце концов, к выводу о том, что внешние возмущения накладываются друг на друга, образуя сложные хитросплетения, и сильно различаются между собой по мощности воздействия на геофизические процессы. Они вызывают изменения в работе геофизической системы, но не нарушают в целом имеющихся в ней связей, а лишь запускают новые процессы, являясь их триггером. При оценке величины отклика геофизической системы на внешнее воздействие необходимо также учитывать кумулятивные эффекты и скорость затухания сигналов в ней. Использование простой корреляционной связи между явлениями в этом случае, как уже отмечалось выше, явно некорректно.

Неравномерность вращения Земли вокруг своей оси происходит в результате неоднородности плотности распределения вещества во Вселенной, а также напряженности гравитационного и магнитного полей в различных точках её пространства, что вызывает общую неравномерность движения всех тел, в результате которого возникают перегрузки, проявляющиеся в изменениях формы звезд и планет, а также вариациях силы тяжести на них. Движение в космическом пространстве всех небесных тел, в том числе и Земли, можно образно сравнить с движением корабля в бурном море или телеги по ухабистой дороге, вся поклажа в которой неизбежно испытывает сильную тряску.

Совокупность протекания различных процессов на Земле связана не только с нестабильностью её вращения, но также вариациями гравитационного и магнитного полей, эндогенной активностью планеты и внутренним энергетическим обменом, что четко проявляется в изменениях суммарной энергии землетрясений (Кропоткин, Трапезников, 1963; Баркин, Клиге, 2012), сейсмической активности (Горькавый и др., 1994), температуры поверхности Мирового океана (Response ..., 1997), скорости накопления материкового льда (Сидоренков, 2002, 2004), действующих высот образования спорадических слоев в динамо-области ионосферы (Кокоуров, 2005) и фазах колебаний всей климатической системы (Вильсон, 2012; Геофизические ..., 2013).

Имеющиеся данные позволяют предположить, что локальные геофизические и глобальные гравитационные процессы могут взаимодействовать между собой. Так, к примеру, достоверно установлено влияние расположения планет и лунно-солнечных приливов на сейсмическую активность Земли (Bagby, 1973; Федоров, 2001, 2007).

Анализ аномальных природных явлений, приуроченных к одному из великих приближений Марса к Земле, показал, что с июля по конец сентября 2003 года степень активности геологических (землетрясения, вулканы) и атмосферных (тайфуны, ураганы) проявлений энергетики нашей планеты превысила фоновые значения примерно в 2,5–3 раза (Хаин, Халилов, 2009). Профессор Крымского федерального университета В.А. Сухарев, руководствуясь законами движения планет в Солнечной системе, вычислил даты наступления волновых космических резонансных циклов, длительность которых изменяется от полугода до 366 тыс. лет, а затем соотнёс их со временем свершения 140 чрезвычайных событий различной природы (Сухарев, 2004, 2012). Так, согласно его расчетам, в возникновении солнечной вспышки 1 сентября 1859 года и последовавшей за ней сильнейшей магнитной бури главную роль сыграли планета Нептун и её спутник Ганимед. Вспышка 7 апреля 1947 года возникла в результате рекордной концентрации волновых резонансных циклов. Во время соединения Меркурия, Марса и Сатурна 23 февраля 1956 года произошла одна из крупнейших в XX столетии вспышек на Солнце. Тогда же сошлись резонансные циклы Меркурий – Марс и Марс – Титан. Сильнейшая геомагнитная буря 4 августа 1972 года обязана своим происхождением солнечной вспышке, произошедшей в результате резонанса планет Меркурия и Земли. В.А. Сухарев сделал также прогноз минимумов солнечной активности, ближайший из которых будет отмечаться в июле 2026 года.

Причиной землетрясений и извержений вулканов является не только гравитационное поле планет, воздействующее на подвижки тектонических плит, а электромагнитные силы, индуцируемые планетарным электрогенератором, приводимым в движение энергией, поступающей из космоса и разогревающей мантию планеты (Сухарев, 2004, 2012). Толчки возникают в тот момент, когда эта энергия достигает критического уровня. Непосредственно перед землетрясением и во время его изменяется электрический потенциал атмосферы. Нередко перед толчками искрят провода и выходят из строя электрические объекты. Так, к примеру, во время Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 года сгорела изоляция кабеля, заложенного на глубине 500 м, а Таншаньское землетрясение 1976 года в северо-восточном Китае начиналось невероятными световыми эффектами. Накануне у некоторых островов в Желтом море наблюдали очень яркую светящуюся ленту на поверхности воды, а на суше ночное небо озарило белое свечение, длившееся 20 мин, которое было видно на расстоянии до 200 миль. За полчаса до трагедии по небу пролетел огромный огненный шар, превратившийся в яркую сверкающую полосу, затем появилась красная дуга и прервалась подача электричества почти во всей провинции. В течение 31 июля и 1 августа 1976 года сейсмологи регистрировали больше 100 подземных толчков, сила которых достигала 4-5 баллов по шкале Рихтера. Землетрясение в Турции 17 августа 1999 года также начиналось, по словам очевидцев, с таинственных огней, которые были необычно яркими, круглыми или треугольными по форме, белыми, желтыми, красными и синими, и оставались на небе от 5 до 20 мин.

Сигналом или спусковым механизмом для начала извержения или землетрясения, когда внутренняя энергия уже достигла критической отметки, могут служить возмущения, идущие из ближнего и дальнего космоса (Владимирский, Темурьянц, 2000; Владимирский и др., 2004). Среди великого многообразия космических объектов наибольший интерес, с позиции их влияния на земные процессы, представляют нейтронные звезды (пульсары) и магнетары, а также сверхмассивные черные дыры, которые являются центрами всех галактик (Цесевич, 1984; Черепашук, Чернин, 2003). Звезды, как и люди, заканчивают свой жизненный путь по-разному. Звезды типа нашего Солнца «живут» обычно 10-12 миллиардов лет, занимаясь превращением водорода в гелий и за этот счёт освещая и обогревая окружающее пространство. После истощения всех запасов водорода, необходимого для протекания термоядерной реакции, они начинают расширяться, превращаясь в красных гигантов, потом взрываются, сбрасывая в космическое пространство практически

всё вещество из внешней оболочки, а затем становятся остывающими белыми карликами. Звезды же значительно более массивные, чем Солнце, «живут» значительно меньше (Воронцов-Вельяминов, 1976; Шкловский, 1976; Новиков, 1983). Явление взрыва звезд, закончивших свой жизненный путь, в астрономии носит название вспышек сверхновых, при которых в окружающее пространство выделяется не только очень большая масса вещества, но и огромное количество энергии в виде электромагнитных излучений и потоков заряженных частиц: одна сверхновая излучает их столько же, сколько дают в сумме миллиарды звезд. Вспышки сверхновых в нашей Галактике – явление очень редкое: статистика показывает, что оно происходит здесь в среднем один раз в 500 лет (Цесевич, 1984). Во Вселенной же в целом, где насчитывается уже несколько миллионов галактик, вспышки сверхновых отмечаются очень часто (к настоящему времени зафиксировано более 150 вспышек), однако их влияние на земные процессы изучено слабо.

Первая документально зафиксированная китайскими астрономами вспышка сверхновой произошла в 1054 году в созвездии Тельца, на месте её образовалась Крабовидная туманность. Эта вспышка была видна на протяжении 23 дней невооружённым глазом даже в дневное время, хотя она находилась на расстоянии около 6500 световых лет от Земли. В 1572 году известный астроном Тихо Браге зафиксировал появление сверхновой звезды в созвездии Кассиопеи, блеск которой, по его словам, можно было сравнить только с Венерой, когда та находится на ближайшем расстоянии от Земли. Люди, обладающие хорошим зрением, могли различить её днём при ясном небе даже в полдень. Ночью же при облачном небе, когда другие звёзды скрывались, она оставалась видимой сквозь довольно густые облака. Осенью 1604 года основоположник небесной механики как науки Иоганн Кеплер обнаружил в созвездии Змееносца сверхновую, вспышку которой было видно на небе около года, хотя она находилась, по расчетам современных ученых, на расстоянии около 20 тыс. световых лет от Солнечной системы. Следующая сверхновая была зафиксирована в 1838 году в созвездии Киля. Вспышки сверхновых отмечались также в 1868 (созвездие Стрельца), 1918 (созвездие Орла), 1920 (созвездие Лебедя), 1924 (созвездие Геркулеса), 1925 (созвездие Живописца), 1936 (созвездие Ящерицы), 1975 (созвездие Лебедя), 1987 (Большое Магелланово облако), 1992 (созвездие Лебедя) и 1993 (спиральная галактика М 81) годах, они были видны даже невооруженным глазом. В 2004 году астрономы зафиксировали в нашей галактике на расстоянии от Солнечной системы 50 тыс. световых лет взрыв сверхновой и образование магнетара, обладающего магнит-

ным полем в триллион раз мощнее земного. Подобное событие, по их оценке, произошло в созвездии Кассиопеи также 300 лет назад ориентировочно в 1698-1704 годах. 18 сентября 2006 года в галактике NGC 1260 произошел взрыв звезды, яркость которой на два порядка превышала яркость обычных сверхновых. Эта вспышка была самой яркой за всю историю наблюдений и отнесена учеными к новому классу космических объектов – гиперновых.

Вспышки сверхновых, как видно из представленных данных, стали повторяться с момента их первого обнаружения всё чаще и чаще, особенно начиная со второй половины XX века, что в определенной мере может быть связано с совершенствованием аппаратуры и техники наблюдений. Между количеством вспышек и солнечной активностью особой связи не наблюдается: они происходят как в периоды минимумов, так и максимумов, что является свидетельством их независимости и неодинаковости воздействия на земные процессы. Кстати, влияние вспышек сверхновых звезд четко проявляется в дендрохронологических рядах, что впервые было обнаружено Е. Дугласом (Douglass, 1919, 1928, 1936). Подтвердили это влияние также современные исследования Н. В. Ловелиуса и А. Ю. Ретеюма (2019), проведенные на основе анализа свыше 140 дендрохронологических рядов лиственницы, произрастающей на Таймыре. Вероятность случайного совпадения приуроченности минимальных и максимальных значений годовичного прироста деревьев к моментам пяти рассматриваемых событий, произошедших в период с 1006 по 1604 год, не превышает 0,002, что говорит о закономерности явления. Особенно значительное снижение прироста деревьев произошло при вспышке SN-1054.

В девяти случаях из десяти после взрыва сверхновых образуются нейтронные звезды, которые представляют собой компактный объект радиусом в среднем 10-20 километров огромной плотности, составляющей сотню миллионов тонн в одном кубическом сантиметре (плотность вещества в центре нашего Солнца составляет около 100 г/см^3). Чудовищная гравитация сжимает вещество нейтронной звезды с такой силой, что атомов как таковых там просто нет, есть сжатые до предельной тесноты их составляющие – нейтроны (Воронцов-Вельяминов, 1976; Шкловский, 1976; Новиков, 1983). Нейтронные звезды, или пульсары, были обнаружены в 1967 году, благодаря бурному развитию радиоастрономии. В настоящее время известно более 2500 пульсаров, каждый из которых представляет собой нейтронную звезду с фантастически высокой скоростью вращения вокруг собственной оси (до нескольких сотен оборотов в секунду), испуская частые (в среднем каждые 2-3 секун-

ды) регулярные импульсы радиоволн, рентгеновского и гамма-излучения.

Пульсары обладают очень мощным магнитным полем (в миллиарды раз более сильным, чем магнитное поле Солнца, и в триллионы раз сильнее, чем у Земли), которое образуется в их поверхностных слоях, состоящих из электронов и электрически заряженных ионов. В 1998 году в созвездии Орла был открыт новый тип нейтронных звёзд – магнетаров, магнитное поле которых в сотни раз мощнее, чем у пульсаров. Существование магнетаров теоретически было предсказано в 1992 году, а к настоящему времени их экспериментально обнаружено уже более десятка, хотя в обозримой Вселенной их должно быть, по расчетам ученых, значительно больше. Возможно, это связано с рекордно коротким по астрономическим масштабам сроком жизни магнетаров (не более миллиона лет), что для их ближайших космических соседей весьма благоприятно. Дело в том, что невероятно сильное магнитное поле магнетара вызывает столь же мощное рентгеновское излучение, способное уничтожить всё живое в радиусе нескольких световых лет. В 2013 году ученые, благодаря нескольким телескопам на орбите, в том числе космической рентгеновской обсерватории «Чандра», обнаружили магнетар, находящийся на расстоянии всего 0,3 световых года от сверхмассивной чёрной дыры в центре нашей галактики, который находится на расстоянии 20 тыс. световых лет от Земли. В 2016 году был обнаружен магнетар, магнитное поле которого в 100 триллионов раз мощнее земного, но находится он от Солнечной системы очень далеко – в нескольких миллиардах световых лет.

Анализ литературных источников (возможно, недостаточно полный и глубокий) свидетельствует, таким образом, о том, что климатическая система и биосфера Земли, работающие согласованно в саморегулирующемся режиме, испытывают мощные воздействия со стороны большого числа не связанных между собой факторов, которые отличаются друг от друга по своей природе, силе и масштабам последствий, а также направленности. Всё это необходимо учитывать в дендрохронологических исследованиях, опираясь при анализе динамики годичного прироста деревьев на определенные реперные события, в качестве которых могут выступать даты появления сверхновых, вспышек на Солнце, переломов в ходе солнечной активности и мощных извержений вулканов. Особенно опасными являются совпадения этих событий во времени, когда все живые организмы на Земле испытывают сильное негативное воздействие со стороны внешней среды. Необходимо еще принимать во внимание эффекты запаздывания и затухания сигнала в работе клима-

тической системы и кумулятивное действие всех факторов, а также особенности их проявления в разных регионах земного шара.

О наличии определенных климатических циклов людям было известно давно. Так, в частности, об этом еще в 1680 году писал Ф. Бэкон (*The essays...*, 1680). В разделе «О превратностях вещей» своего трактата «Эссе или советы, гражданские и моральные» он отмечает, что в Нидерландах через каждые 35 лет снова наблюдается повторение тех же самых погодных условий: сильных морозов, засух, сырости, теплых зим, холодных лет и тому подобное. Об этом, видимо, хорошо знали мореплаватели, испытывающие на собственной «шкуре» все капризы погоды и связанные с ними тяготы своей нелегкой жизни. Сведения об этом были получены ими, как нам представляется, еще от викингов, которые не только наблюдали за погодой и каким-то образом фиксировали факты, но и проводили последующий их анализ. Здесь невольно напрашивается вывод о сходстве этого отрезка времени с периодом обращения кометы Темпеля-Туттля, равного, как отмечалось выше, 33 годам. Далее Ф. Бэкон упоминает о том, что сам провел вычисления и нашел некоторое совпадение.

В 1740 году действительный член Российской академии наук, математик и физик Г.В. Крафт, изучив старинные хроники и другие исторические источники, пришел к выводу, что особенно суровые зимы повторяются каждые 33–35 лет. В своем трактате «Подлинное и обстоятельное описание построенного в Санкт-Петербурге в 1740 г. ледяного дома и всех, находившихся в нем домовых вещей и уборов, с приложенными при том гридированными фигурами, также и о бывшей во всей Европе жестокой стуже, сочиненное для охотников до натуральной науки» (Крафт, 1741) он приводит схему своих весьма оригинальных вычислений, послуживших основой для вывода, которая выглядит следующим образом:

Год	Интервал, лет	Циклы и их количество
859	-	-
992	133	4×33 года
1092	100	3×33 года
1125	33	33 года
1335	210	6×33 года
1400	66	2×33 года
1608	208	6×35 лет
1709	101	3×34 года
1740	31	31 год

Фундаментальные исследования многолетних колебаний климата, выражающихся в переходе от холодных и влажных лет к теплым и сухим, провел Э. Брикнер, выявив наличие длительных циклов, протяженность которых изменяется от 30 до 45 лет (Brückner, 1890). Эти циклы, а вернее цикл, был впоследствии заслуженно назван в честь открывшего их автора. Факты циклических изменений параметров климата были подтверждены вскоре после публикации работы Э. Брикнера российским ученым А.И. Воейковым (1901, 1948) и обобщены в виде стройной теории А.В. Шнитниковым (1950, 1957, 1969, 1970). В настоящее время исследователями показано, что в многолетних изменениях климата четко прослеживаются циклы продолжительностью 60-90, 30-45, 7-11 и 3-4 лет (Дроздов, Григорьева, 1963, 1971; Лунгерсгаузен, 1963; Борисенков, Пасецкий, 1983, 1988, 2002; Кривенко, 2005), приводящие в совокупности к сложному чередованию влажных и сухих периодов (рис. 1.16), влияющих на развитие, репродукцию и рост всех организмов, характер биотических связей и, как следствие, на производительность и состояние экосистем в целом (Максимов, 1984; Максимов, Ермаков, 1985; Проскуряков, 2015; Минин, 2000).

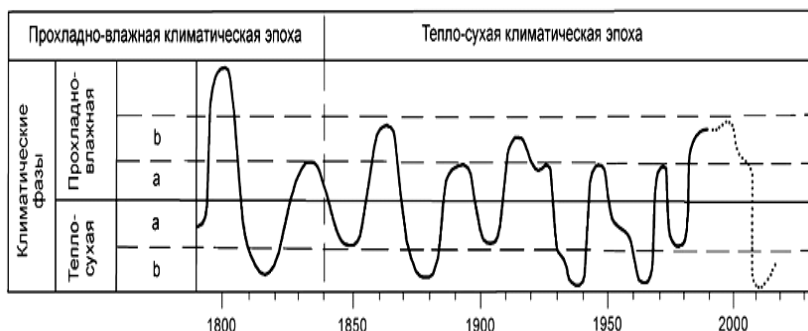


Рис. 1.16. Вековые и внутривековые климатические циклы Евразии (по Кривенко, 2005)

Цикличность проявляется в изменении наступления фенологических дат развития лесных растений, периодичности их семеношения и качества семян, естественного возобновления древесных пород, численности и патогенности вредителей и болезней растений (Ткаченко, 1955; Нестеров, 1958; Воронцов, 1978). Так, в частности, В. П. Тимофеев и Н. В. Дылис (1953), обобщив материалы наблюдений на территории СССР, показали, что в условиях мягкого и влажного климата Полесья на

Украине и Белоруссии обильный урожай дуба повторяется через 2–3 года, а в Воронежской области – через 7–8 лет. Обильный урожай сосны в западных областях России наблюдается через 3 года, в южных – через 3–4 года, на Кольском полуострове – лишь через 10–20 лет, а на севере Финляндии – даже один раз в 70–100 лет. С. С. Четвериков (1905), анализируя изменения численности насекомых, писал, что она никогда не бывает постоянна, одни виды переживают приливы жизни, другие отливов; море видовой жизни постоянно волнуется, то разбегаясь мелкою, едва уловимою зыбью, то вздымая грозные валы, несущие опустошение и разрушение. Он приходит к заключению, что природа скупа на объяснения и человеку часто приходится затрачивать массу труда и терпения для того, чтобы проследить всю причинную цепь событий.

По современным представлениям все процессы на Земле, в том числе и климатические, происходят в результате воздействия на её литосферу периодически изменяющихся космических и геофизических факторов, которые зависят, в свою очередь, от движения Луны и планет Солнечной системы, а также изменения солнечной активности и событий в дальнем космическом пространстве (Milankovitch, 1920; Jose, 1965; Белецкий, 1972; Молчанов, 1973, 2013; Fairbridge, Shirley, 1987; Landscheidt, 1987, 1989, 1999; Белецкий, Хентов, 1995; A Pervasive ..., 1997; Persistent ..., 2001; Сидоренков, 2002, 2003, 2008, 2015; Большаков, 2003; Сухарев, 2004, 2012; Монин, Сонечкин, 2005; Linkages ..., 2007; Пономарева, 2008; Charvatova, 2009; Леонов, 2010; Дьяконов, Ретеюм, 2013, 2016; Ретеюм, 2014; Ловелиус, Ретеюм, 2017, 2018; Федоров, 2018, 2021). Это заключение основано на принципе Маха, гласящего, что инертные свойства материальных тел определяются материей всей Вселенной.

Внимание на то, что погодные аномалии происходят одновременно с некоторыми мощными геофизическими явлениями (полярными сияниями, магнитными бурями, извержениями вулканов и землетрясениями), впервые обратил еще в начале XX века российский ученый М.А. Боголепов (1907), на основании чего он высказал необычно смелую для своего времени мысль, что периодические возмущения климата и солнечная деятельность – соэффекты одной причины, находящейся не только вне Земли, но, вероятно, и вне Солнечной системы, и зависят от «электромагнитной жизни Вселенной».

Совпадение климатических циклов с аналогичными по продолжительности циклами солнечной активности позволило некоторым авторам (Дроздов, Григорьева, 1963, 1971) рассматривать эти процессы как единые гелиоклиматические ритмы.

В своем движении вокруг барицентра (центра тяжести) Солнечной системы наше светило, как показал П.Д. Хозе (Jose, 1965), совершает 179-летний (округленно) путь между точками наибольшего сближения. Движение Солнца отражается на его активности и, через цепочки связей, на климат и биосферу Земли. За начало каждого цикла принимается характерный момент предельного сближения центра звезды и барицентра Солнечной системы. За последние 5 тыс. лет расстояние между барицентром системы и центром Солнца изменялось от 0,071 до 2,221 радиуса Солнца. Текущий 179-летней космофизический цикл начался, как отмечают К.Н. Дьяконов и А.Ю. Ретеюм (2013, 2016), 14 апреля 1990 года, когда расстояние между её барицентром и нашим светилом сократилось до минимума (0,064 солнечного радиуса). В это время все жители Земли, даже не замечая того, стали свидетелями уникальнейшего события, когда произошла также одновременная смена других циклов: 358-летнего, 716-летнего, 1432-летнего, 11400-летнего, 22800-летнего и 46000-летнего. С этого момента времени, отмеченного резким ускорением движения Солнца (рис. 1.17), вызвавшим сильное динамическое напряжение в теле нашей планеты, которое разрешилось ускорением движения Северного магнитного полюса (рис. 1.18), самым крупным в XX веке извержением вулкана Пинатубо, а также возникновением аномальных явлений во всех оболочках Земли: литосфере (извержения вулканов, рост сейсмичности), гидросфере и атмосфере, Земля вступила в следующую за голоценом эпоху и начался, очевидно, новый период Миланковича длительностью около 92 тыс. лет и новый галактический год длительностью 225 млн лет.

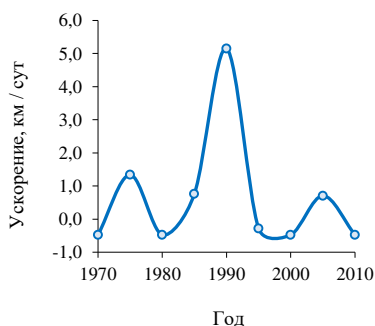


Рис. 1.17. Ускорение движения Солнца в 1970-2010 годах относительно центра масс системы (по: Дьяконов, Ретеюм, 2016)

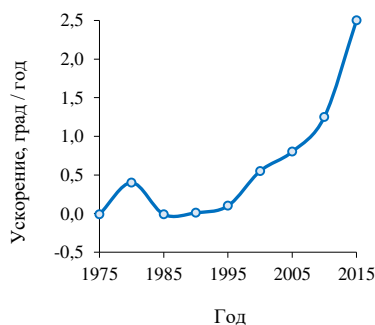


Рис. 1.18. Ускорение движения Северного магнитного полюса Земли в 1970-2010 годах (по: Дьяконов, Ретеюм, 2016)

Каждый 179-летний цикл делится, в свою очередь, на более короткие циклы длительностью от 90 до 3-4 лет и менее (Шнитников, 1957, 1969, 1970; Возовик, 1970; Дружинин, 1970; Монин, Сонечкин, 2005; Дьяконов, Ретеюм, 2016), обусловленные действием солнечно-лунных приливных сил. Одновременное воздействие всех возмущающих факторов и создает сложную картину колебаний климата на нашей планете. Выявление наличия космических циклов и их границ не только проливает свет на природу многократных смен глобального климата, но и помогает точнее прогнозировать ход будущих событий, однако государственная система слежения за изменениями метеорологических параметров не учитывает, к сожалению, этого факта, что негативно отражается на качестве их работы.

Успешность роста деревьев и продуктивность фитоценозов во многом зависят не только от метеорологических параметров приземного слоя атмосферы, но также и от характера микроклимата почв в каждом конкретном экотопе, параметры которого имеют четко выраженную суточную, сезонную и многолетнюю динамику. Существенное влияние на микроклимат почв оказывает лесной полог, так как он ограничивает поступление солнечной энергии и атмосферных осадков, дольше сохраняет снеговой покров в лесу, изменяет излучение подстилающей поверхности и нивелирует температурный режим приземного слоя воздуха. Все это необходимо учитывать при проведении дендрохронологических исследований.

Постановка вопроса о микроклимате почвы, основными элементами которого являются температура и влажность, принадлежит отечественным ученым П.А. Костычеву, В.В. Докучаеву, А.А. Измаильскому, С.С. Неуструеву, А.И. Воейкову, К.П. Горшенину, С.П. Кравкову, М.М. Филатову, П.И. Колоскову (Шульгин, 1967), которые отмечали, что он хотя и зависит от климата атмосферы, но не тождественен ему, имея многие специфические черты, которые должны являться предметом пристального внимания исследователей. К настоящему времени накоплен огромный материал и выявлены основные закономерности его изменения в пространстве и времени (Орлов, 1953; Молчанов, 1961; Взнуздаев, 1967; Литвак, 1970; Кононенко, 1986; Клинцов, 1988; Mel-lander et al., 2007; Lafleur et al., 2010; Кулькова, Шавалиева, 2011; Архангельская, 2012; Битюков, 2012; Десяткин и др., 2012; Худяков, Решоткин, 2012; Балыбина, Трофимова, 2013; Галенко, 2013; Демаков, Исаев, 2013; Макарычев, Пастухов, 2013; Gewehr et al., 2014; Демаков и др., 2016, 2018; Макарычев, Лебедева, 2016). Так, к примеру, установле-

но, что суточные и сезонные колебания температуры почвы зависят от их гранулометрического состава и влажности, а также физико-географических условий местности, климата и характера покрывающей растительности. Сухие и хорошо дренируемые почвы весной и летом являются теплыми, а тяжелые переувлажненные – холодными. В весенний период глинистые почвы холоднее, а песчаные теплее, осенью же глинистые почвы, наоборот, теплее песчаных.

Период колебаний температуры почвы в течение суток и года, как показал великий французский математик Жан Батист Фурье (1768-1830) в работе «Аналитическая теория тепла» (1822), не изменяется с ростом ее глубины, а их амплитуда уменьшается в геометрической прогрессии, постепенно затухая (Шульгин, 1967). Глубины постоянной суточной и годовой температуры соотносятся между собой как корни квадратные из периодов колебаний (глубина затухания годовых колебаний, согласно этому положению, в 19 раз превышает глубину затухания суточных колебаний). Время наступления максимумов и минимумов температуры запаздывает пропорционально глубине почвы.

Годовой ход температуры почвы в северных и умеренных широтах характеризуется обычно одним максимумом в июле или августе и одним минимумом в январе или феврале. Амплитуда годового хода температуры поверхности оголенной почвы не зависит от географической широты и составляет около 30 °С.

В северных широтах глубина проникновения годового хода температуры почвы составляет примерно 25 м, в средних – 15-20 м, а в южных – около 10 м. Ниже этой глубины лежит слой постоянной годовой температуры, где не только суточные, но и годовые колебания температуры не наблюдаются. Изменение температуры почвы с глубиной в отдельные периоды года происходит по-разному. Так, осенью на некоторой глубине почвы наблюдается наиболее теплый слой, от которого температура убывает как вглубь почвы, так и к ее поверхности. Весной же, наоборот, между более теплыми слоями сверху и снизу находится наиболее холодный слой.

Систематические наблюдения за температурным режимом почвы проводятся в нашей стране сетью станций Гидрометеослужбы уже давно, однако огромные массивы накопленных данных по многолетней его динамике остаются пока практически не обработанными и слабо вовлеченными в научный оборот, хотя они могут дать полезную информацию об особенностях динамики состояния биогеоценозов, являясь важным дополнением к временным рядам метеорологических данных.

1.3. Формовое разнообразие сосны обыкновенной

Обширность ареала сосны обыкновенной определяет её сильно выраженную географическую изменчивость, вследствие чего она является сборным полиморфным видом, образующим много разновидностей, форм, рас и экотипов (Правдин, 1964; Мамаев, 1970, 1973; Мамаев, Горчаковский, 1972; Побединский, 1979), одни из которых лучше переносят сухость, другие, наоборот, избыток влаги и недостаток тепла. Для некоторых экотипов существенное значение имеет фотопериодизм местности. Вопросы о характере и причинах внутривидовой изменчивости сосны обыкновенной, для выявления которой используют морфологические, анатомические и физиологические признаки различных органов её деревьев, давно привлекали внимание многих исследователей (Курдиани, 1908; Правдин, 1950, 1964; Козубов, 1962; Лигачев, 1962; Петров, 1964; Мишуков, 1966; Мамаев, 1973; Шульга, 1974; Азниева, 1976; Кузьмина, 1978; Ирошников, 1978; Тренин, 1978; Божок, 1979; Голиков, 1985; Тараканов, 1997; Видякин, 1999; Путенихин, 2000; Махатков и др., 2007; Орлова, 2001; Егоров, 2006; Тарханов и др., 2006; Новикова, Назимова, 2007; Седельникова и др., 2007; Абдуллина, Петрова, 2012; Пименов, Седельникова, 2012; Милютин и др., 2013; Тарханов, Бирюков, 2013; Популяционная ..., 2014; Пименов, 2016; Пинаевская, Тарханов, 2016; Пинаевская, 2018), поскольку изучение полиморфизма этого вида древесного растения необходимо для выявления устойчивых и продуктивных форм, которые могут быть использованы в селекционной работе (Маслаков и др., 1980; Голиков, 1985; Тренин, 1998; Тараканов, 2003; Шейкина, 2004; Rogozin, 2013; Бессчётнова, 2016).

Одним из наиболее простых фенотипических признаков у сосны обыкновенной является её хвоя, размеры и продолжительность жизни которой зависят как от возраста дерева (у молодых она длиннее, чем у старых), так и от условий окружающей среды (Правдин, 1964; Кравченко, 1972; Бессчётнова, Бессчётнов, 2014; Бессчётнова, 2016). Установлено, что на севере и в горах она короче, чем на юге и на равнинах. В центральных районах России с ухудшением условий произрастания её длина уменьшается, составляя в сосняках зеленомошниковых в среднем 7-8 см, а в сосняках сфагновых – всего 2-3 см. На севере ареала, востоке и юге Азии продолжительность жизни хвои достигает 5-6 лет, а на западе и в центральной его части – обычно 2-3 года. Л.Ф. Правдин (1964) считает, что весь ареал сосны обыкновенной разделяется по этому признаку всего на две части: западную с малой продолжительностью жизни хвои и восточную – с большой. В каждой ценопопуляции можно встретить деревья, различающиеся по размерам хвои (Хвоя ..., 2010; Бес-

счётнова, Бессчётнов, 2014; Бессчётнова, 2016). Так, на олиготрофных болотах длина хвоинок изменяется на деревьях от 18 до 65 мм, а абсолютно сухая масса 100 их пар – от 0,87 до 4,22 г. Основная доля варьирования признаков (48-67 %) обусловлена влиянием особенностей физиологического состояния деревьев, оцениваемого по текущему приросту в высоту ($r = 0,74-0,83$), и в меньшей степени их размеров. Частота встречаемости форм деревьев с короткой и длинной хвоей в разных условиях произрастания не превышает в среднем 10 % (Тарханов, Бiryюков, 2013). Деревья длиннохвойной формы превосходят короткохвойные по высоте и диаметру ствола в 1,7-1,8 раза. В сосняках сфагновых иногда встречаются, как отмечают эти авторы, деревья треххвойной формы, доля которых может составлять иногда 20 %, характеризующиеся в возрасте 20-25 лет более мощным развитием кроны и ствола.

Важным показателем формового разнообразия сосны обыкновенной является водоудерживающая способность хвои, во многом определяющая степень жизнестойкости деревьев к периодическому недостатку в почве влаги. В качестве показателя, количественно характеризующего это свойство растений, М.М. Котовым (1981, 1997) предложено время потери хвоинками половины содержащейся в них воды (t_{50}), которое у 2-летних сеянцев сосны обыкновенной изменялось на 18 питомниках Поволжья и Предуралья от 24,9 до 76 часов, а у отдельных растений – от 10 до 130 часов. У взрослых деревьев величина этого показателя изменялась от 110 до 350 часов.

В ценопопуляциях сосны обыкновенной выделяются особи с различной шириной кроны и степенью её охвоенности, которые, по мнению многих исследователей (Альбенский, 1959; Лигачев, 1962; Правдин, 1964; Петров, 1964; Жилкин, 1965; Коновалов, Пугач, 1968; Кравченко, 1972; Шульга, 1974; Долголиков, Осьминина, 1978; Rogozin, 2013; Пинаевская, 2018), являются отдельными её формами. Л.Ф. Правдин (1964) выделяет более 30 вариаций деревьев по форме их кроны, но большинство исследователей считают, что для практических целей целесообразно выделять только две крайние формы: узкокронную и ширококронную. Этот признак проявляется у деревьев уже с 30-летнего возраста и остается постоянным до конца их жизни. Одними исследователями (Козубов, 1962; Леса Республики Коми, 1999) показано, что узкокронная форма сосны превышает по высоте деревья с широкой кроной, другими же, как отмечают Н.А. Коновалов и Е.А. Пугач (1968), установлено обратное. Так, в лесах Бурятии, по данным И.Н. Лигачева (1962), деревья с широкой кроной лучше очищаются от сучьев, имеют более полнодревесный ствол и преобладают в высокобонитетных

насаждениях. В.И. Долголиков и Р.Ф. Осьмина (1978) отмечают повышенную энергию роста деревьев сосны с относительно широкой кроной, а другие авторы (Щекалёв, Тарханов, 2002, 2006, 2007; Пинаевская, 2018) пришли к выводу о том, что экземпляры сосны с узкой кроной отличаются более поздней кульминацией текущего прироста по высоте и диаметру, сохраняя с возрастом довольно высокий средний прирост и формируя полнодревесные стволы. В северной тайге участие ширококронной формы сосны в составе древостоев в условиях избыточного увлажнения достигает иногда 50 % по числу стволов, но в сосняках черничных и чернично-брусничных оно незначительно (до 10 %), где эти деревья в насаждениях со сравнительно высокой сомкнутостью крон встречаются чаще всего в «окнах» (Пинаевская, 2018).

Критерием внутривидовой дифференциации сосны является также форма кроны, которая может быть зонтиковидной, шаровидной, округлой, овальной, цилиндрической, конусовидной, пирамидальной и «плакучей» (Петров, 1964; Божок, 1979; Пинаевская, 2018). Дополнительными признаками служат еще густота кроны и угол отхода боковых ветвей от ствола, однако С.А.Мамаев (1972) считает, что в пределах каждой из выделенных форм сосны можно встретить деревья с разной густотой охвоения и углом отхода ветвей.

Наряду с особенностями строения кроны при формовой дифференциации сосны на уровне вегетативной сферы широко используют типы грубой корки (воротничковая, пластинчатокорая, узкопластинчатокорая, чешуйчатокорая и др.), частота встречаемости которых связана с экологическими особенностями местопроизрастаний (Гроздов, 1958; Лигачев, 1962; Мишуков, 1966; Мамаев, 1972; Шульга, 1972; Азиев, 1976). Так, в популяциях сосны Львовской области Украины были выделены слабо-трещиноватая, трещиноватая, груботрещиноватая и воротничковая формы, последняя из которых отличается лучшими ростовыми качествами (Божок, 1979). Характерным признаком высокоценных стволов в спелых высокополнотных сосняках является серая окраска коры, а также прямоугольная форма пластинок шириной 3-5 см и длиной 15-25 см (Альбенский, 1959). Сосны же с бурой корой и с чешуями квадратной формы, края которой отстают от ствола, обладают более энергичным ростом, но имеют обычно скрытую суковатость и другие пороки.

Большие различия между формами сосны и деревьями в ценопопуляциях отмечаются по их смолопродуктивности и качеству живицы (Разумов, 1940; Проказин, 1958; Альбенский, 1959; Василевская, 1960; Коновалов, Пугач, 1968; Маслаков и др., 1980; Максимов, Кошовский, 1990; Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Максимов, 2001, 2004; Маслаков,

2001). Причем у деревьев в одном насаждении выход живицы может изменяться от 120 до 4887 г за сезон. Сильно различаются деревья также по качеству живицы: у одних скипидар богат пиненовой фракцией, а у других её образуется очень мало. Для изучения структуры популяций сосны целесообразно использовать содержание α -пинена и Δ^3 -карена в эфирных маслах хвои, поскольку их синтез определяется генотипом особей. Косвенными признаками высокой смолопродуктивности являются крупные размеры деревьев, мощная крона и пластинчатая кора.

Формовое разнообразие сосны обыкновенной проявляется также на уровне генеративной сферы (Курдиани, 1908; Правдин, 1950, 1964; Альбенский, 1959; Некрасова, 1959; Козубов, 1962; Лигачев, 1962; Петров, 1964; Мишуков, 1966; Мамаев, 1970, 1972; Мамаев, Горчаковский, 1972; Шульга, 1974; Бутаев, 1976; Долголиков, Осьминина, 1978; Ирошников, 1978; Кузьмина, 1978; Маслаков и др., 1980; Видякин, 1991, 1995, 2001, 2003, 2007, 2010; Путенихин, 2000; Тарakanов, 2003; Егоров, 2006; Тарханов и др., 2006; Новикова, Назимова, 2007; Седельникова и др., 2007; Иванов, 2011; Абдуллина, Петрова, 2012; Галдина и др., 2012; Пименов, Седельникова, 2012; Рогозин, 2013; Тарханов, Бирюков, 2013; Популяционная изменчивость ..., 2014; Бессчётнова, 2015, 2016; Пименов, 2016; Пинаевская, 2018). Так, по окраске мужских микростробилов выделяется преобладающая желтопыльниковая форма и менее представленная краснопыльниковая, доля участия которых в разных частях ареала неодинакова. Доля участия краснопыльниковой формы в популяциях сосны возрастает при продвижении на север, достигая максимума вблизи северных и горных границ. В Восточном Забайкалье доля краснопыльниковой формы сосны в популяциях увеличивается от 20 % на юге региона до 58 % на севере, а на Кольском полуострове частота встречаемости этих форм примерно одинакова.

Встречаемость деревьев с красными и желтыми пыльниками в ценопопуляциях зависит от лесорастительных условий. Более высокая частота встречаемости краснопыльниковой формы отмечается в древостоях с малой сомкнутостью крон и рединах, а желтопыльниковой же – в густых насаждениях. С улучшением условий произрастания доля участия деревьев с красными микростробилами снижается.

Установлены достоверные различия между краснопыльниковой и желтопыльниковой формами сосны по размерам и строению собраний мужских шишек, морфологии и качеству пыльцы. Форма с красными пыльниками отличается повышенным содержанием в хвое антоцианов. В сосняках сфагновых высота и диаметр деревьев с красным цветом микростробилов в 60-70-летнем возрасте выше, чем у деревьев желто-

пыльниковой формы (Пинаевская, 2018), однако по данным С.А. Мамаева (1972) связь между формами деревьев по окраске пыльников и другими внешними признаками (габитусу, скорости роста, строению корки и т.д.) отсутствует. Влияние этих форм деревьев на технические свойства древесины пока не изучено.

Важными таксономическими и селекционными признаками, определяющими формовую дифференциацию сосны, являются размеры, форма и окраска шишек, а также форма их апофиза. Выявлена связь между частотой встречаемости крупношишечной и мелкошишечной форм с климатическими и эдафическими условиями, а также возрастом древостоев. Всё разнообразие шишек сосны обыкновенной по окраске зрелых шишек, полностью учесть которое не представляется возможным, сводится, по Л.Ф. Правдину (1964), в три группы: серые, коричневые и бежевые, соотношение частоты встречаемости деревьев в насаждениях по всему ареалу этой породы примерно одинаково. С.А. Мамаев (1972) выделяет зелено-серые, песочные, серые и коричневые шишки, а М.Н. Егоров (2004) – темно-дымчатые, зелено-серые, коричневые, рыжеватые, темно-серые, медово-желтые, зеленовато-серые, зелено-малахитовые, зеленые, охристые. Особенностью каждой из этих форм является угол раскрытия шишек, который наиболее велик ($75-85^\circ$) у сероокрашенных, а минимален ($35-50^\circ$) у зеленых (Бутаев, 1976).

По типу апофиза семенных чешуй систематики выделяют у сосны обыкновенной формы с плоским (гладким) щитком, бугорчатым (в виде пирамидки), крючковатым (очень длинным, обычно изогнутым к основанию шишки). С.А. Мамаев (1972) предложил балльную шкалу оценки степени «выпуклости» апофиза: 1 – щиток плоский; 2 – слабо бугорчатый; 3 – бугорчатый; 4 – с сильно выдающимся выступом; 5 – с очень длинным выдающимся и обычно изогнутым выступом. В пределах ареала чаще всего встречаются деревья с выпуклым типом апофиза, но в северных областях доля сосен с плоским типом выше, чем в южных, где увеличивается доля особей с крючковатым типом. На севере Архангельской области доля особей с плоским апофизом составляет 27 %, бугорчатым – 71 %, крючковатым – 2 % (Листов, 1990), а в Восточной Сибири преобладают (74 %) формы с выпуклым типом (Кузьмина, 1978). У шишек, собранных с одного дерева, степень выраженности бугорчатости апофизов сильнее проявляется с более освещенной стороны.

В.И. Долголиков и Р.Ф. Осьминина (1978) отмечают, что формы деревьев сосны обыкновенной, выделенные по строению и окраске репродуктивных органов, не обнаруживают в зрелом возрасте каких-либо преимуществ в росте. Е.А. Пинаевская (2018) пришла, однако, к друго-

му заключению, утверждая, что особи с выпуклым типом апофиза достоверно превосходят по длине и массе шишки, длине и высоте апофиза, по высоте и диаметру ствола, а также протяженности и проекции кроны форму с плоским его типом. Наиболее продуктивными на верховых болотах севера европейской части России являются деревья сосны желтопыльниковой формы с выпуклым типом апофиза шишек.

Показателем формовой дифференциации сосны обыкновенной является также окраска семян, отличающаяся большим разнообразием цветковых вариантов (Правдин, 1964; Черепнин, 1978; Видякин, 2001; Чернодубов, 2001; Егоров, 2006). С.З. Курдиани (1908) выделил четыре формы окраски семян: чёрную, желтую, коричневую и пеструю; В.Л. Черепнин (1978) – чёрную, коричневую, пеструю, оранжевую и бежевую; В.В. Тренин (1998) – чёрную, бурую (темно-коричневую), коричневую, светло-коричневую, крапчатую (пеструю) и бежевую; М.Н. Егоров (2004) – чёрную, коричневую, бледно-сероватую, пепельно-серую и белую, а М.В. Рогозин (2013) – чёрную, темно-коричневую, коричневую, пеструю, светлую (бежевую) и почти белую. Л.Ф. Правдин (1964) отмечал, что на протяжении всего ареала в структуре насаждений сосны преобладают деревья с тёмно окрашенными семенами. Это подтверждено и другими исследователями. Всхожесть семян по градациям их окраски в опытах не различалась, но по скорости их прорастания различия имелись (Рогозин, 2013). В целом дольше всех прорастали семена с темной окраской, а у пёстрых и коричневых время прорастания было меньшим. Окраска семян не оказывала существенного влияния на среднюю высоту сеянцев, но определяла степень изменчивости особей по этому показателю в выборке. Достоверно различались между собой по изменчивости размеров сеянцы, выращенные из семян с черной и светлой окраской, вариация последних из которых по высоте в посевах была наименьшей.

М.В. Рогозин (2013) в результате кропотливых многолетних опытов установил, что основным простым признаком, влияющим на рост потомства, особенно в первые годы, является масса семени, которая зависит, в свою очередь, от размера шишек. Увеличение массы семени привело к повышению роста потомства в 13 опытах из 15. В потомствах матерей с легкими семенами доля лучших особей составила 63 % от среднего уровня в опыте, тогда как у матерей с тяжелыми семенами их было 129 %. При этом в градации семян «самые тяжелые» лучших особей оказалось ещё больше (143 %). Деревья с низким выходом семян из шишек дают более тяжелые семена, но из них развивается в 2,5 раза меньше быстрорастущих семей, чем от остальных материнских деревьев. Высо-

кий выход семян из шишек снижает массу семени, однако семенная продуктивность не влияет на рост потомства, что согласуется с данными других исследователей (Альбенский, 1959). Отбор исходного материала для селекции в связи с этим нужно вначале вести по урожайности, а далее сочетать с отбором семенников на быстроту роста потомства.

Ценопопуляции *Pinus sylvestris* существенно различаются между собой по всхожести семян, величина которой при 25 %-ной объемной влажности почвенного субстрата варьирует от 40 до 75 % (Ростовцев, Березин, 1980; Санников и др., 2012). Можно предположить, что по всхожести семян отличаются друг от друга не только ценопопуляции, но и особи внутри них, однако данные по этому вопросу, имеющему важное значение для познания лесообразовательного процесса, полностью отсутствуют.

Некоторые исследователи (Хохрин, 1970, 1977; 1981; Бакшаева, 1975; Ольгин, 1981; Голиков, 1985, 2004, 2011, 2014) показали, что хорошим диагностическим признаком-феном для выделения внутривидовой изменчивости сосны и других хвойных пород является разная направленность филлотаксиса, проявляющегося в размещении хвоинок на побегах или же сучьев на стволах, которое может иметь правое или левое вращение. Явление дисимметрии, обусловленное левизной-правизной филлотаксиса, становится ныне важнейшей методологической основой изучения формовой структуры популяций, их устойчивости и продуктивности.

Левые и правые формы-изомеры имеют доказанные генетические отличия по гетерозиготности и противоположную адаптацию: левые формы предпочитают прямой свет и слабую конкуренцию, а правые – рассеянный и толерантны к конкуренции. Деревья левой формы, кроме того, лучше растут в сухих условиях, а правые – во влажных. В оптимальных условиях частота встречаемости этих форм и их рост одинаковы, но если древостой загущен, то в нем начинают доминировать правые, а если он более редкий – левые. В густых посадках правые формы превосходят левые по объему ствола на 33 %, а в редких, наоборот, левые превышают правых на 10–23 %. Это явление раскрывает механизм гомеостаза популяции.

Следует отметить, что встречаемость правых и левых форм в ценопопуляциях хвойных пород никогда не снижается до нуля и колеблется в некоторых пределах. При использовании семян, заготовленных в сухих типах леса, в их потомстве получается больше особей левых форм (на 10–24 %), которые к 8–10 годам становятся в культурах лидерами. При использовании семян, заготовленных в свежих типах леса, соотно-

шение правых и левых форм в потомстве примерно одинаково, но если культуры будут густыми, то доля нежелательных для сухих условий правых форм в них увеличится. Поэтому семена необходимо заготавливать точно в таких же почвенных и ценотических условиях, в каких планируется выращивать насаждения.

Деревья в ценопопуляциях различаются между собой и по характеру динамики радиального прироста (Демаков, Полевщиков, 1997; Демаков, 2000, 2013; Румянцев, 2010; Демаков, Андреев, 2014; Демаков и др., 2015, 2020; Пинаевская, 2018), форму возрастную кривую которого можно рассматривать как один из признаков их генотипа (Кострикин, Рыжкова, 2002). Были установлены прежде всего различия в радиальном приросте узкокронной и ширококронной форм деревьев (Щекалев, Тарханов, 2006, 2007). Е.А. Пинаевская (2018) на основе обширного материала показала, что величина радиального прироста у краснопыльничковой сосны в возрасте 40-60 лет выше, чем у желтопыльничковой, однако в 150-170 лет их положение изменяется на противоположное, а деревья сосны с выпуклым типом апофиза шишек превосходят по величине радиального прироста в 1,3-2 раза в отдельные периоды форму с плоским типом. Для большинства деревьев с разным цветом микростробилов характерно увеличение величины радиального прироста с возрастом.

С.А. Мамаев (1970, 1972) показал, что основная масса фенотипических признаков не связана между собой, варьируя в популяциях независимо друг от друга. Взаимосвязаны между собой в основном лишь родственные признаки. В любой ценопопуляции, а тем более истинной популяции можно выявить разнообразие форм деревьев, поскольку полностью мономорфных видов в природе не существует (Завадский, 1968). Так, на верховых болотах встречается обычно несколько форм сосны обыкновенной (Пинаевская, 2018). В наименее обводненных сосняках багульниково-сфагновых преобладают деревья формы *uliginosa*, крона которых округлая и сосредоточена в верхней части ствола, занимая не более 30-40 % его высоты. На болотах, где вода находится на глубине 15-20 см от поверхности мохового покрова, чаще всего встречаются деревья формы Литвинова (*f. litwinowii*), которые имеют овальную узкую, но довольно протяженную (до 45-60 % высоты ствола) крону. В самых жестких условиях болот, где даже летом уровень грунтовых вод находится на глубине не более 5-10 см от поверхности, произрастают в основном низкорослые деревья формы Вилькома (*f. wilikomii*), значительно уступающие по высоте деревьям формы Литвинова, а тем более *uliginosa*. В этих условиях встречаются иногда деревья «паукообразной» формы, которые до 30-50 лет растут нормально, а затем, при достиже-

нии высоты 3-6 м у них происходит отмирание основного побега и сильное развитие боковых ветвей, изменяющих гелиотропическую реакцию на геотропическую. Самой угнетенной в росте из всех болотных форм сосны обыкновенной является форма *pumila*, ствол у которой полностью погружен в субстрат, а от него отходит несколько главных ветвей, что придает растению кустообразный облик.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что деревья сосны обыкновенной как в популяциях, обитающих в разных частях ареала, так и в локальных ценопопуляциях различаются по многим фенотипическим показателям, большинство из которых не связано с адаптационными свойствами особей к условиям изменяющейся среды и стрессовым ситуациям. Генетическая неоднородность ценопопуляций по типу онтогенеза и характеру реакций особей на внешние воздействия является необходимым условием их устойчивого существования и развития при постоянно изменяющихся параметрах среды (Воронцова, Заугольнова, 1978; Демаков, 2000; Драгавцев, 2009, 2012; Демаков, Нурсева, 2019).

ГЛАВА 2

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Природные условия Республики Марий Эл

Республика Марий Эл, площадь которой составляет 23,2 тыс. км², расположена на востоке европейской части России в среднем течении р. Волги, делящей ее на две неравных части – Левобережье, или Заволжье, и Правобережье (Предволжье). Географический центр республики находится в точке с координатами 48° восточной долготы и 57° северной широты. Территория Марий Эл вытянута в широтном направлении: расстояние от крайней западной до крайней восточной точки составляет 275 км, а от крайней северной до крайней южной – 150 км. На севере и северо-востоке республика граничит с Кировской областью, на юго-востоке с Республикой Татарстан, на юге – с Чувашской Республикой, на западе – с Нижегородской областью. Республика входит в состав Приволжского федерального округа.

Большая часть территории Марий Эл относится к Ветлужско-Унженской провинции лесной зоны Русской равнины (Мильков, 1964; Физико-географическое районирование СССР, 1968). По характеру поверхности ее территория разделена на три части: песчаную низменность, занимающую значительную часть площади на западе и в центре, возвышенную холмистую равнину на северо-востоке и район высокого правобережья Волги на юго-западе (Агроклиматические ресурсы ..., 1972).

Наиболее сложным является рельеф возвышенной холмистой равнины, которую с севера на юг пересекает Марийско-Вятский увал (максимальные высоты местности достигают здесь 260-275 м над уровнем моря), который представляет собой антиклинальные поднятия своеобразной формы, простирающиеся в меридиональном направлении на 130 км. Ширина вала колеблется от 20 до 40 км. Западные склоны Марийско-Вятского увала образуют Оршано-Кокшагскую равнину с волнистым рельефом и широкими речными долинами (абсолютные отметки высот колеблются в пределах 125...175 м). Восточные склоны увала образуют Мари-Турекское возвышенное плато с плоскими водоразделами и развитыми речными долинами (абсолютные отметки высот составляют 150...175 м). К югу Марийско-Вятский увал понижается и переходит в ряд отдельных возвышенностей: Моркинскую, Кленовогорскую, Сотнурскую и др. В северном направлении Марийско-Вятский вал уходит за пределы республики, а в южном – часто пересекается долинами рек, чередующимися обособленными куполообразными вершинами возвышенностей.

К западу Марийско-Вятского увала широкой полосой вдоль левого берега Волги тянется Марийская песчаная низменность, уступом переходящая в ее долину. Рельеф поверхности слабоволнистый, невысокие дюны чередуются с овальными низинами, нередко заболоченными. Абсолютные высоты не превышают здесь 60...100 м. Правобережная часть республики является краем Чувашского овражного плато, круто обрывающегося к долине Волги, которое является частью Приволжской возвышенности. Абсолютные высоты местности составляют 150...190 м. Плато расчленено поймами рек Сумки, Большой и малой Юнги и др., а также густой сетью оврагов и балок.

Преобладающими почвами на территории Марий Эл являются дерново-подзолистые, имеющие различный механический состав: в западных, центральных и южных районах левобережья – песчаные и супесчаные, в северных, северо-восточных и восточных районах и правобережье – легко- и среднесуглинистые (Смирнов, 1968). Под влиянием лугово-болотной растительности в условиях избыточного увлажнения образовались болотные почвы, среди которых наиболее распространены торфяные и торфяно-глеевые. В поймах рек, густота сети которых составляет 0,36 км/км², развиты аллювиальные почвы. В северо-восточных и восточных районах пятнами встречаются перегнойно-карбонатные тяжелосуглинистые почвы, а на юге правобережья – серые лесные суглинистые. Большинство почв республики пригодны для развития сельского хозяйства и лесоразведения.

Климат Марий Эл, расположенной в умеренном климатическом поясе атлантико-континентальной области юго-западной подобласти (Борисов, 1967; Алисов, 1969), умеренно-континентальный, характеризующийся сравнительно жарким летом и морозной зимой с устойчивым снежным покровом, толщина которого достигает в лесу 60-80 см (Колобов, 1968; Агроклиматические ресурсы ..., 1972). Приход солнечной радиации составляет 80...90 Ккал/см²/год или 330..380 кДж/см²/год. Средняя годовая температура воздуха изменяется от 2,1...2,3 °С в восточной половине республики до 3,3 °С на юго-западе. Самым теплым месяцем является июль ($t_{\text{ср.}}=+18,2...18,9$ °С), а самым холодным – январь ($t_{\text{ср.}}=-12,4...13,2$ °С). Абсолютный годовой минимум составляет -52 °С, а абсолютный максимум – +38 °С. Средняя продолжительность теплого периода года (температура воздуха выше 0 °С) равна 200-208 дням, а сумма положительных температур выше 10 °С составляет 1900-2200 °С.

По увлажнению территория республики относится к незначительно засушливой подзоне засушливой зоны, характеризуясь неустойчивым режимом увлажнения: отмечаются годы с достаточным, иногда избы-

точным увлажнением, а иногда засушливые (условия избыточного увлажнения бывают около 5 раз в столетие, а вероятность засушливых условий составляет 30...40 %). Гидротермический коэффициент, изменяющийся по годам от 0,3 до 2,7 единицы, составляет в среднем 1,1...1,2. Атмосферные осадки выпадают в течение года неравномерно: наибольшее их количество приходится на лето. За год в среднем выпадает 475...550 мм осадков, из которых 335...385 мм приходится на теплый период (апрель-октябрь). Самое большое количество осадков отмечается обычно в июле – до 60...70 мм. Летом дожди выпадают преимущественно в виде кратковременных интенсивных ливней, при которых осадки не успевают полностью впитаться в почву.

Режим ветра мало изменяется по территории Марий Эл. В теплый период года преобладают северо-западные, западные и северные ветры, а в холодный – южные, юго-западные и юго-восточные. Вторжение холодных воздушных масс из полярного бассейна с северными, северо-западными и северо-восточными ветрами вызывает резкое падение температуры воздуха, сопровождающееся весной и осенью заморозками. Нередко на территорию республики вторгаются сухие континентальные воздушные массы с юго-востока. Весной и летом это приводит к засухе, а зимой вызывает оттепели. При прохождении циклонов с юга, юго-запада и юго-востока в холодный период года наблюдаются метели, а иногда – сильные бураны. Скорость ветра в теплый период составляет в среднем 3...4,5 м/с, а в холодный – 4...5,5 м/с. Сильный ветер со скоростью 15 м/с и более отмечается от 1 до 5 раз в месяц. Один раз в год отмечаются ветры со скоростью 22 м/с, а один раз в 20 лет – со скоростью 27 м/с.

Территория Республики Марий Эл расположена на стыке двух природных зон – лесной и лесостепной. С учетом тепло- и влагообеспеченности, а также условий перезимовки сельскохозяйственных культур, она разделена (Агроклиматические ресурсы ... , 1972) на три агроклиматических района. Левобережье, согласно лесорастительному районированию (Курнаев, 1973), относится к подзоне хвойно-широколиственных лесов, а правобережье – к подзоне широколиственных лесов.

Пространственная, породная и возрастная структура лесов, которая довольно разнообразна, сформировалась под большим влиянием хозяйственной деятельности человека и различных природных факторов, среди которых особая роль принадлежит пожарам, отмечавшимся в прошлом на территории республики неоднократно (Денисов, 1979) и охватывавшим огромные площади во время сильнейших засух. В отдельные же периоды, в связи с неустойчивым режимом увлажнения территории и

близким залеганием грунтовых вод, в понижениях рельефа и других местах естественного заболачивания происходили «вымочки» древостоев (Демаков, 2000).

2.2. Цель, программа, объекты и методика исследований

Цель исследований заключалась в обобщении результатов многолетних научных изысканий по динамике годичного прироста деревьев сосны в различных ценопопуляциях Республики Марий Эл и оценке характера изменений его величины под влиянием комплекса климатических, биоценотических и антропогенных факторов. Программа работ предусматривала решение следующего ряда задач:

- 1) обобщить имеющиеся литературные материалы по данному вопросу;
- 2) сформировать электронную базу данных собранного эмпирического материала;
- 3) провести математическую обработку фактического материала и сопоставить результаты с данными других исследователей;
- 4) выявить общие закономерности динамики метеорологических параметров и роста деревьев в разных экотопах;
- 5) оценить особенности реакций деревьев на изменение погодных условий, гелиофизических и биоценотических факторов, а также мощных извержений вулканов;
- 6) изучить процесс дифференциации деревьев в ценопопуляциях по высоте и диаметру в процессе их роста.

Материал для написания монографии был собран на территории Республики Марий Эл в период с 1988 по 2021 годы. Объектами исследования являлись сосновые древостои естественного и искусственного происхождения разной густоты и возраста, произрастающие в различных лесорастительных условиях Республики Марий Эл. Измерение годичного прироста в высоту проведено на 41 пробной площади у 602 деревьев, не имеющих каких-либо дефектов ствола. Исходным же материалом для изучения годичного радиального прироста послужили керны древесины, взятые с помощью возрастного бурава Преслера у 935 деревьев (по одному с каждого дерева на высоте 0,3-0,5 м от поверхности почвы) на 76 пробных площадях, описание которых представлено ниже. Подробные характеристики объектов исследования, каждый из которых имел специфические особенности, приведены в соответствующих разделах монографии, что более удобно для изложения и лучшего понимания рассматриваемых вопросов.

Измерение ширины годовичных колец проведено с помощью окуляр-
шкалы бинокулярного микроскопа МБС-10 с погрешностью $\pm 0,05$ мм.
Контроль качества измерений, а также поиск выпадающих и ложных
колец проводили с помощью программы COFECHA (Holmes, 1983,
1986). Для расчета индексов годовичного прироста деревьев в каждом
экотопе исходные ряды данных переводили из абсолютной хронологи-
ческой шкалы в возрастную. Затем вычисляли средние значения приро-
ста по каждому году в пределах всей выборки деревьев и подбирали
соответствующее уравнение регрессии, наилучшим образом аппрокси-
мирующее эмпирические данные.

Полученные ряды значений годовичного прироста деревьев были со-
поставлены с данными по солнечной и геомагнитной активности, а так-
же метеорологическими показателями по ГМС Йошкар-Ола, к которым
открыт свободный доступ в сети Интернет. Были использованы также
сведения о крупных физических событиях, произошедших в прошлом
на Земле и в космическом пространстве, почерпнутые из различных
литературных источников (табл. 2.1), упомянутых в разделе 1.2.

Таблица 2.1

**Даты событий, произошедших во время 179-летних космических циклов,
которые могли оказать существенное влияние на прирост деревьев**

Вспышки		Извержения вулканов	Метеорные дожди	Маловодье, засухи	Избыток осадков
сверхновых	на Солнце				
1632-1810 годы					
1798	1626, 1778,	1641, 1646, 1660, 1669, 1783, 1802, 1809	1668, 1669, 1799, 1803	1643, 1652, 1660, 1715, 1722, 1733, 1756, 1757, 1766-1781, 1791-1795, 1802	1670, 1675, 1692, 1707, 1716, 1721, 1758, 1770, 1786
1811-1989 годы					
1838, 1868, 1918, 1920, 1924, 1925, 1936, 1975, 1987	1859, 1880, 1917, 1921, 1940, 1947, 1956, 1972, 1989	1815, 1822, 1829, 1835, 1854, 1883, 1902, 1911, 1919, 1931, 1944, 1945, 1951, 1956, 1963, 1964, 1966, 1968, 1972, 1973,	1833, 1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877, 1882, 1885, 1887, 1903, 1912, 1922, 1933, 1938, 1946, 1947, 1952, 1966,	1811, 1821, 1828, 1832, 1840-1851, 1856-1860, 1863, 1872, 1880, 1885, 1889, 1891, 1892, 1897, 1901, 1911, 1921, 1933,	1816, 1845, 1877, 1904, 1908, 1917, 1925, 1947, 1962, 1978, 1980

Окончание таблицы 2.1

Вспышки		Извержения вулканов	Метеорные дожди	Маловодье, засухи	Избыток осадков
сверхновых	на Солнце				
		1974, 1980, 1981, 1984, 1985, 1986	1980, 1984, 1985	1938, 1939, 1941, 1945, 1946, 1951, 1972, 1981	
1990-2169 годы					
1992, 1993, 2004, 2006, 2008, 2010	1991, 1998, 2000, 2003, 2005, 2011, 2012, 2015, 2017, 2020	1990, 1991, 1994, 1997, 1998, 2010, 2015, 2016, 2019, 2020, 2021, 2022	1999, 2003	2002, 2010, 2016, 2021	2003, 2011, 2013

Динамику солнечной активности анализировали как по значениям чисел Вольфа, так и по их разности между смежными годами с последующим нормированием по величине среднеквадратического отклонения. Подобным образом подходили к анализу динамики геомагнитной активности, которую оценивали по значениям aa-индекса.

Был проведен также анализ динамики микроклимата почв, для которого использовали массив суточных данных по их температуре на ГМС Йошкар-Ола за период с 1963 по 2013 год, находящийся в свободном доступе в сети Интернет (<http://meteo.ru>), и материалы собственных наблюдений на девяти постоянных и 28 временных пробных площадях, заложенных в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага», Ботанического сада-института ПГТУ и лесопарков г. Йошкар-Олы. Замеры температуры почвы выполняли в 3-5-кратной повторности на глубине 5, 10, 20, 40, 60 и 80 см электронным термометром «Мини-замер» с погрешностью $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, а оценку её влажности проводили весовым методом с отбором проб в различных слоях. В общей сложности проведен 2091 замер температуры почвы, на каждый из которых требовалось 2-3 минуты времени. Для оценки же влажности почв использовано 463 сводных образца, взятых специальным буром в каждом экотопе в пределах того или иного слоя в 3-5-кратной повторности. На четырех постоянных пробных площадях на верховом болоте Илюшкино с 1981 по 1997 год проводили также регулярные ежедекадные наблюдения за уровнем почвенно-грунтовых вод.

Цифровой материал обработан на ПК с использованием пакетов прикладных программ Excel и Statistica, позволивших провести расчет

элементарных статистических показателей, а также дисперсионный, корреляционный, регрессионный, кластерный и спектральный анализ стандартными методами математической статистики (Дрейпер, Смит, 1973; Бриллинджер, 1980; Лакин, 1980; Факторный ..., 1989; Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003). Для очищения исходных рядов от неизбежно присутствующих в них «шумов» и более четкого выделения сигнала проводили сглаживание скользящей средней с шагом 7 или 11 лет (Хемминг, 1980). При анализе динамики параметров, имеющих разную размерность, их значения переводили в индексы (I_x), рассчитанные по формуле $I_x = (X_i - X_{\text{ср.}}) / S_x$, в которой X_i – фактическое значение параметра, $X_{\text{ср.}}$ – среднее арифметическое его значение, S_x – среднеквадратическое отклонение.

ГЛАВА 3

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТА

Климат, как отмечалось в разделе 1.2, является главным фактором, определяющим состав и производительность фитоценозов, однако он довольно изменчив как в пространстве, так и во времени. Вопрос о закономерностях его вариабельности давно интересовал исследователей, что связано с насущными потребностями в практической деятельности человека, особенно в области лесного и сельского хозяйства. Не потерял он своей актуальности и в настоящее время, являясь одним из наиболее популярных в научных дискуссиях, что связано с феноменом так называемого глобального потепления (IPCC ..., 2001), причины которого остаются пока во многом неясными (Герман, Голдберг, 1981; Будыко, 1987; Кондратьев, 1987; Анисимов, Поляков, 1999; Авдюшин, Данилов, 2000; Влияние ..., 2001; Груза, Ранькова, 2001; Изменение ..., 2001; Котляков, 2001; Сорохтин, 2001, 2007; Тарко, 2001; Мирвис, 2002; Ясманов, 2003; Белов, Ретфельд, 2004; Монин, Сонечкин, 2005; Алексеев, 2007; Жеребцов и др., 2011; Закономерности ..., 2011; Спорышев и др., 2014; Сидоренков, 2015). Ответы на многие вопросы не могут быть получены с помощью имеющихся сейчас многочисленных глобальных и макрорегиональных работ, ценность которых состоит лишь в общем взгляде на проблему, в оценке масштабов изменений климата и предварительной идентификации «горячих» точек и эффектов. Для уточнения и детализации происходящих процессов требуются проведение локальных исследований и выделение местных климатических «сигналов».

3.1. Продолжительность солнечного сияния

Производительность древостоев и их рост во многом зависят от поступления солнечной энергии, которая преобразуется растениями в энергию химических связей, обеспечивая протекание всех их физиологических процессов. Величину поступления солнечной энергии косвенно выражают через продолжительность солнечного сияния (ПСС) в течение суток, месяца или года, для измерения которой используют обычно гелиограф Кемпбелла-Стокса. Этот прибор, однако, не позволяет оценить поступление хорошо усваиваемой растениями рассеянной солнечной энергии при атмосферной дымке или маломощной облачности. Для устранения данного недостатка прибора необходимо внедрение новых измерительных средств.

На текущий момент времени Гидрометцентром РФ сформированы ряды многолетних наблюдений с 1961 по 2019 год (Апасова, Клещенко,

2020), находящиеся в свободном доступе на сайте www.meteo.ru. Установлено, что ПСС зависит от широты местности, времени года и облачности, определяемой особенностями текущей атмосферной циркуляции. Пространственное распределение значений показателя по территории России представляет собой достаточно сложную картину (рис. 3.1), так как влияние широты местности перекрывается влиянием облачности.

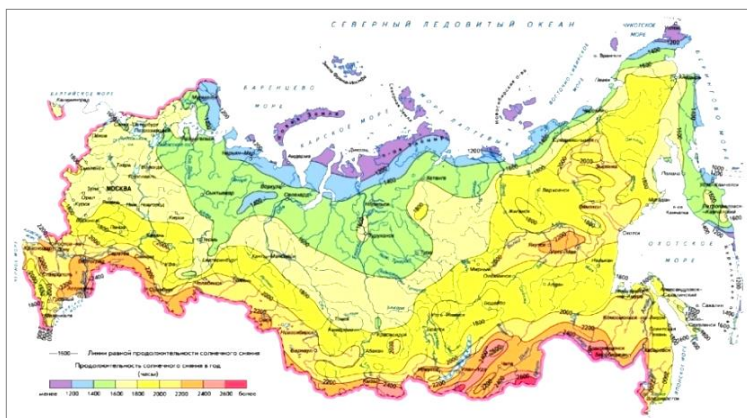


Рис. 3.1. Карта годовой продолжительности солнечного сияния на территории России: [https:// национальныйатлас.рф/cd2/152/152.htm](https://национальныйатлас.рф/cd2/152/152.htm)

Наибольшее годовое значение показателя на территории России отмечается в Забайкалье, Амурской области и на юге Приморского края (более 2400–2600 часов), а наименьшее – в северных прибрежных районах, на юге Камчатки и Курильских островов (менее 1200 часов). В годовом ходе минимум значений ПСС приходится на декабрь, а максимум, в большинстве случаев, на июль; иногда же он смещается на июнь в зависимости от годового хода облачности. В апреле максимальные значения (более 300 часов) имеют место на северо-западе Республики Саха (Якутия), в то время как на этих же широтах европейской части России, где сильно влияние Атлантики и, следовательно, увеличена облачность, ПСС составляет 180 часов и менее. На Камчатке, Сахалине и Курильских островах облачность и туманы также снижают значение показателя. В июле максимальная продолжительность ПСС наблюдается в северных районах Восточной Сибири и на юге европейской части России. Неоднородность пространственного распределения значений ПСС по территории России приводит к такой же неоднородности в сроках наступления здесь фенологических явлений (Минин, 2000), представляющих собой довольно сложную картину (рис. 3.2).

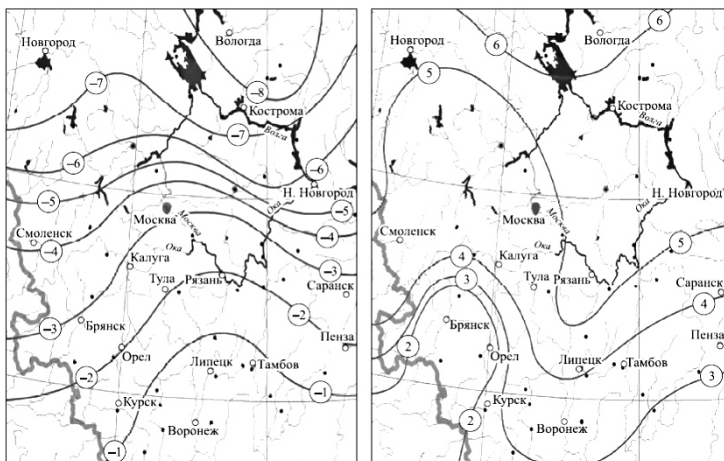


Рис. 3.2. Изофены смещения (в сутках) сроков развертывания первых листьев у березы повислой (слева) и окончания листопада (справа) на европейской территории России за период 1970–2000 гг. (Минин, 2000)

Анализ эмпирического материала показал, что ПСС в районе исследования изменяется в довольно больших пределах (табл. 3.1). Наиболее значительно изменяется значение показателя в весенние месяцы года, а меньше всего зимой, особенно в декабре (табл. 3.2). В период активной вегетации растений (май-август) ПСС составляет в среднем 1107 часов, а в предшествующий ему осенне-зимний – всего 392 часа.

Таблица 3.1

Годовой ход месячной продолжительности солнечного сияния и её изменчивости

Месяц	Параметры изменчивости продолжительности солнечного сияния				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
I	39,7	6	101	95	21,3
II	78,4	13	181	168	32,4
III	139,7	49	256	207	41,1
IV	199,5	121	306	185	39,5
V	277,7	179	398	219	46,1
VI	290,5	183	382	199	47,5
VII	295,8	200	419	219	49,3
VIII	242,5	160	348	188	42,4
IX	144,1	50	325	275	45,9
X	74,4	18	159	141	30,1
XI	32,8	2	79	77	15,9
XII	22,6	1	76	75	15,6

Таблица 3.2

Вариабельность продолжительности солнечного сияния в разные сезоны года

Сезон года	Параметры variability суммы осадков, мм				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
Зима	142	41	293	252	47,3
Весна	617	363	822	459	85,2
Лето	829	621	1008	387	86,1
Осень	251	80	384	304	58,9
V-VIII	1107	848	1325	477	116,1
Год	1839	1465	2268	803	172,0

Ряды средних значений ПСС каждого из сезонов года, а тем более отдельных месяцев, связаны между собой очень слабо (табл. 3.3), что косвенно указывает на их разное информативное значение в отношении воздействия на развитие растений, которое следует обязательно принимать во внимание. Так, значение коэффициента корреляции между рядами ПСС летних и осенних месяцев составляет -0,08, а летних и весенних – 0,36. Со среднегодовым значением ПСС довольно тесно связаны ряды показателя весеннего и летнего сезонов, а очень слабо – осеннего.

Наиболее значительное влияние на географическое распространение растений, а также на состав и продуктивность фитоценозов оказывает, на наш взгляд, величина ПСС в летние месяцы года, когда происходит их активная вегетация.

Таблица 3.3

Связь между рядами среднего значения ПСС в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезоны года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,21	1,00			
Лето	0,21	0,36	1,00		
Осень	-0,14	0,12	-0,08	1,00	
Год	0,40	0,81	0,72	0,32	1,00

Анализ многолетних рядов метеорологических данных показал, что в изменениях значений ПСС на территории Марий Эл в период активной вегетации растений отмечается слабый положительный тренд (рис. 3.3), свидетельствующий о постепенном снижении облачности атмосферы. Временной же тренд изменения ПСС в осенне-зимне-весенний период фактически отсутствует.

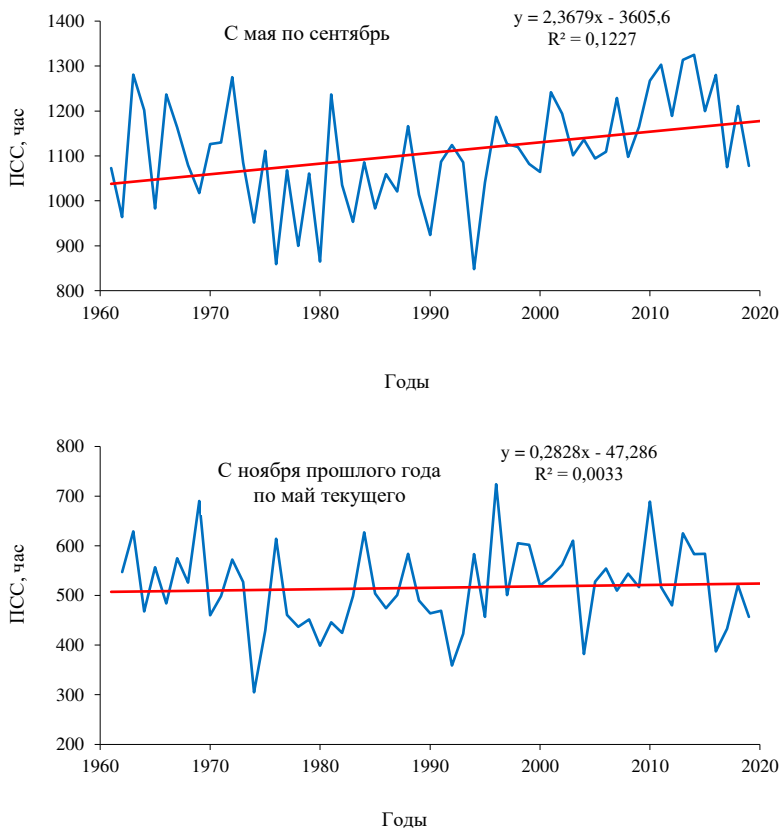


Рис. 3.3. Динамика значений ПСС на территории Марий Эл в разные сезоны года

В изменениях значений ПСС, как следует из представленных данных, трудно, на первый взгляд, выявить наличие какой-либо четкой периодичности, которая не проявляется также и в повторяемости аномальных по погодным условиям лет (табл. 3.4). Так, за 59 лет регулярных наблюдений очень низкие значения ПСС в зимние месяцы отмечены в 2019 году, в весенние – в 1974, в летние – в 1976 и 1994, а в осенние – в 1969. Большие же положительные аномалии наблюдались зимой 1969 и 2010 годов, весной 1963, летом 2013, осенью 1963 и 2005. В подавляющем же большинстве случаев (86-89 %) колебания ПСС в разные сезоны года не выходили за пределы их стандартного отклонения.

Таблица 3.4

Хронология аномалий ПСС в разные сезоны года

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
$< -2S$	2019	1974	1976, 1994	1969	1980
$< -1,5S$	нет	1961, 1980	1978, 1980, 1983	нет	1978, 1990
$> 1,5S$	1967, 1972, 2003, 2013	1996, 2014, 2015	1981, 2010, 2011	1962, 1974, 1975	1996, 2014
$> 2S$	1969, 2010	1963	2013	1963, 2005	1963, 2010

При сглаживании исходных рядов значений ПСС в разные сезоны года скользящей средней с лагом 7 лет уже довольно четко проявляется наличие волн разной продолжительности и мощности, отражающих смену режимов регионального климата. Так, к примеру, минимум весенних значений ПСС отмечен в 1977-1980 годах, после чего началось их неуклонное повышение, которое продолжалось вплоть до 2013 года (рис. 3.4). Фаза минимальных значений ПСС в летние месяцы продолжалась с 1977 по 1992 год, а максимум пришелся также на 2013 год.

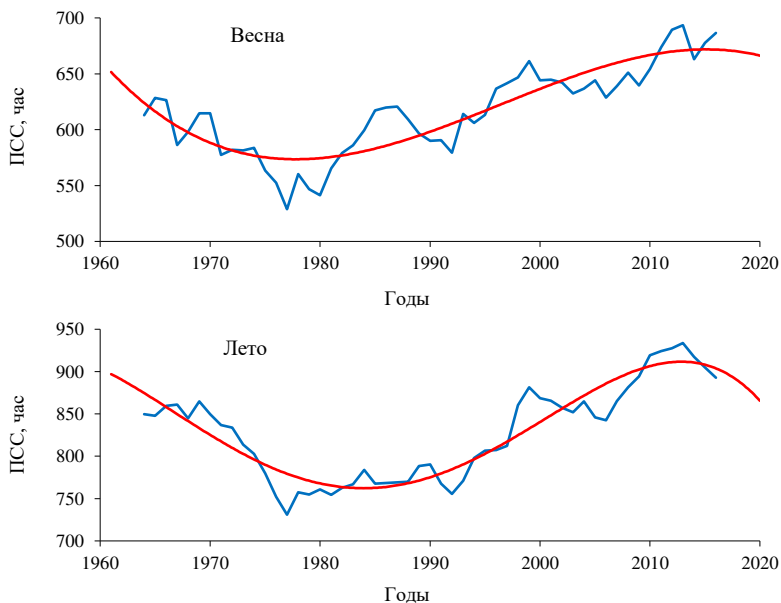


Рис. 3.4. Динамика сглаженных по 7-летиям значений ПСС в разные сезоны года

Одной из основных причин изменений величины ПСС и смены режимов регионального климата является, судя по всему, вулканическая и сейсмическая активность. Так, спад значений показателя, начавшийся в 1970 году и закончившийся в 1977, был сопряжен с серией извержений вулканов Таал (1965), Келуд (1966), Аву (1966), Фернандина (1968), Аренал (1968), Дидикас (1969), Гудзон (1971), Вильяррика (1971), Эльдфелл (1973), Тятя (1973), Фуэго (1974), Толбачик (1975) и Августин (1976), мощных землетрясений в Ташкенте (1966), Перу (1970), Китае и Гватемале (1976). В это же время отмечался ряд астрофизических событий: взрыв в 1975 году сверхновой в созвездии Лебедя, который можно было видеть невооруженным глазом в течение нескольких суток, а также мощная вспышка на Солнце, произошедшая в 1972 году. Очень низкие значения ПСС, отмечавшиеся в 1978-1992 годах, также были связаны с извержениями вулканов Ньирагонго (1977), Дьенг (1979), Мерапи (1979), Этна (1979), Сент-Хеленс (1980), Алайд (1981), Северный Паган (1981-1985), Эль-Чичон (1982), Галунггунг (1982), Коло (1983), Невадодель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990) и Келуд (1990), а также с мощными землетрясениями, произошедшими в различных регионах земного шара в 1978, 1988, 1989, 1990, 1991 и 1992 годах.

Параметры основной волновой компоненты в рядах значений показателя были сугубо специфичными в каждом из сезонов года (табл. 3.5). Так, амплитуда колебаний ПСС (А, час) изменялась от 20,4 в зимние месяцы до 73,2 – в летние. Период колебаний показателя (Т) самым коротким (35 лет) был в осенние месяцы, а наиболее продолжительным (66 лет) – в весенние. В рядах значений ПСС зимних и особенно осенних месяцев волновая компонента проявляется гораздо слабее, чем в весенние и летние, у которых величина коэффициента детерминации (R^2) достигает 0,760-0,871.

Таблица 3.5

Параметры основной волновой компоненты в рядах ПСС разных сезонов года

Сезон года	Параметры уравнения $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \varphi) + c$				
	А	Т	φ	с	R^2
Зима	20,4	43	3,097	141,0	0,596
Весна	46,5	66	-1,487	620,6	0,760
Лето	73,2	56	2,019	830,5	0,871
Осень	21,0	35	0,426	246,3	0,420

Примечание: А – амплитуда колебаний, ч; t – фактический календарный год; Т – период колебаний, лет; φ – фазовый сдвиг; с – средний уровень значений ПСС, ч

По значениям полученных параметров уравнений можно реконструировать многолетний ход ПСС на территории Марий Эл в разные сезоны года и спрогнозировать их дальнейшую динамику. Расчеты показали, что гребни волн значений показателя летних месяцев отмечались в 1900, 1956 и 2013 годах, а впадины – в 1873, 1928 и 1984 (рис. 3.5). Следующий минимум ПСС может наступить в 2041 году. Ход значений ПСС весенних месяцев изменяется иначе, однако в 2013 году гребни их волн совпали между собой. В рядах остатков также проявляется наличие волновой компоненты с периодом 14 лет, но амплитуда колебаний значений ПСС у нее невелика.

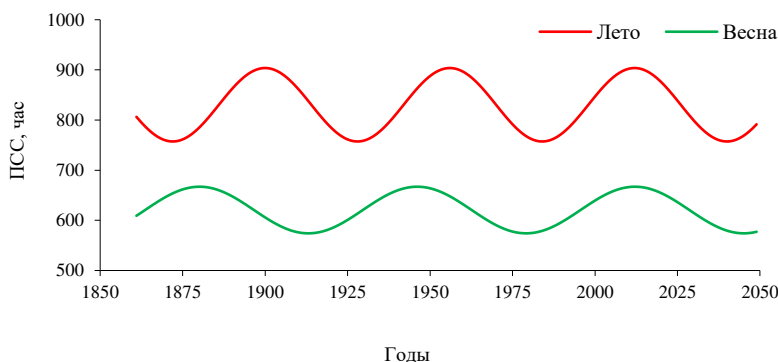


Рис. 3.5. Главная волновая компонента значений ПСС в разные сезоны года

3.2. Температура воздуха

Температура воздуха изменяется в районе исследования, как показал анализ исходного материала, в довольно больших пределах (табл. 3.6). Так, годовая амплитуда средних месячных температур воздуха составляет 46 °С, а экстремумов – 87 °С. Наиболее значительно варьирует температура зимних месяцев, размах колебаний которой в многолетнем ряду значений достигает 18,0-20,3 °С. Размах же колебаний средней месячной температуры воздуха летом в многолетнем ряду составляет всего 8,4-9,2 °С, что связано с огромным расходом солнечной энергии на эвапотранспирацию. Зимой же этого не происходит. При усреднении температуры по сезонам года вариабельность её значений снижается, однако и в этом случае она наиболее велика зимой (табл. 3.7). Значения параметров изменчивости температуры воздуха в рядах многолетних

измерений обратно пропорционально связаны с величиной её среднего значения (рис. 3.6), что наилучшим образом описывают соответствующие уравнения регрессии:

$$A = 16,0 \times \exp[-6,59 \times 10^{-2} \times (t + 15)] + 6,5; R^2 = 0,930;$$

$$S = 3,28 \times \exp[-9,49 \times 10^{-2} \times (t + 15)] + 1,67; R^2 = 0,954.$$

Здесь A – амплитуда многолетних колебаний средней месячной температуры воздуха, °C; S – стандартное отклонение средней месячной температуры воздуха в ряду многолетних измерений, °C; t – средняя месячная температура воздуха в ряду многолетних измерений, °C.

Таблица 3.6

Годовой ход средней месячной температуры воздуха и параметров её изменчивости

Месяц	Параметры изменчивости температуры воздуха, °C					Абсолютные экстремумы, °C	
	М	min	max	Амплитуда	S	min	max
I	-12,6	-23,0	-3,1	19,9	4,2	-47	5
II	-11,9	-20,9	-2,9	18,0	4,0	-44	5
III	-5,6	-14,4	1,9	16,3	2,9	-39	15
IV	4,0	-2,1	10,0	12,1	2,5	-27	29
V	11,9	6,8	16,1	9,3	2,1	-10	34
VI	16,5	12,0	20,7	8,7	2,0	-4	37
VII	18,6	14,6	23,0	8,4	1,9	2	39
VIII	16,4	12,6	21,8	9,2	1,7	-1	37
IX	10,2	6,3	14,3	8,0	1,6	-8	32
X	3,3	-2,8	7,2	10,0	2,0	-22	24
XI	-3,9	-11,7	1,4	13,1	2,8	-38	15
XII	-9,8	-20,9	-0,6	20,3	4,0	-48	6

Примечание: М – среднее арифметическое значение за 112 лет наблюдений; S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение в многолетнем ряду наблюдений

Таблица 3.7

Параметры вариабельности средней температуры воздуха в разные сезоны года

Сезон года	Параметры вариабельности температуры воздуха, °C					Абсолютные экстремумы, °C	
	М	min	max	Амплитуда	S	min	max
Зима	-11,6	-18,9	-5,8	13,0	2,9	-48	6
Весна	3,4	-0,9	7,8	8,7	1,7	-39	34
Лето	17,2	14,3	20,3	6,0	1,3	-4	39
Осень	3,2	-0,8	5,9	6,7	1,5	-38	32
Год	3,1	0,0	5,4	5,4	1,2	-48	39

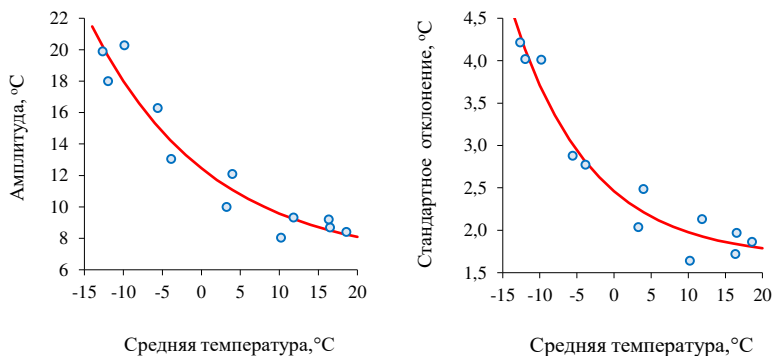


Рис. 3.6. Характер связи между среднемесячной температурой воздуха и параметрами её изменчивости в рядах многолетних измерений на территории Республики Марий Эл

Зима продолжается в среднем 164 дня, а наиболее морозная её часть с температурой ниже -10°C – 89 дней. Устойчивый переход через 0°C , являющийся признаком начала и конца зимы, наблюдается в среднем 26 октября и 7 апреля (табл. 3.8). Продолжительность периода года с температурой воздуха выше 0°C равна в среднем 201 дню. Активная вегетация растений начинается в среднем 9 мая и заканчивается 15 сентября, продолжаясь 128 дней. В этот период, однако, часто наблюдаются заморозки (табл. 3.9). Продолжительность периода без заморозков в воздухе составляет в среднем 121 день, а на поверхности почвы – 104 дня. С вероятностью один раз в 20 лет продолжительность безморозного периода может либо сокращаться до 90 дней, либо увеличиваться до 149 дней (табл. 3.10). Наиболее теплая часть лета продолжается всего 77 дней (с 6 июня по 22 августа).

Таблица 3.8

Даты перехода средних суточных температур воздуха через определенные пороги

Температурный порог, °C	Дата		Число дней с температурой, превышающей порог	Суммы температур, °C	
	начала	конца		ниже порога	выше порога
-10	9.XII	7.III	276	-1125	-
-5	15.XI	22.III	237	-1422	-
0	26.X	7.IV	201	-1505	2368
5	21.IV	6.X	167	-	2284
10	9.V	15.IX	128	-	1986
15	6.VI	22.VIII	77	-	1328

Таблица 3.9

Даты заморозков и продолжительность безморозного периода

Метеопоказатель	Дата и продолжительность явления		
	средняя	самая ранняя	самая поздняя
Последний заморозок на почве	27.V	4.V	21.VI
Первый заморозок на почве	10.IX	7.VIII	4.X
Продолжительность безморозного периода, дней	104	58	137

Таблица 3.10

Продолжительность безморозного периода различной обеспеченности

Уровень обеспеченности, %	95	90	75	50	25	10	5
Продолжительность периода, дней	90	98	108	120	132	143	149

При анализе динамики температуры воздуха и выявлении временных трендов обычно оперируют средним годовым её значением, не учитывая специфики отклика деревьев и лесных экосистем в целом на вариации показателя в каждом сезоне года. Со среднегодовой температурой воздуха наиболее тесно связаны, как показали расчеты (табл. 3.11), ряды средней температуры зимнего и весеннего сезонов, а наиболее слабо – летнего. Ряды же средней температуры каждого из сезонов года, а тем более отдельных месяцев, связаны между собой очень слабо, что косвенно указывает на их разное информативное значение в отношении воздействия на прирост деревьев, которое следует обязательно принимать во внимание. Наиболее значительное влияние на географическое распространение растений, а также на состав и продуктивность фитоценозов оказывает, на наш взгляд, температурный режим зимних месяцев, который изменяется как в пространстве, так и во времени в гораздо больших пределах, чем летних, когда, как отмечалось выше, огромное количество поступающей на Землю солнечной энергии расходуется на эвапотранспирацию.

Таблица 3.11

Связь между рядами значений средней температуры воздуха в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезоны года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,03	1,00			
Лето	0,43	0,20	1,00		
Осень	0,20	0,00	0,21	1,00	
Год	0,69	0,40	0,71	0,51	1,00

Анализ многолетних рядов метеорологических данных показал, что изменения температуры воздуха на территории Марий Эл имеют те же общие закономерности, что и в ряде других регионов России (Анализ ..., 1999; Об изменениях ..., 2001; Мирвис, 2002), т.е. отмечается тренд увеличения средней годовой температуры воздуха (рис. 3.7), происходящий в основном за счет зимы и весны (рис. 3.8 и 3.9). Довольно четко он проявляется и в изменении индекса континентальности климата (рис. 3.10), представляющего собой разность между средней температурой воздуха в летние и зимние месяцы. Временной же тренд изменения температуры в летние и осенние месяцы, а также внутригодовой вариативности (рис. 3.11) фактически отсутствует.

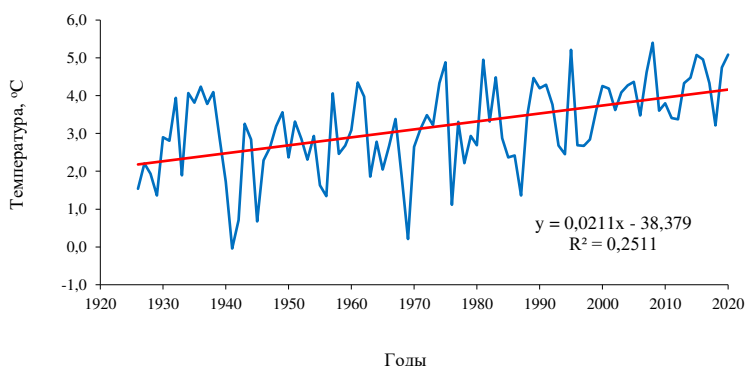


Рис. 3.7. Динамика среднегодовой температуры воздуха за истекшие 100 лет

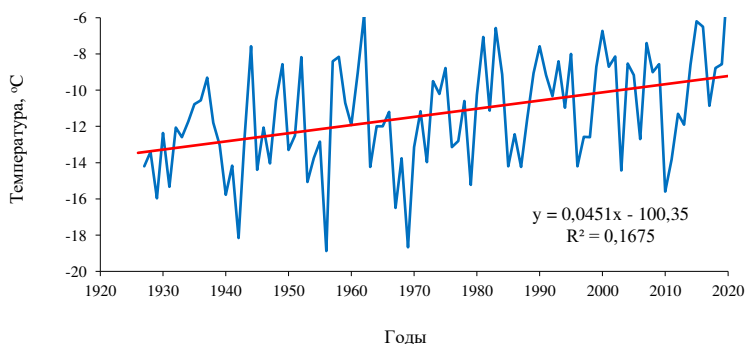


Рис. 3.8. Динамика средней зимней температуры воздуха (при расчете показателя использовали его значения в декабре предыдущего года, а в январе и феврале — текущего)

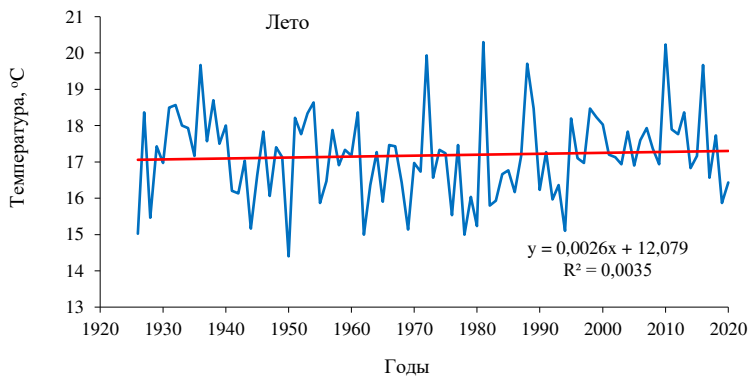
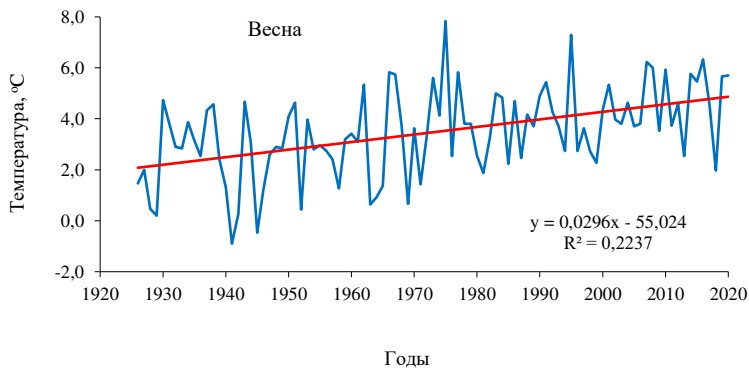


Рис. 3.9. Динамика средней температуры воздуха в весенние и летние месяцы

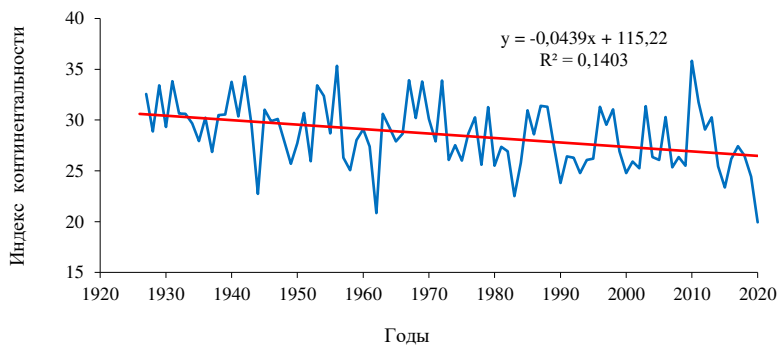


Рис. 3.10. Динамика индекса континентальности климата

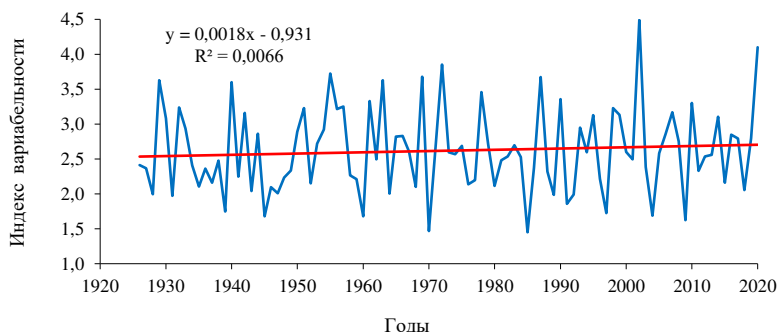


Рис. 3.11. Динамика индекса внутригодовой варибельности отклонений средней температуры воздуха во все месяцы от нормы, т.е. их среднегодовой величины

В изменениях значений температуры воздуха, как следует из представленных выше данных, трудно выявить наличие какой-либо четкой периодичности, которая не проявляется также и в повторяемости аномальных по погодным условиям лет. Так, к примеру, за 112 лет наблюдений очень низкие значения средней температуры зимних месяцев отмечены в 1942, 1956 и 1969 годах, весенних – в 1941 и 1945, летних – в 1904 и 1950, а осенних – в 1902, 1909, 1987 и 1993 (табл. 3.12). Большие же положительные аномалии зимних месяцев зарегистрированы в 2020 году, весенних – в 1975 и 1995, летних – в 1921, 1972, 1981, 1988 и 2010. Аномально холодными в целом были 1941, 1942, 1945 и 1969 годы, а аномально теплым только лишь 2008. В подавляющем же большинстве случаев (86-89 %) колебания средней температуры воздуха в разные сезоны года не выходили за пределы стандартного отклонения.

Таблица 3.12

Хронология аномалий средней температуры воздуха в разные сезоны года

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
< -2S	1942, 1956, 1969	1941, 1945	1904, 1950	1902, 1909, 1987, 1993	1941, 1942, 1945, 1969
< -1,5S	1900, 1929, 1967	1904, 1928, 1929, 1942, 1952, 1963, 1969	1926, 1944, 1962, 1969, 1978, 1980, 1994	1906, 1907, 1941, 1956, 1959, 1976	1909, 1956, 1976
> 1,5S	1962, 1981, 1983, 2000, 2015, 2016	1906, 2007, 2008, 2016	1938, 2016, 2021	1889, 1938, 1974, 2005, 2008	1975, 1981, 1995, 2015, 2016, 2020
> 2S	2020	1975, 1995	1921, 1972, 1981, 1988, 2010	нет	2008

Не прослеживается какой-либо периодичности также в изменениях значений температуры воздуха в месяцы активной вегетации растений (табл. 3.13). Так, большие положительные аномалии отмечались в мае 1948, 1957, 1979, 1984, 2005, 2010 и 2021 годов, июне 1936, 1948, 1956, 1981, 1987, 1989, 1991, 1995 и 2021, июле 1931, 1933, 1981, 1988, 2002 и 2010, августе 1930, 1932, 1938, 1940, 1951, 1981, 2007, 2010, 2016 и 2021. Совпадение температурных аномалий в нескольких месяцах случалось гораздо реже. Май и июнь были теплее обычного в 1948 и 2021 годах, июнь и июль – только в 1981, май и август – в 2010. В 2021 году положительные аномалии отмечались в мае, июне и августе. Одновременного совпадения температурных аномалий во всех четырех месяцах вегетационного периода не наблюдалось.

Таблица 3.13

Хронология аномалий температуры воздуха в период активной вегетации растений

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения месячных значений от нормы				
	Май	Июнь	Июль	Август	В целом
< -2S	1941, 1945, 1969	1930, 1941	1926	1980	1950, 1969
< -1,5S	1937, 1999, 2000	1962, 1969, 1979, 1982, 2003	1948, 1950, 1956, 1994	1926, 1950	1926, 1941, 1978, 1974
> 1,5S	1948, 1957, 1979, 1984, 2005, 2010, 2021	1936, 1956, 1981, 1987, 1991, 1995, 2021	1931, 1933, 1981, 1988, 2002	1938, 1940, 1951, 1981, 2010, 2021	1972, 1981, 1988
> 2S	нет	1948, 1989	2010	1930, 1932, 1972, 2007, 2016	2010, 2016, 2021

Наиболее частыми причинами возникновения температурных аномалий являются, как отмечалось в разделе 1.2, мощные извержения вулканов, которые в той или иной степени обусловлены внешними космическими факторами. Так, к примеру, на следующий год после извержения вулкана Тамбора в Северном полушарии Земли отмечалось аномально холодное лето. Понижение глобальной температуры воздуха у земной поверхности произошло после извержений вулканов Эль-Чичон в 1982 году и Пинатубо в 1991 году. Извержение же исландского вулкана Эйяфьятлайокудль, проснувшегося после почти 200-летней спячки весной 2010 года, обусловило, наоборот, высокую положительную температурную аномалию, захватившую многие регионы России от Кольского полуострова до Урала. В Южном полушарии, напротив, в это же самое время наблюдались не характерные для этих широт морозы до

–20 °C и ниже. Изменение процессов в климатической системе Земли, приведших в результате к этой региональной погодной аномалии, началось, однако, еще в 1997 году после мощного извержения вулканов на острове Суматра и в Никарагуа, а также вспышек на Солнце (2003 и 2005 годы) и взрывов сверхновых (2004, 2006 и 2008 годы). Изменение же хода климатических процессов, приведших к погодной аномалии 1972 года, началось еще в 1956 году после мощной вспышки на Солнце, за которой последовала серия извержений вулканов: Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1964), Келуд (1966) и Фернандина (1968). Их воздействие на климатическую систему Земли усилили такие факторы как вспышка на Солнце, приведшая к мощной геомагнитной буре, и извержение вулкана в Никарагуа, произошедшие весной 1972 года. Аномально жаркому лету 1921 года также предшествовала сильнейшая магнитная буря, разразившаяся 15 мая, причиной которой явилось образование 13 мая огромного пятна на Солнце диаметром около 300 тыс. км, что в 20 раз превышает диаметр Земли. Извержения вулканов приводят к разрушению озонового слоя атмосферы и повышению уровня УФ-радиации, что приводит к снижению прироста у хвойных деревьев (Trends ..., 2008).

Изменения значений индексов температуры воздуха в разные сезоны года относительно друг друга происходили, как следует из приведенных выше данных, по-разному. Проведем анализ погодной ситуации в годы с температурными аномалиями и попытаемся выявить индикаторы, позволяющие делать хотя бы краткосрочный прогноз. Довольно жарким было лето 1936 года, температура воздуха в июне которого превышала среднемноголетние значения (норму) на 3,3 °C (табл. 3.14). Еще более жарким было лето 1972 года, когда превышение температуры в августе составило 5,4 °C. Особенно продолжительное время высокая температура удерживалась в 2010 и 2021 годах. В ряде случаев им предшествовали морозные зимы, как это отмечалось в 1972, 1988 и 2010 годах, в ряде, наоборот, очень теплые (1936, 1981 и 2015), а иногда же смешанные (1988 и 2021). Аномально холодным было лето 1930, 1941, 1950, 1978, 1980, 1994 и 2003 годов (табл. 3.15). Наиболее велики были отклонения температуры от нормы в 1930 и 1941 годах, достигавшие 4,5-5,0 °C. Холодная зима предшествовала жаркому лету только в 1941 году, а в остальных же случаях зимы были смешанными по температурному режиму. Так, декабрь 1929 года был холоднее нормы, январь 1930 – теплее, а февраль – опять холоднее. Подобная картина отмечалась в 1977/1978 и 2002/2003 годах. В другие годы (1949/1950, 1979/1980) холоднее нормы было в январе, а теплее – в декабре и феврале.

Таблица 3.14

Ход отклонений температуры воздуха по месяцам с аномально жарким летом

Месяц	Отклонение температуры воздуха от нормы в разные годы, °C						
	1935/36	1971/72	1980/81	1987/88	2009/10	2014/15	2020/21
IX	1,5	1,5	-0,4	-1,4	1,8	-0,2	0,5
X	3,8	-2,1	-0,4	-2,4	1,1	-2,7	2,4
XI	-1,1	3,0	-0,1	-5,9	2,6	0,3	1,2
XII	-0,2	0,9	4,3	-2,1	-2,6	9,2	-2,4
I	4,3	-9,0	5,5	-0,9	-7,4	2,3	2,2
II	-1,5	0,5	3,3	2,5	-2,5	4,2	-5,8
III	-0,9	-1,5	-2,1	1,7	1,9	2,7	-0,3
IV	-0,2	1,3	-2,5	0,2	2,0	0,6	1,3
V	-1,6	-0,2	-0,1	0,3	3,6	2,8	3,5
VI	3,3	0,3	3,0	2,9	2,2	2,3	3,4
VII	2,6	2,6	3,2	3,7	4,4	-1,2	1,3
VIII	1,6	5,4	3,2	1,0	2,6	-1,1	2,6
IX	0,1	-1,7	-0,3	-0,7	0,1	3,2	-2,0
X	-1,5	0,9	3,6	0,1	-0,6	-0,6	1,3
XI	2,5	-0,1	2,1	-5,0	3,3	2,7	3,4
XII	5,1	6,2	3,4	-1,4	-1,1	5,9	-0,9

Таблица 3.15

Ход отклонений температуры воздуха по месяцам с аномально холодным летом

Месяц	Отклонение температуры воздуха от нормы в разные годы, °C						
	1929/30	1940/41	1949/50	1977/78	1979/80	1993/94	2002/03
IX	-1,4	2,7	-0,3	-0,9	0,4	-3,9	0,5
X	2,9	-3,6	-0,5	-2,5	-1,6	-0,5	-0,5
XI	2,6	2,5	-0,5	3,3	0,9	-6,9	1,0
XII	-3,4	-0,7	1,1	-1,1	3,3	2,2	-9,2
I	3,5	-4,4	-7,4	4,1	-0,8	4,9	1,7
II	-2,9	-3,1	0,7	-0,5	1,0	-5,7	-1,5
III	2,4	-3,1	0,3	4,6	-3,1	-0,4	-0,9
IV	0,9	-4,9	2,9	-0,8	1,1	0,1	0,8
V	0,6	-5,0	-1,2	-2,7	-0,6	-1,8	1,2
VI	-4,5	-4,1	-1,7	-2,3	0,2	-1,5	-3,8
VII	-0,6	0,3	-3,4	-2,2	-2,2	-2,8	1,4
VIII	4,5	0,9	-3,2	-2,0	-3,8	-1,9	1,7
IX	-1,1	-1,3	1,1	-0,6	-0,4	2,1	0,5
X	-0,1	-1,7	0,7	-0,9	-0,4	0,8	1,9
XI	0,4	-5,1	0,3	1,6	-0,1	-0,9	3,1
XII	-5,4	-6,1	2,2	-8,8	4,3	-0,6	5,8

Отрицательные аномалии средней месячной температуры воздуха зимой доходили до 10,4-11,1 °С, превышая летние вдвое. Наиболее велики были отклонения температуры от нормы в 1941/1942 и 1955/1956 годах (табл. 3.16). Холодные зимы предшествовали жаркому лету только в 2010 году, а в остальных случаях оно было холоднее обычного, особенно в 1969 году, или же смешанным по температурному режиму. Зимы с положительными аномалиями температуры отмечались почти за 100-летний период наблюдений гораздо чаще, чем с отрицательными, особенно в последние 20 лет (табл. 3.17 и 3.18). Наиболее велики были отклонения температуры от нормы в 1961/1962, 2006/2007, 2014/2015 и 2019/2020 годах, доходившие до 8,6-9,5 °С. Теплые зимы только в одном случае предшествовали жаркому лету 1981 года, в двух случаях (1962 и 1994 годы) – холодному, а в остальных же случаях – смешанному по температурному режиму. Таким образом, прогнозировать наступление той или иной температурной аномалии данным путем невозможно (особо подчеркнем, что именно данным путем, а не каким-либо иным). Приведенные данные убедительно свидетельствуют о нерегулярности проявления температурных аномалий в различных сезонах года, а также их скоротечности.

Таблица 3.16

Ход отклонений температуры воздуха по месяцам с аномально холодной зимой

Месяц	Отклонение температуры воздуха от нормы в разные годы, °С						
	1941/42	1955/56	1966/67	1968/69	1978/79	1986/87	2009/10
IX	-1,3	1,3	-0,8	-0,8	-0,6	-2,4	1,8
X	-1,7	3,7	-1,0	-2,6	-0,9	-0,5	1,1
XI	-5,1	-1,4	1,0	-0,1	1,6	-0,4	2,6
XII	-6,1	-11,1	-7,1	-3,4	-8,8	-2,3	-2,6
I	-10,4	-2,9	-4,8	-9,8	-2,7	-9,6	-7,4
II	-3,7	-8,2	-3,3	-8,5	0,1	3,5	-2,5
III	-5,9	-1,3	2,0	-4,6	2,2	-2,2	1,9
IV	-3,6	-0,5	2,2	1,0	-5,1	-2,9	2,0
V	0,0	-0,2	2,7	-4,7	4,0	2,2	3,6
VI	-1,1	3,0	-0,5	-3,5	-3,5	3,0	2,2
VII	-0,8	-3,7	-1,1	-1,6	-0,3	-1,7	4,4
VIII	-1,2	-1,4	2,4	-1,0	0,4	-1,3	2,6
IX	-0,7	-3,5	-0,9	1,2	0,4	-1,4	0,1
X	0,5	0,1	2,7	-1,6	-1,6	-2,4	-0,6
XI	-1,8	-5,2	2,9	1,9	0,9	-5,9	3,3
XII	0,1	3,0	-0,8	-3,4	3,3	-2,1	-1,1

Таблица 3.17

**Ход отклонений температуры воздуха по месяцам с аномально
теплой зимой во второй половине XX столетия**

Месяц	Отклонение температуры воздуха от нормы в разные годы, °С						
	1961/62	1980/81	1982/83	1983/84	1990/91	1992/93	1993/94
IX	-2,4	-0,4	1,5	0,2	-1,0	3,3	-3,9
X	1,9	-0,4	-1,1	1,3	-0,9	-1,5	-0,5
XI	-2,9	-0,1	3,2	0,8	0,0	0,6	-6,9
XII	8,7	4,3	6,3	5,1	3,7	3,3	2,2
I	4,4	5,5	5,9	3,8	1,1	4,9	4,9
II	3,7	3,3	2,4	-2,0	2,0	0,9	-5,7
III	0,6	-2,1	-0,4	1,2	0,4	-0,8	-0,4
IV	2,0	-2,5	5,1	-0,2	3,3	0,6	0,1
V	3,1	-0,1	0,0	3,2	2,3	1,0	-1,8
VI	-3,7	3,0	-2,5	0,0	3,2	-1,0	-1,5
VII	-0,3	3,2	0,2	0,7	-0,9	0,0	-2,8
VIII	-2,5	3,2	-1,4	-2,2	-2,0	-1,4	-1,9
IX	0,0	-0,3	0,2	0,7	-0,6	-3,9	2,1
X	0,0	3,6	1,3	-0,3	3,6	-0,5	0,8
XI	3,3	2,1	0,8	-1,9	2,2	-6,9	-0,9
XII	0,0	3,4	5,1	-5,6	-0,2	2,2	-0,6

Таблица 3.18

**Ход отклонений температуры воздуха по месяцам с аномально
теплой зимой за истекшие 20 лет нового тысячелетия**

Месяц	Отклонение температуры воздуха от нормы в разные годы, °С						
	1998/99	1999/00	2000/01	2006/07	2014/15	2017/18	2019/20
IX	-0,3	-0,2	-0,9	1,8	-0,2	0,9	-1,1
X	1,0	2,7	1,0	0,3	-2,7	0,4	3,1
XI	-6,3	-5,6	-1,5	0,3	0,3	3,1	1,3
XII	2,6	4,3	0,2	7,1	9,2	6,1	6,2
I	2,3	4,0	6,5	8,6	2,3	3,5	9,5
II	3,3	5,8	1,5	-3,6	4,2	-1,6	8,1
III	-1,7	2,3	1,9	4,5	2,7	-4,7	7,5
IV	2,5	3,8	3,8	1,3	0,6	-0,1	-0,5
V	-4,3	-3,3	0,0	2,6	2,8	0,4	-0,2
VI	2,4	0,7	-0,7	-1,7	2,3	-1,5	-1,5
VII	1,9	2,4	2,0	0,3	-1,2	1,9	1,3
VIII	-1,1	-0,5	-1,2	3,7	-1,1	1,3	-2,0
IX	-0,2	-0,9	1,4	0,9	3,2	1,2	0,5
X	2,7	1,0	-0,4	2,2	-0,6	-0,1	2,4
XI	-5,6	-1,5	1,6	-0,9	2,7	0,2	1,2
XII	4,3	0,2	-3,2	0,4	5,9	1,0	-2,4

Возникновению больших температурных аномалий предшествует, как правило, определенный ход погодных условий, но проявляться четко он начинает лишь за 2-3 месяца до их наступления. Все погодные ситуации, отмечавшиеся за период регулярных наблюдений с 1899 года, объединяются, как показали расчеты, в три варианта, представительность каждого из которых примерно одинакова. При первом варианте в течение всего года отмечаются, как правило, отрицательные аномалии температуры воздуха (рис. 3.12). Такая ситуация, отмечалась, к примеру, в 1904, 1908, 1909, 1926, 1942, 1956, 1965, 1969, 1976, 1978 1987 годах. При втором варианте развития событий в августе наблюдается отрицательная температурная аномалия, которой предшествуют большие положительные аномалии в течение первых четырех месяцев года. В осенние месяцы и в декабре опять отмечаются небольшие положительные аномалии температуры. При третьем варианте хода погодных условий наиболее холодным месяцем года является февраль, а затем температура воздуха постепенно увеличивается, достигая максимума в августе. В июне же отмечается небольшой скачок снижения температуры по сравнению с маем и июлем.

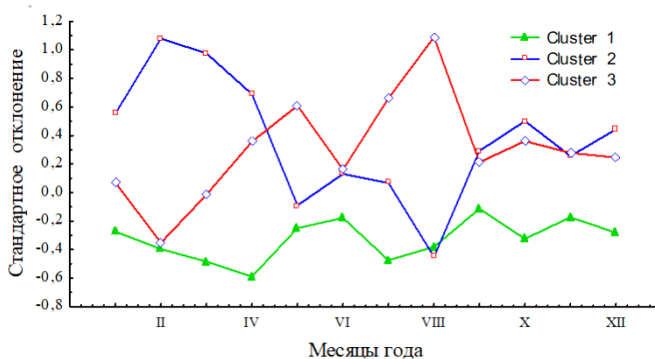


Рис. 3.12. Годовой ход значений индекса средней месячной температуры воздуха в разных погодных ситуациях

Реальные погодные ситуации, как показал анализ исходного материала, сильно отличаются от описанных модельных случаев и в каждом году имеют свои особенности. Так, к примеру, аномально жаркому лету 1972 и 2010 годов предшествовали сильные морозы в январе, чего в 2021 году не отмечалось (рис. 3.13). В 1972 году температура в мае и июне была близка к региональной норме, а в 2010 и 2021 годах значи-

тельно превышала её. Оказалось, что подобрать аналоги лет по погодной ситуации в ряду многолетних наблюдений очень сложно, поскольку ход температуры в каждом году сугубо индивидуален. Так, значение коэффициента корреляции между рядами индексов месячных аномалий температуры 1972 года и другими годами изменялось от 0,547 до -0,823, 2010 – от 0,681 до -0,661, 2021 – от 0,604 до -0,716. Проще, таким образом, подобрать по погодной обстановке годы-антиподы.

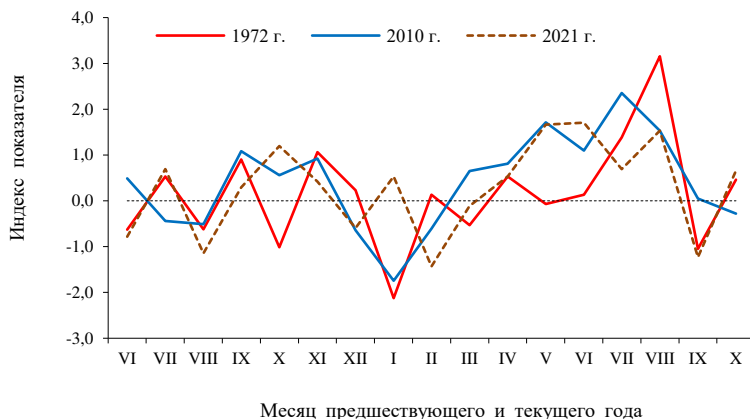


Рис. 3.13. Ход значений индекса средней месячной температуры воздуха в 1972, 2010 и 2021 годах с аномально жарким летом

Одним из методов выявления периодичности в рядах исходных значений показателя, замаскированной случайными процессами, вызывающими ежегодные мощные флуктуации, является сглаживание данных скользящей средней с лагом различной длины.

Расчеты показали, что при сглаживании рядов средней температуры воздуха в разные сезоны года скользящей средней с лагом 11 лет начнет уже довольно четко проявляться наличие волн разной продолжительности и мощности, отражающих смену режимов регионального климата. Так, к примеру, в 1935 году началось снижение значений показателя в летний период года, которое продолжалось около 10 лет и закончилось в 1945 году (рис. 3.14). В это же время происходило снижение значений индекса показателя осенних месяцев, а увеличение же его в летние и осенние месяцы началось с 1985 года (рис. 3.15). Наличие определенной ритмики проявляется и в изменениях значений индекса континентальности климата (рис. 3.16).

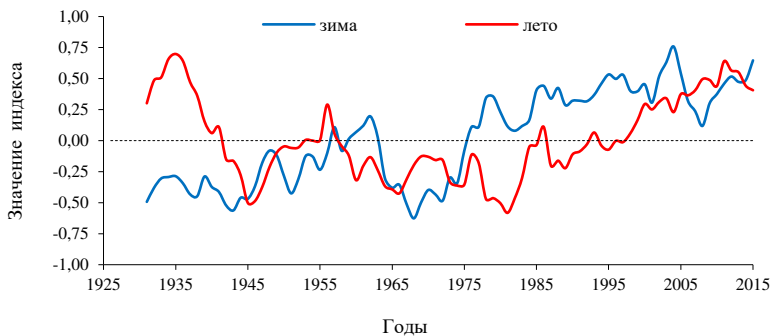


Рис. 3.14. Динамика сглаженных по 11-летиям значений индексов средней температуры воздуха на территории Республики Марий Эл в зимние и летние месяцы года

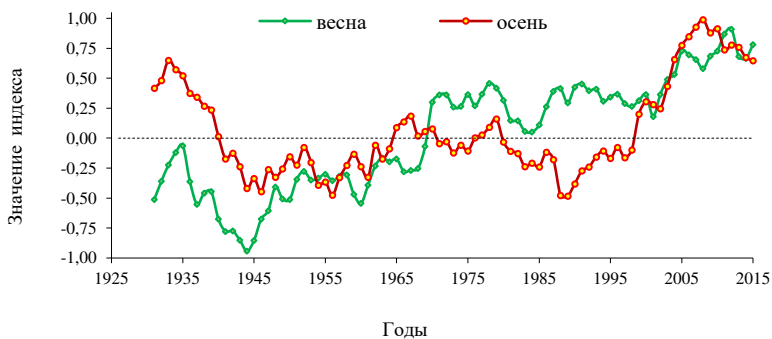


Рис. 3.15. Динамика сглаженных по 11-летиям значений индексов средней температуры воздуха на территории Республики Марий Эл в весенние и осенние месяцы года

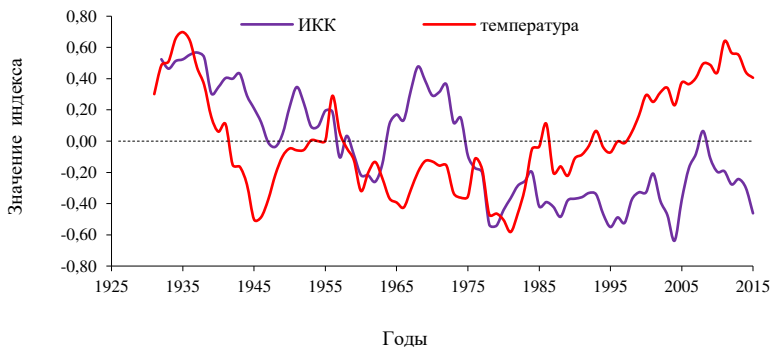


Рис. 3.16. Динамика сглаженных по 11-летиям значений индексов континентальности климата (ИКК) и температуры воздуха в летние месяцы года

Ход сглаженных значений параметров довольно точно можно описать, как показали расчеты, набором гармоник, имеющих разные периоды и амплитуды колебаний (табл. 3.19). Эти модели, однако, характеризуют лишь общую тенденцию изменения климата, которую значительно перекрывают фактические флуктуации погодных условий, но не объясняют причин возникновения волн.

Таблица 3.19

Параметры гармоник, описывающих динамику сглаженных значений индексов температуры воздуха в разные сезоны года

Сезон года	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \varphi)$			
	A	T	φ	R ²
Первая волновая компонента				
Зима	0,446	165	0,292	0,719
Весна	0,586	160	4,250	0,827
Лето	0,377	90	-0,878	0,642
Осень	0,382	94	-1,064	0,419
Вторая волновая компонента				
Зима	0,122	48	-2,064	0,766
Весна	0,163	43	2,270	0,887
Лето	0,155	18	-1,889	0,756
Осень	0,353	41	1,329	0,830
Третья волновая компонента				
Зима	0,134	28	2,152	0,830
Весна	0,123	21	1,691	0,922
Лето	0,092	25	-0,526	0,794
Осень	0,100	14	-0,764	0,863

Примечание: A – амплитуда колебаний в долях от величины среднеквадратического отклонения параметра; T – период колебаний, лет; t – календарный год; φ – фазовый сдвиг относительно принятой шкалы времени. Значение R² каждой последующей гармоники приведено с учетом вклада предыдущей.

Отсутствуют четко проявляющиеся волновые компоненты, как показал спектральный анализ, также и в сведенном воедино ряду месячных отклонений температуры воздуха от нормы, динамика которых представляет собой фактически бессвязный «белый шум». Об этом же свидетельствует характер распределения отклонений месячной температуры воздуха от среднееголетних значений, который приближается к нормальному гауссовскому (рис. 3.17). При наличии же волновых компонент он бы существенно отличался от такового, приближаясь к равномерному

(вырожденному). Сомневающиеся читатели могут это проверить сами на примере ряда чисел, отображенного синусоидой с заданными значениями амплитуды и периода.

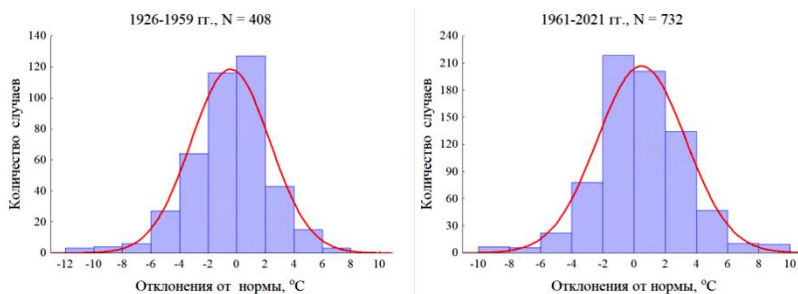


Рис. 3.17. Характер распределения отклонений месячной температуры воздуха от климатической нормы в разные периоды времени

Результаты проделанной работы не подтверждают, таким образом, выводов исследователей, упомянутых в разделе 1.2, о циклических колебаниях температуры воздуха, обусловленных воздействием различных физических факторов, в том числе космических, на климатическую систему Земли. Если и есть эти волновые колебания, то вклад их в общую вариабельность температуры воздуха крайне мал и исследователи его явно переоценили.

3.3. Атмосферные осадки

Нормальное функционирование живых организмов и их сообществ невозможно без наличия в окружающей среде воды или без её поступления извне в виде атмосферных осадков, количество которых в районе исследования изменяется, по данным многолетних наблюдений, в довольно больших пределах (табл. 3.20). Так, амплитуда месячной суммы осадков достигает 177,3 мм, наиболее значительно варьируя в летние месяцы (табл. 3.21). Меньше всего она изменяется зимой, особенно в феврале, и весной. В период активной вегетации растений (май-август) выпадает в среднем 44,2 % осадков, а в предшествующий ему осенне-зимний – 55,8 %. Параметры изменчивости суммы осадков в рядах многолетних измерений тесно связаны с величиной её средних месячных значений, увеличиваясь прямо пропорционально им (рис. 3.18).

Таблица 3.20

Годовой ход месячной суммы осадков и параметров её изменчивости

Месяц	Параметры изменчивости суммы осадков, мм				
	М	min	max	Амплитуда	S
I	36,2	7,1	86,3	79,2	16,3
II	28,5	0,2	62,2	62,0	14,0
III	28,4	4,9	81,2	76,3	16,1
IV	32,5	4,7	91,9	87,2	20,4
V	41,7	5,3	98,6	93,3	19,9
VI	63,3	9,4	170,8	161,4	36,6
VII	78,1	0,3	177,4	177,1	40,6
VIII	62,1	0,1	159,1	159,0	32,0
IX	54,3	12,5	111,1	98,6	24,3
X	53,3	0,0	128,3	128,3	29,7
XI	46,3	4,1	92,5	88,4	19,7
XII	39,9	10,2	108,1	97,9	18,1

Примечание: М – среднее арифметическое значение за 60 лет наблюдений;
S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение в многолетнем ряду наблюдений.

Таблица 3.21

Параметры вариабельности суммы осадков в разные сезоны года

Сезон года	Параметры вариабельности суммы осадков, мм				
	М	min	max	Амплитуда	S
Зима	96,5	27,0	179,0	152,0	36,9
Весна	101,9	31,0	178,2	147,2	35,6
Лето	198,1	60,5	346,7	286,2	62,6
Осень	148,0	53,0	247,6	194,6	45,4
IX - IV	305,2	130,0	451,7	321,7	76,7
V - VIII	241,4	98,6	409,2	310,6	68,7
Год	548,0	318,0	798,1	480,1	102,9

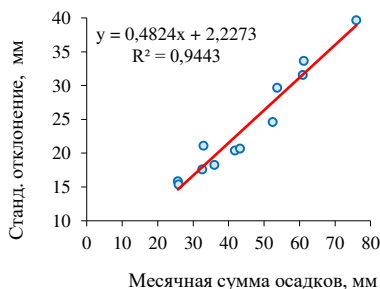
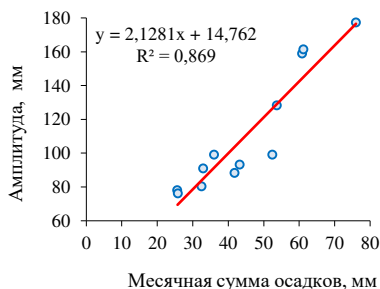


Рис. 3.18. Характер связи между среднемесячной суммой осадков и параметрами её изменчивости в рядах многолетних измерений на территории Республики Марий Эл

Ряды многолетних значений количества осадков, выпадающих в разные сезоны и месяцы года, связаны между собой очень слабо, что косвенно свидетельствует об их разном информативном значении и воздействии на развитие растений. Так, значение коэффициента корреляции между рядами значений в летние и осенние месяцы составляет -0,05, а в летние и весенние – +0,31 (табл. 3.22). Со среднегодовым количеством выпавших осадков довольно тесно связаны ряды показателя в летний период, а очень слабо – в осенний. Связь же между значениями показателя только в летние месяцы практически отсутствует (табл. 3.23).

Таблица 3.22

Связь между рядами значений среднего количества осадков в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезоны года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,29	1,00			
Лето	0,11	0,31	1,00		
Осень	0,10	0,06	-0,05	1,00	
Год	0,45	0,61	0,74	0,44	1,00

Таблица 3.23

Связь между рядами значений среднего количества осадков в разные месяцы года

Месяц	Значение коэффициента корреляции между рядами месячных значений				
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Май	1,00				
Июнь	0,02	1,00			
Июль	0,11	-0,02	1,00		
Август	0,27	0,00	0,07	1,00	
Сентябрь	-0,14	0,02	0,04	0,01	1,00

Анализ многолетних данных показал, что сумма осадков, выпадающих до начала активной вегетации растений, в целом неуклонно возрастает, а с мая же по сентябрь она флуктуирует возле среднего уровня (рис. 3.19). В изменениях фактических значений суммы осадков, как и средней температуры воздуха, какой-либо периодичности не обнаруживается и колебания их представляют собой случайные флуктуации, которые в подавляющем большинстве случаев не выходят во все сезоны года за пределы их стандартного отклонения (табл. 3.24). За вегетационный период очень мало осадков выпало в 1921, 1936, 1939, 1940, 1963, 1972, 2002 и 2010 годах, большой же недостаток их в отдельные месяцы отмечался, кроме этого, в июле 1938, мае 1979, июне 1987, июле

1997, июле 2001 и августе 2011. Летом же 1962, 1974, 1976, 1978, 1980, 2000, 2003, 2008, 2011, 2012, 2013 и 2017 годов, наоборот, было очень дождливо. Особенно много осадков выпало в июне 1977, 2000, 2003 и 2011 годов, а также в июле 1974, 2007 и 2017. В довегетационный период очень мало осадков выпало в 1942, 1944, 1945, 1948, 1950, 1963, 1969 и 1976 гг., а в 1974, 1979, 1981, 2007, 2011, 2012, 2013, 2017 и 2020 их количество превышало норму на 170-187 %.

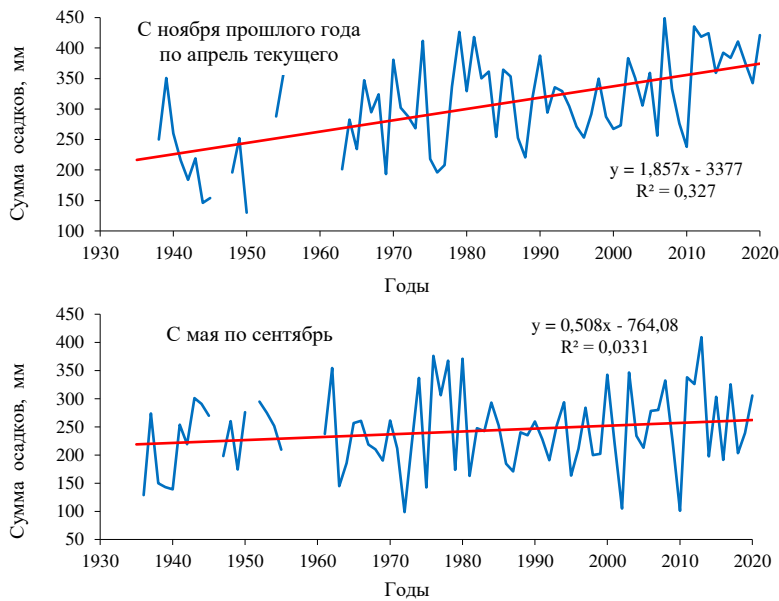


Рис. 3.19. Динамика суммы осадков в разные сезоны года

Таблица 3.24

Хронология аномалий суммы осадков в разные сезоны года

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
< -2S	нет	нет	1972, 2010	1975	1971, 1974
< -1,5S	1969, 1972, 1984, 1996	1963, 1973, 1984, 1996, 2010	2002	1961, 1974, 1987, 2000, 2005, 2020	1963, 1986, 1995
> 1,5S	2007, 2011, 2012, 2015	1982, 1997, 2012, 2013, 2020	1962, 1978 1980, 2003, 2011	2012	1977, 2011, 2016
> 2S	2016	1974	2013	1973, 1978, 2002	2010, 2012

При сглаживании же исходных рядов уже довольно четко проявляется волнообразность изменения значений показателя, но строгая периодичность их отсутствует. Так, с 1968 года сумма летних осадков начала в целом увеличиваться, достигнув максимума в 1980 году (рис. 3.20). Затем последовал продолжительный спад значений показателя, завершившийся в 1995 году. Начало и окончание фазы повышенной суммы осадков в довегетационный период произошло с задержкой на два года по отношению к осадкам вегетационного периода. Волнообразно изменяются также значения гидротермического коэффициента Селянинова (рис. 3.21).

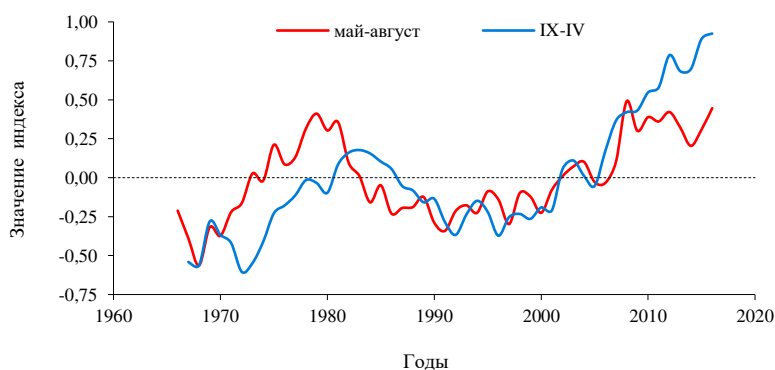


Рис. 3.20. Динамика сглаженных значений индексов суммы осадков в разные сезоны года

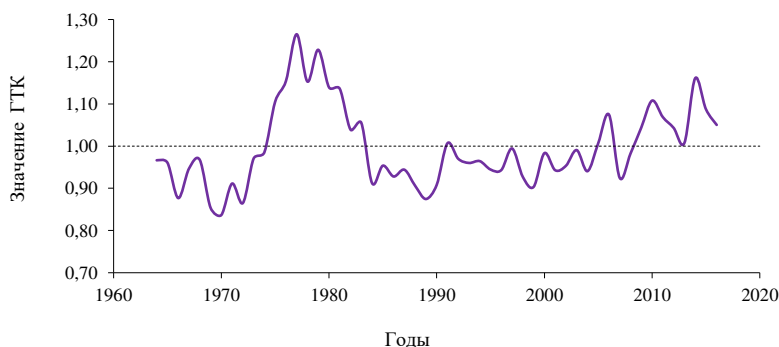


Рис. 3.21. Динамика сглаженных по 11-летиям значений индексов ГТК

Циклический характер изменения количества атмосферных осадков в их многолетнем ракурсе, существенным образом изменяющий производительность фитоценозов и ход многих природных процессов, давно был отмечен исследователями (Костин, 1960, 1975; Эйгенсон, 1963; Сляднев, 1965; Возовик, 1970; Дружинин, 1970; Турманина, 1970; Максимов, 1982; Токарев, 1982). Особенно четко чередование периодов, различающихся по степени обилия или же недостатка осадков, проявляется при анализе данных многолетних наблюдений за стоком рек и уровнем бессточных озер (Шнитников, 1969, 1970). Так, по данным Росгидромета (Научно-прикладной справочник, 1992), в динамике минимального летнего уровня воды в озерах Верхнего Поволжья с 1935 по 1980 год наблюдаются довольно продолжительные спады и подъемы значений индексов (рис. 3.22).

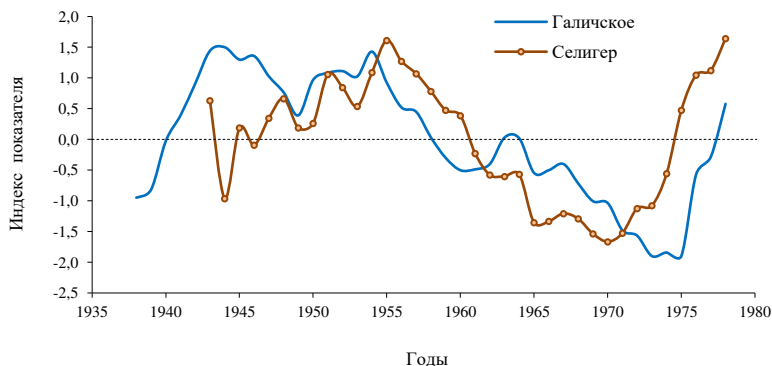


Рис. 3.22. Динамика индексов минимального летнего уровня озер Верхнего Поволжья

Возникновение засух и аномальных по обилию осадков лет происходит, как показал анализ исходного материала, не внезапно, и им предшествует, как правило, определенный ход событий. Так, засухам обычно предшествует небольшое превышение суммы осадков в мае и существенный их недостаток в сентябре предшествующего года (рис. 3.23). Дождливое же лето наступает обычно при диаметрально противоположных значениях этих параметров. Ход сглаженных значений параметров довольно точно можно описать набором гармоник, однако эти модели будут характеризовать лишь общую тенденцию изменения климата, которую значительно переключают фактические флуктуации погодных условий.

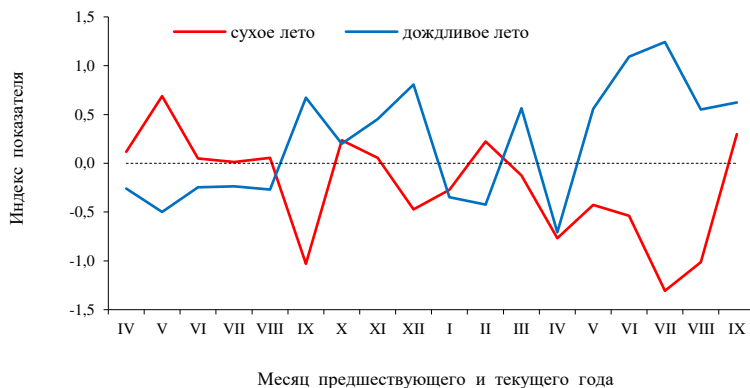


Рис. 3.23. Динамика месячной суммы осадков в разные месяцы, предшествующие погодным аномалиям лета текущего года

3.4. Атмосферное давление

Атмосферное давление является одним из метеорологических показателей, связанных напрямую с динамикой циркуляционных процессов в атмосфере Земли (Хргиан, 1986; Переведенцев, Аухадеев, 2013; Прокофьев, Шаменкова, 2015), поэтому изучение его многолетних изменений необходимо для разработки методов долгосрочного прогноза погоды. Так, зимой при антициклональном типе погоды, который характеризуется высоким атмосферным давлением, чаще всего отмечается низкая температура воздуха. При циклональном типе погоды, когда атмосферное давление низко, температура воздуха зимой повышается в результате увеличения облачности, удерживающей отток тепла в космическое пространство. Летом же положение коренным образом меняется, т.е. при антициклонах температура, как правило, выше, а при циклонах ниже.

Анализ данных многолетних наблюдений (Булыгина и др., 2021) показал, что значение атмосферного давления (АД) наиболее велико в зимние месяцы, особенно в феврале, а минимально же летом, особенно в июле (табл. 3.25 и 3.26). Параметры изменчивости АД в рядах многолетних измерений тесно связаны с величиной её средних месячных значений, возрастая экспоненциально по мере их увеличения (рис. 3.18). Эти зависимости описывают следующие уравнения регрессии:

$$\text{Lim АД} = \exp[0,303 \times (M - 995)] + 9,35; R^2 = 0,836;$$

$$S_{\text{АД}} = \exp[0,180 \times (M - 995)] + 0,48; R^2 = 0,855.$$

Таблица 3.25

**Годовой ход среднемесячного атмосферного давления на уровне
ГМС Йошкар-Ола и параметров её изменчивости**

Месяц	Параметры изменчивости атмосферного давления, гПа				
	M	min	max	Амплитуда	S
I	1004,3	990,7	1023,5	32,8	7,0
II	1006,0	992,9	1030,1	37,2	7,5
III	1004,6	992,2	1020,8	28,6	6,7
IV	1003,5	991,9	1012,1	20,2	4,5
V	1002,3	995,9	1009,5	13,6	3,0
VI	999,1	990,9	1004,6	13,7	3,2
VII	998,4	992,1	1004,6	12,5	2,7
VIII	1000,4	996,0	1008,4	12,4	2,6
IX	1001,9	994,3	1009,0	14,7	3,5
X	1003,5	994,9	1023,7	28,8	5,2
XI	1005,8	992,2	1023,6	31,4	6,8
XII	1004,4	994,2	1022,9	28,7	6,7

Примечание: М – среднее арифметическое значение за 70 лет наблюдений;
S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение в многолетнем ряду наблюдений

Таблица 3.26

Параметры вариабельности атмосферного давления в разные сезоны года

Сезон года	Параметры вариабельности значений атмосферного давления, гПа				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
Зима	1004,8	995,5	1018,0	22,6	4,70
Весна	1003,5	997,1	1011,6	14,5	3,05
Лето	999,3	995,5	1004,2	8,7	1,64
Осень	1003,7	996,0	1010,9	14,8	3,20
Год	1002,9	998,5	1008,2	9,7	2,00

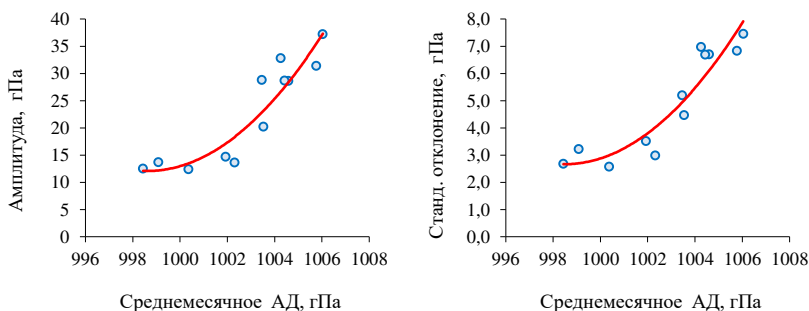


Рис. 3.24. Характер связи между среднемесячным значением атмосферного давления на ГМС Йошкар-Ола и параметрами её изменчивости в рядах многолетних измерений

Ряды многолетних значений АД в разные сезоны года связаны между собой очень слабо (табл. 3.27), что свидетельствует как о различии происходящих атмосферных процессов, так и об их разном воздействии на живые организмы и экосистемы в целом. Со среднегодовым значением АД довольно тесно связаны ряды показателя в зимний и весенний периоды, а наиболее слабо – в летний. Анализ многолетних данных показал, что значения АД как зимних, так и летних месяцев в целом неуклонно снижаются (рис. 3.25 и 3.26), свидетельствуя о медленном увеличении в регионе числа и продолжительности циклонов, о смягчении климата. В изменениях значений АД, как и всех рассмотренных выше параметров, какой-либо периодичности, на первый взгляд, не прослеживается и колебания их в подавляющем большинстве случаев не выходят за пределы стандартного отклонения (табл. 3.28). Зимой наиболее низкое атмосферное давление отмечалось в 1983, 1989, 1995 и 2007 годах, весной – в 1997, 2012 и 2020, летом – в 1990, 1994 и 2017, осенью – в 1983, 1990, 2013 и 2015. Антициклональный тип погоды чаще всего удерживался зимой 1969, 1967, 1977, 1984 и 2010 годов, а летом – 1951, 1972, 1981, 1996 и 2010 годов.

Таблица 3.27

Связь между рядами значений атмосферного давления в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезон				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,30	1,00			
Лето	0,15	0,13	1,00		
Осень	-0,11	0,14	0,08	1,00	
Год	0,61	0,61	0,35	0,49	1,00

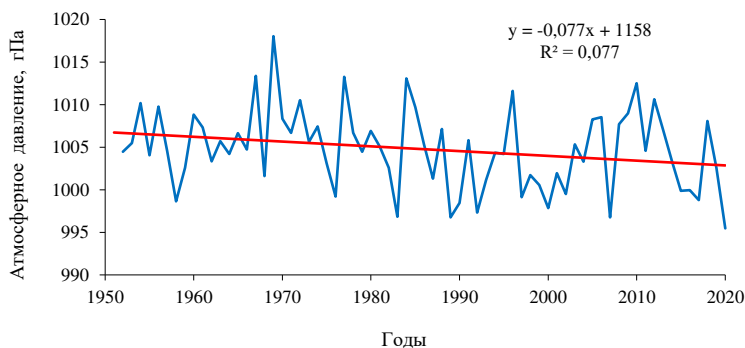


Рис. 3.25. Динамика среднего значения атмосферного давления на территории Марий Эл в зимние месяцы года

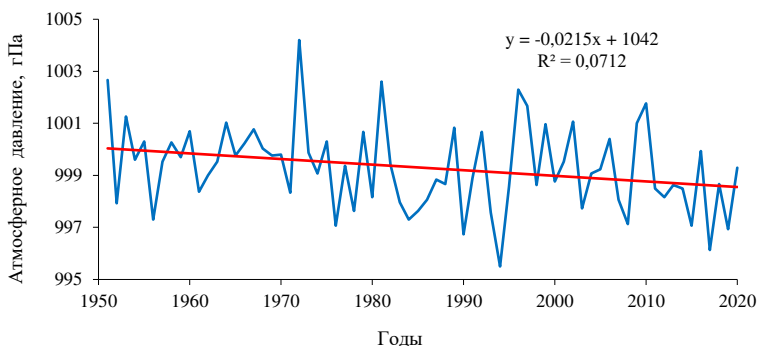


Рис. 3.26. Динамика среднего значения атмосферного давления на территории Марий Эл в летние месяцы года

Таблица 3.27

Хронология аномалий атмосферного давления в разные сезоны года

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
< -2S	нет	1997, 2012, 2020	1994	1973, 1983	1983
< -1,5S	1983, 1989, 1995, 2007, 2020	1961, 1990	1990, 2017	1956, 1978, 1990, 2011, 2013	1990, 2013, 2015
> 1,5S	1967, 1977, 1984, 2010	1976	1996, 2010	1960, 1987, 1993, 2005	1951, 1954, 1960, 1969, 1974
> 2S	1969	1960, 1984, 1996	1951, 1972, 1981	2000	1984, 1996

При сглаживании рядов аномалий АД довольно четко проявляется волнообразность изменения значений показателя, имеющая в каждом из сезонов года разный характер (рис. 3.27). Так, падение АД зимних месяцев по отношению к их норме началось в 1970 году и продолжалось вплоть до конца XX столетия. Затем величина аномалий АД начала увеличиваться, достигнув локального максимума в 2010 году, после чего вновь начался спад значений показателя. Атмосферное давление летних месяцев отклонялось от климатической нормы значительно меньше, чем зимних, и имело иную ритмику: спад значений показателей, начавшись одновременно со спадом зимних аномалий, закончился гораздо раньше и в 1986 году начал медленно увеличиваться, достигнув локального максимума в 1999 году, когда зимой отмечались очень большие отрицательные аномалии этого параметра.

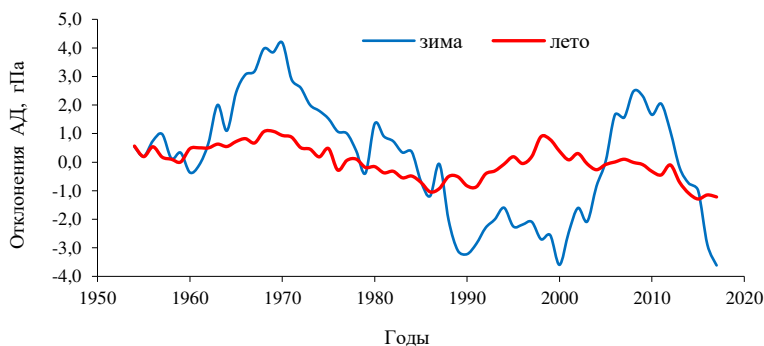


Рис. 3.27. Динамика сглаженных значений отклонения атмосферного давления в зимние и летние месяцы года от их климатической нормы

Многолетний ход сглаженных значений АД можно довольно точно описать, как показали расчеты, набором гармоник, имеющих разные периоды и амплитуды колебаний (табл. 3.28). В этих моделях, характеризующих общую тенденцию изменения климата, четко прослеживается волновая компонента с периодом колебаний 32-34 года, близкая к циклу Брикнера. Отмечаются также как более длительные циклы продолжительностью до 146-163 лет, так и короткие: 7-, 11- и 21-летние. В обобщенном ряду месячных значений АД проявляется также цикл продолжительностью 2,33 года. Генезис всех выявленных волновых компонент неизвестен и требует выяснения.

Таблица 3.28

Параметры гармоник, описывающих динамику сглаженных значений отклонений АД в разные сезоны года от их среднееголетней нормы

Гармоника	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \phi)$			
	A	T	ϕ	R ²
Зимние месяцы				
Первая	1,94	64	3,36	0,460
Вторая	1,29	32	3,51	0,664
Третья	0,97	21	3,80	0,781
Летние месяцы				
Первая	0,51	146	-0,49	0,315
Вторая	0,61	34	2,30	0,819
Третья	0,11	11	3,29	0,836
Год в целом				
Первая	1,14	163	2,02	0,753
Вторая	0,37	33	3,48	0,853
Третья	0,04	7	0,56	0,856

Примечание: обозначения параметров уравнений приведены в табл. 3.19.

Прогноз изменений АД, проведенный на основе полученных математических моделей, показал, что в течение ближайших 10-15 лет будет происходить увеличение числа и продолжительности антициклонов, особенно в зимний период года, о чем свидетельствует возрастание отклонений значений показателя от нормы (рис. 3.28). Очередная волна возрастания АД закончится в 2033-2035 годах новым спадом.

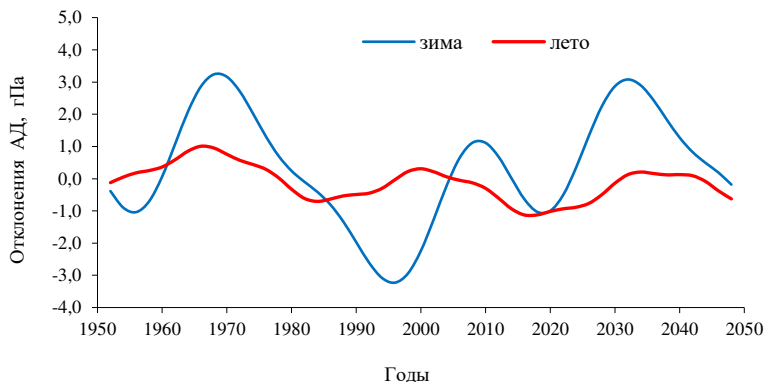


Рис. 3.28. Модели трендов многолетней динамики значений отклонения атмосферного давления в зимние и летние месяцы года от их климатической нормы

Результаты проделанной работы, таким образом, подтверждают и существенно дополняют выводы исследователей о характере изменений значений АД под действием различных геофизических и космических факторов, влияющих на климатическую систему Земли (Хргиан, 1986; Переведенцев, Аухадеев, 2013; Прокофьев, Шаменкова, 2015). Особенно важным дополнением является выявление в рядах многолетних наблюдений за показателем АД волновых компонент, описываемых набором гармонических уравнений.

3.5. Упругость водяного пара

Важным метеорологическим параметром, изучению динамики которого не уделяется пока, к сожалению, достаточного внимания, является упругость водяного пара (УВП) в атмосфере, показывающая его парциальное давление в воздухе, выражаемое в миллибарах (мбар) или же, чаще всего, в гектопаскалях (гПа). Этот показатель адекватнее отражает содержание влаги в атмосфере, чем показатель относительной влажно-

сти воздуха (W , %). Эти два показателя связаны между собой отношением $W = 100 \times X_{\text{факт.}} / X_{\text{пред.}}$, в котором $X_{\text{факт.}}$ – фактическое значение УВП, $X_{\text{пред.}}$ – предельное значение УВП при актуальной температуре воздуха, вычисляемое по формуле $X_{\text{пред.}} = \exp[59,7 \times 10^{-3} \times (t - 33,2)] - 1$, где t – фактическая температура воздуха, °C. Из этой формулы следует, что при $t = -33,2^\circ\text{C}$ воздух фактически не содержит водяного пара, т.е. является абсолютно сухим и значения W утрачивают реальный физический смысл.

Анализ данных многолетних наблюдений (с 1961 по 2020 год) показал, что значения УВП, как и других метеорологических показателей, варьируют в пределах года в очень больших пределах. Наиболее велико значение показателя в летние месяцы, особенно в июле, а минимально зимой, особенно в январе и феврале (табл. 3.29 и 3.30). Параметры изменчивости УВП в рядах многолетних измерений возрастают прямо пропорционально величине её средних месячных значений (рис. 3.29).

Ряды многолетних значений УВП в разные сезоны года связаны между собой очень слабо (табл. 3.31), что свидетельствует как о различии происходящих атмосферных процессов, так и о возможном разном воздействии параметра на живые организмы и экосистемы в целом. Со среднегодовым значением УВП довольно тесно связаны ряды показателей в летний период, а наиболее слабо – в весенний.

Таблица 3.29

Годовой ход среднемесячного значения содержания водяного пара в атмосфере Республики Марий Эл и параметров её изменчивости

Месяц	Параметры изменчивости упругости водяного пара, гПа				
	М	min	max	Амплитуда	S
I	2,55	0,90	4,60	3,70	0,79
II	2,59	1,00	4,50	3,50	0,83
III	3,69	1,80	5,20	3,40	0,77
IV	6,08	3,90	8,60	4,70	1,03
V	9,07	6,60	11,20	4,60	1,11
VI	13,0	10,1	15,8	5,70	1,39
VII	15,6	12,9	18,6	5,70	1,45
VIII	13,9	11,5	17,7	6,20	1,30
IX	10,3	8,00	12,1	4,10	0,92
X	6,86	4,20	8,70	4,50	0,87
XI	4,51	2,50	6,10	3,60	0,81
XII	3,11	1,40	4,90	3,50	0,82

Примечание: М – среднее арифметическое значение за 60 лет наблюдений; S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение в многолетнем ряду наблюдений

Таблица 3.30

Параметры вариабельности упругости водяного пара в разные сезоны года

Сезон года	Параметры вариабельности значений упругости водяного пара, гПа				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
Зима	2,77	1,40	4,50	3,10	0,58
Весна	6,26	4,55	7,60	3,05	0,65
Лето	14,2	12,1	15,9	3,83	0,88
Осень	7,22	5,70	8,33	2,63	0,57
Год	7,63	6,66	8,36	1,70	0,41

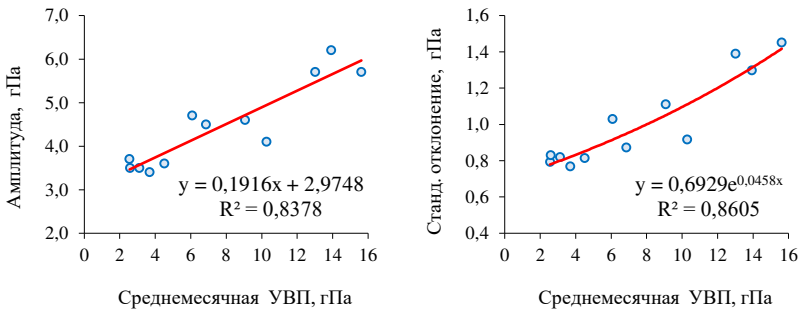


Рис. 3.29. Характер связи между среднесуточным значением упругости водяного пара в атмосфере и параметрами её изменчивости в рядах многолетних измерений

Таблица 3.31

Связь между рядами значений упругости водяного пара в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезон				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,32	1,00			
Лето	0,28	0,08	1,00		
Осень	0,08	0,12	0,29	1,00	
Год	0,54	0,47	0,77	0,54	1,00

Анализ исходных данных показал, что значения УВП в зимние месяцы, а особенно летом, в целом неуклонно увеличиваются (рис. 3.30). В изменениях значений показателя какой-либо четко выраженной периодичности, на первый взгляд, вроде бы не прослеживается, и их колебания в подавляющем большинстве случаев не выходят за пределы стандартного отклонения (табл. 3.32). Зимой наиболее низкое значение УВП отмечалось в 1967, 1969 и 1996, а летом – в 1969, 1992 и 2002 годах. Наиболее же высокая влажность воздуха была зимой 2007, 2016 и 2020 годов, а летом – 1988, 2004, 2007 и 2008.

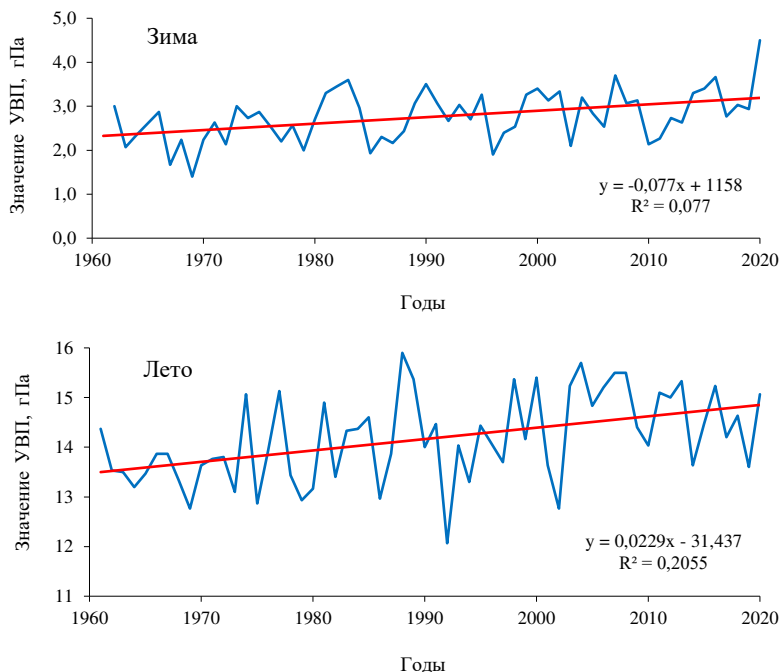


Рис. 3.30. Динамика среднего значения упругости водяного пара в атмосфере Республики Марий Эл в разные сезоны года

Таблица 3.32

Хронология аномалий упругости водяного пара в разные сезоны года

Сезон года	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы			
	менее 2S	менее 1,5S	от 1,5 до 2S	более 2S
Зима	1969	1967, 1996	2007, 2016	2020
Лето	1992	1969, 2002	1988, 2004, 2007, 2008	нет

При сглаживании рядов отклонений значений УВП от их климатической нормы временной тренд проявляется уже более четко и дополнительно отмечается наличие аperiодических колебаний, сугубо специфичных для каждого из сезонов года (рис. 3.31). Многолетний ход нормированных отклонений значений УВП можно довольно точно описать набором гармоник с разными периодами и амплитудами колебаний (табл. 3.33), однако генезис выявленных волновых компонент неизвестен и требует выяснения.

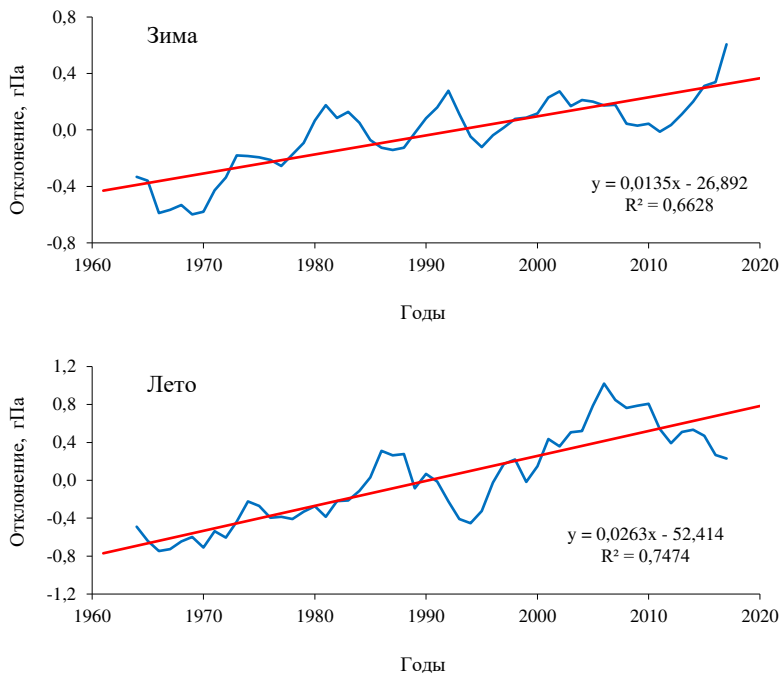


Рис. 3.31. Динамика сглаженных значений отклонения упругости водяного пара в атмосфере в разные сезоны года от их климатической нормы

Таблица 3.33

**Параметры гармоник, описывающих динамику отклонений значений
УВП в разные сезоны года от их среднемноголетней нормы**

Гармоника	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \varphi)$			
	A	T	φ	R^2
Зимние месяцы ($m = 0,83$)				
Первая	0,81	320	-1,40	0,657
Вторая	0,13	47	0,24	0,766
Третья	0,10	21	-0,30	0,835
Летние месяцы ($m = 0,08$)				
Первая	0,52	104	-0,85	0,762
Вторая	0,24	24	-2,40	0,874
Третья	0,14	16	-0,26	0,916

Примечание: обозначения параметров уравнений приведены в табл. 3.19.

Прогноз изменений отклонений значений УВП от климатической нормы, составленный на основе полученных математических моделей, показал, что в течение ближайших 25-30 лет влажность воздуха зимой будет в целом увеличиваться (рис. 3.32). Летом же, вплоть до 2035 года, значения УВП будут удерживаться почти на одном уровне, несколько превышающем климатическую норму. Затем влажность воздуха начнет резко снижаться, достигнув очередного локального минимума в 2045 году. Время покажет, насколько правилен этот прогноз.

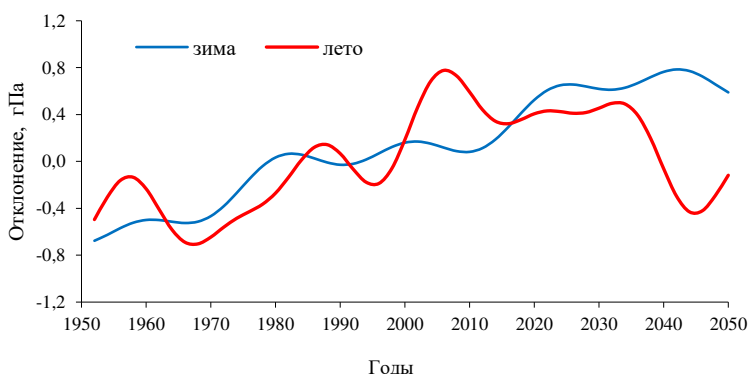


Рис. 3.32. Модели трендов многолетней динамики отклонений значений упругости водяного пара в зимние и летние месяцы года от их климатической нормы

Результаты исследования показывают, таким образом, что значения УВП, как и других метеорологических показателей, значительно варьируют под действием различных геофизических и космических факторов, причем изменения их имеют четко выраженный волновой характер.

3.6. Изменение напряженности магнитного поля Земли

Биосфера Земли возникла и существует во многом благодаря наличию мощного магнитного поля, защищающего её от радиоактивного излучения, исходящего от нашего светила, а также объектов дальнего космоса. Магнитосфера Земли, как уже отмечалось в разделе 1.2, представляет собой «облако» электрически заряженных частиц, которое «сплющено» с солнечной стороны планеты и сильно вытянуто с теневой, простираясь на расстояние более 50 тыс. км от её поверхности (Russell, McPherron, 1973; Акасофу, Чепмен, 1975; Коваленко, 1983;

Cliver et all., 2002; Operative center ..., 2005; Писанко, 2011; Солнечная активность ..., 2013). Магнитное поле Земли весьма нестабильно и изменяется в пространстве и времени сложным образом. Сильные изменения напряженности геомагнитного поля, связанные с изменениями магнитосферно-ионосферной токовой системы Земли, получили название геомагнитных бурь, интенсивность и количество которых сильно варьирует во времени.

Состояние магнитосферы Земли описывается рядом различных индексов, рассчитываемых на основании наземных измерений магнитного поля, получаемых на основе наблюдений, проводимых на сети геомагнитных станций. Подробная информация об индексах доступна на сайте Международной службы геомагнитных индексов (International Service of geomagnetic Indices – ISGI). В научных работах, посвященных анализу динамики состояния магнитного поля Земли, наиболее часто используют aa-индекс, измеряемый в нанотеслах (нТл), который хорошо коррелирует с другими параметрами геомагнитной активности (Обридко, Наговицын, 2017). Ряды данных по aa-индексу являются однородными с 1868 года, однако и этого интервала пока явно недостаточно для точного прогноза динамики его значений.

Установлено, что состояние геомагнитного поля непрерывно изменяется во времени, причём эти изменения часто имеют периодический характер. Так, к примеру, изменение освещённости ионосферы Земли Солнцем приводит к регулярным суточным его вариациям. Отмечаются также 27-суточные вариации, связанные с существованием на Солнце долгоживущих активных областей. Сезонные вариации имеют два максимума, соответствующие времени равноденствий, и два минимума, соответствующие времени солнцестояний. Со сменой полярности магнитного поля Солнца связаны 11-летние вариации, а с источниками, лежащими внутри ядра Земли, – вековые.

Анализ данных многолетних наблюдений полностью подтвердил наличие сезонной изменчивости значений aa-индекса, аппроксимированной с высокой точностью ($R^2 = 0,964$; $p < 0,001$) гармоническим уравнением $Y = 2,444 \times \sin(2 \times \pi \times t / 6,38 - 1,493) + 19,16$, где t – порядковый номер месяца от начала года. Наиболее велико значение показателя в летние месяцы, особенно в июле, а минимально зимой, особенно в январе и феврале (табл. 3.34 и 3.35). Параметры изменчивости значений aa-индекса в рядах многолетних измерений возрастают прямо пропорционально величине её средних месячных значений (рис. 3.33).

Таблица 3.34

**Годовой ход среднемесячного значения аа-индекса возмущения
магнитного поля Земли и параметров её изменчивости**

Месяц	Параметры вариабельности значений аа-индекса, нТл				
	M	min	max	Амплитуда	S
I	18,47	6,0	46,5	40,5	6,99
II	20,52	4,6	49,3	44,7	8,35
III	22,06	5,9	59,9	54,0	9,06
IV	20,90	5,2	51,4	46,2	8,43
V	19,17	5,5	52,7	47,2	7,48
VI	17,10	4,6	56,2	51,6	6,88
VII	17,68	4,7	42,4	37,7	7,30
VIII	18,85	5,9	40,9	35,0	7,00
IX	21,59	5,1	56,9	51,8	8,41
X	21,51	5,3	52,2	46,9	8,19
XI	19,47	5,3	54,9	49,6	8,30
XII	17,41	5,3	34,4	29,1	6,17

Примечание: М – среднее арифметическое значение за 140 лет наблюдений;
S – среднеквадратическое (стандартное) отклонение в многолетнем ряду наблюдений.

Таблица 3.35

Вариабельность аа-индекса геомагнитной активности в разные сезоны года

Сезон года	Параметры вариабельности значений аа-индекса, нТл				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
Зима	18,83	6,10	33,90	27,80	6,37
Весна	20,71	5,90	40,93	35,03	7,36
Лето	17,88	5,20	44,07	38,87	6,31
Осень	20,85	5,57	42,53	36,97	7,07
Год	19,59	6,03	37,11	31,08	6,13

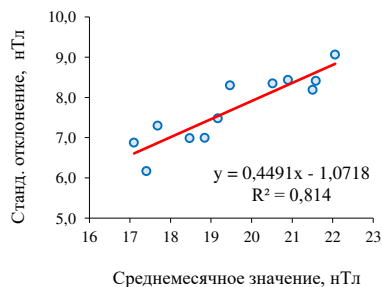
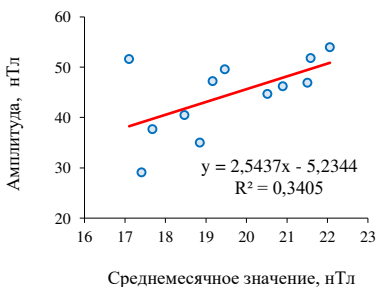


Рис. 3.33. Характер связи между среднемесячным значением аа-индекса геомагнитной активности и параметрами её изменчивости в рядах многолетних измерений

Ряды многолетних значений аа-индекса в разные сезоны года связаны между собой, по сравнению с приведенными выше метеорологическими параметрами, более тесно (табл. 3.36), но всё же изменяются не совсем синхронно, что обусловлено воздействием на магнитное поле Земли каких-то мощных внешних возмущающих факторов, нарушающих естественный ход происходящих процессов. С рядом среднегодовых значений аа-индекса наиболее тесно связаны их ряды в весенний и летний периоды, а гораздо слабее – в зимний.

Таблица 3.36

Связь между рядами значений аа-индекса в разные сезоны года

Сезон года	Значение коэффициента корреляции между рядами значений за сезон				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Зима	1,00				
Весна	0,79	1,00			
Лето	0,68	0,77	1,00		
Осень	0,61	0,74	0,85	1,00	
Год	0,83	0,92	0,92	0,91	1,00

В многолетних изменениях аа-индекса четко проявляется наличие временного тренда, который, на первый взгляд, можно признать линейным (рис. 3.34), что в корне неверно, поскольку неизбежно ведет к выводу об отсутствии геомагнитной активности в прошлом и нереально её высокой в будущем. Речь в этом случае может идти о некоторой периодичности вариации состояния магнитного поля Земли. Расчеты показали, что такая периодичность действительно имеется (рис. 3.35) и описывается гармоническим уравнением $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T - \varphi) + m$, значения параметров которого сугубо специфичны для каждого месяца и сезона года (табл. 3.37). Повышение геомагнитной активности началось, как показали расчеты, в начале XX века и достигло максимума в 1975 году (рис. 3.36). Последующий же спад закончится лишь в середине XXI века. В изменениях отклонений значений аа-индекса от главной волновой составляющей прослеживаются нечетко выраженные 23-, 17- и 11-летние колебания (рис. 3.37), однако совместный вклад их в общую дисперсию показателя не превышает 25 %. Распределение отклонений от временного тренда носит почти случайный характер, весьма незначительно отличаясь от нормального (гауссовского). Наиболее значительные отрицательные аномалии отклонения среднегодового значения аа-индекса отмечались в 1881, 1910, 1925, 1954, 1962 и 1983 годах, а положительные – в 1918, 1921, 1935, 1944, 1951, 1952, 1997 и 2008 (табл. 3.38), что убедительно свидетельствует об отсутствии строгой периодичности в изменениях этого показателя.

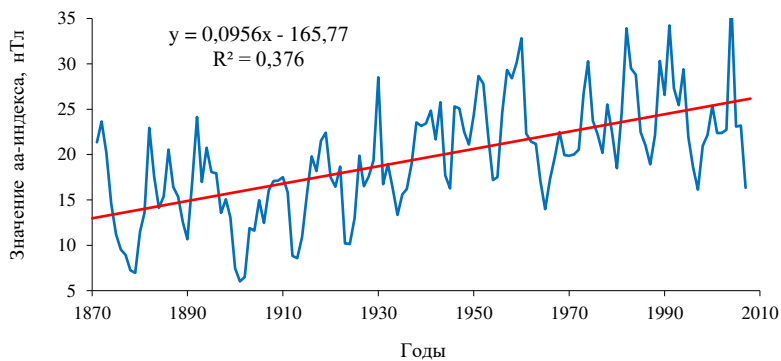


Рис. 3.34. Динамика среднегодового значения аа-индекса

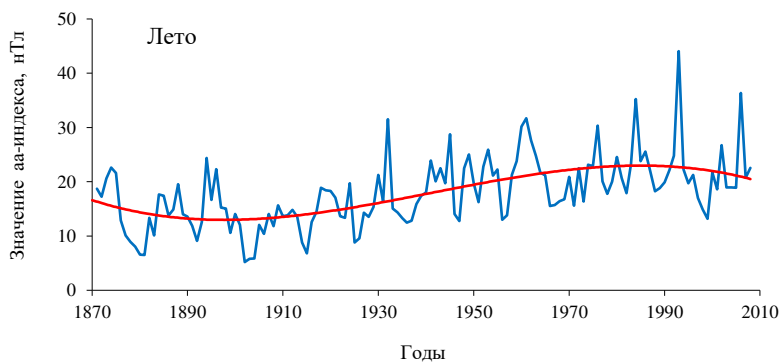
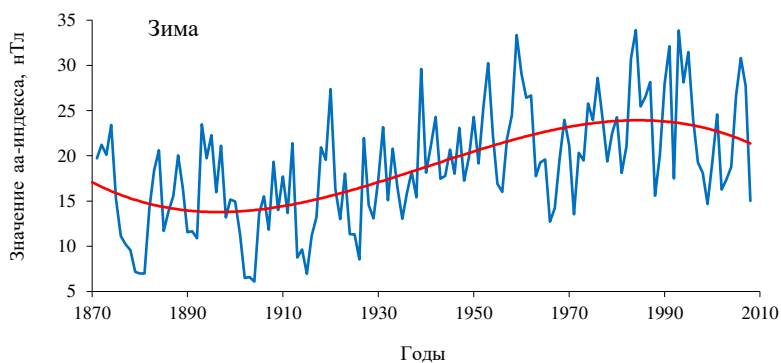


Рис. 3.35. Динамика значений аа-индекса в разные сезоны года

Таблица 3.37

Параметры главной волновой компоненты в рядах динамики значений
аа-индекса геомагнитной активности разных месяцев и сезонов года

Месяц, сезон	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \varphi) + m$				
	A	T	φ	m	R^2
Январь	4,75	190	-1,416	18,50	0,315
Февраль	5,63	152	1,491	20,56	0,245
Март	5,93	158	-1,351	21,60	0,266
Апрель	5,96	155	3,037	20,76	0,301
Май	4,55	151	1,088	18,48	0,281
Июнь	4,72	142	2,270	16,55	0,369
Июль	4,97	149	-0,003	17,67	0,246
Август	4,96	159	-1,144	18,82	0,282
Сентябрь	5,75	145	4,197	21,54	0,273
Октябрь	5,34	182	2,246	21,46	0,258
Ноябрь	5,08	181	1,582	19,05	0,338
Декабрь	4,65	174	-0,829	17,39	0,339
Зима	5,09	151	0,988	18,85	0,348
Весна	5,67	151	1,115	20,68	0,320
Лето	4,76	151	1,104	17,70	0,346
Осень	5,55	151	1,042	20,85	0,332
Год в целом	5,26	151	1,090	19,46	0,424

Примечание: обозначения параметров уравнений приведены в табл. 3.19.

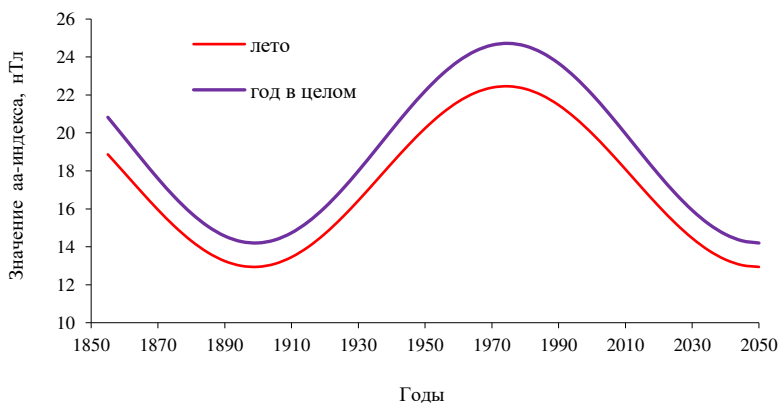


Рис. 3.36. Главная волна динамики аа-индекса в летние месяцы и за год в целом

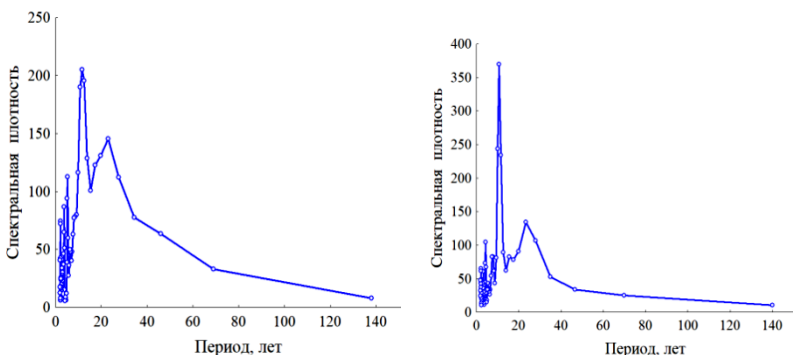


Рис. 3.37. Периодограммы отклонений значений aa-индекса зимних (слева) и летних месяцев от их главной длинноволновой компоненты

Таблица 3.38

Хронология аномалий aa-индекса геомагнитной активности в разные сезоны года

Величина отклонения	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
< -2S	нет	1965	нет	нет	1910
< -1,5S	1878, 1879, 1880, 1903, 1914, 1925, 1965, 1966, 1980, 1987, 1998	1879, 1901, 1966, 1980, 1987, 2008	1925, 1942, 1962, 1983, 2004	1881, 1910, 1925, 1962, 1967, 1978, 2004	1881, 1925, 1954, 1962, 1983
> 1,5S	1892, 1894, 1952, 1983, 1990, 1994, 2005	1892, 1919, 1960	1883, 1914, 1937, 1982	1937, 1951, 1980, 1995, 2005, 2008	1951, 1997, 2008
> 2S	1919, 1938, 1958, 1992	1930, 1952, 1989, 1994, 2004	1921, 1935, 1944, 1951, 1952	1918, 1921, 1938, 1952, 1997	1918, 1921, 1935, 1944, 1952

При сглаживании рядов отклонений значений aa-индекса от их волнового тренда отсутствие строгой периодичности проявляется более четко (рис. 3.38). Ход изменений показателей как по году в целом, так и по разным его сезонам очень синхронен. Большие положительные аномалии отмечались в 1885-1895, 1940-1955 и 1985-1995 годах, что связано с усилением в это время вулканической деятельности, а отрицательные – в 1870-1980, 1895-1905 и 1960-1975 годах.

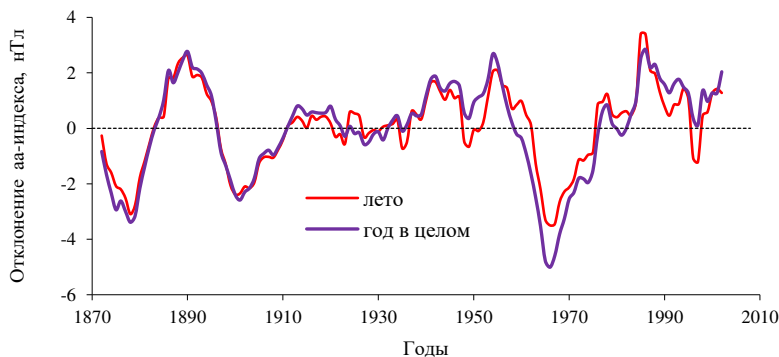


Рис. 3.38. Динамика сглаженных отклонений аа-индекса геомагнитной активности в летние месяцы и за год в целом от их главной волновой компоненты

Климатическая система и биосфера Земли реагируют не столько на саму напряженность магнитного поля планеты, сколько на изменения её величины во времени, для оценки которых можно использовать абсолютное значение разности значений аа-индекса смежных лет. В сглаженном по 11-летиям ряду этих значений четко выделяются, как показали расчеты, определенные волны, которые практически совпадают с циклами Брикнера, периодически повторяясь (рис. 3.39). Первая волна продолжалась с 1870 по 1908 год; вторая – с 1908, когда произошла катастрофа на реке Подкаменная Тунгуска, по 1937; третья – с 1938 по 1967; четвертая – с 1968 по 2000 год. Генезис этих волн во многом обусловлен деятельностью вулканов и землетрясений.

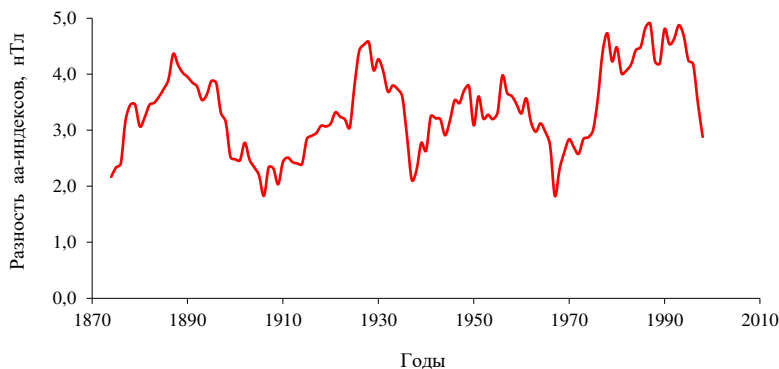


Рис. 3.39. Динамика сглаженных абсолютных значений разности среднегодовой величины аа-индекса геомагнитной активности смежных лет

Результаты проделанной работы не только подтверждают выводы исследователей (Динамика ..., 2018, 2019) о неуклонном увеличении геомагнитной активности в течение всей первой половины XX века и последующего её снижения, но и дополняют их новыми сведениями, одним из которых является наличие в рядах многолетних наблюдений за aa-индексом волновой компоненты.

3.7. Динамика солнечной активности

Основное влияние на работу климатической системы Земли оказывает, как отмечено в разделе 1.2, Солнце, выбрасывающее непрерывно в окружающее пространство в течение 4,5 млрд лет каждую секунду 4 млн тонн вещества и огромное количество энергии в виде разнообразных электромагнитных излучений. Рост их потока оказывает очень большое влияние на глобальную электрическую цепь в атмосфере нашей планеты, способствует образованию ядер конденсации водяного пара и увеличению облачности, существенно изменяя тем самым ход погодных процессов (Герман, Голдберг, 1981; Витинский и др. 1986; Хргиан, 1986; Авдюшин, Данилов, 2000; Монин, Сонечкин, 2005; Алексеев, 2007; Авакян, 2008, 2012; Абдусаматов, 2009).

Активность нашего светила не является постоянной, а волнообразно изменяется во времени. Её поначалу отождествляли с изменением числа пятен на видимом диске Солнца, которые на протяжении многих лет были единственным доступным источником информации. В настоящее же время общепризнано, что солнечная активность является чрезвычайно сложным и многообразным явлением (Обридко, Наговицын, 2017).

Каждый цикл солнечной активности, представляющий собой квазипериодическое повторение событий с типичным временем $11 \pm 0,22$ года, характеризуется рядом количественных параметров, основными из которых являются его продолжительность, числа Вольфа (W), отражающие среднее количество пятен на видимом диске светила в определенный отрезок времени (день, месяц, год), а также их разность между смежными годами или циклами. Анализ исходных данных за 316 лет инструментальных наблюдений (с 1700 по 2015 год) показал, что каждый из параметров солнечной активности изменялся в очень больших пределах (табл. 3.39). Так, число W варьировало в течение этого времени от 0 до 190,2, а его индекс – от -1,24 до 3,48. Велика также и разность значений этих чисел между смежными годами, которая представляет собой рекуррентное отношение между членами временного ряда.

Таблица 3.39

Параметры солнечной активности за 316 лет инструментальных наблюдений

Параметр солнечной активности	Значения статистических показателей				
	M_x	min	max	Размах	S_x
Число Вольфа W	49,89	0,00	190,2	190,2	40,27
Индекс = $(W_i - W_{i+1})/S_w$	0,00	-1,24	3,48	4,72	1,00
Разность W между годами	0,24	-58,4	103,7	162,1	23,91
Абсолютная величина разности	18,13	0,00	103,7	103,7	15,55

Распределение значений всех параметров солнечной активности в ряду их многолетних наблюдений сильно асимметрично и не подчиняется закону Гаусса (рис. 3.40 и 3.41). В подавляющем большинстве случаев их величина находится на низком уровне, а значительные аномалии солнечной активности, особенно положительные, крайне редки.

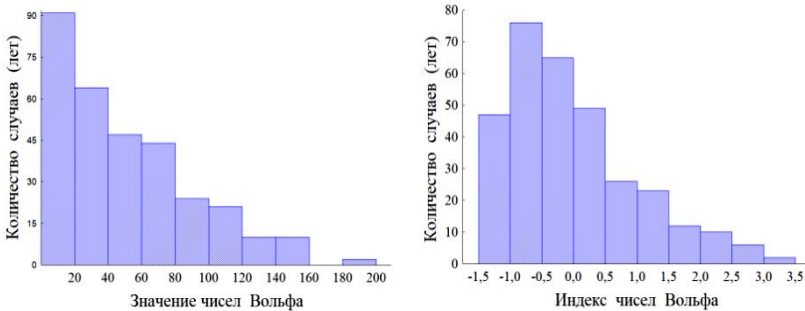


Рис. 3.40. Гистограммы распределения абсолютных значений чисел Вольфа и их индексов в многолетнем ряду наблюдений за динамикой солнечной активности

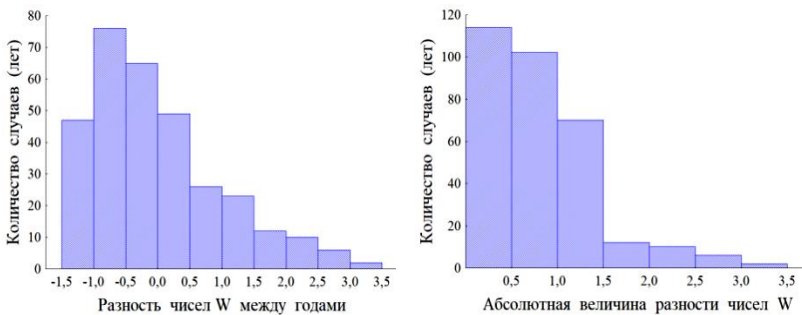


Рис. 3.41. Гистограммы распределения разности значений чисел Вольфа и их абсолютной величины в многолетнем ряду наблюдений за динамикой солнечной активности

Значительно изменяются также параметры, характеризующие циклы солнечной активности (табл. 3.40). Так, их продолжительность изменяется от 9 до 14 лет (рис. 3.42), составляя в среднем $11,04 \pm 0,24$ года, значение числа Вольфа во время максимума – от 45,8 до 190,2, а в начале цикла – от 0 до 13,4. Велика вариабельность и других параметров. Значение числа Вольфа во время максимума цикла в некоторой степени зависит от его продолжительности, убывая по мере его увеличения.

Таблица 3.40

Параметры циклов солнечной активности за 316 лет инструментальных наблюдений

Параметр цикла	Значения статистических показателей				
	M_x	min	max	Размах	S_x
Продолжительность, лет	11,04	9	14	5	1,26
Среднее число W в цикле	50,8	18,1	95,0	76,9	18,7
Суммарное значение числа W в цикле	543,7	219,0	949,8	730,8	189,4
Значение числа W в максимуме	105,6	45,8	190,2	144,4	37,2
Значение числа W в начале цикла	6,6	0,0	13,4	13,4	3,8
Амплитуда числа W в цикле	98,9	43,4	185,8	142,4	35,0
Разность W между максимумами	1,3	-84,5	67,4	151,9	42,0
Разность W между минимумами	0,1	-6,4	11,0	17,4	4,6

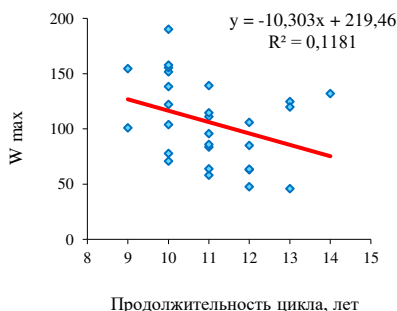
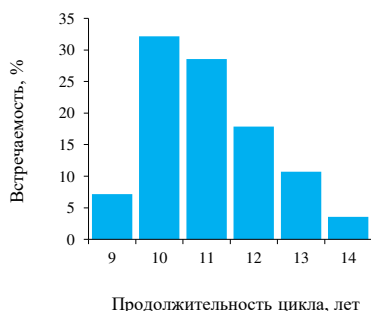


Рис. 3.42. Характер распределения продолжительности солнечного цикла в ряду многолетних измерений и соотношения её с максимальным значением числа Вольфа

Характер изменения значений числа Вольфа в каждом цикле солнечной активности имеет свои особенности (рис. 3.43), выражающиеся в величине максимума и времени его достижения, варьирующего от четырех до восьми лет (рис. 3.44). Причем между этими двумя параметрами цикла отмечается довольно тесная обратная зависимость: чем позднее наступает максимум, тем ниже его величина. Еще более тесная связь отмечается между средним, максимальным и суммарным значени-

ями числа Вольфа в циклах солнечной активности (рис. 3.45), что является свидетельством высокой сбалансированности гелиофизических процессов.

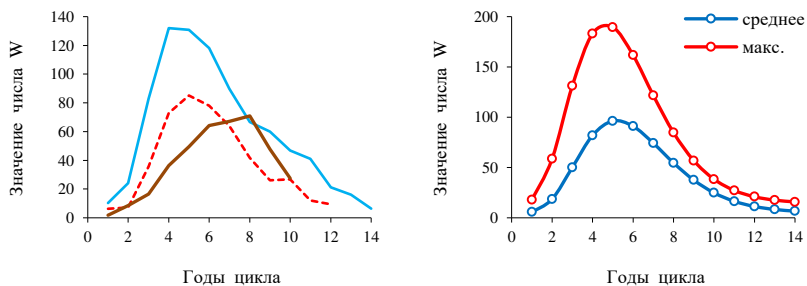


Рис. 3.43. Характер изменения значений числа Вольфа в фактических (слева) и модельных циклах солнечной активности

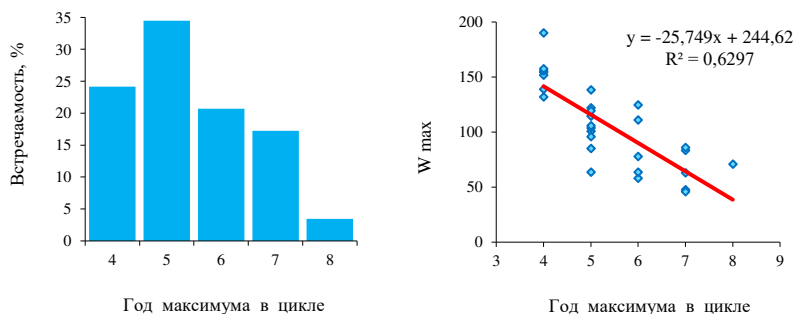


Рис. 3.44. Характер распределения наступления года максимума солнечной активности в цикле и соотношение его со значением числа Вольфа

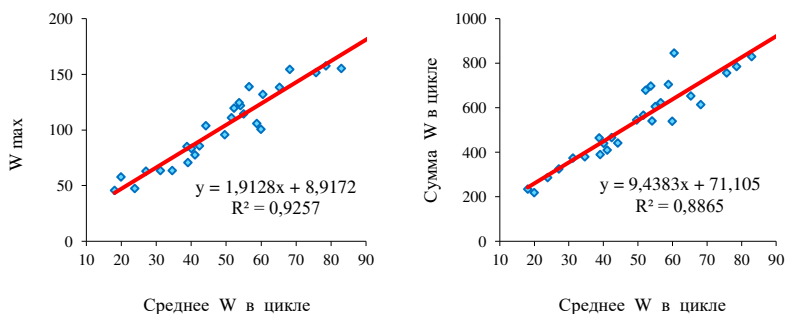


Рис. 3.45. Характер связи в циклах солнечной активности её параметров между собой

Значения числа Вольфа в каждом цикле изменяются, как свидетельствуют приведенные данные, не по синусоиде, что указывает на неправомочность применения стандартного спектрального анализа при поиске во временных рядах скрытых периодичностей и сложность построения математических моделей динамики солнечной активности. В усредненном (идеальном) цикле характер изменения числа Вольфа с очень высокой точностью ($R^2 = 0.998$; $p < 0.001$) аппроксимирует уравнение оптимума $W = 2,434 \times t^{5,617} \times \exp(-1,083 \times t) + 4,91$, где t – год от начала цикла. Для описания же изменения значений W в реальных циклах, происходящих также не синусоидально, оно далеко не всегда подходит.

Для поиска некоторых закономерностей в многолетней динамике солнечной активности, которую нельзя описать гармоническими уравнениями, целесообразно рассмотреть прежде всего характер изменения значений чисел Вольфа во время максимумов цикла. Расчеты показали, что во временном ряду данного параметра четко выделяются определенные этапы, следующие друг за другом не в строгой периодичности (рис. 3.46). Проявляется, кроме того, слабо выраженный положительный временной тренд. Наиболее значительные всплески солнечной активности наблюдались в 1727, 1778, 1837, 1870, 1957 и 1989 годах. Минимальной же она была в период с 1790 по 1830 и с 1880 по 1930 годы. Наличие подобных этапов, следующих друг за другом не в строгой периодичности, проявляется также при сглаживании исходных рядов значений показателей по предшествующим 11-летиям (рис. 3.47 и 3.48), что свидетельствует о воздействии на наше светило в это время внешних очень мощных факторов, находящихся где-то в дальнем космосе и нарушающих естественный ход гелиофизических процессов.

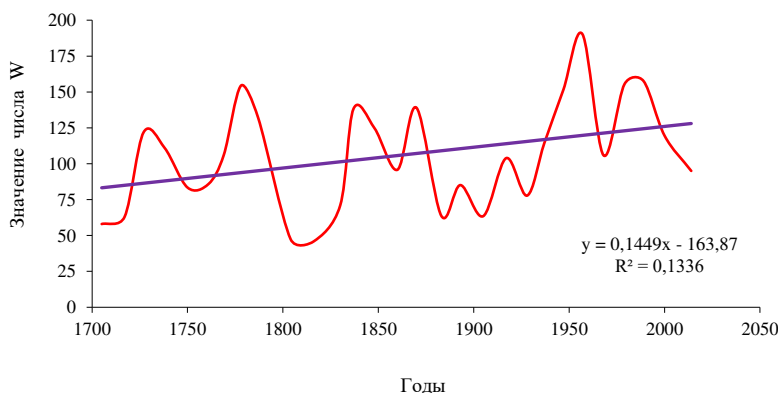


Рис. 3.46. Многолетняя динамика максимальных значений чисел Вольфа

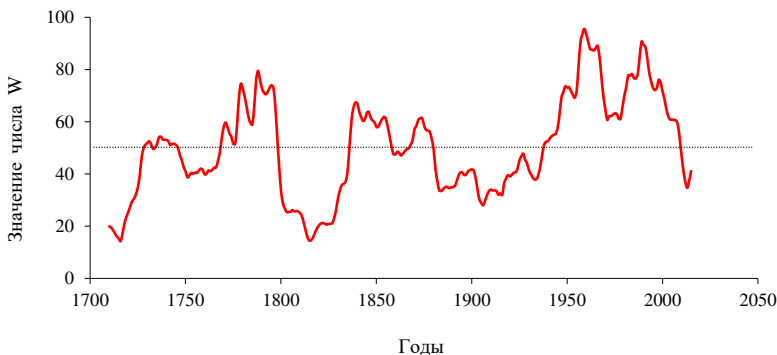


Рис. 3.47. Многолетняя динамика сглаженных по 11-летиям значений числа Вольфа

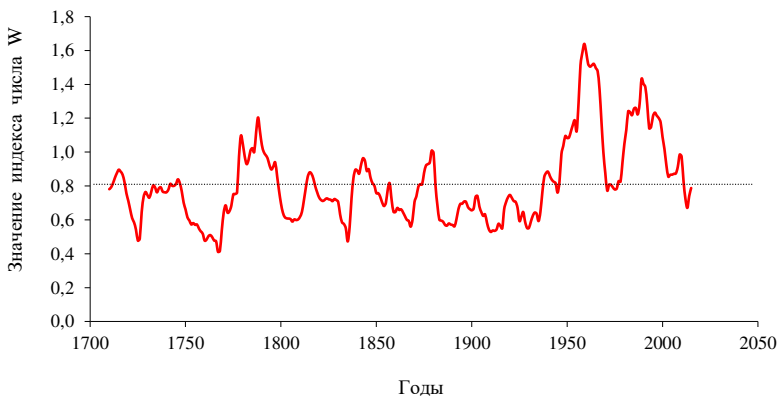


Рис. 3.48. Многолетняя динамика сглаженных по 11-летиям абсолютных значений индексов солнечной активности $I = (W_i - W_{i+1})/S_w$

Результаты проведенных расчетов, таким образом, существенно дополняют знания о закономерностях динамики солнечной активности, накопленные за долгие годы многочисленными исследователями. Особенно важным является вывод об отсутствии в рядах многолетних наблюдений четкой периодичности изменений значений всех используемых для этой цели параметров, обусловленных воздействием на Солнце внешних очень мощных факторов, приводящих к нарушению естественного хода гелиофизических процессов, продолжительности солнечного цикла и его мощности. Долгосрочный прогноз динамики солнечной активности, исходя из этого, принципиально невозможен.

3.8. Связи между параметрами среды

Изменение значений всех описанных выше параметров должно происходить, в принципе, синхронно, но с некоторым смещением во времени, поскольку они отражают состояние единой климатической системы Земли, физические процессы в которой связаны с переносом энергии и зависят друг от друга. Поиск взаимосвязей между параметрами важен для выяснения механизма протекания процессов и происходящих при этом изменений, что позволит повысить, насколько это возможно, точность долгосрочных прогнозов погоды.

Рассмотрим подробно связи между значениями физических параметров, описывающих состояние климата в районе исследования, и внешних по отношению к ним факторов, к которым относятся, в частности, солнечная и геомагнитная активность.

Расчеты показали, что изменения значений чисел Вольфа и aa-индексов происходят не всегда синхронно. Особенно большие различия отмечались в период с 1882 по 1900 годы (рис. 3.49), что связано, как можно предполагать, с изменением напряженности магнитного поля Земли под воздействием какого-то мощного фактора, в частности вспышки на Солнце, произошедшей 18 октября 1880 года и явившейся, вероятно, причиной извержения в 1883 году вулкана Кракатау. Естественный ход значений чисел Вольфа и aa-индексов в 1917-1950 годах нарушался мощными солнечными вспышками, отмечавшимися 9 июля 1917, 13 мая 1921, 24 марта 1940 и 7 апреля 1947 годов. Наиболее же синхронно значения данных параметров изменялись с 1950 по 1995 год.

Серия взрывов атомных и водородных бомб, проведенных в это время на территории разных государств, не оказала существенного влияния на состояние магнитного поля Земли. Резкое и значительное снижение показателей началось в 1956 году, когда произошла одна из крупнейших в XX столетии вспышек на Солнце. Следующее снижение показателей началось в 1989 году после очередной очень мощной солнечной вспышки. В 1998 году вновь наметилась тенденция к возрастанию асинхронности их динамики.

Таким образом, каждое из отклонений между значениями индексов солнечной и геомагнитной активности имеет свое объяснение, которое следует искать в летописях событий, происходящих на Земле, Солнце и дальнем космосе.

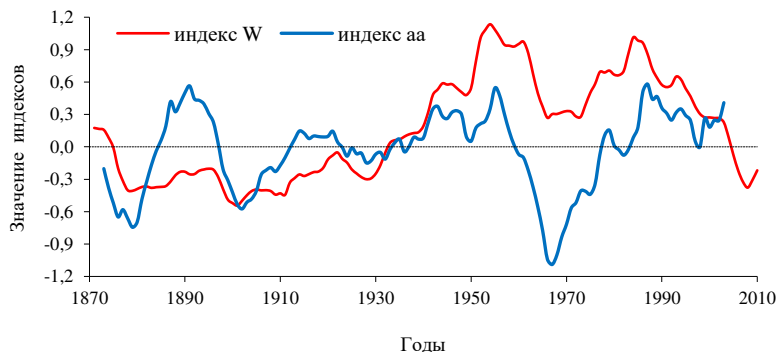


Рис. 3.49. Многолетняя динамика сглаженных по 11-летиям значений индексов солнечной (W) и геомагнитной (aa) активности

В динамике разности между значениями индексов геомагнитной и солнечной активности проявляется наличие длинноволновой компоненты с периодом колебаний 123 года и коротковолновых с периодом 10,8 лет разной амплитуды (рис. 3.50). Наиболее значительные положительные отклонения от длинноволновой компоненты отмечались в 1886, 1930, 1943, 1952, 1974, 1984, 1994 и 2007 годах, а отрицательные – в 1937, 1949, 1958, 1969, 1970 и 1979-1981. Величина разности между индексами геомагнитной и солнечной активности в определенной мере связана, как было установлено, с их значениями: с индексом числа W зависимость обратная, а с aa-индексом – прямая (рис. 3.51).

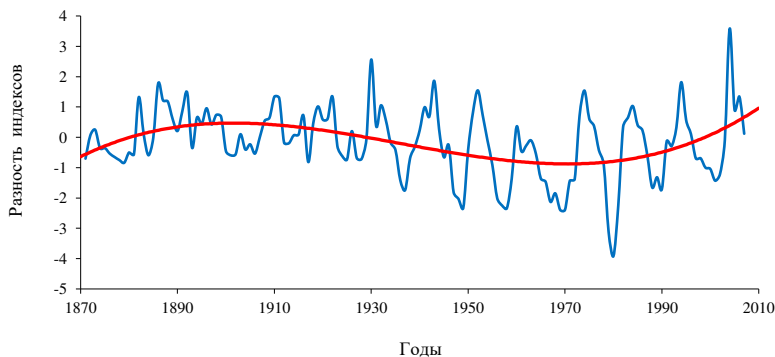


Рис. 3.50. Многолетняя динамика разности между значениями индексов геомагнитной и солнечной активности

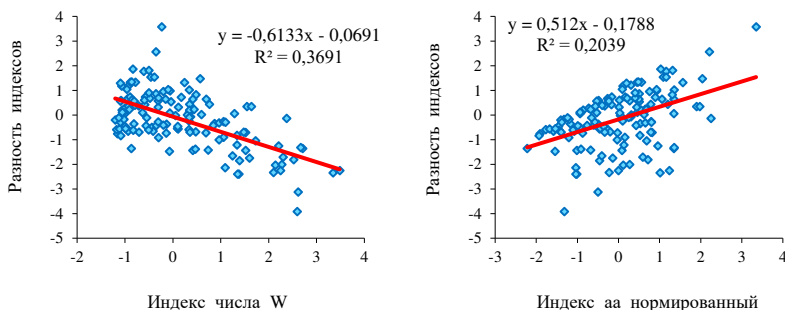


Рис. 3.51. Характер влияния параметров солнечной и геомагнитной активности на величину разности между их значениями

Изменение солнечной активности на состоянии магнитного поля Земли отражается, как показали расчеты, в тот же год практически без запаздывания, однако степень её влияния в целом невысокая и на разных отрезках времени неодинакова (табл. 3.41 и 3.42), хотя характер её остается неизменным (рис. 3.52). Наиболее тесная связь между оцениваемыми параметрами отмечалась в период с 1868 по 1903 год, а самая слабая – с 1973 по 2007. Зависимость величины aa-индекса от числа Вольфа за весь период времени наилучшим образом аппроксимирует уравнение $aa = 2,07 \times W_i^{0,371} \times W_{i-6}^{0,181} + 5,00$, объясняющее только 49,3 % дисперсии этого параметра. Остальная доля изменчивости связана с иными причинами, которые пока еще не выяснены.

Таблица 3.41

Теснота корреляционной связи между среднегодовым значением aa-индекса и числом W при разном временном сдвиге их рядов

Сдвиг, лет	Значение коэффициента кросс-корреляции для разных отрезков времени				
	1868-2007 гг.	1868-1903 гг.	1903-1938 гг.	1938-1973 гг.	1973-2007 гг.
0	0,57	0,79	0,51	0,54	0,29
1	0,35	0,66	0,18	0,18	-0,04
2	0,11	0,37	-0,16	-0,24	-0,32
3	-0,06	0,01	-0,44	-0,43	-0,49
4	-0,08	-0,33	-0,54	-0,39	-0,44
5	0,01	-0,57	-0,41	-0,19	-0,21
6	0,18	-0,58	-0,05	0,06	0,10
7	0,33	-0,46	0,35	0,17	0,37
8	0,41	-0,22	0,61	0,25	0,45

**Теснота корреляционной связи между сезонными значениями
аа-индекса и числом W при разном временном сдвиге их рядов**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента кросс-корреляции для разных сезонов года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
0	0,43	0,46	0,55	0,54	0,57
1	0,22	0,29	0,33	0,34	0,35
2	0,04	0,08	0,09	0,13	0,11
3	-0,05	-0,04	-0,08	-0,03	-0,06
4	-0,04	-0,05	-0,10	-0,08	-0,08
5	0,09	0,06	-0,04	-0,02	0,01
6	0,25	0,21	0,12	0,12	0,18
7	0,33	0,32	0,28	0,26	0,33
8	0,39	0,37	0,38	0,34	0,41

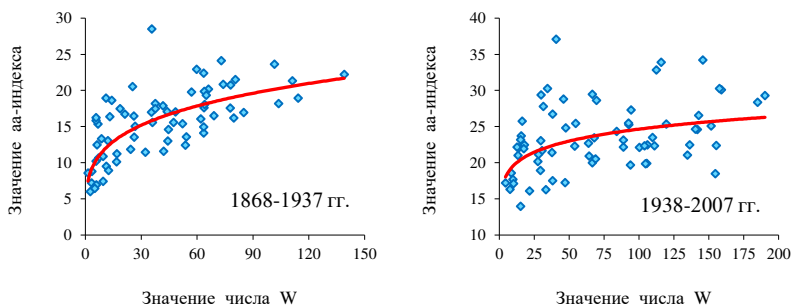


Рис. 3.52. Связь между параметрами солнечной и геомагнитной активности на разных отрезках времени

В отклонениях между нормированными значениями индексов, которые были отнесены к величине их среднеквадратического отклонения по формуле $Y = (X_i - X_{\text{сред.}})/S_x$, отмечаются аperiodические колебания разной амплитуды (рис. 3.53). Наиболее значительные положительные отклонения отмечались в 1882, 1943, 1951-1953, 1960-1963, 1974 и 2004 годах, когда нормированное значение аа-индекса было выше индекса числа Вольфа, а отрицательные же – в 1917, 1937, 1979 и 1990. Величина отклонений прямо пропорционально связана с вариациями солнечной активности и обратно пропорционально – с изменениями напряженности магнитного поля Земли (рис. 3.54), однако вклад каждого из них в общую дисперсию показателя невелик. Основное же влияние на величину разности индексов оказывают, как можно предполагать, объекты, находящиеся в дальнем космосе.

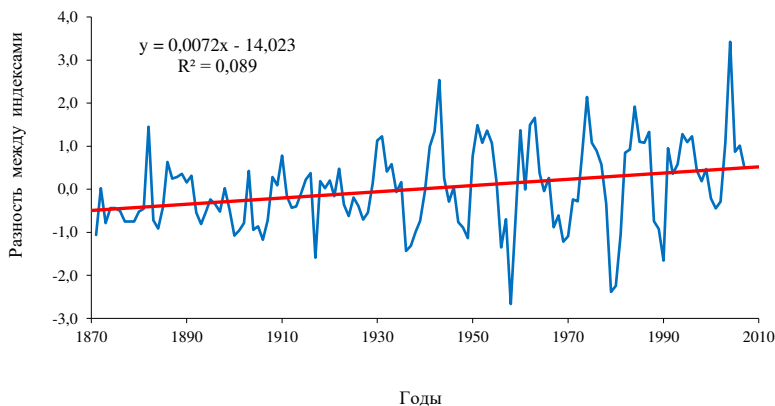


Рис. 3.53. Многолетняя динамика разности значений между индексами геомагнитной и солнечной активности

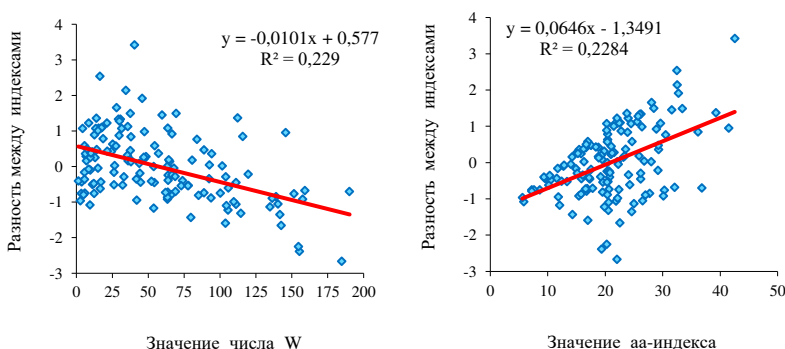


Рис. 3.54. Влияние параметров геомагнитной и солнечной активности на величину отклонений между их индексами

Сопряженное влияние вариаций солнечной и геомагнитной активности на климатическую систему и биосферу Земли адекватнее отражает, на наш взгляд, не разность значений между значениями индексов, а их сумма. Расчеты показали, что в многолетних изменениях этой величины отмечаются как длинноволновые, так и коротковолновые колебания (рис. 3.55), которые можно аппроксимировать набором двух гармоник $Y = 1,27 \times \sin(2 \times \pi \times t / 163 + 0,73) + 0,64 \times \sin(2 \times \pi \times t / 10,8 - 0,91)$, описывающих 78,5 % исходной её дисперсии. Наиболее значительные положительные отклонения от этой модели приходятся на 1871-1873, 1950,

1957-1960 и 2001 годы, а отрицательные – на 1876-1878, 1899-1903, 1963-1978 и 1995-1996. Все они косвенно отражают величину потока энергии, влияющего на климат и биосферу нашей планеты, и связаны, так или иначе, с определенными событиями, произошедшими на Земле, в Солнечной системе и дальнем космосе.

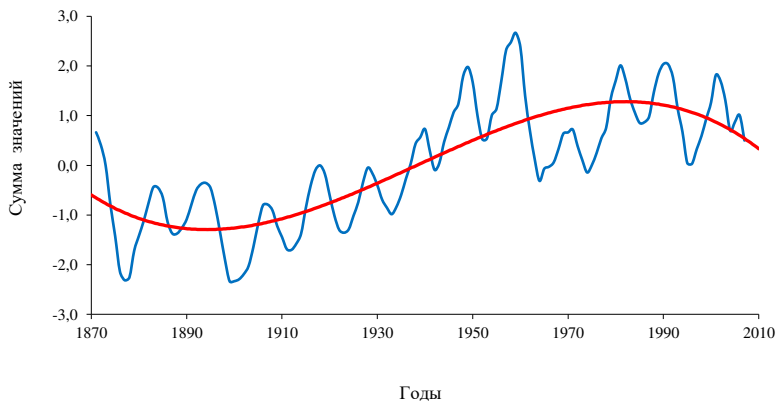


Рис. 3.55. Многолетняя динамика сглаженной суммы значений индексов геомагнитной и солнечной активности

Каково же влияние солнечной и геомагнитной активности на вариативность параметров климата Республики Марий Эл, т.е. в локальной точке пространства? Начнем с продолжительности солнечного сияния (ПСС). Расчеты показали, что связь между этими параметрами обратная (табл. 3.43 и 3.44), т.е. чем выше солнечная и геомагнитная активность, тем меньше величина ПСС. Теснота этой связи между значениями параметров в разные сезоны года хотя и достоверная, но невысокая, поскольку анализируются ряды значений ПСС для локальной точки пространства, а не земного шара в целом. По мере сдвига рядов во времени теснота связи в основном снижается, что указывает на отсутствие задержки реакции климатической системы Земли на внешние воздействия. Исключением являются летние и осенние месяцы: значения ПСС в первых из них наиболее тесно связаны с величиной солнечной активности, отмечавшейся пять лет назад, а вторых – с аа-индексами, наблюдавшимися два года назад. Совместное же влияние солнечной и геомагнитной активности на величину ПСС достоверно проявляется лишь для года в целом (табл. 3.45).

Таблица 3.43

Характер корреляционной связи между продолжительностью солнечного сияния и числами Вольфа при разном временном сдвиге их рядов

Сдвиг лет	Значение коэффициента кросс-корреляции для разных сезонов года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
0	-0,16	-0,15	-0,03	-0,30	-0,26
1	-0,12	-0,13	-0,02	-0,29	-0,22
2	-0,03	-0,09	-0,03	-0,19	-0,14
3	0,03	0,06	-0,08	0,00	0,01
4	0,00	0,07	-0,18	0,21	0,05
5	0,11	0,04	-0,28	0,26	0,01

Таблица 3.44

Характер корреляционной связи между продолжительностью солнечного сияния и значением aa-индекса при разном временном сдвиге их рядов

Сдвиг лет	Значение коэффициента кросс-корреляции для разных сезонов года				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год в целом
0	-0,26	-0,23	-0,31	-0,02	-0,35
1	-0,11	-0,08	-0,11	-0,15	-0,20
2	-0,20	-0,12	0,08	-0,28	-0,18
3	-0,16	0,04	0,12	-0,24	-0,05
4	-0,18	-0,11	-0,13	-0,27	-0,26
5	0,08	0,08	-0,20	-0,23	-0,11

Таблица 3.45

Параметры уравнений зависимости продолжительности солнечного сияния от показателей солнечной и геомагнитной активности в разные сезоны года

Сезон	Параметры уравнения $Y = c - a \times W - b \times X$					
	По числу Вольфа		По aa-индексу		c	R ²
	a	t	b	t		
Зима	0,148	1,05	1,535	1,31	186,5	0,063
Весна	0,252	0,99	3,367	1,73	702,2	0,085
Лето	0,036	0,15	6,595	3,39	962,4	0,208
Осень	0,397	2,10	0,729	0,47	298,9	0,096
Год	0,900	1,93	12,46	3,24	2152,0	0,248

Примечание: Y – продолжительность солнечного сияния в часах; X – среднее значение aa-индекса геомагнитной активности зимой текущего года, нТЛ; W – среднее значение числа Вольфа текущего года в целом; t – значение коэффициента Стьюдента

Зависимость величины ПСС от параметров солнечной и геомагнитной активности более четко проявляется при сопоставлении рядов smoothed значений, анализ которых показывает несинхронность их изменения во времени ПСС (рис. 3.56). На отрезке времени с 1964 по 2007 год достоверное влияние солнечной и геомагнитной активности

на величину ПСС установлено только для зимних и летних месяцев (табл. 3.46), а в межсезонье она зависит от иных факторов, определяющих процессы циркуляции в атмосфере.

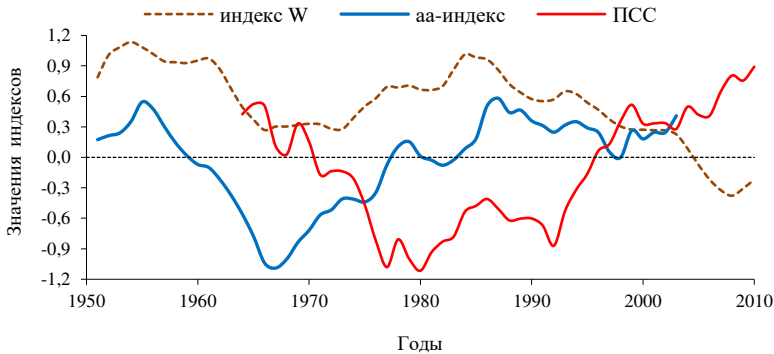


Рис. 3.56. Многолетняя динамика сглаженных значений индексов продолжительности солнечного сияния (ПСС), чисел Вольфа (W) и геомагнитной активности (значения всех индексов переведены в одну меру, вычисленную по формуле $Y = (X_i - X_{\text{сред.}})/S_x$, в которой S_x – среднеквадратическое отклонение оцениваемого параметра)

Таблица 3.46

Параметры уравнений зависимости продолжительности солнечного сияния от показателей солнечной и геомагнитной активности в разные сезоны года, вычисленные по рядам сглаженных их значений

Сезон	Параметры уравнения $Y = c + a \times W + b \times X$						
	По числу Вольфа		По aa-индексу		c	R ²	p
	a	t	b	t			
Зима	1,025	4,03	-11,53	9,75	338,2	0,769	< 0,001
Весна	-0,841	0,94	1,074	0,25	635,0	0,036	0,519
Лето	-2,110	2,57	-8,291	2,18	1151,0	0,558	< 0,001
Осень	-0,975	1,70	0,253	0,09	311,7	0,145	0,060
Год	-2,912	1,56	-18,10	2,08	2427,0	0,428	< 0,001

Примечание: Y – продолжительность солнечного сияния в часах; W – среднее значение числа Вольфа в предыдущем году; X – среднее значение aa-индекса геомагнитной активности в предыдущем году, нТЛ; t – значение коэффициента Стьюдента.

Зимой, как следует из приведенных данных, наибольшее влияние на величину ПСС оказывает геомагнитная активность, а летом же её определяют в большей степени число Вольфа предыдущего года (W) и зна-

чение аа-индекса зимы текущего (X, нТл), что с очень высокой точностью ($p < 0,001$; $R^2 = 0,814$) описывает уравнение

$$Y = 1121,1 - 2,328 \times W - 6,667 \times X.$$

Результаты проведенных расчетов, таким образом, полностью подтверждают данные исследователей (Neher, 1971; Витинский и др. 1986; Хргиан, 1986; Ролдугин, Вашенюк, 1994; Ermakov and all., 1997; Ивлев, Довгалюк, 1999, 2015; Авдюшин, Данилов, 2000; Marsh, Svensmark, 2000, 2003; Крымский, 2005; Монин, Сонечкин, 2005; Алексеев, 2007; Авакян, Воронин, 2007; Авакян, 2008, 2012; Кудрявцев, Юнгнер, 2008, 2011; Вольфендейл и др., 2009) о влиянии потоков космических лучей, интенсивность которых косвенно отражают параметры солнечной и геомагнитной активности, на концентрацию атмосферных капель воды и образование облаков, снижающих величину ПСС.

Величина ПСС, как было установлено, оказывает прямое влияние на величину атмосферного давления (АД) в зимний, летний и осенний периоды года (рис. 3.57 и 3.58). Корреляционная связь между оцениваемыми параметрами в весеннее время статистически недостоверна. Наиболее тесная связь между ними отмечается, как это ни парадоксально, осенью, однако доля влияния ПСС на величину АД и в этом случае составляет всего 35,4 %. Остальная же доля влияния приходится на неучтенные пока факторы, в число которых входит, как отмечалось в разделе 1.2, вулканическая деятельность, но не показатели солнечной и геомагнитной активности, так как их воздействие оказалось статистически не достоверным.

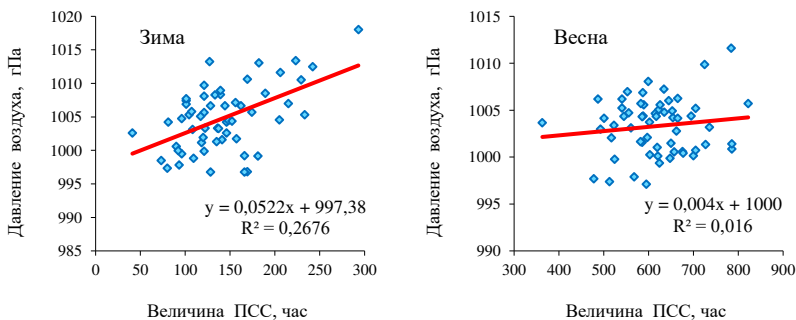


Рис. 3.57. Характер связи между значениями ПСС и атмосферным давлением на ГМС Йошкар-Ола в зимнее и весеннее время года

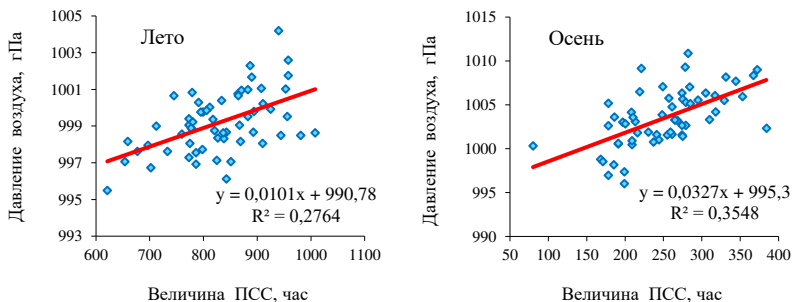


Рис. 3.58. Характер связи между значениями ПСС и атмосферным давлением на ГМС Йошкар-Ола в летнее и осеннее время года

Вариабельность величин ПСС и АД должна, в свою очередь, оказывать существенное влияние на изменчивость температуры приземного слоя воздуха, которое в каждом сезоне года будет различным. Так, зимой низкая температура сопровождается обычно высоким АД и большой ПСС, что отмечается при антициклональном типе погоды. Летом же зависимость меняется на противоположную. Расчеты показали, что в зимнее время года температура воздуха действительно отрицательно связана с величинами ПСС и АД, хотя эти параметры объясняют только 51 % её общей дисперсии (табл. 3.47). В весенние месяцы связь между параметрами становится статистически недостоверной, в летние же температура зависит в основном от ПСС. Осенью температура воздуха с величиной ПСС связана положительно, а с АД отрицательно, но оба этих параметра объясняют всего 10,2 % её общей дисперсии. Влияния aa-индекса геомагнитной активности во все сезоны года не проявляется.

Таблица 3.47

Параметры уравнений зависимости температуры воздуха от продолжительности солнечного сияния и атмосферного давления в разные сезоны года

Сезон	Параметры уравнения $Y = c + a \times X + b \times Z$						
	По ПСС		По АД		c	R ²	p
	a	t	b	t			
Зима	-0,0323	4,84	-0,1630	2,46	157,6	0,510	< 0,001
Весна	0,0023	0,91	-0,1066	1,51	109,5	0,048	0,256
Лето	0,0080	4,86	0,1150	1,30	-104,5	0,441	< 0,001
Осень	0,0082	2,16	-0,1612	2,34	163,2	0,102	0,049

Примечание: Y – температура воздуха, °C; X – среднее значение ПСС, ч; Z – среднее значение атмосферного давления, гПа; t – значение коэффициента Стьюдента.

Многолетняя вариабельность величин ПСС и АД, как показали расчеты, оказывает определенное влияние на колебания суммы осадков, которое изменяется в зависимости от сезона года (табл. 3.48). Количество осадков, выпавших весной и осенью, определяется действием двух анализируемых параметров, а выпавших зимой и летом – только величиной АД (рис. 3.59). Наиболее тесная связь между рассматриваемыми параметрами отмечается осенью, а самая слабая – зимой. Влияние температуры воздуха и аа-индекса геомагнитной активности на сумму осадков не проявляется ни в одном из сезонов года.

Таблица 3.48

Параметры уравнений зависимости суммы осадков от продолжительности солнечного сияния и атмосферного давления в разные сезоны года

Сезон	Параметры уравнения $Y = c + a \times X + b \times Z$						
	По ПСС		По АД		c	R ²	p
	a	t	b	t			
Зима	-0,111	1,22	-2,280	2,53	2411,1	0,219	< 0,01
Весна	-0,186	4,92	-5,251	4,89	5483,3	0,497	< 0,001
Лето	0,020	0,22	-23,88	4,86	24042,9	0,362	< 0,001
Осень	-0,218	2,68	-7,005	4,74	7239,0	0,553	< 0,001

Примечание: Y – сумма осадков, мм; X – среднее значение ПСС, ч; Z – среднее значение атмосферного давления, гПа; t – значение коэффициента Стьюдента

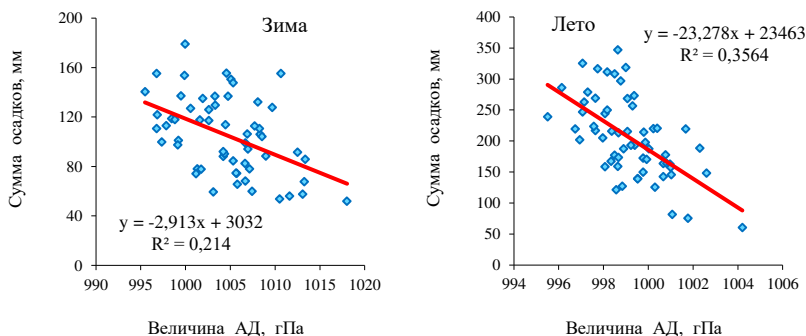


Рис. 3.59. Характер влияния атмосферного давления на количество осадков, выпавших в зимнее и летнее время года

Еще одним метеорологическим параметром, который может оказывать влияние на прирост деревьев, является упругость водяного пара. Данный параметр отражает содержание влаги в атмосфере, что крайне важно для растений в летний период. Его значение, как показали расче-

ты, зависит в основном от температуры воздуха (табл. 3.49). Особенно тесная связь между параметрами, которая является линейной, отмечается зимой и осенью (рис. 3.60). Летом же на упругость водяного пара все остальные параметры влияют слабее всего.

Таблица 3.49

Характер связи упругости водяного пара с остальными параметрами среды в разные сезоны года

Параметр	Значение коэффициента корреляции в разные сезоны года			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Сумма осадков	0,501	0,226	0,383	0,112
Температура	0,941	0,713	0,574	0,896
ПСС	-0,601	-0,147	0,204	0,043
Атмосферное давление	-0,634	-0,130	-0,167	-0,231
Индекс аа	0,252	0,012	0,188	0,237

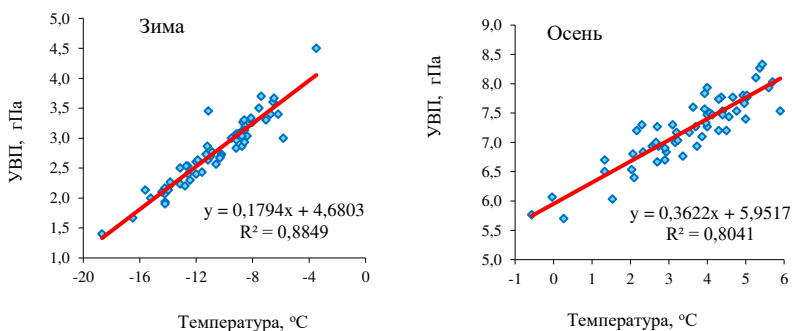


Рис. 3.60. Характер влияния температуры воздуха на содержание водяного пара в воздухе в зимнее и летнее время года

Производительность биоты и скорость роста организмов зависят не только от значений тех или иных параметров внешней среды, но и величины соотношения между ними. Так, к примеру, температура воздуха и количество выпавших осадков ни в коей мере не могут восполнить для растений недостаток солнечного света. Наилучшие условия для их развития складываются только при оптимальном сочетании значений параметров внешней среды. Адекватно оценить величину отношения между ними позволяет использование ряда комплексных метеорологических показателей, к числу которых можно отнести, в частности, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (1958) и индекс засушливости Д.А. Педя (1975), вычисляемый для мая и летних месяцев по

формуле $ИП = dT/S_T - dP/S_P$, где dT и dP – месячные аномалии температуры и осадков, а S_T и S_P – их среднеквадратические отклонения в многолетних рядах данных. По аналогии можно предложить еще ряд показателей, отражающих отношение между количеством осадков, средней температурой воздуха и продолжительностью солнечного сияния для каждого из летних месяцев.

Анализ многолетних данных показал, что значения всех комплексных метеорологических показателей изменяются в очень больших пределах возле их среднего уровня (у индекса Педя он равен нулю, а у остальных – единице). Наиболее велика вариабельность индекса Педя, особенно в июле, а минимальна она у соотношения между продолжительностью солнечного сияния и температурой воздуха (табл. 3.50). Ряды многолетних значений этих метеорологических показателей в разные месяцы года связаны между собой очень слабо (табл. 3.51), что свидетельствует о различии происходящих атмосферных процессов и о разном воздействии их на рост деревьев. Связь между рядами значений индексов Педя и Селянинова тесная, но обратная ($r = -0,909$), они очень слабо связаны с соотношением между продолжительностью солнечного сияния и температурой воздуха (коэффициент между рядами ГТК и СТО равен $-0,235$, а между ИП и СТО он составляет $0,118$).

Таблица 3.50

Вариабельность комплексных метеорологических показателей на ГМС Йошкар-Ола

Показатель, период времени	Пределы изменений значений метеорологических показателей				
	Среднее	min	max	Амплитуда	S
ГТК, июнь	1,00	0,12	2,61	2,49	0,62
ГТК, июль	1,00	0,00	2,25	2,25	0,53
ГТК, август	1,00	0,00	2,67	2,66	0,55
ГТК, V-VIII	1,00	0,34	1,74	1,40	0,32
Индекс Педя, июнь	0,00	-5,70	5,38	11,08	2,57
Индекс Педя, июль	0,00	-3,67	6,06	9,73	2,18
Индекс Педя, август	0,00	-5,66	7,50	13,16	2,23
Индекс Педя, V-VIII	0,00	-3,82	4,76	8,58	1,66
СТО, июнь	1,00	0,71	1,22	0,51	0,12
СТО, июль	1,00	0,77	1,38	0,61	0,12
СТО, август	1,00	0,70	1,44	0,74	0,15
СТО, V-VIII	1,00	0,85	1,17	0,32	0,08

Примечание: ГТК – гидротермический коэффициент, являющийся отношением между суммой осадков и средней температурой воздуха в конкретном году к среднемноголетней его величине; СТО – соотношение между продолжительностью солнечного сияния и температурой воздуха в конкретном году к среднемноголетней его величине.

Таблица 3.51

Связь между рядами значений комплексных метеорологических показателей

Месяц	Величина коэффициента корреляции между рядами			
	Июнь	Июль	Август	V-VIII
Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова				
Июнь	1,00			
Июль	-0,01			
Август	-0,01	0,11		
V-VIII	0,51	0,60	0,58	1,00
Индекс Д.А. Педя				
Июнь	1,00			
Июль	0,13	1,00		
Август	-0,01	0,36	1,00	
V-VIII	0,53	0,64	0,63	1,00
Солнечно-температурное соотношение (СТО)				
Июнь	1,00			
Июль	0,08			
Август	0,11	0,07		
V-VIII	0,53	0,63	0,59	1,00

В изменениях значений гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова, вычисленных для четырех летних месяцев (май-август), временной тренд практически отсутствует и какой-либо четко выраженной периодичности не прослеживается (рис. 3.61). Наиболее засушливыми были, как видно из представленных данных, вегетационные периоды 1972 и 2010 годов, а избыточно влажными – 1976, 1978 и 1980 (табл. 3.52).

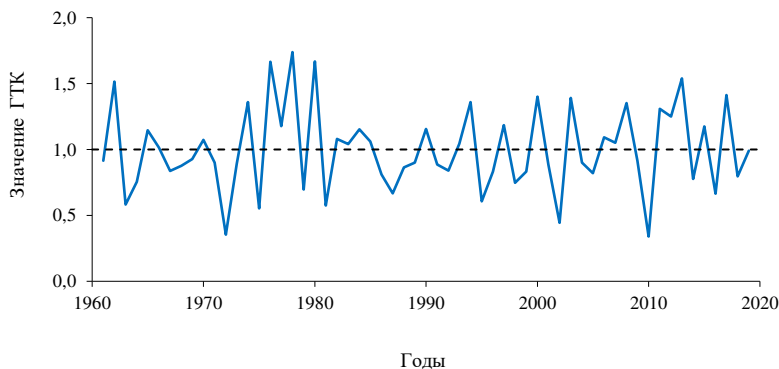


Рис. 3.61. Динамика значений гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова на территории Республики Марий Эл

Таблица 3.52

Хронология аномалий комплексных метеорологических показателей

Показатель	Годы с различным уровнем отклонения сезонных значений от нормы			
	менее 2S	менее 1,5S	от 1,5 до 2S	более 2S
ГТК	1972, 2010	2002	1962, 2013	1976, 1978, 1980
Индекс Педя	1978	1976, 1980, 1994	1981, 2016	1972, 2010
СТО	нет	1974, 1976, 1980, 1989, 1995	2001, 2002, 2011	1963, 2014

В изменениях значений индекса Д.А. Педя временной тренд также практически отсутствует и какой-либо четко выраженной периодичности не прослеживается (рис. 3.62). Наиболее высокие значения, соответствующие засухе, отмечались в 1972 и 2010 годах, а самые низкие – в 1976, 1978 и 1980. Динамика солнечно-температурного соотношения совершенно иная (рис. 3.63), поскольку в ней уже довольно четко выделяется волновая компонента с периодичностью 56 лет, описываемая гармонической функцией $Y = 0,056 \times \sin(2 \times \pi \times t / 56 + 1,925) + 1$. Наиболее значительные положительные аномалии значений коэффициента СТО отмечались, как видно из представленных данных, летом 1963, 2001, 2002 и 2011 годов, а отрицательные – 1974, 1976, 1980, 1989 и 1995.

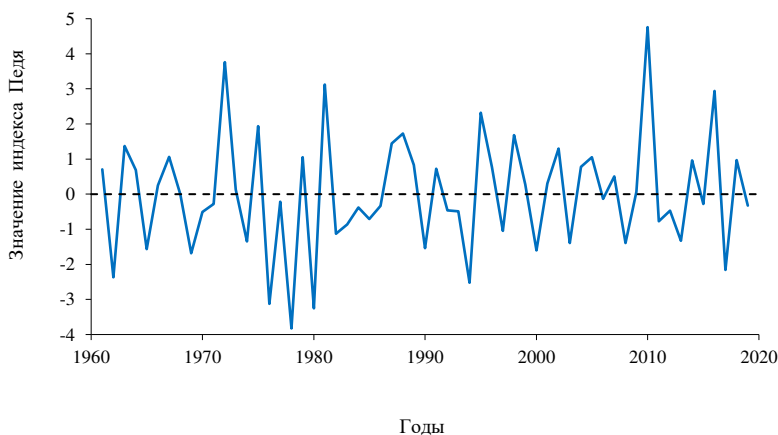


Рис. 3.62. Динамика значений индекса Педя на территории Республики Марий Эл

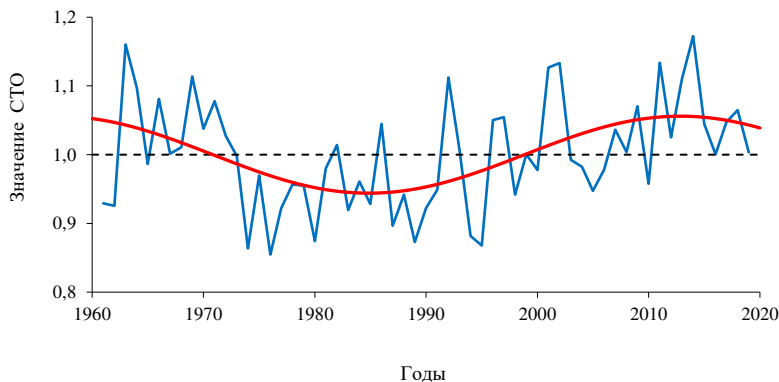


Рис. 3.63. Изменение значений солнечно-температурного соотношения в летние месяцы года на территории Республики Марий Эл

Результаты исследования показали, таким образом, что большинство параметров состояния среды обитания деревьев имеют разное информационное значение, поскольку связаны они между собой довольно слабо, особенно летом. При проведении дендрохронологического анализа их нельзя рассматривать как независимые переменные, используя процедуру множественной линейной регрессии, т.к. действие одного параметра может либо усиливать, либо снижать действие другого. Производительность древостоев и величина годичного прироста деревьев будут зависеть при этом от параметра, значение которого в текущий период времени либо (согласно закону Либиха) минимально, либо же (согласно закону толерантности Шелфорда) наиболее значительно отклоняется от нормы, т.е. среднееголетней величины: недостаток света и тепла нельзя восполнить избытком влаги, и наоборот (Одум, 1975).

Рассмотрим подходы к решению этой задачи. Для простоты допустим, что величину годичного прироста деревьев будут определять колебания метеорологических условий только в летний период, отражаемые лишь тремя основными параметрами среды: светом, температурой и осадками. Далее предположим, что ответная реакция деревьев на увеличение значений каждого из них окажется линейной и положительной, хотя это и будет являться некоторым упрощением. Величину индекса комплексного параметра, лимитирующего рост растений (назовем его комплексным лимитирующим фактором – КЛФ), будем определять по формуле $КЛФ = \min (X_i/X_{max}, Z_i/Z_{max}, W_i/W_{max})$, в которой X , Z и W – текущие и максимальные значения продолжительно-

сти солнечного сияния, температуры воздуха и суммы осадков в летние месяцы. Расчеты показали, что минимальное значение индексов этих четырех метеорологических параметров изменяется на отрезке времени с 1961 по 2019 годы от 0,24 до 0,69 (табл. 3.53). Самое высокое значение этих параметров у индекса температуры воздуха, а самое низкое – у индексов суммы осадков и комплексного лимитирующего фактора. Среднеквадратическое отклонение (S) наиболее велико у индекса суммы осадков, а минимально – у индексов температуры, что свидетельствует об их низкой изменчивости во времени. Наиболее тесно сопряжены между собой ряды значений индексов комплексного лимитирующего фактора и суммы осадков (табл. 3.54), которые играют ведущую роль в обеспечении производительности фитоценозов и, естественно, вариабельности прироста деревьев. Взаимосвязь между этими параметрами нарушалась только в семи случаях из 59 (рис. 3.64), что составляет около 12 %. Большие отклонения отмечались в 1962, 1974, 1976, 1978 и 1980 годах, когда в качестве лимитирующего фактора выступала продолжительность солнечного сияния, величина которой была невысокой. Температура воздуха выступала в качестве лимитирующего фактора только в 2013 и 2017 годах.

Таблица 3.53

Пределы изменений индексов метеорологических показателей с 1961 по 2019 год, нормированных по отношению к их максимальному значению

Параметр среды	Значение статистических показателей			
	Среднее	min	max	S
1. Продолжительность солнечного сияния	0,84	0,64	1,00	0,09
2. Температура воздуха	0,83	0,69	1,00	0,06
3. Сумма осадков	0,60	0,24	1,00	0,18
4. Комплексный лимитирующий фактор	0,58	0,24	0,89	0,15

Таблица 3.54

Степень сопряженности значений индексов метеорологических показателей, нормированных по отношению к их максимальному значению

Параметр среды	Значение коэффициента корреляции между индексами параметров среды			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Продолжительность солнечного сияния	1,00			
2. Температура воздуха	0,67	1,00		
3. Сумма осадков	-0,37	-0,32	1,00	
4. Комплексный лимитирующий фактор	-0,23	-0,23	0,95	1,00

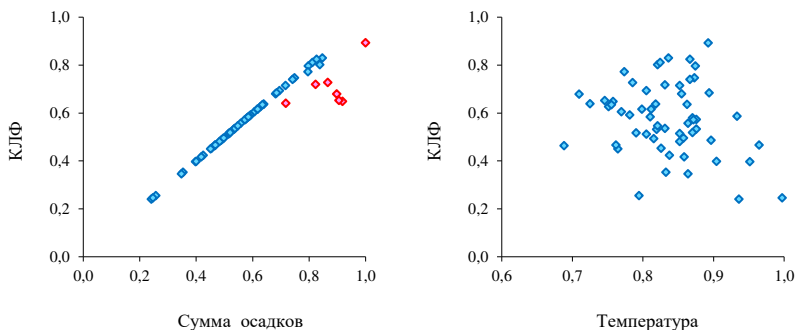


Рис. 3.64. Характер связи между значениями индексов комплексного лимитирующего фактора (КЛФ) и метеорологических показателей

Динамика значений индекса комплексного лимитирующего фактора представляет собой практически бессвязный «белый шум», в котором выделяется слабо выраженный положительный линейный тренд (рис. 3.65) и отсутствуют какие-либо волновые составляющие, о чем свидетельствуют результаты автокорреляционного анализа (рис. 3.66). Весьма неблагоприятные условия для развития растений сложились, как следует из представленных данных, в 1963, 1972, 1975, 2002 и 2010 годах, характеризовавшихся недостатком осадков в летний период, а особенно же благоприятные отмечались в 2000, 2003, 2008, 2011, 2012 и 2013.

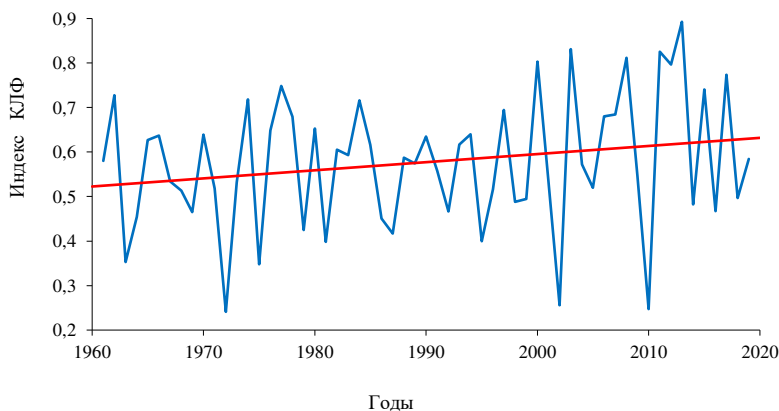


Рис. 3.65. Изменение значений индекса комплексного лимитирующего фактора в летние месяцы года на территории Республики Марий Эл

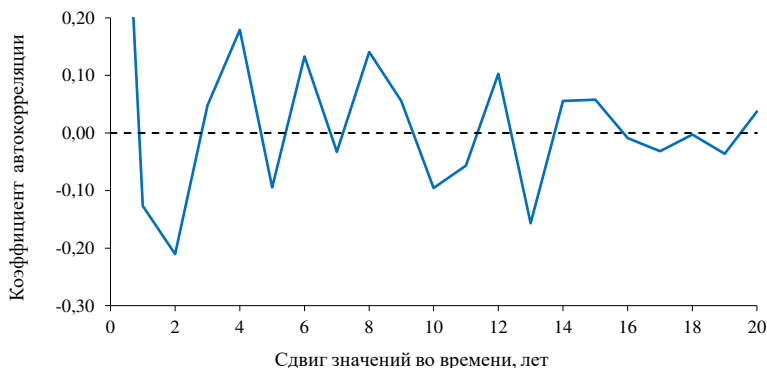


Рис. 3.66. Изменение значений коэффициента автокорреляции во временном ряду индексов комплексного лимитирующего фактора

Подойдем к решению задачи о выделении фактора, лимитирующего производительность фитоценозов, с позиции закона толерантности Шелфорда, используя те же исходные материалы. Величину интегрального показателя, лимитирующего рост растений (назовем его индексом давления среды – ИДС), будем определять в этом случае по формуле $\text{ИДС} = \max(X, Z, W)$, в которой X , Z и W абсолютная величина отклонения значений продолжительности солнечного сияния, температуры воздуха и суммы осадков в летние месяцы от их среднееголетнего значения, нормированного по среднеквадратическому отклонению (S), т.е. $X = \text{abs}(X_i - X_{\text{ср.}})/S$. Расчеты показали, что пределы изменения значений индексов этих четырех метеорологических параметров примерно одинаковы (табл. 3.55) и они сопряжены между собой более тесно, чем в первом случае, когда при решении задачи опирались на закон минимума Либиха (табл. 3.56). Индекс продолжительности солнечного сияния выступал в качестве лимитирующего фактора в 30,5 % случаев, хотя его значения наиболее тесно сопряжены со значениями индекса давления среды. Температура воздуха лимитировала производительность фитоценозов в 35,6 % случаев, а сумма осадков – в 33,9 %.

Динамика величины интегрального индекса давления среды, лимитирующего производительность фитоценозов и годичный прирост деревьев, уже не представляет собой бессвязный «белый шум», поскольку в ней даже при простом сглаживании выделяется сложная волновая компонента (рис. 3.67). Наиболее высокое давление среды растения испытывали в 1963, 1972, 1976, 1978, 1980, 1994, 2010, 2013 и 2016 годах, что должно было сдерживать их рост, а весьма же благоприятные условия для них складывались в 1968, 1970, 1973, 1991, 1993, 2006, 2009 и 2019

годах. Ряды величины интегрального индекса давления среды и комплексного лимитирующего фактора практически не коррелируют друг с другом ($r = 0,13$), что свидетельствует об их разном информативном значении.

Таблица 3.55

Пределы изменений индексов метеорологических показателей с 1961 по 2019 год, нормированных по абсолютному значению среднеквадратического отклонения

Параметр среды	Значение статистических показателей			
	Среднее	min	max	S
1. Продолжительность солнечного сияния	0,78	0,02	2,23	0,62
2. Температура воздуха	0,78	0,00	2,69	0,62
3. Сумма осадков	0,80	0,03	2,29	0,59
4. Индекс давления среды	1,20	0,24	2,69	0,60

Таблица 3.56

Степень сопряженности значений индексов метеорологических показателей, нормированных по абсолютному значению среднеквадратического отклонения

Параметр среды	Значение коэффициента корреляции между индексами параметров среды			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Продолжительность солнечного сияния	1,00			
2. Температура воздуха	0,43	1,00		
3. Сумма осадков	0,40	0,25	1,00	
4. Индекс давления среды	0,75	0,69	0,67	1,00

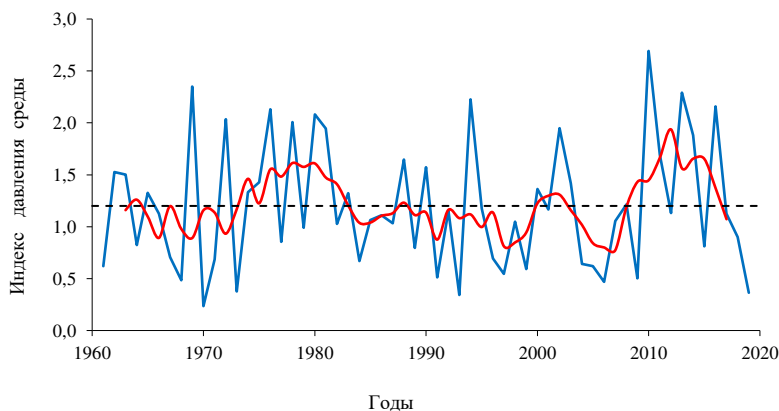


Рис. 3.67. Изменение фактических и сглаженных значений интегрального индекса давления среды на развитие растений в летние месяцы года

Задача выделения лимитирующего фактора из простого набора метеорологических параметров является, таким образом, нетривиальной и во многом зависит от выбора исходной предпосылки для ее решения.

Анализ динамики всех описанных выше параметров среды показал, что наступление аномальных погодных условий связано так или иначе с мощными извержениями вулканов, дестабилизирующих состояние климатической системы Земли, вызывая в одних ее районах засухи, а в других же ураганы или обильные осадки. Так, засухе 1921 года предшествовала целая серия мощных извержений вулканов: Санта-Мария, Суфриер, Мон-Пеле (1902 г.), Везувий (1906), Тааль, (1911) Катмай (1912) и Келуд (1919). После 1935 года вулканическая активность снизилась и началось очищение атмосферы от аэрозолей, что привело к снижению на короткое время температуры воздуха в зимние и летние месяцы (рис. 3.68 и 3.69). В 1940-1950 годах отмечались мощные извержения вулканов Паракутин (1943), Колима (1944), Везувий (1944) и Ключевской (1945), что привело к увеличению температуры воздуха как зимой, так и летом. Резкое снижение зимней температуры воздуха в Республике Марий Эл, отмечавшееся в 1967-1969 годах, во многом связано с деятельностью вулканов Агунг (1963), Шивелуч (1964), Тааль (1965) и Келуд (1966). Засухе 1972 года, которая пришлась на пик значений индексов вулканической активности, также предшествовали мощные извержения вулканов Ареналь и Фернандина (1968).

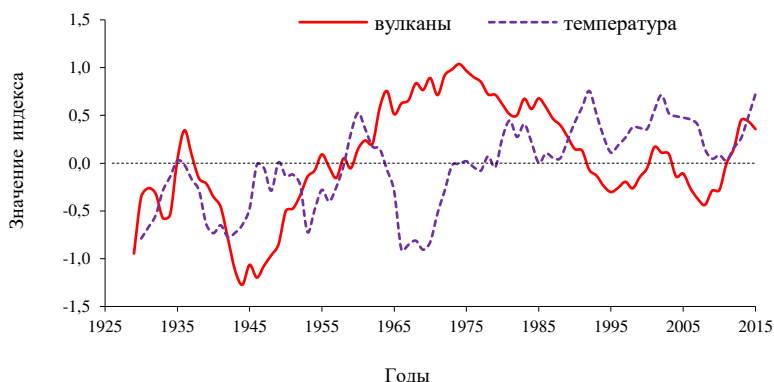


Рис. 3.68. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов вулканической активности и средней температуры воздуха на территории Республики Марий Эл в зимние месяцы (значения всех индексов переведены в одну меру, вычисленную по формуле $Y = (X_i - X_{\text{сред}})/S_x$, где S_x – среднеквадратическое отклонение оцениваемого параметра)

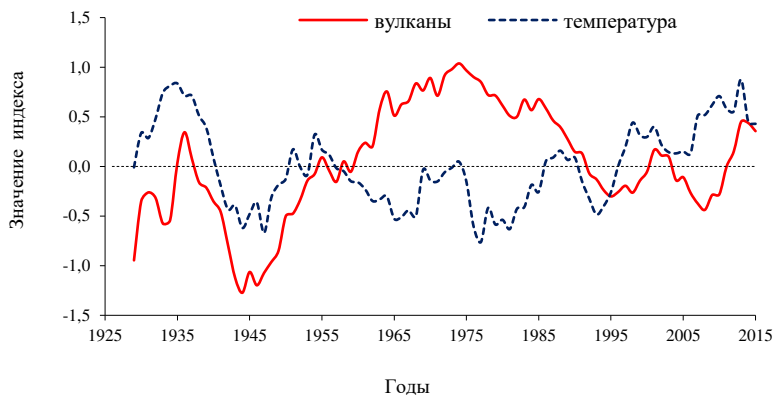


Рис. 3.69. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов вулканической активности и средней температуры воздуха на территории Республики Марий Эл в летние месяцы года

После 2005 года вулканическая активность начала вновь возрастать, что существенным образом отразилось на метеорологических условиях в разных регионах Земли, приведя в том числе к аномальной жаре и засухе 2010 и 2021 годов, наблюдавшихся во многих частях Северного полушария. Засуха 2010 года, в частности, была обусловлена, как отмечалось в разделе 1.2, воздействием на климатическую систему Земли исландского вулкана Эйяфьятлайокудль, вызвавшего образование над Европой мощного блокирующего антициклона. В настоящее время вулканическая активность максимальна и часто происходят мощные извержения вулканов, исходя из чего следует вновь ожидать больших погодных аномалий, которые могут охватить на Земле обширнейшие пространства, привести к природным катастрофам и многочисленным человеческим жертвам.

Анализируемые параметры корреляционно связаны между собой напрямую не очень тесно, что обусловлено автоколебаниями системы «атмосфера – океан – суша – полярные льды» и запаздыванием ее ответных реакций на извержения вулканов, а также особенностями протекания в тот или иной момент времени атмосферных процессов и океанических течений (Логинов, 1992). Наибольшие отрицательные отклонения температуры воздуха на территории Марий Эл как зимой, так и летом наблюдаются, как показали расчеты, при положительных и отрицательных аномалиях вулканической активности (рис. 3.70). При вулканической же активности, близкой к среднему уровню, погодные аномалии случаются гораздо реже.

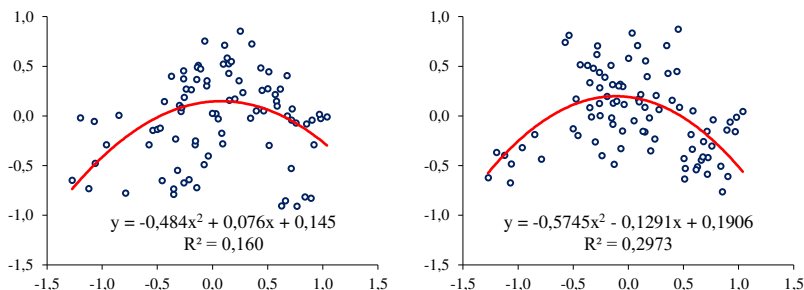


Рис. 3.70. Характер связи между значениями индексов вулканической активности (*ось абсцисс*) и средней температуры воздуха на территории Республики Марий Эл (*ось ординат*) в зимние (*слева*) и летние месяцы года

Извержения вулканов, как описано в разделе 1.2., приводят к загрязнению атмосферы аэрозолями и увеличению облачности, что существенным образом отражается на продолжительности солнечного сияния (рис. 3.71), которое во многом определяет величину фотосинтеза растений и годичный прирост их биомассы. Вулканическая активность отражается также, как показали расчеты, на динамике уровня озер Верхнего Поволжья: в периоды ее низкой активности минимальный летний уровень их выше, а при высокой же, наоборот, ниже (рис. 3.72).

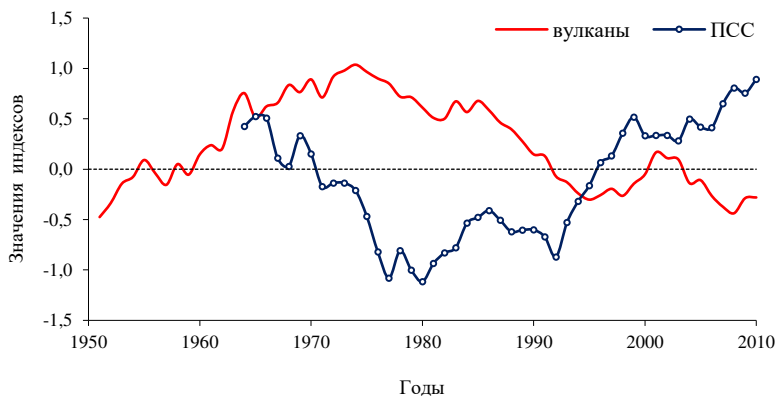


Рис. 3.71. Многолетняя динамика сглаженных значений индексов продолжительности солнечного сияния (ПСС) и вулканической активности

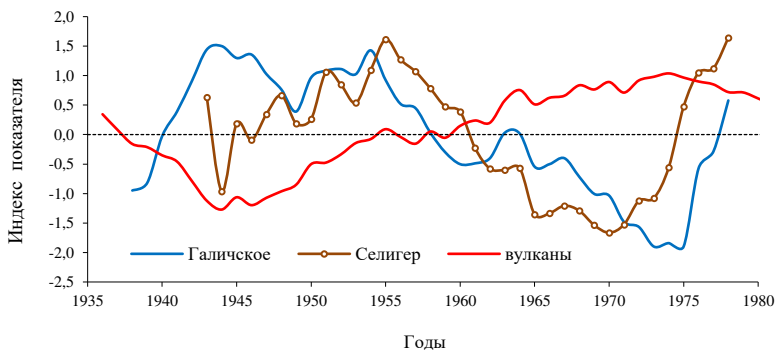


Рис. 3.72. Динамика индексов вулканической активности и минимального летнего уровня озер Верхнего Поволжья

Современное глобальное потепление климата и его вариации во многом связаны, таким образом, с изменениями прозрачности атмосферы и содержания в ней парниковых газов, вызываемыми мощными извержениями вулканов, дестабилизирующих состояние климатической системы Земли, приводя в одних ее районах к засухе, а в других – к ураганам или обильным осадкам. Нельзя преувеличивать вклад техногенной деятельности человека, как это делают некоторые исследователи, и недооценивать роль вулканов в динамике климата.

3.9. Микроклимат почв лесных биогеоценозов

Успешность роста деревьев во многом зависит не только от метеорологических параметров приземного слоя атмосферы, но также и от характера микроклимата почв в каждом конкретном экотопе, параметры которого имеют четко выраженную суточную, сезонную и многолетнюю динамику. Так, анализ данных систематических многолетних наблюдений на ГМС Йошкар-Ола показал, что средняя годовая температура почвы здесь практически не изменяется с глубиной и составляет 6,8-7,1 °С, что выше средней годовой температуры воздуха на 4,2-4,5 °С (табл. 3.57). Годовой же минимум температуры почвы на глубине 20 см выше, чем воздуха, на 42 °С, а максимум и амплитуда, наоборот, ниже на 12,6 и 53,6 °С соответственно. Почва, таким образом, характеризуется более сглаженным, по сравнению с приземным слоем атмосферы, температурным режимом, хотя колебания между годовым максимумом и минимумом прослеживаются вплоть до глубины 320 см.

Таблица 3.57

**Средняя, минимальная и максимальная годовая температура
почвы на разных глубинах по данным ГМС Йошкар-Ола**

Температура	Значение температуры на разной глубине, °С							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
Средняя годовая	6,9	7,1	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,8
Минимальная	-6,0	-3,9	-2,8	-1,6	-0,2	0,9	2,0	1,0
Максимальная	26,4	23,2	21,7	20,1	17,5	14,9	13,6	12,1
Амплитуда	32,4	27,1	24,4	21,7	17,7	14,0	11,6	11,1

Минимальная и максимальная температура, а также размах между их значениями (A , °С) изменяются по градиенту глубины (h , см) строго закономерно, что с высокой точностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$t_{\min} = 10,3 \times [1 - \exp(-14,73 \times 10^{-3} \times h)] - 8,64; \quad R^2 = 0,984;$$

$$t_{\max} = 17,9 \times \exp(-9,18 \times 10^{-3} \times h) + 11,3; \quad R^2 = 0,995;$$

$$A = 27,8 \times \exp(-11,14 \times 10^{-3} \times h) + 10,0; \quad R^2 = 0,997.$$

Годовой ход температуры почвы на каждой отметке глубины имеет свои особенности (табл. 3.58, рис. 3.68), отражаемые соответствующими уравнениями регрессии (табл. 3.73). Сезонный минимум на глубине 20 см отмечается чаще всего в конце третьей декады декабря или в середине первой декады января, сдвигаясь на 5-7 дней на каждые 10 см глубины (на глубине 320 см он отмечается уже в конце апреля). Температурный максимум на глубине 20 см наступает в основном в середине июля, а на глубине 320 см – в конце августа или даже сентября.

Таблица 3.58

Средняя температура почвы в последний день месяца на ГМС Йошкар-Ола

Месяц	Температура почвы на разной глубине, °С							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
I	-1,3	-0,6	0,1	0,7	1,8	2,9	4,2	5,3
II	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,4	2,3	3,6	4,5
III	-0,2	0,0	0,3	0,5	1,2	2,0	3,1	3,9
IV	7,2	6,1	4,9	3,9	3,0	2,7	3,1	3,5
V	14,1	13,1	11,5	10,2	8,4	6,8	5,4	4,7
VI	19,1	17,9	16,1	14,4	12,1	10,2	8,0	6,8
VII	19,6	19,0	17,5	16,3	14,5	12,7	10,4	8,9
VIII	15,4	15,4	15,2	14,7	14,0	13,0	11,5	10,2
IX	9,1	10,0	10,5	10,9	11,3	11,4	11,1	10,4
X	2,9	4,2	5,1	6,0	7,4	8,4	9,2	9,4
XI	-0,6	0,7	1,8	2,8	4,3	5,6	7,0	7,9
XII	-1,5	-0,6	0,3	1,3	2,6	3,8	5,3	6,4

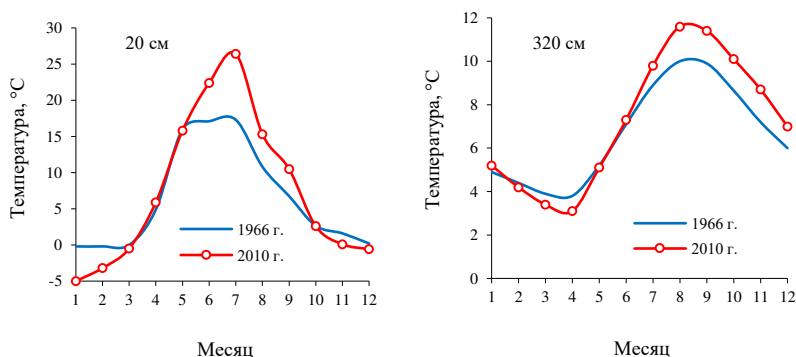


Рис. 3.73. Годовой ход температуры почвы на глубине 20 и 320 см в разные годы

Таблица 3.59

Параметры функции годового хода средней многолетней температуры почвы

Параметр	Значение параметров функции $Y=A \times [\sin(2 \times \pi \times t / 11,5 + \varphi) + 1]^b + c$ на разной глубине измерения температуры почвы							
	20 см	40 см	60 см	80 см	120 см	160 см	240 см	320 см
A	6,92	6,47	5,84	5,26	4,61	4,08	3,27	2,74
φ	-2,068	-2,145	-2,236	-2,338	-2,510	-2,701	-2,975	-3,235
b	1,653	1,631	1,611	1,596	1,524	1,435	1,36	1,288
c	-1,61	-0,81	-0,11	0,55	1,47	2,22	3,20	3,81
R ²	0,996	0,996	0,995	0,993	0,990	0,988	0,988	0,985

Расчеты показали, что почва обладает более высокой способностью к поглощению солнечной энергии, чем атмосфера, и ее температура на глубине всего 20 см в течение девяти месяцев года (январь-март и июль-декабрь) выше температуры воздуха (рис. 3.74). На глубине же 320 см она с апреля по сентябрь уже, наоборот, ниже.

Связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы в зимний период, особенно в январе, слабая, что связано с вариацией толщины снежного покрова, а с апреля по октябрь, наоборот, очень тесная (табл. 3.60). Наиболее тесная связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы отмечается в сентябре и октябре.

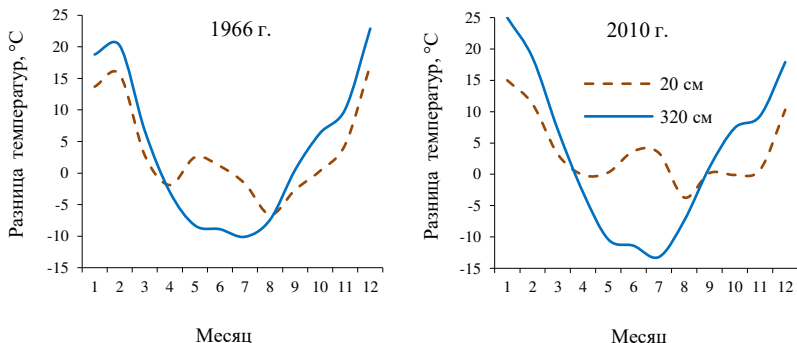


Рис. 3.74. Сезонный ход разницы температуры почвы и воздуха в разные годы

Таблица 3.60

Параметры линейной связи между рядами средней температуры воздуха и почвы на глубине 20 см по материалам многолетних измерений на ГМС Йошкар-Ола

Параметр функции	Значения параметров функции $Y = aX + b$ для разных месяцев года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,11	0,12	0,13	0,55	0,71	0,86	0,85	0,75	0,75	0,66	0,31	0,16
b	-0,04	0,10	0,00	0,21	2,68	2,41	3,58	5,42	4,42	3,40	2,06	0,28
R ²	0,19	0,21	0,34	0,73	0,76	0,77	0,74	0,60	0,80	0,83	0,58	0,22

Примечание: Y – температура почвы, °C; X – температура воздуха, °C.

Средняя температура почвы в летние месяцы, как показали расчеты, довольно четко увеличивается с течением времени (рис. 3.75), достоверно подтверждая факт глобального потепления, обусловленного во многом возрастанием вулканической активности, что полностью согласуется с данными исследователей по другим регионам России (Худяков, Решоткин, 2012; Балыбина, Трофимова, 2013). Тренд же изменения температуры почвы в зимние месяцы довольно слабый, и значения её флуктуируют вокруг некоторого среднего уровня (рис. 3.76). Наиболее низкая температура почвы в летнее время отмечена в 1969 году, а наиболее высокая – в 1989. Зимний же минимум зафиксирован в 1988 году, а максимум – в 1982. Довольно значительно варьируют во времени также показатели продолжительности периодов с различной температурой почвы и суммы накопленного тепла (табл. 3.61), что должно отражаться на состоянии деревьев и величине их годового прироста.

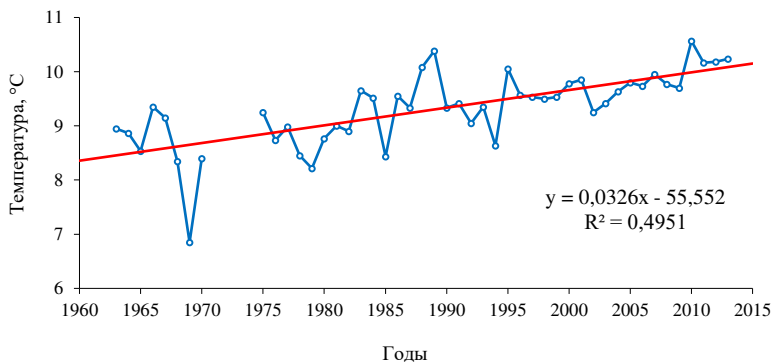


Рис. 3.75. Многолетняя динамика средней температуры почвы в летние месяцы на глубине 240-320 см

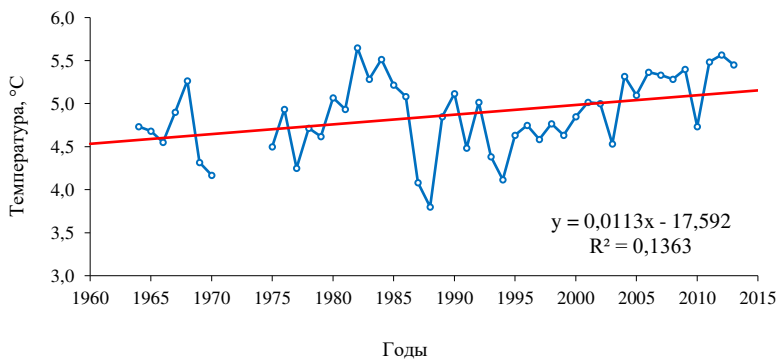


Рис. 3.76. Многолетняя динамика средней температуры почвы в зимние месяцы на глубине 240-320 см

Таблица 3.61

Изменение параметров температурного режима почв на ГМС Йошкар-Ола

Пороги температуры, °С	Значения показателей на разной глубине измерения параметров							
	Глубина 20 см				Глубина 60 см			
	М _х	min	max	Размах	М _х	min	max	Размах
Продолжительность периода с различной температурой, дней								
>5	180	156	216	60	187	166	214	48
>10	139	118	173	55	135	117	156	39
>15	87	56	113	57	69	14	104	90

Пороги температуры, °С	Значения показателей на разной глубине измерения параметров							
	Глубина 20 см				Глубина 60 см			
	М _х	min	max	Размах	М _х	min	max	Размах
Сумма температур выше определенного значения, °С								
>5	2563	2110	2966	856	2377	1910	2763	853
>10	2254	1760	2828	1068	2004	1581	2401	820
>15	1607	916	2167	1251	1165	220	1771	1552

Температура почвы в лесных биогеоценозах на объектах наших исследований изменялась также в очень больших пределах, определяемых как погодными условиями того или иного года, так и особенностями экотопов. Так, к примеру, в середине мая на глубине 5 см она варьировала от 5,2 до 15,9 °С, на глубине 10 см – от 5,1 до 13,8 °С, а на глубине 20 см – от 4,2 до 10,0 °С (табл. 3.62). С увеличением глубины почвы предел изменений температуры постепенно уменьшался. В течение вегетационного периода размах значений температуры в самых верхних слоях почвы составил 24,7-26,8 °С, а в нижних – 14,9-15,9 °С.

Таблица 3.62

Пределы изменения температуры почвы на объектах исследования в 2010-2020 годах

Дата	Температура почвы в экотопах на разной глубине, °С (min-max)					
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
15.05	5,2-15,9	5,1-13,8	4,2-10,0	3,0-8,9	2,6-8,5	3,1-8,0
15.06	10,9-15,5	10,2-13,3	9,4-11,9	9,0-10,6	8,8-9,8	8,6-9,1
15.07	11,0-32,0	10,5-29,8	9,5-23,0	9,5-20,0	8,7-18,5	8,3-18,0
15.08	16,7-30,5	15,8-26,5	15,1-17,0	14,1-15,8	13,1-15,1	12,4-14,2
15.09	9,9-16,0	10,1-15,0	9,9-13,4	9,5-13,6	9,4-13,5	9,3-13,1
В целом за сезон	5,2-32,0	5,1-29,8	4,2-23,0	3,0-20,0	2,6-18,5	3,1-18,0
Размах	26,8	24,7	18,8	17,0	15,9	14,9

В годы с прохладной и дождливой погодой в вегетационный период максимум температуры всех слоев почвы отмечался обычно в конце июля – начале августа, а с жаркой и засушливой погодой – во второй половине августа (рис. 3.77). Наиболее активное накопление суточных активных температур почвы выше 5 °С происходило обычно в августе, а наименьшее – в мае, когда в отдельные годы их сумма приближалась к

нулевой отметке (рис. 3.78), при которой рост корней прекращается. С увеличением глубины суммарное накопление тепла в почве постепенно уменьшается. Все эти изменения должны непременно отражаться на величине годичного прироста деревьев.

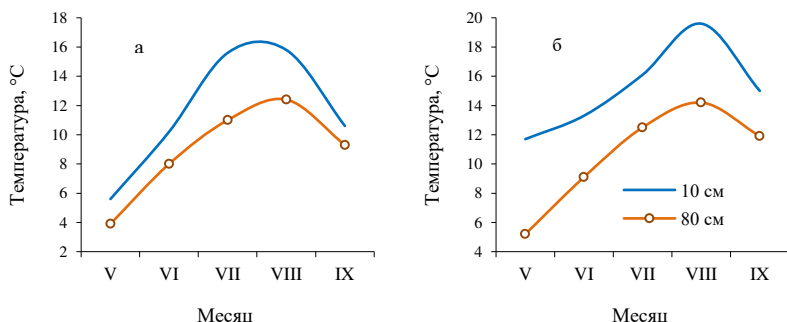


Рис. 3.77. Варианты сезонной динамики температуры разных слоев почвы на объектах исследования в прохладное (а) и жаркое (б) лето

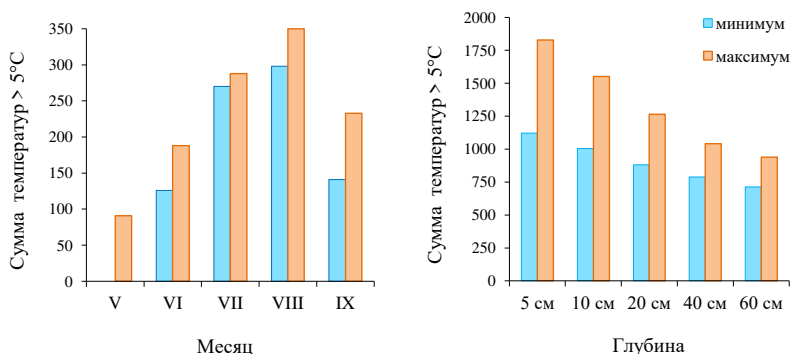


Рис. 3.78. Возможные варианты сезонной динамики месячной суммы активных температур почвы на глубине 20-40 см (слева) и суммы тепла, полученного за вегетационный период разными слоями почвы в лесных биогеоценозах Республики Марий Эл

Характер изменения температуры почвы по градиенту её глубины в пределах одного и того же экотопа во многом зависит от погодных условий конкретного года (рис. 3.79), а в пределах одного года – от особенностей экотопов (рис. 3.80 и 3.81). Так, к примеру, 11 мая 2010 года в сосняке лишайниково-мшистом температура почвы на глубине 5 см

составляла 15,5 °С, а в пойменном экотопе на 5,8 °С меньше (табл. 3.63). На глубине 10 см разница была уже 3,2 °С, а на глубине от 20 до 60 см она составляла всего лишь 0,2-0,4 °С. На верховых болотах в августе этого очень жаркого и засушливого лета температура почвы на глубине 5 и 10 см была на 1,3-1,5 °С ниже в древостое с более высокой полнотой. На глубине 20 см разница температуры снизилась до 0,5 °С, а на глубине от 40 до 80 см – до 0,1-0,2 °С. В пойменных экотопах лесопарка «Дубовая роща» температура верхних слоев почвы в июне 2014 года была наиболее высокой на лугу, а самой низкой – под пологом сомкнутого дубово-липового древостоя (табл. 3.64). Влияние степени сомкнутости древесного полога на температуру почвы четко прослеживается в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты вплоть до глубины 80 см даже в начале осени (табл. 3.65).

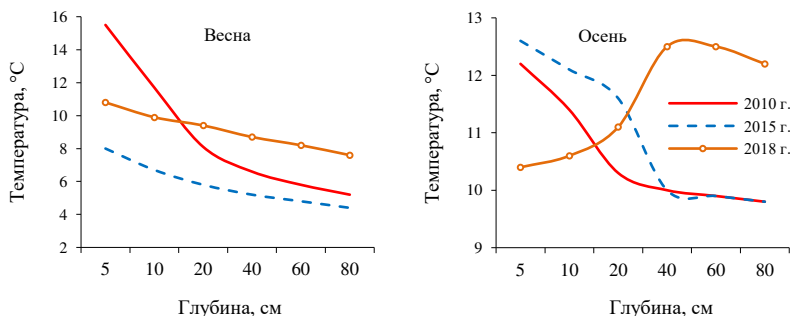


Рис. 3.79. Изменение температуры почвы по градиенту профиля в сосняке лишайниково-мшистом весной и осенью разных по погодным условиям вегетационных периодов

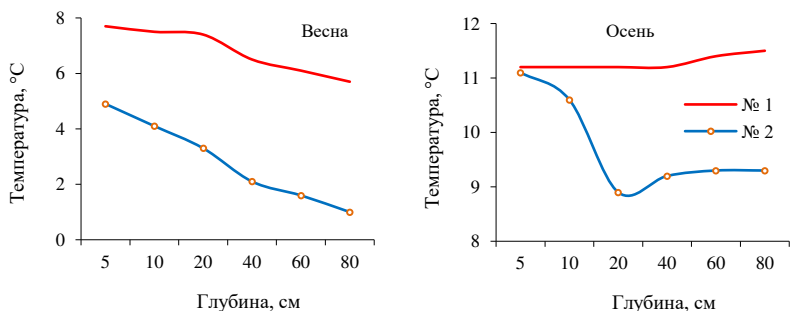


Рис. 3.80. Изменение температуры почвы по градиенту профиля весной и осенью 2016 года в разных экотопах: № 1 – сосняк лишайниковый; № 2 – липняк нагорный снытьевый

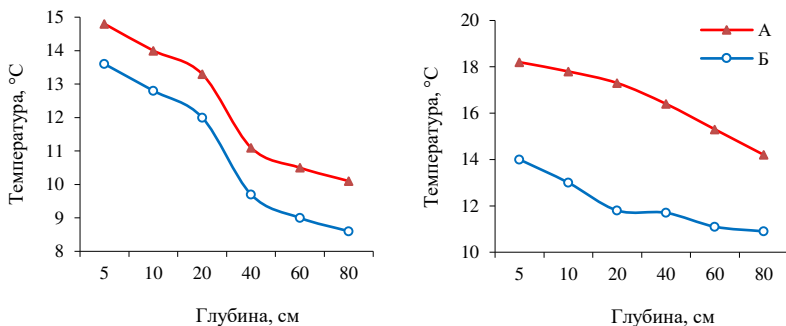


Рис. 3.81. Изменение температуры почвы по градиенту глубины в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» в июле 2017 (слева) и 2018 годов: А – сосняк лишайниковый; Б – сосняк черничниковый влажный

Таблица 3.63
Значения показателей температуры почвы на объектах исследования в 2010 году

Дата	Экотоп	Температура почвы на разной глубине, °C					
		5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
12.05	1	15,5	11,7	8,1	6,6	5,8	5,2
12.05	2	9,7	8,5	7,7	6,2	5,0	3,6
11.08	3	25,0	21,8	16,1	13,3	11,5	10,0
11.08	4	23,7	20,3	15,6	13,1	11,3	9,9

Примечание: 1 – 80-летний сосняк лишайниково-мшистый, 2 – 120-летний дубняк с липой и елью пойменный, 3 – низкополотный климаксовый сосняк сфагновый на верховом болоте, 4 – 180-летний высокополотный сосняк сфагновый на верховом болоте

Таблица 3.64
Температура почвы в экотопах лесопарка «Дубовая роща» 05.06.2014 года

Глубина, см	Средняя температура почвы в разных экотопах, °C				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
10	16,8	15,1	14,0	14,1	14,0
20	13,7	13,4	12,8	12,8	12,1
Разность	3,1	1,7	1,2	1,3	1,9

Примечание: № 1 – поляна; № 2 – 55-летние сомкнутые культуры лиственницы; № 3 – 63-летние сомкнутые культуры тополя; № 4 – 65-летний осинник; № 5 – сомкнутый спелый дубово-липовый древостой

Таблица 3.65

Температура почвы 05.09.2016 года в культурах сосны разной исходной густоты

Исходная густота, экз./га	Температура почвы на разной глубине, °С					
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
500	15,3 ± 0,13	14,6 ± 0,13	13,9 ± 0,07	12,1 ± 0,06	11,9 ± 0,09	11,9 ± 0,07
1 тыс.	15,6 ± 0,09	14,7 ± 0,07	13,8 ± 0,03	11,8 ± 0,10	11,7 ± 0,12	11,4 ± 0,10
3 тыс.	14,9 ± 0,18	14,3 ± 0,16	13,6 ± 0,09	11,4 ± 0,11	11,4 ± 0,15	11,1 ± 0,07
5 тыс.	15,1 ± 0,09	14,5 ± 0,13	13,6 ± 0,09	11,5 ± 0,06	11,5 ± 0,03	11,3 ± 0,05
10 тыс.	14,1 ± 0,17	13,3 ± 0,14	13,0 ± 0,09	11,4 ± 0,14	11,0 ± 0,10	10,9 ± 0,16

Исследования показали, что в сосняках лишайниковых и лишайниково-мшистых большое влияние на температуру почвы оказывает напочвенный покров, который в этих экотопах развит очень сильно. Для определения его термоизоляционных свойств был поставлен специальный опыт, заключающийся в удалении лесной подстилки на пяти площадках размером 3×3 м в каждом из двух экотопов. Параллельно проводили замер температуры почвы в пяти точках с ненарушенным напочвенным покровом. Было установлено, что напочвенный покров в летний период препятствует прогреву почвы, приводя к снижению ее температуры вплоть до глубины 80 см (рис. 3.82, табл. 3.66). На глубине 5 см разница температур на площадках с удаленным и ненарушенным напочвенным покровом может достигать в июне-июле в отдельные годы 5 °С, а на глубине 20 см – 3,2 °С.

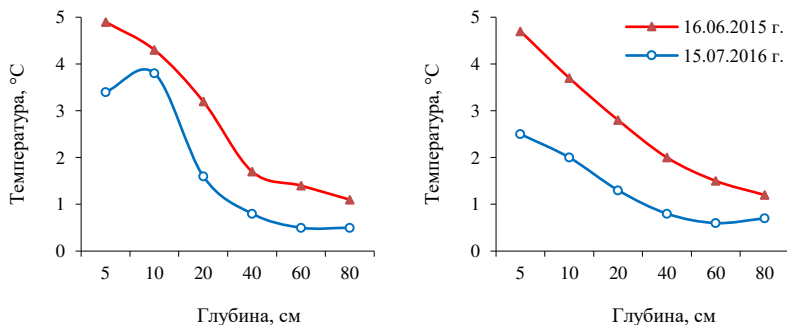


Рис. 3.82. Изменение разницы температуры почвы по градиенту её глубины между площадками с удаленным и ненарушенным напочвенным покровом в сосняке лишайниково-мшистом (слева) и лишайниковом по данным замеров, проведенных в разное время

Таблица 3.66

**Влияние удаления напочвенного покрова в 80-летнем сосняке
лишайниковом на температуру разных слоев почвы**

Дата	Вариант опыта	Температура почвы на разной глубине, °С					
		5 см	10 см	20 см	40 см	60 см	80 см
16.06.2015 г.	1	16,6	15,5	14,2	11,6	10,4	9,4
	2	21,5	19,8	17,4	13,4	11,8	10,4
23.09.2015 г.	1	13,3	12,6	12,0	10,8	-	-
	2	15,3	14,1	12,7	10,9	-	-
12.05.2016 г.	1	7,7	7,5	7,4	6,5	6,1	5,7
	2	8,6	7,9	7,6	6,9	7,1	6,7
15.07.2016 г.	1	19,5	18,0	14,7	13,6	12,6	11,9
	2	22,9	21,8	16,3	14,5	13,1	12,4
14.09.2016 г.	1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,4	11,5
	2	11,0	10,8	10,7	10,9	10,9	11,1

Примечание: 1 – площадки с ненарушенным напочвенным покровом; 2 – площадки с удаленным покровом

Температура почвы на всей ее глубине, как показали наши исследования (Демаков, Исаев, 2013; Характер изменения ..., 2016; Демаков и др., 2017; Структурно-функциональная ..., 2019), значительно изменяется в пространстве экотопов, что связано с неоднородностью ее структуры и мощности напочвенного покрова (Кремер, 1970; Архангельская, 2012). Это приводит к образованию четко выраженных тепловых парцелл (рис. 3.83), границы которых для разных слоев почвы не совпадают между собой (рис. 3.84, табл. 3.67) и не связаны с густотой древостоя.

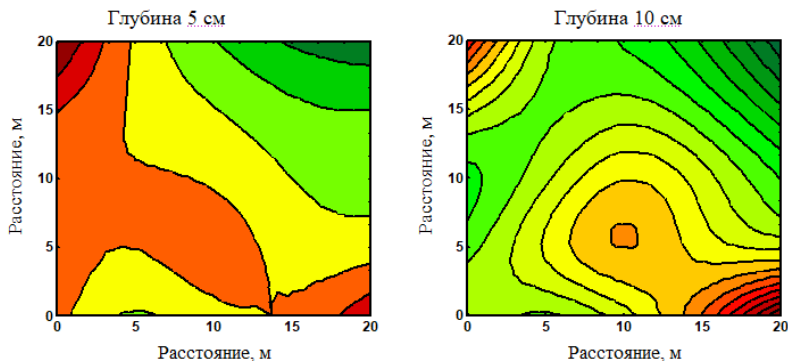


Рис. 3.83. Пространственное изменение температуры почвы в сосняке лишайниково-мшистом в мае 2010 года (увеличение температуры идет от зеленого цвета к красному)

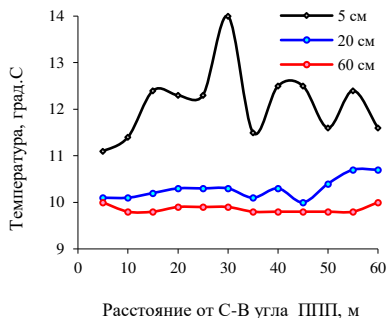
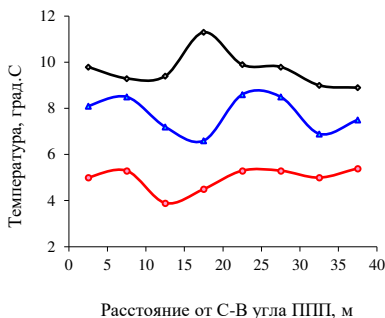


Рис. 3.84. Изменение температуры почвы на разной глубине в пределах профилей, заложённых в пойменном липняке с дубом крапивным 12.05.2010 года (слева) и сосняке лишайниково-мшистом 11.09.2010 года

Таблица 3.67

Матрица парных коэффициентов корреляции между значениями температуры разных слоев почвы в суходольном и пойменном экотопах заповедника

Глубина, см	Значения коэффициентов корреляции между температурой на разной глубине				
	5 см	10 см	20 см	40 см	60 см
Сосняк лишайниково-мшистый, измерения проведены 11.05.2010					
5	1,00				
10	0,76	1,00			
20	-0,12	0,06	1,00		
40	-0,30	-0,21	0,76	1,00	
60	-0,24	-0,11	0,73	0,95	1,00
80	-0,33	-0,17	0,59	0,85	0,91
Сосняк лишайниково-мшистый, измерения проведены 11.09.2010					
5	1,00				
10	0,86	1,00			
20	0,14	0,43	1,00		
40	-0,01	0,06	0,40	1,00	
60	0,07	0,17	0,27	0,81	1,00
80	0,06	0,04	-0,04	0,74	0,87
Липняк с дубом пойменный крапивный, измерения проведены 11.05.2010					
5	1,00				
10	0,18	1,00			
20	-0,22	0,88	1,00		
40	-0,21	0,81	0,93	1,00	
60	-0,30	0,29	0,62	0,71	1,00
80	-0,15	0,57	0,76	0,89	0,88

Влажность почвы на объектах исследования изменялась не в меньшей степени, чем ее температура, что могло также отразиться на величине годового прироста деревьев. В песчаных почвах пределы варьирования ее значений снижались по градиенту глубины с 7,46 до 4,28 % (табл. 3.68). В глинистых же почвах наиболее высокая изменчивость отмечалась в слое 30-50 см, где расположена основная масса сосущих корней деревьев.

В пойменных экотопах влажность почвы даже в пределах одного момента времени также варьировала в очень больших пределах (табл. 3.69). Меньше всего ее значения изменялись в самом верхнем слое почвы. Наиболее влажным был самый верхний слой, что связано в основном с выпадением большого количества осадков. С глубиной влажность почвы постепенно снижалась, хотя на большинстве пробных площадей грунтовые воды подступали вплотную к поверхности почвы.

Таблица 3.68

Пределы изменения влажности почвы на объектах исследования в 2015-2018 годах

Дата	Влажность разных слоев почвы на объектах исследования, % (min-max)					
	Песчаные почвы			Глинистые почвы		
	0-20 см	30-50 см	60-80 см	0-20 см	30-50 см	60-80 см
15.05	3,37-7,12	3,07-4,52	2,57-4,67	17,2-43,4	14,8-47,1	17,0-37,2
15.07	2,45-9,29	2,14-5,39	1,99-4,68	28,7-37,1	15,3-22,7	14,4-21,9
15.09	1,83-7,74	1,13-6,07	1,08-5,36	14,3-28,1	10,3-19,6	11,3-20,4
В целом за сезон	1,83-9,29	1,13-6,07	1,08-5,36	14,3-43,4	10,3-47,1	11,3-37,2
Размах	7,46	4,94	4,28	29,1	36,8	25,9

Таблица 3.69

Параметры влажности почвы в июле 2017 года в пойменных экотопах заповедника

Слой	Значения параметров на разной глубине					
	M ± m	min	max	S _x	V, %	p, %
0-10 см	60,7 ± 4,8	47,4	81,0	12,6	20,8	7,9
10-20 см	34,8 ± 3,5	25,9	49,7	9,2	26,5	10,0
30-50 см	26,5 ± 2,3	20,7	36,4	6,1	23,1	8,7
60-80 см	23,3 ± 2,4	17,1	35,5	6,4	27,6	10,4

Изменение этого показателя по градиенту профиля почвы в каждом экотопе происходило по-разному, что связано с характером поглощения атмосферных осадков надземной частью фитоценозов и дальнейшей

инфильтрации, а также деятельности корней растений и капиллярного подъема грунтовых вод. Во всех лесных экотопах наибольшую влажность в течение всего вегетационного периода имел самый верхний слой почв (рис. 3.85), что свидетельствует об атмосферном пополнении запасов воды и промывном типе их водного режима. В луговых экотопах все происходило иначе: весной и летом наиболее высокая влажность отмечалась в нижнем слое почвы, а минимальная – в среднем (рис. 3.86). Осенью картина становилась диаметрально противоположной. Определенное влияние на сезонную динамику влажности почвы оказывали погодные условия каждого конкретного года, не меняющие в целом общей закономерности (рис. 3.87 и 3.88).

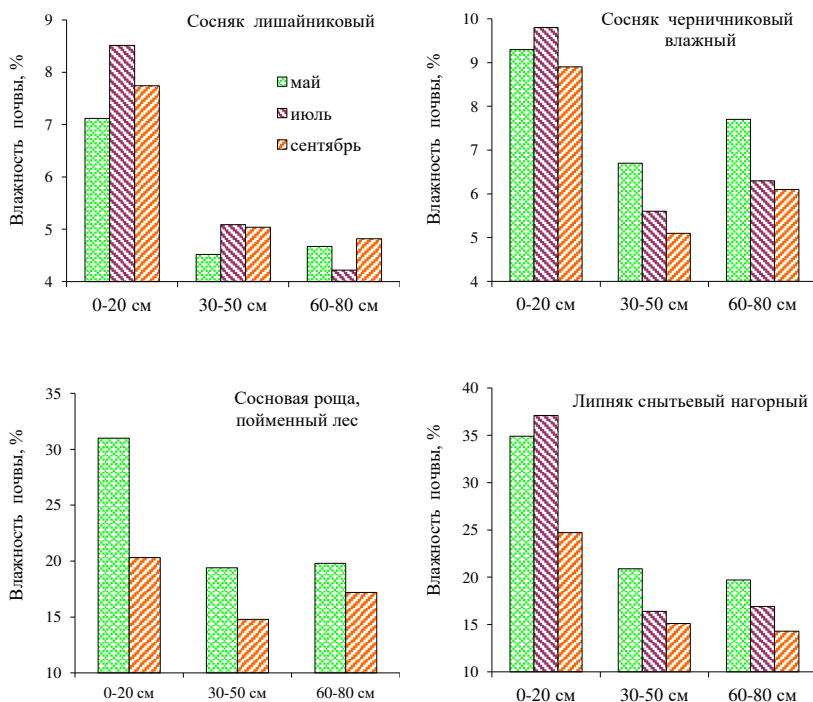


Рис. 3.85. Сезонная динамика влажности почвы в лесных экотопах в 2017 году

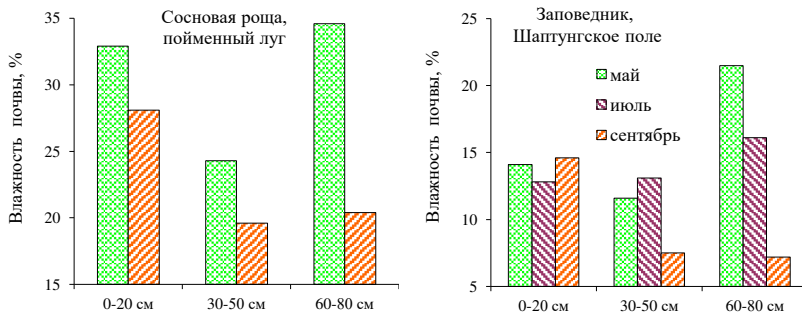


Рис. 3.86. Сезонная динамика влажности почвы в луговых экотопах в 2017 году

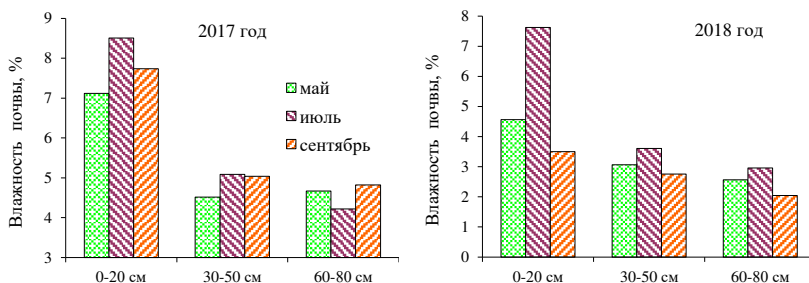


Рис. 3.87. Сезонная динамика влажности почвы в сосняке лишайниковом в разные годы

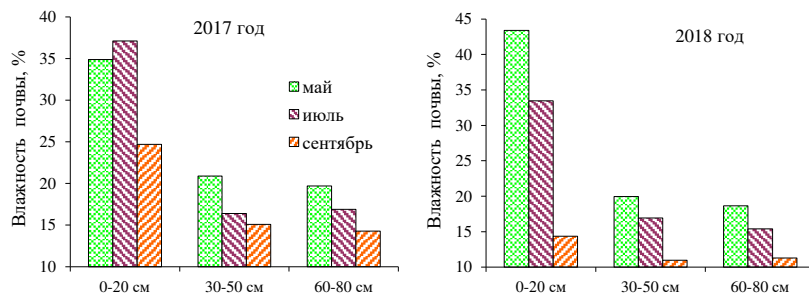


Рис. 3.88. Сезонная динамика влажности почвы в липняке снытьевом в разные годы

Большое влияние на влажность почвы оказывал также полог леса, определяющий, с одной стороны, степень поглощения атмосферных осадков, а с другой – величину их транспирации. Так, с мая по сентябрь

2018 года в лесопарке «Сосновая роща» влажность верхнего слоя почвы на лугу уменьшилась на 25,1 %, а под пологом леса – на 27,4 %, что связано с перехватом осадков кронами деревьев. Снижение же значений показателя в нижних слоях почвы на лугу было более значительным, чем в лесу: в слое 30-50 см – 32,8 против 28,0 %, а в слое 60-80 см – 23,2 против 20,3 %. В лесопарке «Дубовая роща» наиболее высокую влажность имел верхний слой почвы на злаково-разнотравном лугу, а минимальную – в культурах лиственницы сибирской (рис. 3.89). В боровых же условиях наиболее высокая влажность отмечалась в культурах березы (рис. 3.90), полог которых задерживал и испарял влаги гораздо меньше, чем полог культур сосны.

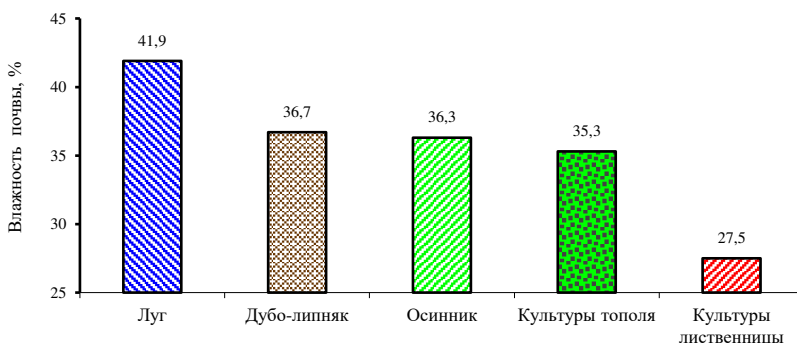


Рис. 3.89. Влажность верхнего 20-см слоя почвы в июле 2017 года в краткопийменных экотопах лесопарка «Дубовая роща»

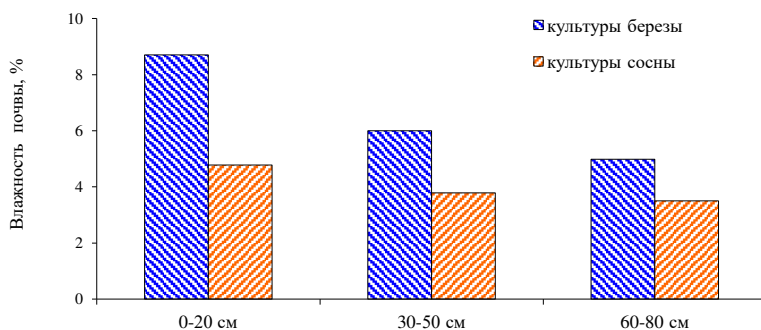


Рис. 3.90. Влажность почвы в середине июля дождливого 2017 года в 42-летних лесных культурах Старожильского лесничества, созданных в сухом бору

Влияние степени сомкнутости древесного полога на влажность почвы довольно четко прослеживается, как нами было установлено, даже в начале осени на опытном объекте в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты, созданных в сухом бору Силикатного лесничества. Наиболее высокая влажность верхнего слоя почвы отмечалась в культурах с исходной густотой 0,5 тыс. экз./га, а самая низкая – с густотой 5 тыс. экз./га (табл. 3.70). На глубине 30-50 см почва наиболее влажной была в культурах с густотой 3 тыс. экз./га, а наиболее сухой – с густотой 5 тыс. экз./га. Влажность же слоя почвы 60-80 см наиболее высокой была в культурах с густотой 10 тыс. экз./га, а самой низкой – с густотой 3 тыс. экз./га.

Таблица 3.70

Влажность почвы 05.09.2016 года в культурах сосны разной исходной густоты

Слой почвы	Влажность почвы в культурах разной густоты, %				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
0-20 см	5,11	3,83	3,67	2,01	2,79
30-50 см	1,32	1,39	1,70	1,13	1,35
60-80 см	1,39	1,21	1,08	1,20	1,54

Исследования, проведенные в первой декаде сентября засушливого 2002 года, показали, что влажность аллювиальных слабоподзолистых среднесуглинистых почв в каждом из шести краткопийменных экотопов лесопарка «Дубовая роща» изменяется в пределах вертикального профиля по-разному (табл. 3.71, рис. 3.91).

Наиболее сухим являлся в это время верхний слой почвы на лугах, особенно в местах с высокой рекреационной нагрузкой (экотоп 1). Ближе всего к лугам по характеру вертикального распределения влажности почв примыкают культуры тополя (экотоп 3) и лиственницы (экотоп 4), созданные на лесных полянах. В первом из них почва наиболее иссушена на глубине 20-30 см, а во втором – 40-50 см. Влажность почвы в этих слоях оказалась даже более низкой, чем на лугах. Наиболее высокая влажность почвы под пологом смешанных дубово-пихтово-липовых и осиновых древостоев естественного происхождения (экотопы 5 и 6). Различия между экотопами по влажности почвы довольно велики и составляют в самом верхнем слое 16,2 %, а на глубине от 80 до 100 см – 8,7-11,9 %.

Таблица 3.71

**Изменение влажности почвы по градиенту глубины в различных экотопах
лесопарка «Дубовая роща» по данным измерений, проведенных 8.09.2002**

Глубина слоя, см	Значение влажности почвы в различных экотопах, %					
	Луг 1	Луг 2	Тополь	Лиственница	Дубо-липняк	Осинник
0-5	17,7	19,7	19,0	21,8	25,1	34,4
5-10	17,4	19,6	18,3	22,5	24,9	33,0
10-20	16,5	19,9	17,4	21,0	25,8	24,9
20-30	17,1	23,2	14,2	18,6	23,6	22,8
30-40	13,9	15,3	21,1	13,2	18,6	21,4
40-50	17,2	14,4	21,5	11,5	17,9	21,4
50-60	20,7	20,4	20,8	14,8	25,0	18,3
60-70	23,1	21,2	20,0	18,2	25,9	18,1
70-80	23,3	23,7	19,3	19,5	22,1	18,7
80-90	23,8	30,2	19,1	19,2	20,6	18,3
90-100	24,2	23,6	20,8	21,7	19,7	15,5

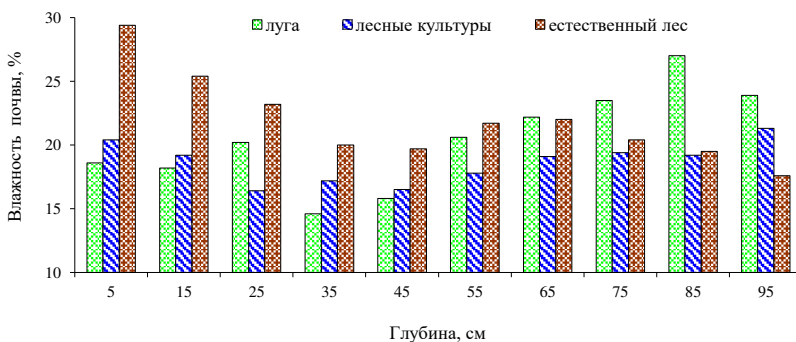


Рис. 3.91. Характер изменения влажности почвы по градиенту их глубины в различных экотопах лесопарка «Дубовая роща» в первой декаде сентября 2002 года

При анализе многолетней динамики водного режима почв целесообразно использовать не показатели их влажности, а запасы влаги, выраженные в миллиметрах водного столба или же в тоннах на 1 га, что позволяет сопоставить их с количеством выпавших осадков. На основе проведенных расчетов было установлено, что запас воды в почве лесных экотопов изменялся по датам учета волнообразно (рис. 3.92), что связано с его сезонными колебаниями. Многолетние изменения запасов влаги в глинистой почве были более резко выраженными, чем в песчаной, и, несмотря на общий ход погодных условий, слабо связанными друг с другом ($r = 0,30$).

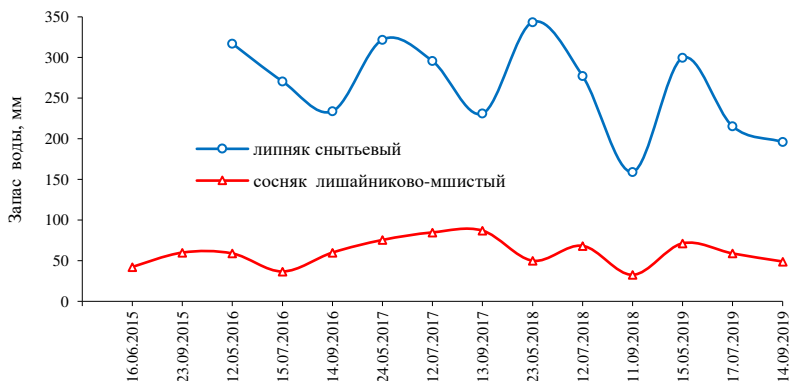


Рис. 3.92. Динамика запасов влаги в метровом слое почвы на объектах мониторинга

Исследования показали, что песчаные почвы, где произрастают в основном сосняки, обладают очень малой влагоемкостью и способны удержать только лишь небольшую часть атмосферных осадков. Основная же их масса беспрепятственно проходит сквозь почву вплоть до уровня грунтовых вод, постепенно поступая в реки. Некоторая их часть поглощается кронами деревьев и их корнями. Влагоемкость же суглинистых и глинистых почв в 3,5-5,0 раз выше, однако и они не способны полностью удерживать выпавшие осадки, часть которых переходит в подземный или поверхностный сток. Во всех экотопах Республики Марий Эл расход воды в летний период преобладает над приходом ее с атмосферными осадками, что приводит к снижению почвенных влагозапасов к осени и последующему их пополнению весной за счет снеготаяния (рис. 3.93).

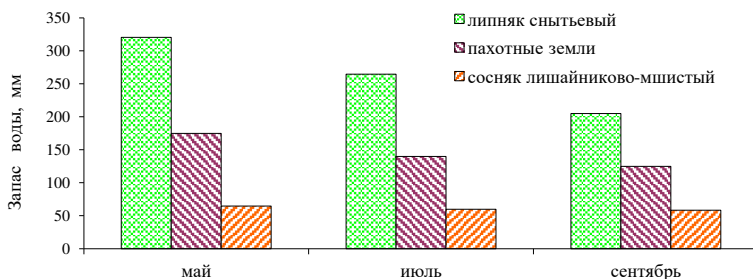


Рис. 3.93. Сезонная среднемноголетняя динамика запасов воды в почвах различных экотопов Республики Марий Эл

На глинистой почве в липняке снытьевом в метровом ее слое запас влаги с середины мая по середину сентября снижался в среднем на 120 мм, а на пахотных легкосуглинистых землях, по многолетним данным (Агроклиматические ..., 1972), – на 50 мм. В сосняках же, произрастающих на рыхлых песках, влагозапасы зависят в основном от атмосферных осадков и изменяются между периодами учета в течение летнего сезона максимум всего на 37 мм, составляя в среднем 3-4 мм. Пополнение их весной за счет снеготаяния может достигать 20 мм, как это отмечалось в 2017 году, чаще же всего запасы воды весной оказываются ниже, чем в сентябре предшествующего года, что отмечалось в 2016 и 2018 годах. Из всего изложенного следует, что микроклимат почв в каждом экотопе сугубо специфичен: в сухих и свежих борах температура всегда выше, чем в свежих сураменях и раменах, однако запасы влаги в них крайне малы (рис. 3.94 и 3.95).

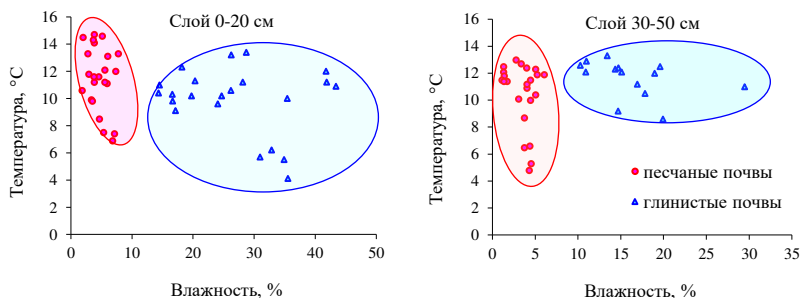


Рис. 3.94. Область рассеивания значений температуры и влажности почв разного гранулометрического состава в весенне-осенний период

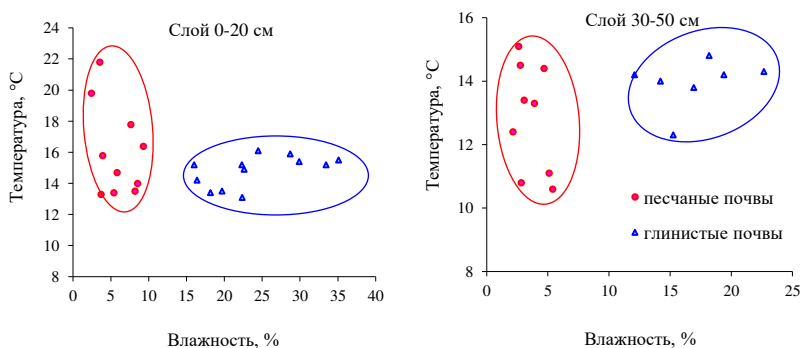


Рис. 3.95. Область рассеивания значений температуры и влажности почв разного гранулометрического состава в летний период

Изменение температуры и влажности почвы существенным образом отражается, как известно (Звягинцев, 1986; Звягинцев и др., 2005), на состоянии почвенной микробиоты, которая, разлагая мертвое органическое вещество, оказывает большое влияние на развитие древесных растений. Наилучшие условия для развития аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий складываются, по данным исследователей, при температуре почвы $+25^{\circ}\text{C}$ и влажности 20-25 %, а для актиномицетов и целлюлозоразлагающих бактерий оптимальны же температура $+15^{\circ}\text{C}$ и влажность 15-20 % (рис. 3.96). Повышение или снижение этих параметров относительно оптимума отрицательно отражается на развитии микроорганизмов. Условия для развития почвенных микроорганизмов в лесных экотопах, как следует из приведенных данных, далеки от оптимума, особенно на песках, где они всегда испытывают острый недостаток влаги. Весной и осенью оно сдерживается также недостатком температуры, что особенно сильно ощущается в сомкнутых липняках, произрастающих на глинистых почвах, где дополнительное отрицательное влияние на микроорганизмы оказывает иногда избыток влаги. В летний период температура почвы в этих экотопах тоже ограничивает развитие микробиоты, наиболее благоприятные условия для которой складываются лишь в верхнем их слое глубиной до 40-50 см.

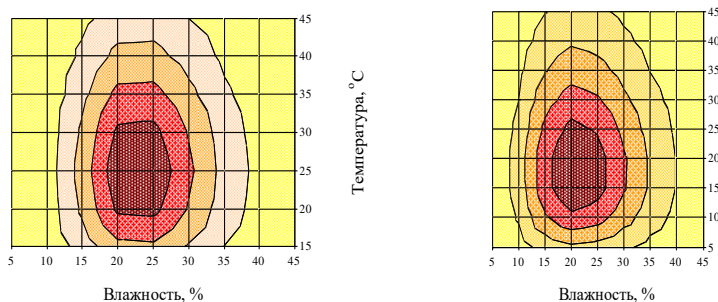


Рис. 3.96. Зоны успешности развития почвенной микробиоты в зависимости от параметров микроклимата почв: *слева* – аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии, *справа* – актиномицеты и целлюлозоразлагающие бактерии (темная раскраска соответствует зоне оптимума, а наиболее светлая – зонам пессимума)

Изменения гидрологического режима почв может довольно точно отражать уровень грунтовых вод (УГВ). Исследования показали, что сезонные изменения значений этого показателя составляли, по данным 17-летних наблюдений на верховом болоте Илюшкино, от 15 до 43 см

при общем пределе колебаний 44,5 см (табл. 3.72 и 3.73). Наиболее значительные сезонные колебания УГВ отмечены в 1981, 1992 и 1996 годах, а наименьшие – в 1983-1985, 1990 и 1994, что связано с особенностями метеоусловий данных лет. Менее всего от сезона к сезону УГВ изменялся в мае, а наиболее значительно – в августе-сентябре. Установлено, что суточное падение УГВ при отсутствии дождя составляет, в зависимости от погоды, в июне-июле 6...9 мм. Наибольшая высота стояния грунтовых вод отмечается обычно весной, а наименьшая – в августе-сентябре. Для описания усредненной сезонной динамики УГВ с мая по сентябрь наилучшим образом ($R^2 = 0,988$), как показали расчеты, подходит функция $Y = 12,6 \times \sin(2\pi t / 12 + 3,205) + 30,1$ (t – порядковый номер месяца в году). В многолетних колебаниях среднего УГВ каждого месяца не отмечается четкой синхронности, и недостаточная влажность корнеобитаемого слоя почвы в одном из них компенсируется избытком влаги в другом (табл. 3.74), что по-разному отражается на состоянии деревьев (Демаков, 2000). Особенно асинхронны динамические ряды УГВ в мае и августе.

Таблица 3.72

Многолетняя динамика уровня грунтовых вод на верховом болоте

Год	Средний УГВ от условной отметки по месяцам, см					В среднем за сезон, см	Размах, см
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь		
1981	20,3	30,7	45,0	56,5	55,0	41,5	43,0
1982	29,1	33,5	38,5	49,0	51,6	40,3	27,5
1983	33,5	35,8	32,4	41,6	41,3	36,9	15,0
1984	35,2	46,9	41,6	39,1	42,5	41,1	18,5
1985	24,5	26,1	29,6	34,0	33,9	29,6	16,8
1986	23,1	33,7	35,5	42,5	40,0	35,0	26,0
1987	24,0	36,2	45,4	51,3	44,5	40,3	33,5
1988	33,8	41,1	44,3	48,9	42,6	42,1	25,3
1989	19,5	24,9	30,4	36,9	39,5	30,2	21,5
1990	18,7	19,6	22,6	27,3	23,9	22,4	15,0
1991	18,4	27,1	39,4	41,2	35,0	32,2	26,2
1992	16,5	26,6	31,5	45,9	52,2	34,5	39,0
1993	22,9	31,5	30,0	36,5	35,5	31,3	22,5
1994	17,8	23,9	25,6	30,6	29,9	25,6	19,9
1995	18,4	32,6	41,4	44,4	47,4	36,8	35,0
1996	32,0	37,2	35,7	50,2	61,0	43,2	38,5
1997	26,7	28,0	41,3	44,3	45,8	37,2	24,5

Примечание: условная отметка расположена выше среднего уровня поверхности почвы на 20 см, расстояние до УГВ измерено сверху вниз.

Таблица 3.73

Параметры изменчивости уровня грунтовых вод на верховом болоте

Параметр	Средний УГВ от условной отметки по месяцам, см					В среднем за сезон, см	Размах, см
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь		
M_x	24,4	31,5	35,9	42,4	42,4	35,3	26,3
min	16,5	19,6	22,6	27,3	23,9	22,4	15,0
max	35,2	46,9	45,4	56,5	61,0	43,2	43,0
S_x	6,3	6,8	7,0	7,7	9,4	6,0	8,7

Примечание: M_x – среднее многолетнее значение УГВ; S_x – среднеквадратическое отклонение УГВ.

Таблица 3.74

Характер связи между средними уровнями грунтовых вод в разные месяцы

Месяц	Значение коэффициента корреляции между средним УГВ в разные месяцы				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Май	1,00				
Июнь	0,80	1,00			
Июль	0,36	0,65	1,00		
Август	0,28	0,51	0,82	1,00	
Сентябрь	0,30	0,46	0,60	0,87	1,00

Проведенные исследования позволили, таким образом, выявить пределы и закономерности изменчивости параметров микроклимата почв в различных экотопах Республики Марий Эл. Они показали также важность их оценки и необходимость ведения мониторинга, которые позволят глубже понять механизм и направленность биогеоценотических процессов в связи с динамикой условий внешней среды.

На основе всего изложенного в данной главе можно сделать следующие **выводы**.

1. Условия среды изменяются в районе исследования в довольно больших пределах. Так, продолжительность солнечного сияния наиболее значительно изменяется в весенние месяцы года, а меньше всего зимой, особенно в декабре, температура же воздуха наиболее значительно варьирует в зимние месяцы, а количество осадков – в летние. Вариабельность значений показателей в рядах многолетних измерений связана, как правило, с величиной их средних месячных или сезонных значений.

2. Ряды средних значений метеорологических параметров, особенно температуры воздуха и суммы осадков, каждого из сезонов года, а тем более отдельных месяцев, связаны между собой очень слабо, что косвенно указывает на их разное информативное значение в отношении воздействия на прирост деревьев.

3. В изменениях величины продолжительности солнечного сияния в период активной вегетации растений отмечается слабый положительный тренд, свидетельствующий о постепенном снижении облачности атмосферы. Временной же тренд изменения этого параметра в осенне-зимне-весенний период фактически отсутствует. Отмечается также положительный тренд изменения температуры воздуха в зимние и весенние месяцы, который в летние и осенние месяцы практически отсутствует. Неуклонно в целом возрастает и количество осадков, выпадающих до начала активной вегетации растений, а сумма летних осадков флуктуирует вокруг среднего уровня без видимых изменений в сторону увеличения или снижения. Довольно существенно изменяется также индекс континентальности климата в сторону его смягчения. Значение же атмосферного давления как зимой, так и летом в целом неуклонно снижается, что свидетельствует о медленном увеличении в регионе числа и продолжительности циклонов, т.е. о смягчении климата. Все это должно положительно отразиться на производительности лесов и динамике прироста деревьев.

4. В изменениях значений большинства метеорологических параметров трудно выявить наличие какой-либо четкой периодичности, которая не проявляется также и в повторяемости аномальных по погодным условиям лет. В подавляющем большинстве случаев (86-89 %) колебания значений показателей в разные сезоны года не выходят за пределы их стандартного отклонения. При сглаживании же исходных рядов параметров скользящей средней с лагом 11 лет уже довольно четко проявляется наличие волн разной продолжительности и мощности, отражающих смену режимов регионального климата под действием различных геофизических и космических факторов, однако изменение их значений в разные сезоны года относительно друг друга происходит в одни периоды времени синхронно, а в другие же – асинхронно, что должно по-разному отражаться на состоянии лесных экосистем и приросте деревьев.

5. Колебания температуры воздуха и количества выпадающих осадков возникают в результате изменения характера общей циркуляции атмосферы под действием комплекса земных и космических факторов, в

том числе мощных извержений вулканов, влияющих на продолжительность солнечного сияния, отрицательно связанного с величиной облачности, которая по цепочке приводит к изменению остальных метеорологических параметров.

6. Возникновению погодных аномалий предшествует, как правило, определенный ход событий. Так, засухи обычно предваряются небольшим превышением суммы осадков в мае и существенным их недостатком в сентябре предшествующего года. Дополнительно об этом можно судить по пониженной температуре воздуха в летние месяцы предшествующего года, а особенно же – в январе текущего. Дождливое лето наступает обычно при диаметрально противоположных значениях этих параметров. Жаркому лету предшествуют более низкие значения $\alpha\alpha$ -индекса геомагнитной активности в первые семь месяцев года, чем холодному. Перед теплой зимой наблюдаются более высокие значения этого индекса в период с мая по август, чем перед морозной.

7. Почва, по сравнению с приземным слоем атмосферы, характеризуется более сглаженным температурным режимом, и ее средняя годовая температура, которая практически не изменяется с глубиной, выше средней годовой температуры воздуха на 4,2-4,5°C. На глубине всего 20 см температура почвы в течение девяти месяцев (январь-март и июль-декабрь) выше средней месячной температуры воздуха, а на глубине 320 см с апреля по сентябрь она, наоборот, ниже.

8. Связь между многолетними рядами значений средней месячной температуры воздуха и почвы в зимний период довольно слабая, что связано с вариацией толщины снежного покрова в разные годы, а с апреля по октябрь – очень тесная.

9. Годовой ход температуры почвы на каждой отметке глубины имеет свои особенности, отражаемые соответствующими уравнениями регрессии. Сезонный минимум на глубине 20 см отмечается чаще всего в конце третьей декады декабря или в середине первой декады января, сдвигаясь на 5-7 дней на каждые 10 см глубины (на глубине 320 см он отмечается уже в конце апреля). Температурный максимум на глубине 20 см наступает в основном в середине июля, а на глубине 320 см – в конце августа или даже сентября. С увеличением глубины измеряемого слоя почвы размах сезонных изменений температуры постепенно уменьшается.

10. Термический режим почвы зависит от их гранулометрического состава и влажности, а также характера растительного покрова и хозяй-

ственного использования земель (на селитебных территориях и сельскохозяйственных угодьях температура почвы выше, чем в лесу).

11. Значения средней температуры почвы в летне-осенний период и годового максимума имеют четкую тенденцию к увеличению, связанную с глобальным потеплением климата. Не остается постоянной во времени также продолжительность периодов с различной температурой почвы и суммой накопленного тепла, величина которых медленно, но неуклонно возрастает от года к году, что приводит летом к возрастанию разности между температурой почвы и воздуха. Годовой же минимум температуры и глубина промерзания почвы тренда практически не имеют, флуктуируя вокруг некоторого среднего уровня.

12. Характер изменения температуры почвы по градиенту её глубины в пределах одного и того же экотопа во многом зависит от погодных условий конкретного года, а в пределах одного года – от особенностей экотопов. Большое влияние на температуру почвы в сосняках лишайниковых и лишайниково-мшистых оказывает напочвенный покров, который развит здесь очень сильно.

13. Влажность почвы в экотопах изменяется не в меньшей степени, чем ее температура. В песчаных почвах пределы варьирования ее значений снижаются по градиенту глубины с 7,46 до 4,28 %, а в глинистых же почвах наиболее высокая изменчивость влажности отмечается в слое 30-50 см, где расположена основная масса сосущих корней деревьев. Изменение этого показателя по градиенту профиля почвы в каждом экотопе происходит по-разному, что связано с характером поглощения атмосферных осадков надземной частью фитоценозов и дальнейшей их инфильтрацией, а также деятельностью корней растений.

14. Наибольшую влажность в течение всего вегетационного периода во всех лесных экотопах имеет самый верхний слой почвы, что свидетельствует об атмосферном пополнении в них запасов влаги и промывном типе их водного режима. Определенное влияние на сезонную динамику влажности почвы оказывают погодные условия каждого конкретного года, не меняющие в целом ее общей закономерности.

15. Многолетние колебания запасов влаги в метровом слое глинистых почв более резко выражены, чем песчаных, и, несмотря на общий ход погодных условий, слабо связаны между собой ($r = 0,30$).

16. Микроклимат почв в каждом экотопе сугубо специфичен: в сухих и свежих борах температура всегда выше, чем в свежих сурамях и рамях, однако запасы влаги в них крайне малы.

17. Песчаные почвы обладают очень малой влагоемкостью и способны удержать лишь небольшую часть атмосферных осадков. Некоторая их часть поглощается кронами деревьев и их корнями, о чем свидетельствует снижение влажности почвы с увеличением ее глубины. Влагоемкость же суглинистых и глинистых почв в 3,5-5,0 раз выше, однако и они не способны полностью удерживать выпавшие осадки, часть которых переходит в подземный или поверхностный сток.

18. Во всех экотопах Республики Марий Эл расход воды в летний период преобладает над приходом ее с атмосферными осадками, что приводит к снижению почвенных влагозапасов к осени и последующему их пополнению весной за счет снеготаяния. В метровом слое глинистых почв запас влаги с середины мая по середину сентября снижается в среднем на 120 мм, в легкосуглинистых – на 50 мм, а в песчаных – всего на 3-4 мм. Запасы воды весной в песчаных почвах под пологом соснового леса оказываются чаще всего ниже, чем в сентябре предшествующего года.

19. Условия для развития почвенных микроорганизмов во всех лесных экотопах далеки от оптимума, особенно на песках, где они всегда испытывают острый недостаток влаги. Весной и осенью их развитие сдерживает также недостаток температуры, что особенно сильно ощущается в сомкнутых липняках, произрастающих на глинистых почвах, где дополнительное отрицательное влияние на микроорганизмы оказывает иногда избыток влаги. В летний период температура почвы в сомкнутых лиственных лесах тоже ограничивает развитие микробиоты, наиболее благоприятные условия для которой складываются лишь в верхнем их слое глубиной до 40-50 см.

20. Характер варьирования погодных условий в многолетнем их разрезе, особенно изменения влажностного режима, довольно точно отражает уровень бессточных озер и грунтовых вод на верховых болотах, наблюдения за которыми несут очень важную информацию, которую целесообразно использовать при анализе рядов годовичного прироста деревьев.

21. Большинство метеорологических показателей связаны между собой довольно слабо, особенно летом, и могут рассматриваться при дендрохронологическом анализе как независимые переменные. Оценку их влияния на годичный прирост деревьев можно, исходя из этого, проводить с помощью множественного линейного регрессионного анализа.

22. Задача выделения лимитирующего фактора из простого набора метеорологических параметров является, таким образом, нетривиальной и во многом зависит от выбора исходной предпосылки для ее решения.

23. Вариации климата на территории Республики Марий Эл во многом связаны с мощными извержениями вулканов, дестабилизирующими состояние климатической системы Земли, приводя в одних ее районах к засухе, а в других же к ураганам или обильным осадкам. Вклад деятельности вулканов необходимо обязательно учитывать при долгосрочных прогнозах региональной метеорологической обстановки.

ГЛАВА 4

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ В ВЫСОТУ

Важнейшим параметром состояния жизнеспособности дерева и его адаптационных способностей к изменениям условий среды является годичный прирост терминального (верхушечного) побега, однако работ по изучению особенностей его динамики в различных лесорастительных условиях пока сравнительно немного (Тольский, 1913; Рубцов, Ильин, 1956; Битвинскас, 1974; Мартынов, 1978; Листов, 1979; Бабич, Прохоров, 1994), да и они не дают исчерпывающих ответов на ряд важнейших вопросов в области лесоведения и практического лесоводства. В своих исследованиях (Демаков и др., 2011; Демаков, Нуреева, 2019) мы попытались восполнить пробел в имеющихся познаниях законов жизни леса.

4.1. Особенности динамики прироста деревьев в разных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Для выявления общих закономерностей роста в высоту древостоев сосны в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ) Республики Марий Эл целесообразно использовать материалы массовой таксации насаждений, а затем уже переходить к обсуждению частных вопросов.

Расчеты, проведенные нами ранее (Демаков, 2018), показали, что динамику средней высоты древостоев наилучшим образом аппроксимирует уравнение Митчерлиха $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times X)]^b$, значения параметров которого, имеющие конкретный биофизический смысл (Демаков, 2000), различаются по ТЛУ (табл. 4.1). Особенно сильно выделяется в этом плане ход роста сосновых древостоев, произрастающих в свежих дубравах (ТЛУ D₂). Кульминация текущего годичного прироста деревьев, как следует из приведенных данных, наступает во всех ТЛУ довольно рано: в возрасте от 19 до 30 лет. Наиболее высокий годичный прирост в этом возрасте отмечается у деревьев в ТЛУ D₂, а самый низкий – в ТЛУ A₅.

Исследования показали, что сосняки в сухих борах Марий Эл по характеру своего роста в высоту приближаются в среднем к III классу бонитета, в свежих и влажных – ко II, в сырых – к IV, в заболоченных – к V, однако до 20 лет их высота ниже нормативных показателей, а с 25 лет выше их (рис. 4.1). То же самое отмечается в других ТЛУ.

Таблица 4.1

Параметры уравнений динамики средней высоты древостоев сосны

ТЛУ	Значения параметров уравнения $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times X)]^b$						
	K	a	b	A _{кТП}	ΔH _{кТП}	H ₁₀₀	R ²
A ₁	25,0	28,89	1,896	23	37	22,4	0,992
A ₂	26,3	34,20	1,958	20	45	24,6	0,992
A ₃	26,1	37,56	2,232	22	47	24,8	0,987
A ₄	21,9	31,52	2,137	25	34	19,9	0,979
A ₅	18,5	20,63	1,712	27	20	14,7	0,996
B ₂	28,2	36,19	2,038	21	51	26,7	0,988
B ₃	27,6	37,30	2,229	22	50	26,1	0,991
B ₄	23,8	31,32	2,105	24	37	21,7	0,978
B ₅	22,6	30,66	2,506	30	32	20,1	0,978
C ₂	29,3	33,36	1,883	19	50	27,4	0,989
D ₂	33,8	51,62	3,474	25	75	33,1	0,985

Примечание: H – средняя высота древостоя, м; X – его возраст, лет; K, a, b – безразмерные константы; A_{кТП} – возраст наступления кульминации текущего годовичного прироста, лет; ΔH_{кТП} – текущий годовичный прирост деревьев в момент его кульминации, см; H₁₀₀ – средняя высота древостоя в возрасте 100 лет, м; R² – коэффициент детерминации уравнения.

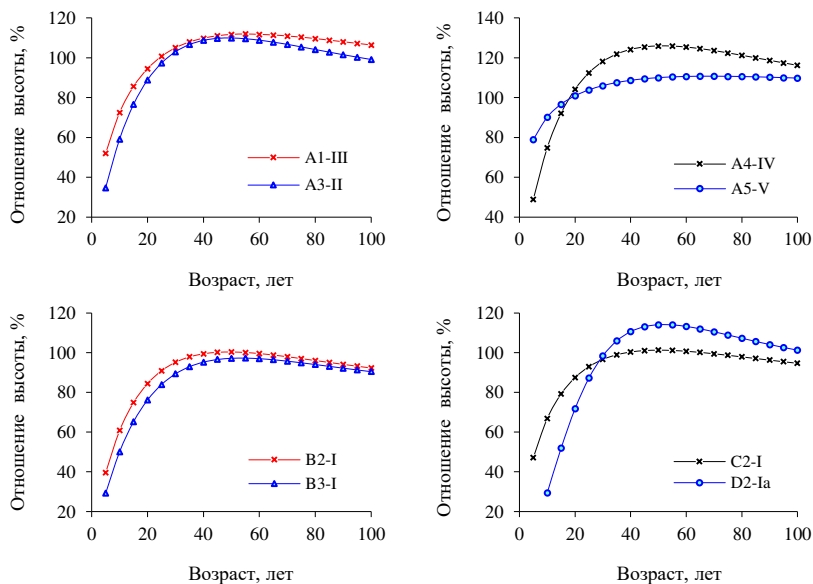


Рис. 4.1. Динамика отношения фактических значений средней высоты сосняков Марий Эл к средней высоте древостоев соответствующих классов бонитета

О несогласованности роста модельных и модальных древостоев убедительно свидетельствует изменение класса бонитета последних, который достигает наивысших отметок в возрасте 50-70 лет, а затем медленно опускается, стабилизируясь после 120 лет на стационарных отметках, сугубо специфичных для каждого ТЛУ (рис. 4.2). Это явление связано не с ошибками таксаторов, несомненно, имеющих место, а с особенностями развития насаждений, о чем свидетельствует однотипность изменения класса бонитета древостоев во всех без исключения ТЛУ. Особенно резко выражено изменение этого показателя в свежих и влажных борах. По мере увеличения увлажнения экотопов амплитуда колебания класса древостоев снижается.

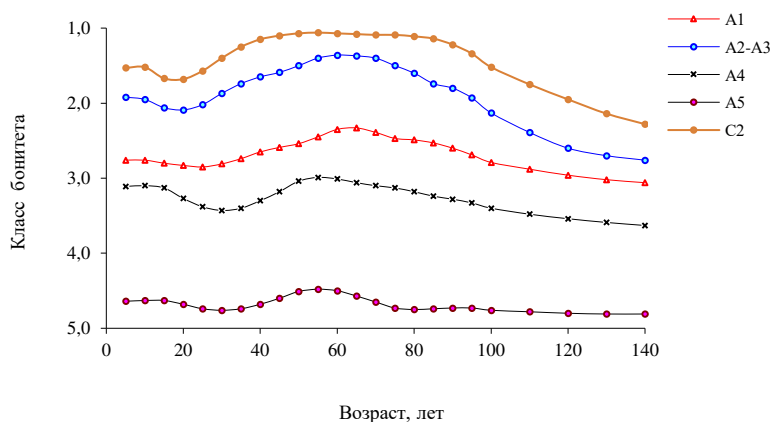


Рис. 4.2. Возрастные изменения среднего класса бонитета древостоев сосны в различных ТЛУ Республики Марий Эл

Причиной возникновения колебаний значений класса бонитета древостоев может являться варьирование биоценотических и внешних факторов, влияющих на успешность возобновления леса и скорость роста деревьев.

Если при анализе характера изменения класса бонитета возрастную шкалу заменить на хронологическую, то можно увидеть, что древостои, появившиеся в период с 1910 по 1960 год, имеют наиболее высокую производительность (рис. 4.3). Древостои, возникшие ранее этого времени, имеют уже более низкий класс бонитета. У древостоев же, появившихся позднее 1970 года, вновь наметилась тенденция к увеличению производительности.

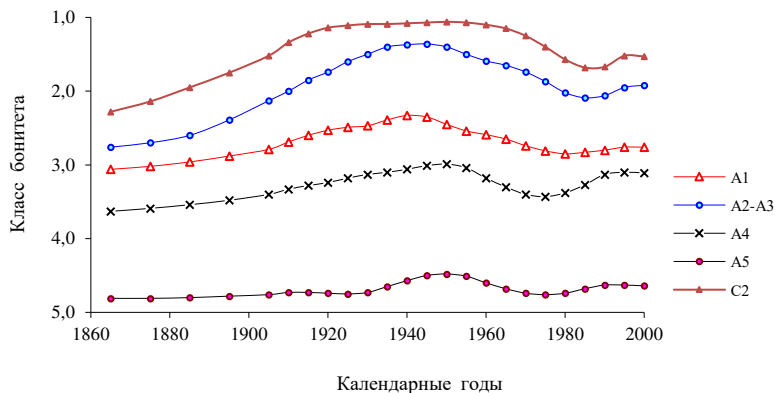


Рис. 4.3. Динамика среднего класса бонитета древостоев сосны в различных ТЛУ

Приведенные данные, таким образом, убедительно доказывают неправомерность создания математических моделей развития древостоев на бонитетной основе, которые неадекватно отражают реальную действительность.

Материалы массовой таксации насаждений, позволившие выявить общие закономерности роста древостоев сосны, непригодны для оценки влияния на этот процесс вариаций погодных условий и биоценотических факторов, проявляющихся в каждом экотопе по-разному. Для этой цели необходимо использовать данные конкретных модельных деревьев и объектов, различающихся по различным параметрам.

Анализ фактического материала показал, что величина годичного прироста в высоту варьирует у деревьев сосны в очень больших пределах (табл. 4.2), что свидетельствует о высокой чувствительности их к флуктуациям условий среды обитания и больших адаптационных возможностях. Средняя величина годичного прироста, характеризующая успешность существования деревьев, наиболее велика в свежих сурамянях (ТЛУ С₂), однако пределы колебаний значений показателя в разных ТЛУ могут, в зависимости от возраста древостоев и их реакций на внешние воздействия, иногда перекрываться между собой. Такое явление отмечалось, в частности, в период с 1955 по 1965 год, когда годичный прирост деревьев в ТЛУ А₂ и В₂ варьировал примерно в одних и тех же пределах, а в дальнейшем же различался весьма значительно (рис. 4.4). В сосняках брусничниковых (ТЛУ А₂) и сфагновых (ТЛУ А₅) в 1975-1980 годах также наблюдалось перекрытие значений прироста деревьев.

Таблица 4.2

**Вариабельность годичного прироста деревьев по высоте в разных
типах лесорастительных условий Республики Марий Эл**

ТЛУ	Количество, шт.			Статистические показатели прироста, см				
	ПП	деревьев	приростов	$M \pm m$	min	max	S	CV, %
$A_1 - A_2$	24	335	7322	$34,3 \pm 0,14$	2	88	11,5	33,6
A_5	15	237	5979	$15,3 \pm 0,09$	1	63	7,0	46,0
B_2	1	15	556	$49,5 \pm 0,65$	7	86	15,3	30,9
C_2	1	15	225	$53,9 \pm 1,51$	5	90	22,7	42,1

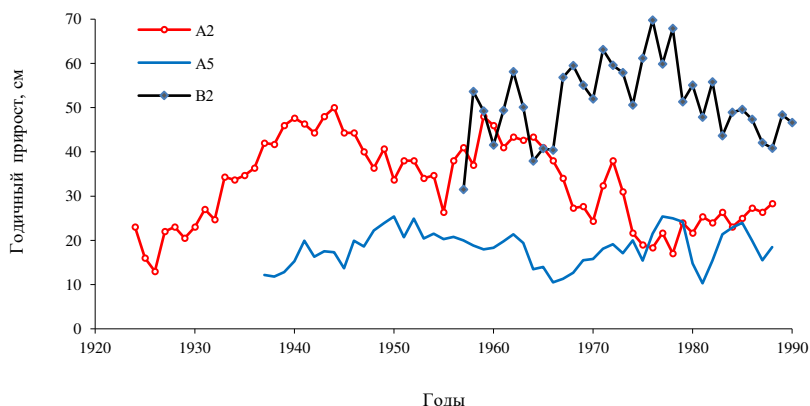


Рис. 4.4. Динамика годичного прироста деревьев сосны в высоту в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Значения параметров изменчивости годичного прироста, как показали расчеты, связаны с величиной его среднего значения (рис. 4.5), что наилучшим образом описывают соответствующие уравнения регрессии:

$$A = 8,26 \times X^{0,572}; R^2 = 0,753;$$

$$S = 0,827 \times X^{0,771}; R^2 = 0,726,$$

в которых A – амплитуда (размах) изменений годичного прироста деревьев в выборках, см; S – среднеквадратическое отклонение годичного прироста в выборках, см; X – средняя величина годичного прироста в соответствующих выборках, см.

Характер роста деревьев и их ответных реакций на изменения метеорологических параметров зависит не только от типа леса, но и условий среды во время их возникновения (рис. 4.6 и 4.7), а также от фактора нарушения состояния биогеоценоза (рис. 4.8), что необходимо обязательно учитывать при проведении соответствующего анализа.

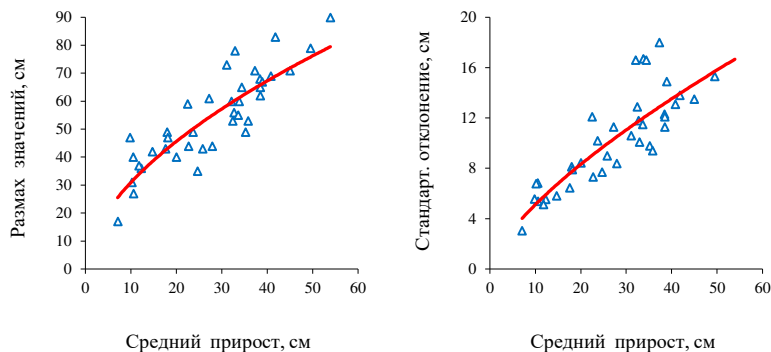


Рис. 4.5. Характер связи между средним годичным приростом деревьев в сосняках Республики Марий Эл и параметрами его изменчивости

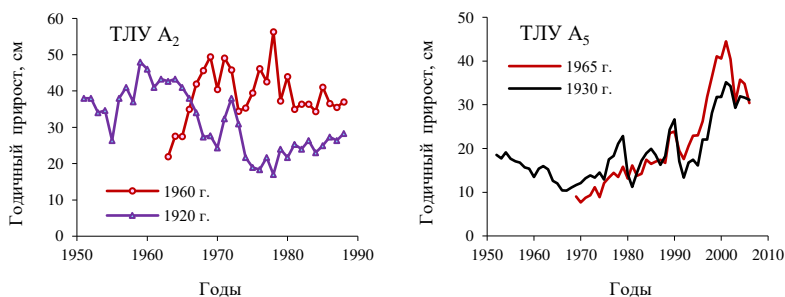


Рис. 4.6. Динамика годичного прироста деревьев в высоту, появившихся в разное время в сходных лесорастительных условиях

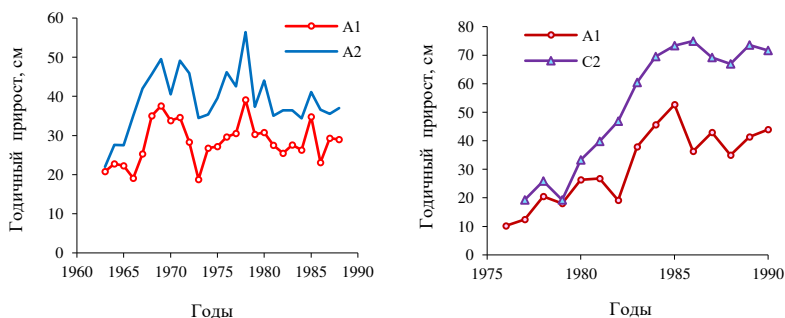


Рис. 4.7. Динамика годичного прироста деревьев в высоту в культурах сосны, созданных в различных типах лесорастительных условий в разное время

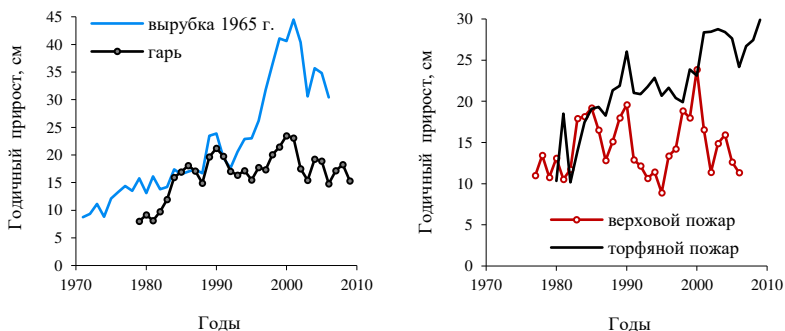


Рис. 4.8. Динамика годичного прироста деревьев сосны в высоту, возникших на вырубках и гарях 1972 года в ТЛУ А₅ на олиготрофных болотах

Основным источником изменчивости величины годичного прироста деревьев, усредненной по древостою в целом, является, как показали расчеты, их возраст (рис. 4.9), определяющий от 76 до 96 % дисперсии показателя. Прирост деревьев в начале развития насаждений резко увеличивается, а после достижения некоторого максимума медленно снижается. Для математического описания этой зависимости наилучшим образом подходит функция оптимума $Y = a \cdot t^b \cdot \exp(-c \times 10^{-2} \times t)$, параметры которой сугубо специфичны для каждого ТЛУ (табл. 4.3). Особенно сильно отличаются их значения от остальных в ТЛУ С₂. Кульминация текущего годичного прироста деревьев, величина которого в ТЛУ С₂ достигает 72,4 см, наступает на объектах нашего исследования в возрасте от 14 до 22 лет, что несколько ниже, чем в модальных древостоях.

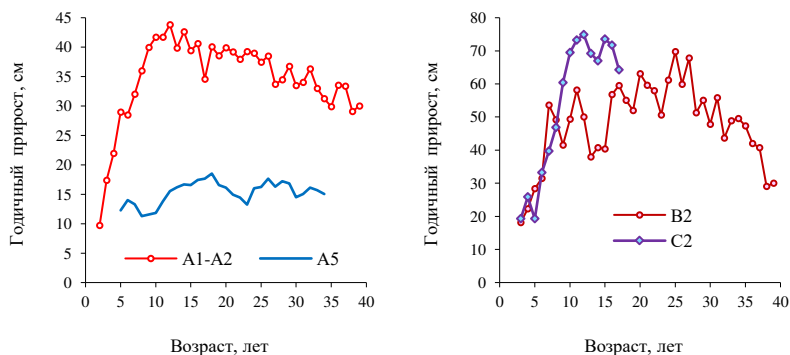


Рис. 4.9. Динамика годичного прироста деревьев в высоту в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Таблица 4.3

Параметры уравнений, описывающих возрастные изменения величины
годового прироста деревьев в разных типах лесорастительных условий

ТЛУ	Значения параметров уравнения $Y = a \times t^b \times \exp(-c \times 10^{-2} \times t)$					
	a	b	c	$A_{\text{КП}}$	$\Delta h_{\text{КП}}$	R^2
$A_1 - A_2$	9,21	0,818	4,82	14	40,6	0,923
A_5	5,39	0,532	2,44	22	16,3	0,829
B_2	7,79	0,990	4,86	20	57,2	0,760
C_2	0,25	3,376	23,1	15	72,2	0,942

Примечание: t – возраст деревьев, лет; $A_{\text{КП}}$ – возраст наступления кульминации текущего годового прироста деревьев в высоту, лет; $\Delta h_{\text{КП}}$ – текущий годичный прирост в момент его кульминации, см.

Влияние колебаний метеорологических параметров и иных факторов внешней среды на прирост деревьев правильнее оценивать не по фактической его величине, а по значениям индексов, которые представляют собой отклонение относительно функции возрастного тренда.

Расчеты показали, что величина индексов прироста в ТЛУ A_2 практически не зависит от значений температуры воздуха и суммы осадков, отмечаемых во всех сезонах предшествующего года (рис. 4.10, табл. 4.4), когда деревья в результате фотосинтеза накапливают запасы питательных веществ, необходимых для их последующей жизнедеятельности. Этот факт, противоречащий здравой логике и выводам других исследователей (Тольский, 1913; Рубцов, Ильин, 1956; Битвинскас, 1974; Мартынов, 1978; Листов, 1979; Бабич, Прохоров, 1994), утверждающим обратное, нуждается в глубоком анализе, по результатам которого можно будет сделать окончательные выводы.

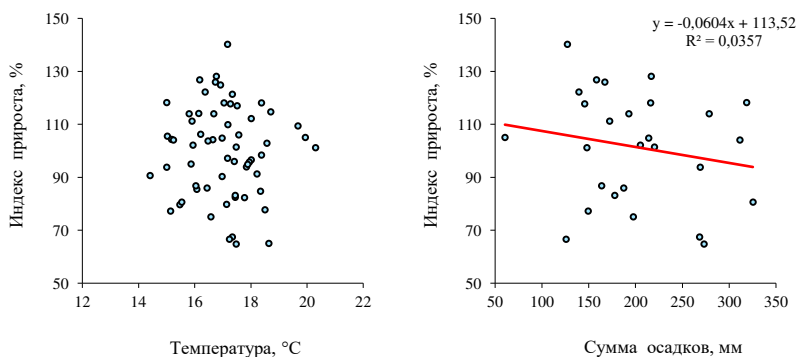


Рис. 4.10. Характер связи между индексами годового прироста деревьев в ТЛУ A_2 в высоту и метеорологическими параметрами лета предшествующего года

Таблица 4.4

Оценка влияния метеорологических параметров лета предшествующего года на величину индексов годичного прироста деревьев в высоту в ТЛУ А₂

Сезон	Значения параметров погоды при разной величине индексов прироста					
	Средняя температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	< 85 %	85-115 %	> 115 %	< 85 %	85-115 %	> 115 %
Зима	-12,8 ± 0,9	-12,1 ± 0,5	-11,5 ± 0,8	72 ± 7	105 ± 8	97,5 ± 13
Весна	3,3 ± 0,6	2,9 ± 0,2	2,7 ± 0,4	91 ± 16	104 ± 10	81 ± 9
Лето	17,1 ± 0,3	17,0 ± 0,2	16,9 ± 0,2	217 ± 28	202 ± 19	186 ± 22
Осень	3,3 ± 0,4	3,3 ± 0,2	2,6 ± 0,4	145 ± 25	169 ± 10	126 ± 15

В культурах сосны, созданных в сходных лесорастительных условиях Учебно-опытного лесхоза (УОЛ) ПГТУ, величина индексов годичного прироста деревьев также очень мало зависит от значений метеорологических параметров во все месяцы и сезоны предыдущего года (рис. 4.11, табл. 4.5). Наиболее выраженное влияние оказывают лишь летние осадки, особенно выпавшие в июне (рис. 4.12). Подобное отмечается в культурах сосны, созданных в ТЛУ В₂ (рис. 4.13), и в заболоченном сосняке естественного происхождения (рис. 4.14 и 4.15, табл. 4.6).

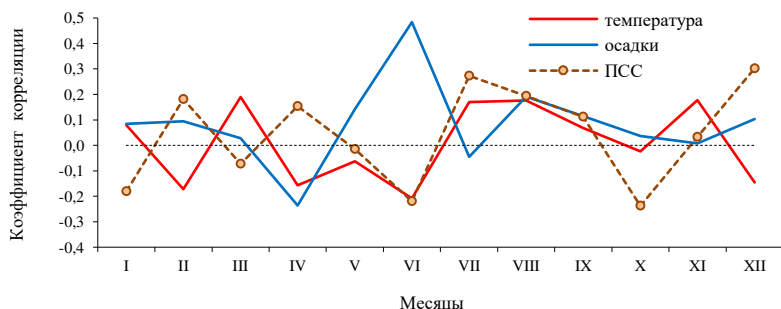


Рис. 4.11. Влияние метеорологических параметров разных месяцев предыдущего года на значения индексов годичного прироста деревьев в высоту в культурах сосны

Таблица 4.5

Оценка влияния метеопараметров лета предшествующего года на величину индексов годичного прироста деревьев в культурах сосны УОЛ ПГТУ

Сезон	Значения параметров погоды при разной величине индексов прироста					
	Средняя температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	< 95 %	95-105 %	> 105 %	< 95 %	95-105 %	> 105 %
Зима	-10,3 ± 1,1	-9,9 ± 0,4	-11,4 ± 1,1	95 ± 14	103 ± 6	102 ± 10
Весна	4,2 ± 0,5	4,2 ± 0,3	4,1 ± 0,4	101 ± 19	105 ± 6	91 ± 13
Лето	16,7 ± 0,2	17,2 ± 0,3	17,1 ± 0,3	186 ± 20	199 ± 13	237 ± 19
Осень	3,1 ± 0,9	3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,3	140 ± 24	156 ± 9	156 ± 19

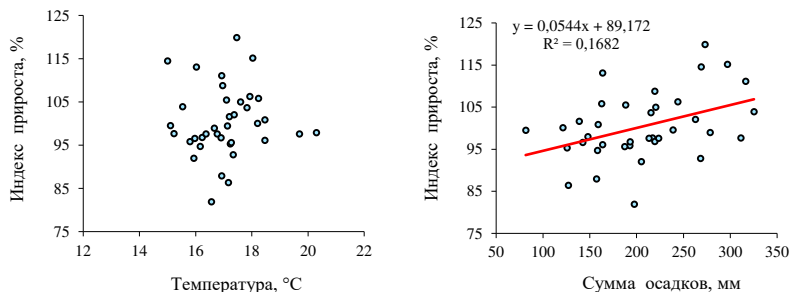


Рис. 4.12. Характер связи между индексами годичного прироста деревьев в высоту в культурах сосны УОЛ ПГТУ и метеопараметрами лета предшествующего года

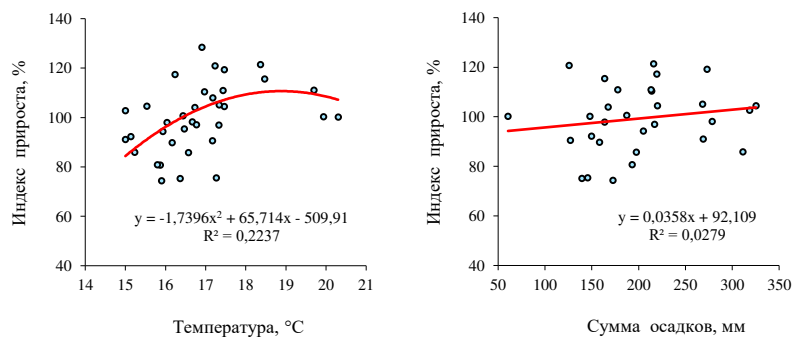


Рис. 4.13. Характер связи между индексами годичного прироста деревьев сосны в высоту в ТЛУ В₂ и метеопараметрами лета предшествующего года

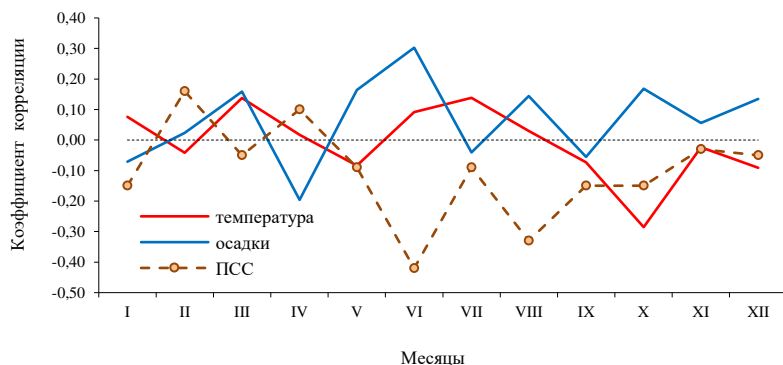


Рис. 4.14. Влияние метеорологических параметров разных месяцев предыдущего года на значения индексов годичного прироста деревьев сосны в высоту в ТЛУ А₅

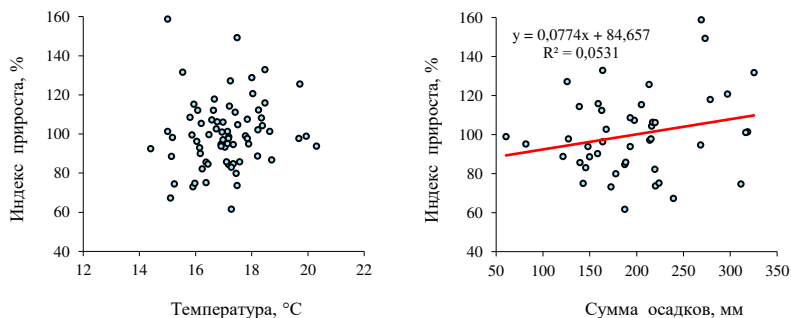


Рис. 4.15. Характер связи между индексами годичного прироста деревьев сосны в высоту в ТЛУ А₅ и метеопараметрами лета предшествующего года

Таблица 4.6

Оценка влияния метеопараметров лета предшествующего года на величину индексов годичного прироста деревьев в высоту в заболоченном сосняке

Сезон	Значения параметров погоды при разной величине индексов прироста					
	Средняя температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	< 85 %	85-115 %	> 115 %	< 85 %	85-115 %	> 115 %
Зима	-11,0 ± 0,6	-11,7 ± 0,5	-10,6 ± 0,3	97 ± 6	100 ± 7	89 ± 7
Весна	3,7 ± 0,4	3,0 ± 0,2	4,2 ± 0,2	101 ± 6	94 ± 8	96 ± 9
Лето	16,6 ± 0,2	17,1 ± 0,2	17,3 ± 0,1	202 ± 14	182 ± 13	231 ± 21
Осень	2,9 ± 0,5	3,3 ± 0,2	2,7 ± 0,1	153 ± 8	148 ± 10	151 ± 18

Задача по оценке влияния метеорологических параметров на годичный прирост деревьев не столь уж тривиальна, как может это показаться на первый взгляд. Так, во-первых, изменение величины годичного прироста деревьев под влиянием флуктуаций климата может быть нелинейным, имеющим точку оптимума, соответствующую определенному значению того или иного метеорологического фактора. В случае оценки влияния двух независимых переменных параболическое уравнение второй степени будет иметь шесть параметров, а при оценке трех переменных – уже 10. Это накладывает определенные ограничения на длину временных рядов, которая должна быть в 2-3 раза больше, чем число параметров уравнения. Во-вторых, задача усложняется поиском не только вида метеорологического фактора (температура, сумма осадков, ГТК, продолжительность солнечного сияния и т.д.), наиболее сильно влияющего на величину годичного прироста деревьев, но и времени его воздействия (месяц или сезон года). Можно, конечно, априори ограничить число переменных, логически отобрав наиболее важные из них,

однако это не гарантирует правильности выбора, т.к. физиологические процессы у деревьев, оказывающие влияние на годичный прирост, протекают в течение всего года, в том числе и в зимний период (Цельникер, 1950). В-третьих, определенное влияние на величину климатического отклика деревьев может оказывать их возраст, что связано как с особенностями протекания физиологических процессов у молодых и старых растений, так и со степенью развития и глубиной проникновения корневых систем. В-четвертых, задача усложняется наличием инерционности ответных реакций деревьев на изменения условий среды (после климатогенного стресса дерева, к примеру, не могут сразу прирасти адекватно сложившимся погодным условиям).

Попробуем подойти к оценке влияния метеопараметров на годичный прирост деревьев менее строго и рассмотрим особенности их ответных реакций на погодные аномалии. Анализ исходных данных показал, что изменения значений индексов прироста в каждом ТЛУ в ответ на одни и те же условия погоды происходили по-разному (рис. 4.16, табл. 4.7). Особенно сильно отличаются от остальных по характеру своего роста деревья в сосняках заболоченных.

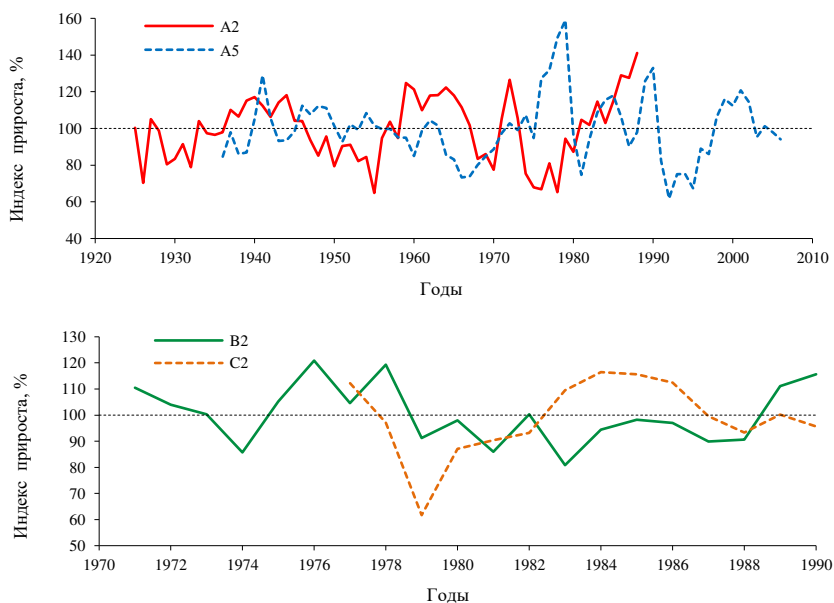


Рис. 4.16. Динамика индексов годичного прироста деревьев сосны в высоту в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Таблица 4.7

Матрица коэффициентов корреляции между рядами индексов годичного прироста деревьев в разных лесорастительных условиях Республики Марий Эл

ТЛУ	Значения коэффициентов парной корреляции между разными ТЛУ				
	A ₁	A ₂	A ₅	B ₂	C ₂
A ₁	1,00				
A ₂	-0,20	1,00			
A ₅	0,11	-0,28	1,00		
B ₂	0,22	-0,24	0,22	1,00	
C ₂	0,25	-0,51	0,37	0,63	1,00

Устойчивое снижение индексов прироста деревьев в ТЛУ A₂ началось, как свидетельствуют приведенные данные, в 1944 году, завершившись локальным минимумом в 1955 году. К числу погодных аномалий, произошедших за это время, можно отнести засуху 1938 года, аномальные морозы зимой 1941-1942 годов и холодное лето 1950 года, которые могли быть наиболее вероятными причинами снижения индексов прироста деревьев. В 1944-1951 годах произошла также серия извержений вулканов, в том числе Везувия и Ключевского, а в марте 1940 года отмечалась очень сильная магнитная буря, последовавшая за мощной вспышкой на Солнце, в результате которой была выведена из строя половина техники на Нью-Йоркской железной дороге.

Следующий локальный минимум значений индексов прироста деревьев в этом ТЛУ отмечался в 1968-1970 годах, последовавший в ответ на холодную и сырую погоду летом 1962 и 1969 годов. В период, предшествующий ему, произошла также одна из крупнейших вспышек на Солнце (23 февраля 1956 года) и отмечалась серия мощных извержений вулканов: Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1964), Келуд (1966) и Фернандин (1968).

Спустя всего пять лет значения индексов прироста вновь опустились к локальному минимуму, причиной чего являлась жесточайшая засуха 1972 года и менее выраженные засухи 1973 и 1975 годов. В период, предшествующий этому, произошла мощная вспышка на Солнце (4 августа 1972 года) и следовавшая за ней магнитная буря, а также вспышка сверхновой V1500 Cygni в созвездии Лебедя (1975 г.) и серия мощных извержений вулканов (1972-1974 гг.).

В других экотопах динамика индекса прироста была иной и деревья здесь слабее реагировали на эти события. В ТЛУ A₅ и B₂ значения показателя после засухи 1972 года находились в пределах 90-110 % нормы. Отрицательные аномалии летних температур и избыток осадков, отмечавшиеся в 1978 и 1980 годах (значения ГТК составили 2,0-2,6 единиц),

наиболее сильно отразились на состоянии деревьев в ТЛУ A_5 и C_2 , а в ТЛУ же A_2 индекс прироста у них начал, наоборот, возрастать.

При анализе реакции деревьев на воздействия факторов среды важно выявить не только величину их отклика, но и время его последующего проявления. Это можно сделать с помощью автокорреляционного анализа, позволяющего показать, насколько текущее состояние исследуемого объекта зависит от его предыстории и статистически оценить степень инерционности системы исследуемой системы (Мерсер, 1964; Серебренников, Первозванский, 1965; Бриллинджер, 1980). Проведенные расчеты показали, что наибольшая величина коэффициента автокорреляции в рядах индексов годичного прироста деревьев во всех ТЛУ наблюдается при временном сдвиге всего лишь один год, а при увеличении лага в большинстве случаев очень резко снижается (табл. 4.8). Это свидетельствует о быстром затухании внешнего сигнала в информационной системе деревьев.

Таблица 4.8

Значения коэффициентов автокорреляции в рядах индексов годичного прироста деревьев в высоту в разных лесорастительных условиях Республики Марий Эл

ТЛУ	Год начала роста	Значение коэффициента автокорреляции при разном временном лаге					
		1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет
A_1	1960	0,43	-0,04	-0,41	-0,47	-0,49	-0,14
A_2	1927	0,66	0,46	0,25	0,10	0,04	-0,02
A_2	1971	0,67	-0,22	-0,06	-0,13	-0,06	-0,10
A_5	1930	0,62	0,19	0,00	-0,05	0,00	0,03
A_5	1964	0,52	0,31	0,12	-0,10	-0,30	-0,35
B_2	1950	0,34	0,02	-0,12	-0,03	-0,14	-0,25

Наличие автокорреляции указывает также на присутствие во временных рядах прироста деревьев волновой компоненты (Слущкий, 1927; Бриллинджер, 1980), которая особенно четко проявляется в сосняке брусничниковом естественного происхождения (рис. 4.17). Математически она отображается уравнением $Y = A \times \sin[2\pi(t - c)/T + \varphi] + 100$, в котором A – амплитуда колебаний, %; t – календарный год; c – год начала роста деревьев; T – период колебаний, лет; φ – фазовый сдвиг.

Расчеты показали, что значения амплитуды колебаний и их периода сугубо специфичны для каждого ТЛУ (табл. 4.9). Так, первый из этих параметров изменяется от 6,45 до 15,1 %, а второй – от 16,4 до 29,9 лет.

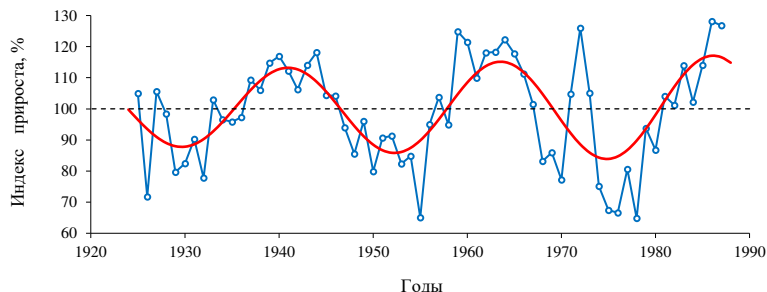


Рис. 4.17. Динамика индексов годичного прироста деревьев в высоту в сосняке брусничниковом естественного происхождения

Таблица 4.9

Параметры волновой компоненты в рядах динамики индексов годичного прироста деревьев в разных лесорастительных условиях Республики Марий Эл

ТЛУ	Значения коэффициентов уравнения $Y = A \times \sin[2\pi(t - c)/T + \varphi] + 100$				
	A	c	T	φ	R^2
A ₂	15,1	1920	22,4	2,031	0,557
A ₂	6,45	1971	26,0	0,374	0,431
A ₅	12,3	1930	29,9	3,852	0,234
B ₂	7,58	1952	16,4	-0,939	0,263

Волновые изменения индексов прироста происходят в разных ТЛУ, если их представлять в хронологической шкале, асинхронно относительно друг друга (рис. 4.18). Так, в ТЛУ A₂ гребни волн в древостое естественного происхождения отмечались в 1938-1944, 1961-1964 и 1984-1986 годах, а в культурах сосны – в 1974-1976 и 2001-2004 годах. В заболоченном же сосняке естественного происхождения они пришлись на 1948-1952 и 1978-1982 годы. Локальные минимумы значений индексов отмечались в первом из этих экотопов в 1929-1932, 1949-1954 и 1974-1977 годах, в культурах сосны – в 1982-1984, а в сосняке сфагновом – в 1962-1966 и 1993-1997. При переводе же данных в шкалу биологического возраста деревьев колебания значений становятся в этих экотопах более синхронными, совпадая в возрасте 25-45 лет. В других экотопах этого, однако, не наблюдается. Так, к примеру, в ТЛУ A₂ индексы прироста древостоя естественного происхождения, возникшего в 1920 году, изменяются асинхронно по отношению к культурам сосны, созданным в 1973 году (рис. 4.19). Отличаются они и по амплитуде. В заболоченных борах волны прироста деревьев, начавших свой жизненный цикл в разное время, более схожи между собой (рис. 4.20). Причина этого феномена пока не ясна и требует дальнейшего осмысления.

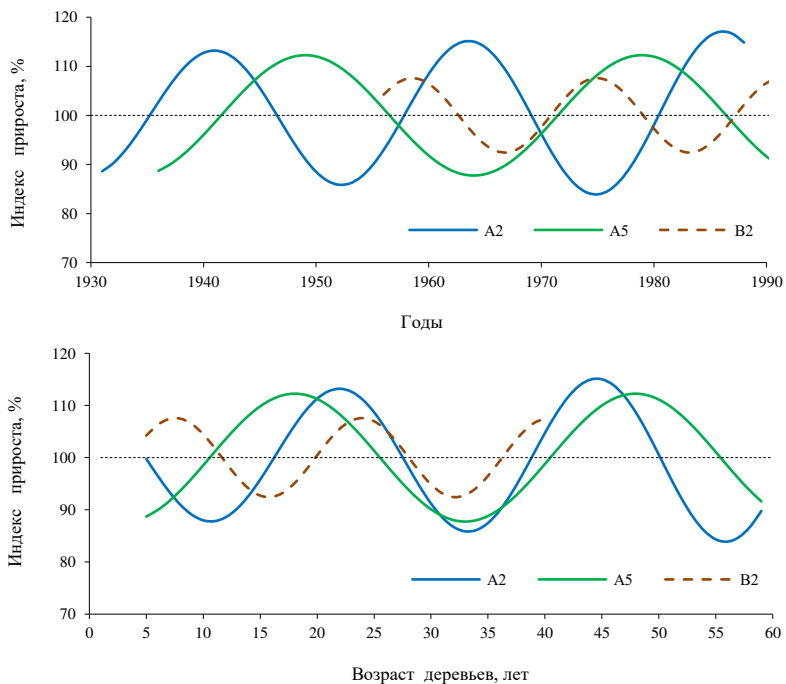


Рис. 4.18. Волновая компонента динамики индексов годичного прироста деревьев сосны в высоту в разных лесорастительных условиях Республики Марий Эл

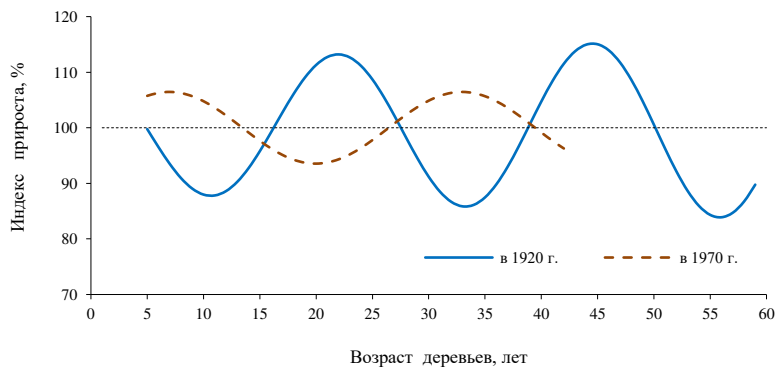


Рис. 4.19. Волновая компонента динамики индексов годичного прироста в высоту деревьев сосны в ТЛУ А₂, начавших свой жизненный цикл в разное время

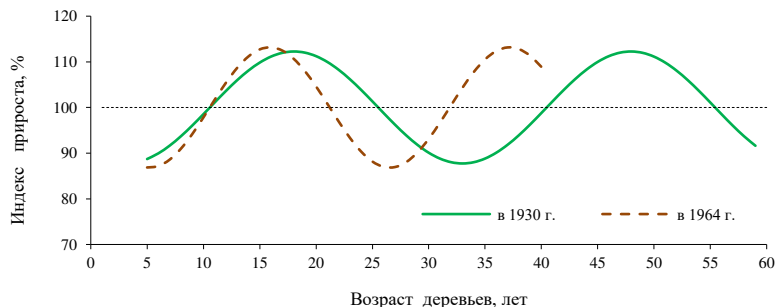


Рис. 4.20. Волновая компонента динамики индексов годичного прироста в высоту деревьев сосны в ТЛУ А₅, начавших свой жизненный цикл в разное время

Каков же генезис волн прироста и насколько реально их существование? Волны прироста деревьев могут быть связаны с изменением солнечной активности, которая влияет, как отмечалось в предыдущих главах, на вариации климата и на все биотические компоненты экосистем. Рассмотрим, насколько справедливо данное утверждение. Анализ сглаженных значений индексов чисел Вольфа и прироста деревьев в сосняках на одних отрезках времени действительно происходил синхронно с изменениями чисел Вольфа, однако на других наблюдалась обратная картина (рис. 4.21). Степень же влияния метеорологических параметров как по отдельности, так и совместно, очень незначительна (табл. 4.10). Следует также отметить слабую сопряженность рядов динамики прироста деревьев, произрастающих не только в разных, но и даже в сходных лесорастительных условиях.

Таблица 4.10

Влияние параметров внешней среды предшествующего года на динамику индексов годичного прироста деревьев в разных типах лесорастительных условий

Сезон	Значение коэффициентов корреляции между параметрами в предыдущем году					
	аа-индекс	ПСС	Температура	Осадки	АД	УВП
Сосняк брусничниковый						
Зима	-0,18	-0,10	0,06	0,28	-0,20	0,06
Весна	-0,48	0,29	-0,45	-0,09	0,25	-0,35
Лето	-0,07	0,09	-0,03	-0,20	-0,17	-0,06
Осень	0,10	0,00	-0,14	-0,07	0,03	0,05
Сосняк сфагновый						
Зима	0,57	-0,05	0,27	-0,07	-0,14	0,30
Весна	0,57	-0,03	0,29	0,01	0,16	0,09
Лето	0,43	-0,45	-0,12	0,30	-0,48	0,32
Осень	0,42	-0,21	-0,26	0,11	-0,23	-0,31

Из сказанного вытекает, что генезис волн прироста деревьев обусловлен не только солнечной активностью, которая, безусловно, оказывает на это определенное влияние, но и другими факторами. Их появление – следствие инерционности «работы» основного механизма саморегуляции биологических систем, действующего на основе принципа обратной связи (Петрушенко, 1967; Реймерс, 1994). Важнейшей причиной ритмики роста деревьев являются эколого-физиологические факторы. Снижение текущего прироста у них происходит в результате истощения запасов питательных веществ в корнях и почве, после восстановления которых прирост вновь увеличивается. Время восстановления запасов питательных веществ зависит от густоты древостоя и его физиологического состояния, мощности внешнего возмущающего фактора, а также физико-химических свойства почвы, уровня залегания грунтовых вод и режима их проточности. Это мнение априори было высказано еще в конце XIX века немецким фитофизиологом Г. Клебсом (по: Цельникер, 1950).

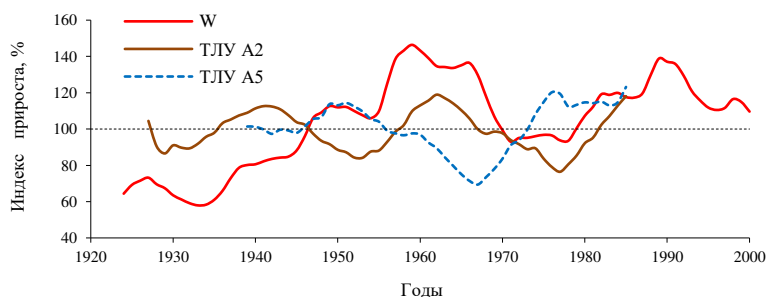


Рис. 4.21. Динамика сглаженных значений индексов чисел Вольфа и годовичного прироста в высоту деревьев сосны в различных лесорастительных условиях

Каждая ценопопуляция, согласно этой гипотезе, образует совместно с другими компонентами, в том числе почвой, саморегулирующуюся динамическую микросистему, функционирующую на основе взаимобратных связей, вызывающих колебательный режим ее состояния (Демаков и др., 2011). Длинноволновые довольно упорядоченные колебания с периодом выше 25-30 лет во многом связаны с процессом изреживания древостоев, являясь отражением степени напряженности конкурентных отношений в дендроценозах (Джансеитов, Кузьмичев, Кибардин, 1976; Демаков, 2000). Следует отметить, однако, что эффект от действия этого механизма начинает проявляться в них достаточно четко лишь через 20-30 лет после полного смыкания крон деревьев. Коротковолновые же колебания, которые являются чаще всего неперииоди-

ческими (квазипериодическими), обусловлены совместным действием климатических и иных физических факторов, в качестве которых может выступать мощное космическое излучение, образующееся при вспышках на Солнце и разрушениях звезд, приводящее часто к разрушительным геологическим процессам (извержениям вулканов и землетрясениям). Чередование внешних толчков различной мощности, не отличающихся особой регулярностью, формирует, во взаимосвязи с внутренними свойствами экосистем, сложный волнообразный квазипериодический ход древесного прироста. Изменения же метеопараметров, которые происходят практически бессистемно, о чем свидетельствует отсутствие в их динамике автокорреляций (табл. 4.11), оказывают на этот процесс лишь некоторое модифицирующее воздействие. Появление волновых компонент в рядах прироста деревьев может частично являться также результатом случайного сложения всех внешних по отношению к экосистеме факторов, вызывающих так называемый эффект Служцкого-Юла (Служцкий, 1927; Мерсер, 1964; Бриллинджер, 1980; Розенберг, 1980).

Таблица 4.11

**Значения коэффициентов автокорреляции временных рядов средней
месячной температуры воздуха за период с 1926 по 2011 год**

Месяц	Значение коэффициента автокорреляции при разном временном лаге						
	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	7 лет
I	0,09	0,15	0,04	-0,02	0,10	-0,11	-0,03
II	0,17	0,11	0,03	-0,12	-0,07	0,00	0,09
III	0,19	-0,01	-0,01	0,01	0,11	0,26	0,17
IV	0,04	0,10	0,07	-0,02	0,02	0,03	0,01
V	0,01	0,07	-0,11	0,13	0,19	0,01	-0,03
VI	0,10	0,03	0,05	0,04	-0,20	-0,11	0,01
VII	0,10	0,21	0,04	-0,09	0,00	-0,03	0,11
VIII	-0,11	0,14	0,07	0,06	0,10	0,13	0,04
IX	-0,21	-0,01	0,15	-0,15	0,04	0,04	-0,05
X	0,17	-0,01	0,10	-0,01	0,01	0,04	0,10
XI	0,23	0,08	-0,01	0,12	0,21	0,04	0,00
XII	0,12	-0,08	0,07	0,02	-0,14	-0,16	0,16

Динамика остатков значений индексов годовичного прироста деревьев, образовавшихся после удаления из рядов волновой компоненты, представляет собой бессвязный «шум», на фоне которого резко выделяются только отдельные экстремальные годы (рис. 4.22), и практически не зависит от значений температуры воздуха и суммы осадков.

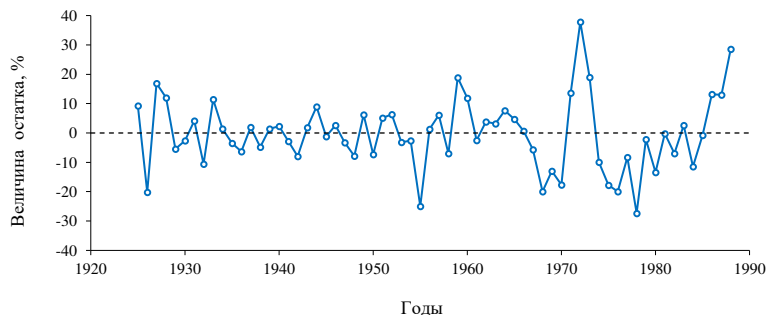


Рис. 4.22. Динамика остатков значений индексов годичного прироста деревьев сосны в высоту в ТЛУ А₂ после удаления волновой компоненты

Результаты исследования убедительно свидетельствуют, таким образом, о том, что ритмика роста древостоев отражает не только влияние внешних по отношению к ним факторов, но и внутренних их свойств, искажающих исходный сигнал и усложняющих выявление причинно-следственные связи. Рост древесных растений – многопараметрический процесс, отражающий их сложное взаимодействие со средой обитания, изменения состояния которой не отличаются особой регулярностью. Только постоянно подстраиваясь к конкретным условиям среды, регулируя ход своих внутренних часов, деревья как особые биосистемы сохраняют свою жизнеспособность (Демаков, 2000). Жестко же детерминированные системы являются неустойчивыми и не способными к развитию в разнообразном мире, где всё хотя и протекает закономерно, но ничего не повторяется вновь. Если к этому добавить еще возможные случаи резонанса или погашения колебаний в системе, вызванные различными факторами, то ограниченность чисто математического подхода к описанию динамики прироста деревьев становится очевидной.

Приведенные выше данные свидетельствуют о неоднозначности реакции деревьев в ответ на одни и те же изменения внешних условий. В свете этого несостоятельны, на наш взгляд, попытки реконструкции по данным анализа рядов прироста деревьев в лесной зоне условий климата в прошлом, а уж тем более их прогноза, особенно долгосрочного. К тому же следует принимать во внимание и тот факт, что следствие всего лишь объясняет причину, но не предопределяет ее (по ходу отклика, обусловленного многими причинами, невозможно восстановить ход каждого отдельного воздействующего фактора). Только в экстремальных условиях произрастания деревьев, где лимитирующим является лишь один фактор, можно надеяться на получение определенных результатов.

4.2. Влияние густоты древостоев на динамику их прироста

Влияние густоты древостоев на характер изменения годичного прироста деревьев в высоту, оцененное нами в большом диапазоне изменения этого параметра (от 0,5 до 100 тыс. экз./га), проявлялось в каждом экотопе по-разному. Так, в лишайниково-мшистом типе леса вклад данного фактора в общую дисперсию прироста деревьев составил 11,1 %, а в культурах же сосны, созданных на суглинистой почве умеренного увлажнения, всего только 1,9 % (табл. 4.12). Изменения показателя в этих экотопах обусловлены в основном возрастом древостоев, что наиболее резко проявляется в богатых лесорастительных условиях, и особенностями погодных условий в разные годы. На олиготрофных же болотах наиболее велик вклад в дисперсию годичного прироста деревьев вариантов опыта.

Таблица 4.12

Результаты дисперсионного анализа влияния факторов изменения прироста деревьев в насаждениях сосны разной густоты и ТЛУ

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05.}	
Культуры сосны в лишайниково-мшистом типе леса						
Вариант	1540,0	5	308,0	7,05	2,36	11,1
Годы	9509,0	13	731,5	16,73	1,87	68,5
Остатки	2841,1	65	43,7			20,5
Итого	13890,1	83				100,0
Культуры сосны в ТЛУ С ₂						
Вариант	659,6	4	164,9	2,52	2,54	1,9
Годы	30876,3	14	2205,5	33,65	1,87	87,7
Остатки	3670,5	56	65,5			10,4
Итого	35206,5	74				100,0
Постпирогенные молодняки на олиготрофном болоте в ТЛУ А ₅						
Вариант	2501,3	5	500,3	48,59	2,29	53,9
Годы	853,5	25	34,1	3,32	1,59	18,4
Остатки	1287,0	125	10,3			27,7
Итого	4641,7	155				100,0

Рассмотрим подробно особенности динамики годичного прироста деревьев на каждом из объектов наших исследований и начнем анализ с культур сосны, созданных в лишайниково-мшистом типе леса. Закономерность изменения здесь высоты деревьев (Н, м) описывает уравнение

$H_{(t)} = K \times [1 - \exp(-a \times t)]^b$, все параметры которого, имеющие конкретный биофизический смысл, сугубо специфичны для каждого варианта опыта (табл. 4.13) и четко изменяются в градиенте исходной густоты культур (N , тыс. экз./га). Обобщенная математическая модель, учитывающая влияние густоты древостоя и усиливающееся со временем (t , лет) негативное влияние внутривидовой конкуренции, выглядит так:

$$H = (24,8 - 0,174 \times N) \times \{1 - \exp[-(27,5 - 0,656 \times N) \times 10^{-3} \times t]\}^{1,516 \times \exp(-0,022 \times N)}.$$

Динамику же годовичного прироста деревьев наилучшим образом описывает куполообразная функция оптимума $Y = a \times t^b \times \exp(-c \times 10^{-2} \times t)$, параметры которой четко изменяются в зависимости от исходной густоты культур (табл. 4.14). Кульминация текущего годовичного прироста деревьев наступает в них в возрасте от 8 до 18 лет. Особенно сильно выделяется по характеру роста вариант очень густых культур на заброшенном лесном питомнике, где на момент учета в возрасте 16 лет произрастало более 100 тыс. живых деревьев на 1 га, средняя высота которых составляла всего 3,1 м, что соответствует IV классу бонитета.

Таблица 4.13

Параметры уравнений динамики средней высоты древостоя в культурах сосны разной исходной густоты

Исходная густота культур, экз./га	Значения параметров уравнения $H = K \times \{1 - \exp[-a \times 10^{-3} \times t]\}^b$			
	K	a	b	R ²
0,5 тыс.	24,7	27,13	1,499	0,997
1 тыс.	24,6	26,80	1,483	0,985
3 тыс.	24,3	25,49	1,418	0,996
5 тыс.	24,0	24,18	1,356	0,994
10 тыс.	22,9	20,24	1,186	0,981
> 200 тыс.	11,8	44,97	1,827	0,997

Таблица 4.14

Параметры уравнений, описывающих возрастные изменения годовичного прироста деревьев в культурах сосны разной исходной густоты в ТЛУ А₁₋₂

Густота, экз./га	Значения параметров уравнения $Y = a \times t^b \times \exp(-c \times 10^{-2} \times t)$					
	a	b	c	A _{кп}	Δh _{кп}	R ²
0,5-1,0 тыс.	2,89	1,503	8,27	18	50,2	0,890
3,0-5,0 тыс.	2,19	1,820	11,9	15	50,7	0,846
11,0 тыс.	8,41	1,000	8,06	12	38,3	0,546
> 200,0 тыс.	8,38	1,097	13,1	8	28,8	0,638

Примечание: t – возраст деревьев, лет; $A_{кп}$ – возраст наступления кульминации текущего годовичного прироста деревьев в высоту, лет; $\Delta h_{кп}$ – текущий годичный прирост в момент его кульминации, см.

Влияние исходной густоты насаждений на прирост деревьев в раннем их возрасте, как показали расчеты, очень слабо и начинает отчетливо проявляться лишь спустя 10 лет после создания культур (табл. 4.15). В течение первых шести лет наиболее высокий годичный прирост в высоту имели деревья в варианте самой густой посадки (рис. 4.23), где происходит быстрое смыкание крон и формирование лесной среды. Это явление в экологии называют эффектом биогруппы, или эффектом Олли (Одум, 1975; Титов, 1978). По мере смыкания древесного полога годичный прирост деревьев и их высота в густых посадках постепенно уменьшаются по сравнению с редкими (рис. 4.24).

Таблица 4.15

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости прироста деревьев
в культурах сосны разной густоты, созданных в борах РМЭ**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
Возраст деревьев от 4 до 10 лет						
Варианты	187,6	5	37,5	2,12	2,53	4,3
Годы	3651,4	6	608,6	34,43	2,42	83,6
Шумы	530,3	30	17,7			12,1
Итого	4369,3	41				100,0
Возраст деревьев от 11 до 17 лет						
Варианты	3319,5	5	663,9	57,95	2,53	77,5
Годы	621,6	6	103,6	9,04	2,42	14,5
Шумы	343,7	30	11,5			8,0
Итого	4284,9	41				100,0

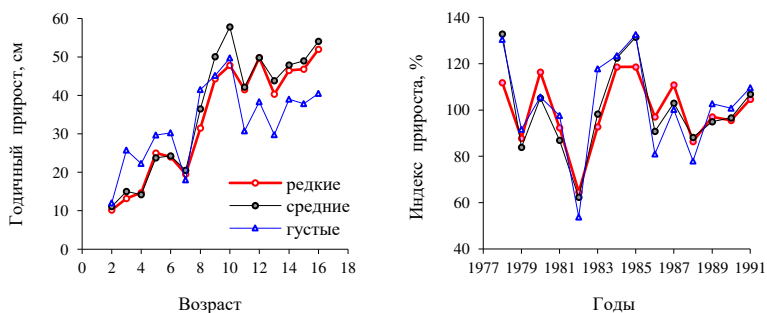


Рис. 4.23. Динамика годичного прироста деревьев в высоту в культурах сосны разной исходной густоты, созданных в лишайниково-мшистом типе леса

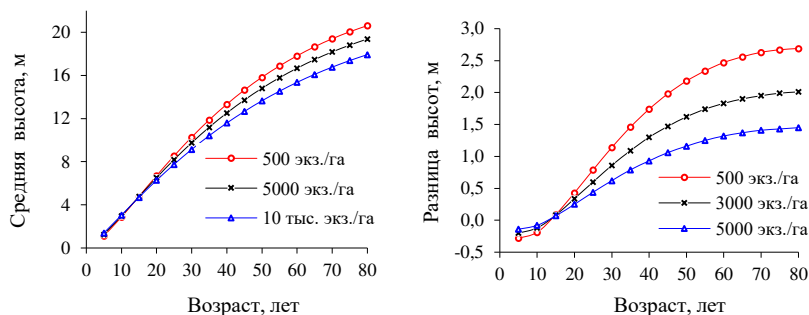


Рис. 4.24. Динамика средней высоты деревьев в культурах сосны разной исходной густоты (слева) и её разницы по отношению к варианту 10 тыс. экз./га

Величина прироста деревьев в данном экотопе изменялась по годам очень синхронно, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов корреляции между рядами этого параметра разных вариантов опыта (табл. 4.16). Менее синхронно изменялся, по сравнению с остальными, годичный прирост деревьев в самых густых культурах, что обусловлено в определенной мере различиями происхождения посадочного материала (для создания первых четырех вариантов опыта были использованы сеянцы, выращенные в питомнике Зеленодольского лесхоза Республики Татарстан, а пятого – в питомнике НП «Марий Чодра» Республики Марий Эл). Наиболее резкие снижения величины прироста, как следует из представленных выше данных, произошли в 1979 и 1982 годах, что связано с большим недобором тепла и избытком осадков летом 1978 и 1980 годов. Густые древостои реагировали на климатические аномалии гораздо сильнее редких, но с возрастом различия в характере ответных реакций между ними постепенно снижались.

Таблица 4.16

Матрица коэффициентов парной корреляции рядов динамики прироста деревьев в культурах сосны разной густоты, созданных в борах РМЭ

Вариант опыта	Густота, экз./ га	Значения коэффициента корреляции между вариантами опыта				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	0,5 тыс.	1,00				
2	1,0 тыс.	0,97	1,00			
3	3,0 тыс.	0,96	0,98	1,00		
4	5,0 тыс.	0,97	0,98	0,98	1,00	
5	10,0 тыс.	0,78	0,78	0,85	0,83	1,00

Густота культур оказывает значительное влияние также на рост ветвей деревьев, динамику длины которых (L , см) описывает уравнение $L = 432 \times \exp(-11,83 \times 10^{-2} \times N) \times [1 - \exp(-89,7 \times 10^{-3} \times t \times N^{0,25})]$; $R^2 = 0,98$.

Математический анализ исходного материала показывает, что в результате отмирания нижних ветвей деревьев протяженность их кроны во всех вариантах опыта к возрасту культур 80 лет выравнивается, устанавливаясь на отметке 20-30 % общей длины ствола (рис. 4.25). Средняя продолжительность жизни ветвей в густых культурах будет составлять в этом возрасте 13-14 лет, а длина – всего 130 см (рис. 4.26). В редких же культурах продолжительность жизни ветвей будет достигать уже 26-27 лет, а их длина – 390 см. Площадь проекции кроны деревьев в варианте самой редкой посадки в возрасте 80 лет будет в 5,6 раза выше, чем в наиболее густой, достигая $22,7 \text{ м}^2$.

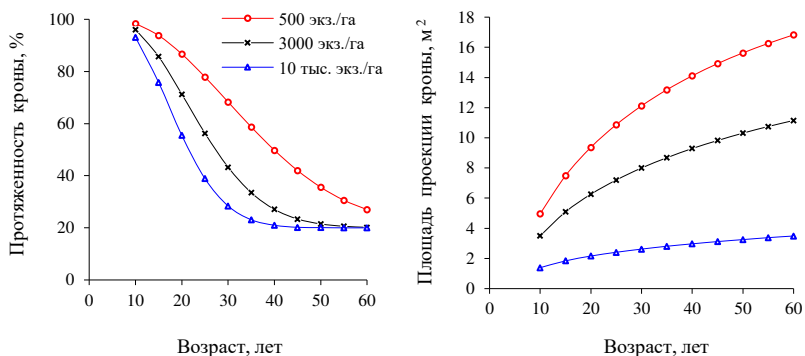


Рис. 4.25. Динамика параметров кроны среднего дерева в культурах сосны разной исходной густоты

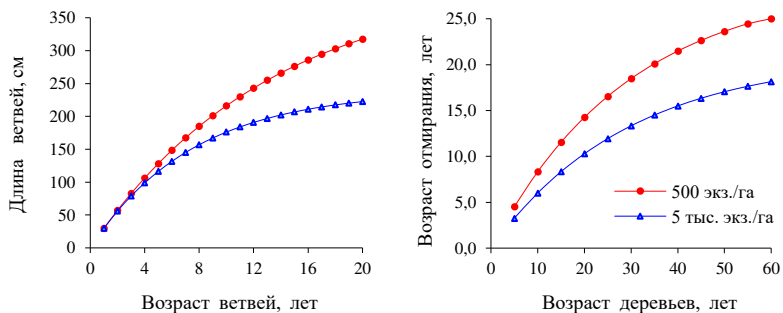


Рис. 4.26. Динамика длины нижних ветвей деревьев и возраста их отмирания в культурах сосны разной исходной густоты

Влияние исходной густоты насаждений на прирост деревьев в культурах сосны, созданных в ТЛЮ С₂ на суглинистой почве умеренного увлажнения, где было заложено четыре варианта опыта, проявлялось подобным же образом. В первые семь лет развития культур наиболее высокий годичный прирост отмечался в варианте с густым посевом растений, где произошло быстрое смыкание крон деревьев и четко проявился эффект Олли полезного взаимодействия особей в биогруппе (табл. 4.17). Самый же низкий прирост в этом возрасте имели деревья в варианте с редкой посадкой по схеме 2×1,3 м. В возрасте от 8 до 12 лет наилучшие результаты отмечались в варианте культур, созданных по схеме 1,5×0,5 м с густотой 13,3 тыс. экз./га, с которым в более старшем возрасте сравнился вариант с самой редкой посадкой. Наихудшим в возрасте от 13 до 17 лет был вариант с загущенным посевом.

Таблица 4.17

**Средний годичный прирост деревьев в культурах сосны
разного возраста и вариантов опыта в ТЛЮ С₂**

Возраст культур	Среднее значение годичного прироста в разных вариантах опыта, см			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
3-7 лет	19,1	33,3	24,3	36,5
8-12 лет	61,3	71,5	63,5	65,1
13-17 лет	72,7	72,6	68,3	63,6

Примечание: вариант 1 – посадка по схеме 2×1,3 м с густотой 3,8 тыс. экз./га; вариант 2 – посадка по схеме 1,5×0,5 м с густотой 13,3 тыс. экз./га; вариант 3 – посадка в гнезда размером 0,4×0,4 м по 9 шт. с размещением гнезд 3,6×2,5 м с общей густотой 10 тыс. экз./га; вариант 4 – посев в ряды с густотой 50 тыс. экз./га

Прирост деревьев в данном экотопе, несмотря на однородность посадочного материала, изменялся по годам менее синхронно, чем в лишайниково-мшистом типе леса (табл. 4.18). Особенно выделялась от остальных динамика годичного прироста деревьев в самых редких культурах. Наиболее значительные расхождения между разными вариантами опыта в приросте деревьев отмечались в разные годы (рис. 4.27). Особенно велики различия были в 1981 и 1984 годах. Значительное снижение величины индексов прироста произошло, как и в сосняках лишайниково-мшистых, в 1979-1981 годах, что связано с большим недобором тепла и избытком осадков летом 1978 и 1980 годов. Густые древостои реагировали на вариации климата гораздо сильнее редких, но с возрастом различия между вариантами опыта постепенно снижались. Фактор «вариант опыта» наиболее значительно проявлялся, как показали расчеты, в культурах старше 13 лет, а наименее четко – в возрасте от 8 до 12 лет (табл. 4.19). Различия же реакции древостоев на колебания погодных условий наиболее значительными были в первые 10-12 лет.

Таблица 4.18

**Матрица коэффициентов парной корреляции рядов динамики
прироста деревьев в культурах сосны, созданных в ТЛУ С₂**

Вариант опыта	Значения коэффициента корреляции между вариантами опыта			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Вариант 1	1,00			
Вариант 2	0,45	1,00		
Вариант 3	0,56	0,61	1,00	
Вариант 4	0,55	0,78	0,75	1,00

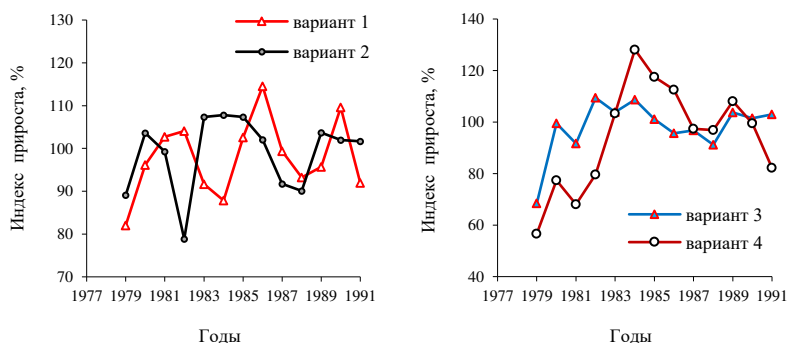


Рис. 4.27. Динамика индексов годичного прироста деревьев в высоту в культурах сосны, созданных на суглинистой почве умеренного увлажнения в ТЛУ С₂

Таблица 4.19

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости прироста деревьев
в культурах сосны, созданных по разным схемам в ТЛУ С₂**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
Возраст культур от 3 до 7 лет						
Варианты	1590,9	3	530,3	80,16	3,49	37,4
Годы	2583,0	4	645,8	97,62	3,26	60,7
Шумы	79,4	12	6,6			1,9
Итого	4253,3	19				100,0
Возраст культур от 8 до 12 лет						
Варианты	265,5	3	88,5	8,14	3,49	20,4
Годы	908,4	4	227,1	20,88	3,26	69,6
Шумы	130,5	12	10,9			10,0
Итого	1304,5	19				100,0

Окончание таблицы 4.19

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
Возраст культур от 13 до 17 лет						
Варианты	221,6	3	73,9	28,57	3,49	67,7
Годы	74,6	4	18,7	7,22	3,26	22,8
Шумы	31,0	12	2,6			9,5
Итого	327,2	19				100,0

Деревья в культуре, созданной в данных лесорастительных условиях, растут в целом по I⁶ классу бонитета, и динамику их средней высоты аппроксимирует уравнение $H(t) = K \times [1 - \exp(-a \times t)]^b$, основные параметры которого имеют сугубо специфичные значения в каждом варианте опыта (табл. 4.20). Кульминация их текущего годичного прироста наступает в возрасте от 21 до 23 лет. До 30 лет высота деревьев наиболее велика в варианте опыта с посадкой растений в гнезда, а затем на первое место выходят самые редкие культуры (рис. 4.28).

Таблица 4.20

Параметры уравнений динамики средней высоты древостоя в культурах сосны, созданных по разным схемам в ТЛЮ С₂

Вариант опыта	Значения параметров уравнения $H = K \times \{1 - \exp[-a \times 10^{-3} \times t]\}^b$					
	K	a	b	A _{кп}	$\Delta h_{кп}$	R ²
№ 1	41,5	50,58	3,186	23	92,1	0,998
№ 2	41,5	45,38	2,781	23	85,1	0,998
№ 3	41,5	44,08	2,490	21	85,1	0,998
№ 4	41,5	39,07	2,381	22	76,4	0,998

Примечание: t – возраст деревьев, лет; A_{кп} – возраст наступления кульминации текущего годичного прироста деревьев в высоту, лет; $\Delta h_{кп}$ – текущий годичный прирост в момент его кульминации, см.

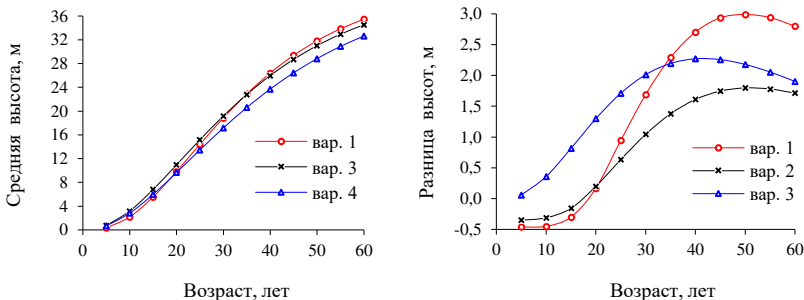


Рис. 4.28. Динамика средней высоты деревьев в культурах сосны, созданных в ТЛЮ С₂ (слева), и её разницы по отношению к варианту загущенного посева

Класс бонитета 35-летних древостоев, возникших после пожара 1972 года на олиготрофном болоте, изменяется на объектах исследования от V до V⁶. Динамику средней высоты деревьев описывает, как и во всех предыдущих экотопах, уравнение $H_{(t)} = K \times [1 - \exp(-a \times t)]^b$, все параметры которого четко изменяются в зависимости от текущей густоты древостоев (табл. 4.21). Кульминация их текущего годовичного прироста наступает в возрасте от 11 до 34 лет. Самый лучший рост деревьев отмечается при густоте около 10 тыс. экз./га (рис. 4.29). При низкой густоте молодняков обильно развиваются кустарнички, особенно мирт болотный *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, который угнетает рост деревьев, при высокой же густоте резко обостряются конкурентные отношения между ними. Разница средней высоты у разных по исходной густоте древостоев в их возрасте 60 лет может достигать более 6 м, что для этих крайне жестких лесорастительных условий является очень большой величиной.

Таблица 4.21

Параметры уравнений динамики средней высоты древостоя в постпирогенных сосняках на олиготрофном болоте

Густота, экз./га	Значения параметров уравнения $H = K \times \{1 - \exp[-a \times 10^{-3} \times t]\}^b$					
	K	a	b	A _{кп}	Δh _{кп}	R ²
2,3 тыс.	11,8	23,49	2,208	34	13,4	0,998
10,7 тыс.	16,2	19,32	1,464	20	18,4	0,993
20,5 тыс.	14,0	16,60	1,358	19	14,4	0,994
25,4 тыс.	3,7	86,88	2,536	11	14,9	0,995
> 50 тыс.	3,5	43,16	1,889	16	7,7	0,998

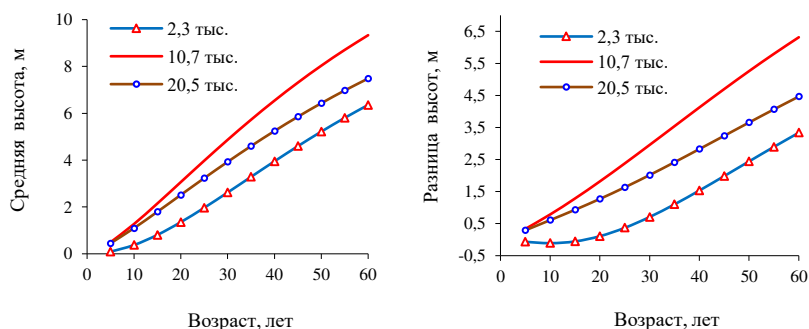


Рис. 4.29. Динамика средней высоты деревьев в постпирогенных сосняках на олиготрофном болоте в ТЛЮ А₅

Влияние густоты древостоя на годичный прирост деревьев в постпирогенных сосняках начало проявляться уже на начальном этапе их развития, но наиболее значительно выразились в возрасте старше 25 лет (табл. 4.22). Различия же в реакции древостоев на колебания погодных условий наиболее велики были в 1990-1997 годах (табл. 4.23). Прирост деревьев на объектах исследования изменялся по годам очень несинхронно, особенно в древостое с самой низкой густотой (табл. 4.24). Наиболее значительные расхождения между биотопами отмечались в 1983 году (рис. 4.30). Очень низкие значения индексов прироста отмечались во всех биотопах в 1991-1995 и 2002 годах, а наиболее же высокие – в 1983 и 1996.

Таблица 4.22

Влияние густоты постпирогенных молодняков сосны на годичный прирост деревьев в высоту на олиготрофном болоте в ТЛУ А₅

Годы	Средняя величина годичного прироста, см, в зависимости от густоты				
	2,3 тыс.	10,7 тыс.	20,5 тыс.	25,4 тыс.	> 50 тыс.
1980-1989	11,4	22,4	15,6	16,4	7,8
1990-1997	11,5	19,1	12,9	8,4	7,1
1998-2006	13,6	18,2	15,9	5,7	6,4

Таблица 4.23

Результаты дисперсионного анализа изменчивости прироста деревьев в постпирогенных молодняках сосны в ТЛУ А₅

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
с 1980 по 1989 год						
Варианты	1094,9	4	273,7	32,01	2,67	68,1
Годы	240,0	8	30,0	3,51	2,24	14,9
Шумы	273,6	32	8,6			17,0
Итого	1608,5	44				100,0
с 1990 по 1997 год						
Варианты	697,7	4	174,4	29,92	2,71	56,2
Годы	382,0	7	54,6	9,36	2,36	30,7
Шумы	163,2	28	5,8			13,1
Итого	1243,0	39				100,0
с 1998 по 2006 год						
Варианты	1150,8	4	287,7	79,27	2,67	85,0
Годы	86,6	8	10,8	2,98	2,24	6,4
Шумы	116,1	32	3,6			8,6
Итого	1353,6	44				100,0

Таблица 4.24

**Матрица коэффициентов парной корреляции рядов динамики
прироста постпирогенных сосняков в ТЛУ А₅**

Номер экотопа	Густота, экз./га	Значения коэффициента корреляции между экотопами				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	2,3 тыс.	1,00				
2	10,7 тыс.	0,16	1,00			
3	20,5 тыс.	0,26	0,74	1,00		
4	25,4 тыс.	0,32	0,54	0,32	1,00	
5	> 50 тыс.	-0,18	0,65	0,52	0,38	1,00

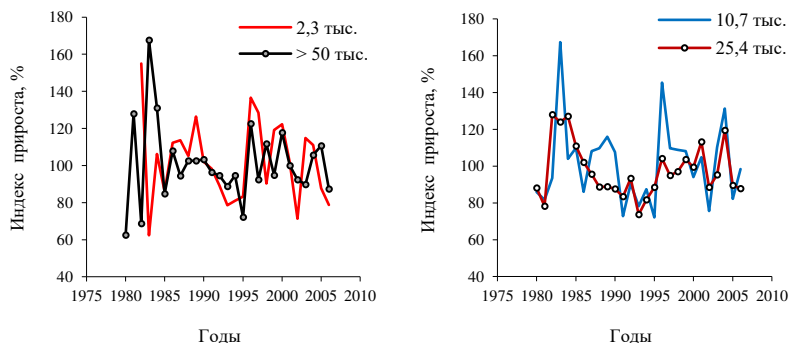


Рис. 4.30. Динамика индексов годичного прироста деревьев в высоту в постпирогенных сосняках на олиготрофном болоте в ТЛУ А₅.

Результаты исследований показывают, таким образом, что густота древостоя оказывает заметное влияние на годичный прирост деревьев сосны в высоту и характер их ответных реакций на колебания температуры и количества осадков в вегетационный период разных лет, которое проявляется в каждом типе лесорастительных условий в зависимости от возраста древостоев по-разному. В течение первых 5-10 лет наиболее высокий годичный прирост в высоту имеют деревья в наиболее густых фитоценозах, где происходит быстрое смыкание крон и формирование лесной среды. По мере смыкания древесного полога густые древостои начинают постепенно уступать редким по величине годичного прироста деревьев и их высоте. С увеличением возраста древостоев разница становится все более значительной, достигая к 60-80 годам, в зависимости от их исходной густоты, 2-3 класса бонитета. Увеличение густоты древостоев приводит также к более раннему наступлению у них кульминации текущего годичного прироста, происходящей, в зависимости от нее, в возрасте от 11 до 34 лет.

Густые древостои реагируют на климатические аномалии гораздо сильнее редких, но с возрастом различия постепенно сглаживаются. В богатых лесорастительных условиях и на олиготрофных болотах величина годичного прироста деревьев изменяется по годам в широком диапазоне густоты древостоев и менее синхронно, чем в сухих и свежих борах, однако реакция их на аномалии погоды 1978 и 1980 годов во всех случаях одинакова. Менее синхронно, по сравнению с остальными, изменяется годичный прирост деревьев в самых густых насаждениях, что в определенной мере может быть обусловлено их генотипическими различиями (это подробно будет рассмотрено в одном из следующих разделов монографии).

4.3. Динамика прироста деревьев в очаге корневой губки

Корневая губка – гриб *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., который относится к классу базидиомицетов и является одним из самых распространенных в мире патогенных организмов древесных пород, особенно хвойных, вызывающим коррозийную гниль корней (Алексеев, 1979; Негруцкий, 1986; Василюскас, 1989; Семенкова, Соколова, 2003; Гаврицкова, 2003; Федоров, 2004). Заболевание насаждений, вызванное этим патогеном, приобрело в настоящее время характер глобальной эпифитотии, причиняющей огромный ущерб лесному хозяйству (*Heterobasidion annosum* ..., 1998; Высоцкий, Корчагин, 2018). По мере отмирания корней нарушается водный баланс деревьев, происходит их ослабление, проявляющееся в изменении состояния кроны, завершающееся в большинстве случаев гибелью.

Диагностика раннего проявления признаков заболевания деревьев, позволяющая своевременно обнаружить очаги корневой губки и принять своевременные меры по их локализации, довольно сложна, поскольку они начинают проявляться лишь при значительном поражении (на 60-80 %) их корней (Алексеев, 1979; Волков, 1983; Богданова, 1990). Исследования, проведенные нами в 25-летних культурах сосны, созданных с исходной густотой 15,6 тыс. экз./га в условиях свежего бора Республики Марий Эл, полностью подтвердили этот вывод, показав, что снижение величины годичного прироста верхушечного побега у деревьев четко проявляется лишь за два года до их гибели (рис. 4.31). В течение же предшествующих 23 лет жизни деревьев величина прироста у разных категорий их конечного состояния была практически одинаковой и изменялась во времени очень синхронно (табл. 4.25 и 4.26).

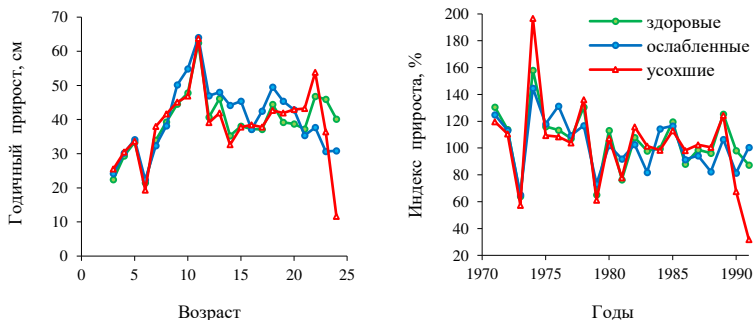


Рис. 4.31. Динамика годичного прироста деревьев сосны в высоту в очаге корневой гнили

Таблица 4.25

**Средняя величина годичного прироста в высоту деревьев сосны
разных категорий состояния в очаге корневой гнили**

Категория деревьев	Средняя величина годичного прироста в разном возрасте, см		
	3-10 лет	11-17 лет	18-25
Здоровые	34,0 ± 3,4	42,4 ± 3,6	41,8 ± 1,5
Ослабленные	35,8 ± 4,1	46,9 ± 3,2	38,9 ± 2,7
Усохшие в 1991 году	35,1 ± 3,4	41,6 ± 3,8	38,9 ± 5,0

Таблица 4.26

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости прироста деревьев
разных категорий состояния в очаге корневой гнили**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
Возраст от 3 до 10 лет (1970-1977 гг.)						
Категория	12,6	2	6,3	1,14	3,74	0,6
Годы	2159,2	7	308,5	55,42	2,76	96,0
Шумы	77,9	14	5,6			3,4
Итого	2249,8	23				100,0
Возраст от 11 до 17 лет (1978-1984 гг.)						
Категория	112,6	2	56,3	9,42	3,89	6,6
Годы	1508,5	6	251,4	42,1	3,00	89,2
Шумы	71,7	12	6,0			4,2
Итого	1692,8	20				100,0
Возраст от 18 до 24 лет (1985-1991 гг.)						
Категория	38,2	2	19,1	0,32	3,89	2,6
Годы	711,2	6	118,5	1,96	3,00	48,2
Шумы	725,0	12	60,4			49,2
Итого	1474,4	20				100,0

4.4. Влияние выбросов завода силикатного кирпича на динамику годичного прироста деревьев

В ряду важнейших экологических проблем современности на одном из первых мест по значимости стоит проблема оценки воздействия техногенной деятельности человека на состояние окружающей среды и лесные экосистемы (Кулагин, 1974; Гудериан, 1979; Алексеев, Дочинжер, 1981; Николаевский, 1987; Ярмишко, 1997; Черненко, 2002; Цветков, 2003; Шелуха, 2003; Мартынюк, 2004; Усольцев и др., 2012). Дендрохронологические методы имеют здесь особое значение, позволяя оперативно выявить на больших территориях реакцию деревьев на загрязнение среды (Грейбилл, 1991; Григорьев, 2004). Отрицательный эффект промышленных выбросов на прирост деревьев отмечен многими исследователями (Соков, Рожков, 1975; Стравинскене, 1987; Биоиндикация загрязнения ..., 1988; Мартынюк, Данилов, 1989; Цветков, 1991; Таранков, Матвеев, 1994; Алексеев, 1993; Черненко, Макаров, 1997; Кучеров, Мулдашев, 2003; Матвеев, 2003; Щекалев, Тарханов, 2007; Борисова и др., 2008; Демаков, Майшанова, 2015). Установлено, что при атмосферном загрязнении в молодняках снижается прирост в высоту, а в спелых – по радиусу ствола. Особенно сильно снижается прирост у наиболее толстых деревьев. Деревья, поврежденные действием промышленных поллютантов, более чутко реагируют на колебания погодных условий, особенно на засухи (Лайбранд и др., 1978; Барахтенкова, 1980). Известен также факт стимулирующего эффекта малых доз токсиантов на прирост деревьев (Цветков, 2003; Черненко и др., 2009).

Исследования, проведенные нами в зоне выбросов завода силикатного кирпича (Демаков и др., 2013), показали, что деревья сосны чутко реагируют на загрязнение среды, изменяя, согласно принципу толерантности Шелфорда (Одум, 1975), величину годичного прироста в высоту в зависимости от концентрации выпавшей пыли и содержащихся в ней химических элементов. Наиболее высокий прирост за последние 5 лет, как и в целом за весь период их жизни, имели деревья, находящиеся на расстоянии 190–210 м от источника загрязнения, где полнота древостоя была также самая высокая (рис. 4.32). Наименьший же прирост отмечался в непосредственной близости от предприятия, где крона деревьев в настоящее время сплошь покрыта известковой пылью (рис. 4.33). В первый период своей жизни лучше всего росли в высоту деревья в лесных культурах на фоновом участке (табл. 4.27), что связано с созданием здесь благоприятных условий для их развития в виде сплошной обработки почвы и лесокультурного ухода.

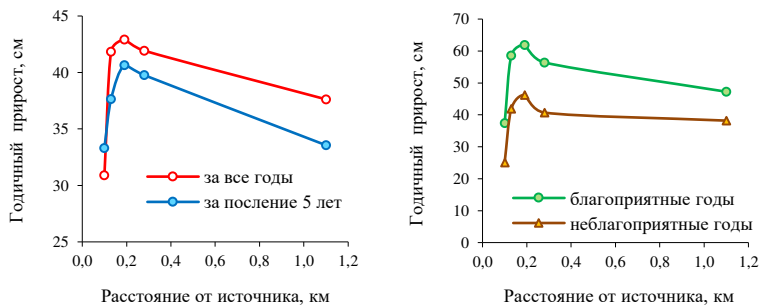


Рис. 4.32. Изменение прироста деревьев сосны в высоту по градиенту расстояния от источника загрязнения в разные периоды времени



Рис. 4.33. Сосновый древостой, возникший на ЛЭП спустя 25 лет после пуска предприятия по выпуску силикатного кирпича

Таблица 4.27

Параметры годичного прироста деревьев сосны в высоту на разном расстоянии от источника загрязнения

Расстояние от источника загрязнения	Значения статистических параметров			
	$M \pm m$, см	S , см	CV , %	t
<i>Прирост за 1980-1989 гг.</i>				
100 м	$20,9 \pm 1,67$	10,05	48,2	3,95
130 м	$27,3 \pm 3,04$	16,37	60,0	1,15
190 м	$22,8 \pm 1,84$	12,37	54,2	3,10
280 м	$27,5 \pm 2,10$	14,41	52,3	1,34
1100 м	$31,5 \pm 2,12$	13,25	42,0	-

Окончание таблицы 4.27

Расстояние от источника загрязнения	Значения статистических параметров			
	$M \pm m$, см	S, см	CV, %	t
<i>Прирост за 1990-1999 гг.</i>				
100 м	$36,6 \pm 1,04$	7,33	20,0	2,59
130 м	$50,2 \pm 1,78$	11,26	22,4	3,60
190 м	$57,2 \pm 1,54$	10,90	19,0	7,02
280 м	$52,1 \pm 1,48$	10,48	20,1	4,79
1100 м	$41,6 \pm 1,61$	11,41	27,4	-
<i>Прирост за 2000-2010 гг.</i>				
100 м	$32,5 \pm 1,03$	7,67	23,6	3,93
130 м	$49,5 \pm 1,91$	12,65	25,6	4,21
190 м	$46,5 \pm 1,50$	11,13	23,9	3,41
280 м	$44,2 \pm 1,22$	9,02	20,4	2,56
1100 м	$39,4 \pm 1,44$	10,65	27,0	-

Примечание: M – среднее значение; S – среднеквадратическое отклонение показателя; m – ошибка среднего значения; CV – коэффициент вариации; t – критерий Стьюдента по отношению к фону ($t_{0,05} = 1,96$).

Основным компонентом выбросов, исходя из специфики производства, является кальций, содержание которого в образцах хлопчатобумажной ткани на примыкающей к источнику загрязнения полосе в 141 раз превышает фоновый уровень (табл. 4.28). На втором месте по концентрации находится железо, за которым следуют стронций и марганец. Замыкают же ранговый ряд кобальт, никель и кадмий.

Таблица 4.28
Изменение содержания химических элементов в образцах хлопчатобумажной ткани, вывешенных на разном удалении от источника загрязнения

Элемент	Содержание элементов на разном удалении от источника загрязнения, мг/кг				
	100 м	130 м	190 м	280 м	1100 м
Ca	33715	18881	12167	10919	239
Fe	213	157	119	104	47,4
Sr	23,8	10,9	9,5	6,5	0,50
Mn	9,24	8,59	6,40	11,4	2,17
Zn	4,05	4,02	2,92	3,08	1,17
Pb	1,66	1,03	0,93	0,79	0,45
Cu	1,61	1,57	0,92	1,09	0,77
Co	0,76	0,48	0,42	0,35	0,16
Ni	0,43	0,26	0,23	0,20	0,12
Cd	0,23	0,15	0,13	0,12	0,06

Приведенные данные показывают, что по мере удаления от завода содержание химических элементов в образцах ткани резко снижается, особенно кальция и стронция. Медленнее же всего снижается в образцах ткани концентрация марганца и цинка. Стабилизация концентрации большинства элементов происходит на расстоянии 400-700 м от источника загрязнения. Стимулирующее влияние пылевых выбросов на прирост деревьев заключается в увеличении биологической активности почвы за счет снижения кальция её кислотности, а также обогащения цинком и медью. Негативное же воздействие поллютантов на прирост деревьев происходит лишь при концентрации кальция в образцах ткани по отношению к фоновому уровню более чем в 100 раз, стронция – более чем в 40 раз, а кадмия и свинца – более чем в 3 раза (рис. 4.34).

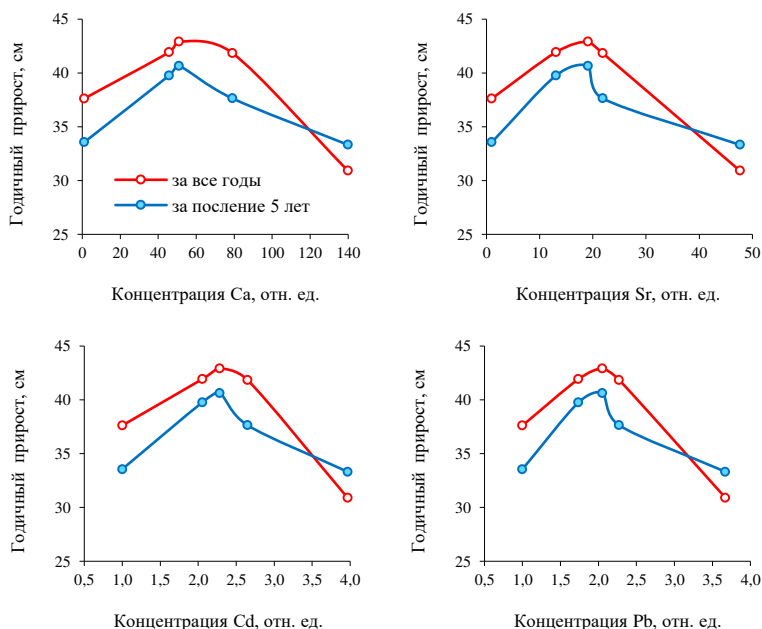


Рис. 4.34. Изменение прироста деревьев в зависимости от концентрации поллютанта

Основным источником вариации годичного прироста в высоту, как показал дисперсионный анализ, является расстояние от источника загрязнения, определяющее уровень концентрации пылевых выбросов, а также «шумы», проявляющиеся в специфичности ответных реакций де-

ревьев на колебания условий внешней среды (табл. 4.29). Характер же динамики прироста деревьев в условиях загрязнения среды практически не изменяется по сравнению с контрольным насаждением (рис. 4.35). Кульминации их прироста отмечалась в 1995-1997 годах, когда возраст деревьев составлял 20-22 года. Величина годичного прироста деревьев изменялась очень синхронно практически во всем градиенте загрязнения среды (табл. 4.30), и реакция их на аномалии погоды была сходной. Менее синхронно, по сравнению с остальными, годичный прирост деревьев изменялся на контрольном участке, что в определенной мере может быть связано с искусственным происхождением этого насаждения и особенностями его генотипической структуры. В течение жизни деревьев их прирост в высоту наименее значительно варьировал в зоне наибольшего загрязнения и на фоновом участке, а сильнее всего – в насаждениях, удаленных от источника выбросов на расстояние 150-250 м.

Таблица 4.29

**Результаты дисперсионного анализа динамики годичного прироста
в высоту молодняков сосны в различные периоды их жизни**

Периоды роста	Фактор дисперсии и доля его влияния				
	Расстояние от источника ($F_{кр.} = 3,26$ при $P = 0,95$)		Деревья (повторности) ($F_{кр.} = 3,49$ при $P = 0,95$)		Вклад «шумов», %
	$F_{факт.}$	Доля влияния, %	$F_{факт.}$	Доля влияния, %	
1980-1989 гг.	5,25	48,4	3,47	24,0	27,6
1990-1999 гг.	16,88	81,8	1,01	3,7	14,5
2000-2011 гг.	17,49	71,9	5,09	15,7	12,3
За весь период	18,48	69,8	6,68	18,9	11,3

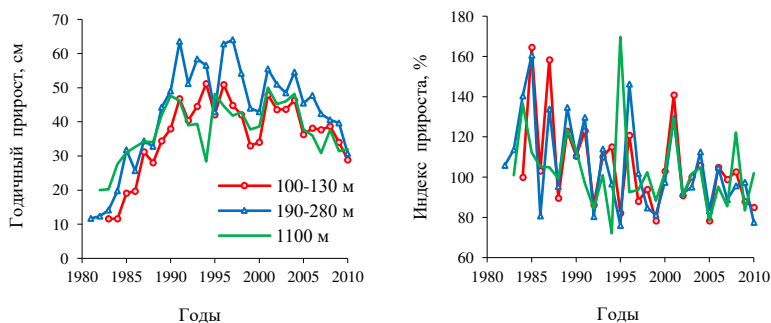


Рис. 4.35. Динамика годичного прироста деревьев сосны в высоту на разном удалении от источника загрязнения

Таблица 4.30

**Оценка сопряженности динамики годичного прироста деревьев сосны
в зоне пылевых выбросов завода силикатного кирпича**

Расстояние от источника	Значение коэффициента корреляции между рядами прироста деревьев, удаленных на разном расстоянии от источника загрязнения				
	100 м	130 м	190 м	280 м	1100 м
100 м	1,00				
130 м	0,81	1,00			
190 м	0,87	0,91	1,00		
280 м	0,83	0,87	0,91	1,00	
1100 м	0,60	0,74	0,71	0,69	1,00

**4.5. Индивидуальные особенности динамики прироста деревьев
в ценопопуляциях и возможности раннего отбора
хозяйственно ценных особей**

В процессе взаимодействия организма со средой изменяется, как известно (Драгавцев, 2012, 2019), программа работы генома, что выражается в смене нормы реакции на лимитирующие факторы в сложившейся экологической обстановке. Вся наблюдаемая изменчивость какого-либо признака в ценопопуляции растений, которая называется фенотипической, разделяется на генотипическую, т.е. наследственную, и паратипическую, вызванную внешними условиями. Эффективность искусственного отбора особей с целью создания перспективных сортов во многом зависит от степени выраженности генотипической изменчивости хозяйственно ценных признаков в ценопопуляциях, которые, как отмечалось в разделе 1.3, в этом отношении, как правило, очень неоднородны.

Выделение генотипической изменчивости у любого биологического вида возможно только на основе анализа поведения большой группы особей, связанных между собой узами взаимного существования, обитающих на ограниченной территории в условиях постоянно изменяющихся условий среды. Сложность этой задачи состоит в том, что степень адаптации любого генотипа в ценопопуляциях растений не является величиной постоянной, а зависит от возраста особи, взаимоотношения её с соседями, пестроты почвенного покрова и скорости изменения абиотических факторов среды (Драгавцев, 2019; Смиряев, Кильчевский, 2007; Смиряев, 2016). Основной проблемой популяционной биологии является вскрытие механизма, позволяющего различным генотипам оптимизировать стратегию реакций на колебания параметров состояния среды обитания (Драгавцев, Нечипоренко, 1972; Драгавцев, Утелишева, 1975; Демаков, Нуреева, 2019). При проведении таких исследований

лучше всего использовать величину годичного прироста хвойных деревьев (Драгавцев и др., 1976; Котов, 1981; Яковлева, 1981; Драгавцев, 2019), поскольку этот показатель прост в оценке и в полной мере характеризует степень приспособленности фенотипа к условиям среды. Для идентификации деревьев, различающихся по генетико-физиологическим системам (ГФС) их адаптивности к факторам среды, необходимо сопоставить значения годичного прироста в разные по погодным условиям годы (Драгавцев, 2019). При засухе прирост определяется ГФС засухоустойчивости, а при недостатке летнего тепла – ГФС «холодостойкости». Эти «блуждания» систем адаптивности от года к году, как считает В.А. Драгавцев (2019), являются, скорее всего, наследственно закрепленными и определяются ГФС организма, включающимися в работу в зависимости от смены лимитирующего фактора среды.

Проведенный выше анализ исходного материала показал, что величина годичного прироста в высоту у деревьев сосны в ценопопуляциях варьирует в очень больших пределах, что свидетельствует о высокой их чувствительности к флуктуациям условий среды и больших адаптационных возможностях. Среднеквадратическое (стандартное) отклонение годичного прироста деревьев изменяется в ценопопуляциях от 7,0 до 22,7 см, а коэффициент вариации – от 30 до 46 %. Погодичные изменения величины среднего по ценопопуляции прироста деревьев в высоту в пределах одного ТЛУ происходят в основном довольно синхронно. Характер же роста деревьев в пределах каждой ценопопуляции различен, о чём убедительно свидетельствует изменение значений коэффициента вариации их прироста в разные по погодным условиям годы. Установлено, что величина этого показателя изменяется в разных ТЛУ практически одинаково и в определенной мере зависит от средней величины прироста деревьев в пределах каждого календарного года, в целом убывая по мере её увеличения (рис. 4.36). Дифференциация фенотипов по приросту наиболее резко проявляется спустя 1–2 года после неблагоприятных по погодным условиям лет, когда его величина существенно снижается по сравнению со средним уровнем. Это отмечалось, к примеру, после погодных аномалий 1972, 1978 и 1980 годов, когда величина коэффициента вариации прироста деревьев в ценопопуляциях резко возрастала, что указывает на сходство реакции всех фенотипов к изменениям метеорологических параметров. Влияние на величину прироста деревьев в ценопопуляциях так называемых «шумов», обусловленных особенностями реакции генотипов на изменения среды обитания, изменяется от 13,5 до 68,7 % в зависимости от густоты и условий произрастания древостоев (табл. 4.31). Именно эта составляющая общей диспер-

сии величины прироста представляет для исследователя особый интерес, указывая на генотипические различия особей внутри ценопопуляций и возможности их использования в селекционной работе.

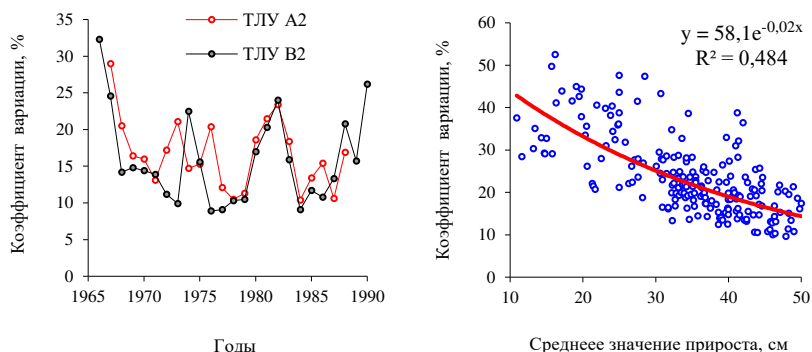


Рис. 4.36. Динамика коэффициента вариации годичного прироста деревьев в культурах сосны в высоту и его зависимость от средней величины в одни и те же годы

Таблица 4.31

Изменчивость факторов дисперсии годичного прироста деревьев в разных экотопах

Фактор дисперсии	Показатели вклада фактора в общую дисперсию, % (N = 25)				
	M_x	min	max	Размах	S_x
Особенности особей	7,9	0,8	24,6	23,8	5,6
Временная компонента	64,0	18,5	82,2	63,7	17,9
Прочие факторы (шумы)	28,1	13,5	68,7	55,2	15,0

По изменению величины коэффициента вариации прироста деревьев в различные по погодным условиям годы можно судить только лишь о степени проявления генотипического полиморфизма особей в ценопопуляциях, но нельзя оценить его вклад в фенотипическую изменчивость, а тем более выделить хозяйственно ценные генотипы. Для этого нужны иные методы и подходы. Так, в частности, для оценки степени гетерогенности ценопопуляций можно использовать корреляционный анализ рядов прироста входящих в них фенотипов. Чем меньше сходство в характере роста деревьев в выборке, оцененное по значениям коэффициента корреляции для каждой из присутствующих в ней пар деревьев (r_w), тем сложнее устроена ценопопуляция и тем сильнее проявляется в ней эффект взаимодействия «генотип – среда» (Драгавцев, 2005, 2019; Демаков, Нурсева, 2019). Характер изменения параметра r_w в природных и искусственно созданных ценопопуляциях и его инфор-

мативное значение, отражающее устойчивость их функционирования при постоянных флуктуациях параметров климата, изучены пока довольно слабо (Смирязев, 2016), что указывает на необходимость расширения фронта исследований.

Расчеты показали, что значения коэффициента корреляции между рядами значений прироста деревьев в ценопопуляциях изменяются от -0,49 до +0,97 и являются непрерывным рядом чисел (табл. 4.32), характер распределения которых в каждой из них сугубо специфичен (рис. 4.37). Величина r_w в каждой ценопопуляции является величиной положительной и изменяется от 0,19 до 0,84. При значении $r_w < 0,4$ ценопопуляцию следует считать очень гетерогенной в этом отношении, при 0,41-0,6 – среднегетерогенной, а при $r_w > 0,81$ – практически однородной, в которой присутствуют особи, одинаково реагирующие на внешние факторы.

Таблица 4.32

Изменчивость значений коэффициента корреляции между рядами годовичного прироста деревьев в ценопопуляциях сосны Республики Марий Эл

Ценопопуляция	N _{дер.}	N _г	Статистика значений коэффициента корреляции						
			Среднее	min	max	Размах	S	A	E
1	20	190	0,75	0,35	0,95	0,60	0,11	-0,776	1,068
2	18	153	0,84	0,52	0,97	0,45	0,08	-0,903	1,167
3	28	378	0,67	0,15	0,92	0,77	0,15	-0,865	0,542
4	22	231	0,69	0,34	0,91	0,58	0,12	-0,788	0,235
5	23	253	0,66	0,07	0,92	0,85	0,15	-1,159	2,151
6	36	630	0,19	-0,49	0,77	1,25	0,24	-0,030	-0,588
7	33	528	0,24	-0,32	0,77	1,09	0,21	0,028	-0,434
8	12	66	0,56	0,02	0,91	0,89	0,20	-0,684	0,336
9	15	105	0,27	-0,30	0,61	0,91	0,21	-0,445	-0,129

Примечание: N_{дер.} – количество измеренных деревьев, шт.; N_г – количество значений коэффициентов корреляции, шт.; S – среднееквадратическое значение коэффициента корреляции в выборке; A – коэффициент асимметрии выборки значений коэффициентов корреляции; E – коэффициент эксцесса выборки значений коэффициентов корреляции. Ценопопуляции: 1 – 15-летние культуры исходной густотой 0,5-1 тыс. экз./га; 2 – 15-летние культуры исходной густотой 3-5 тыс. экз./га; 3 – 20-летние культуры исходной густотой 15,6 тыс. экз./га в кв. 33 Старожильского лесничества; 4 – 23-летние культуры исходной густотой 10,7 тыс. экз./га в кв. 21 Старожильского лесничества; 5 – 21-летние культуры исходной густотой 20,5 тыс. экз./га в кв. 95 Визимьярского лесничества; 6 – 42-летние культуры исходной густотой 16,6 тыс. экз./га в кв. 95 УОЛ ПГТУ; 7 – 42-летние культуры исходной густотой 31,3 тыс. экз./га в кв. 95 УОЛ ПГТУ; 8 – 18-летние культуры исходной густотой более 200 тыс. экз./га в кв. 70 Старожильского лесничества, возникшие в заброшенном питомнике; 9 – 60-летний древостой естественного происхождения на олиготрофном болоте в кв. 34 Старожильского лесничества

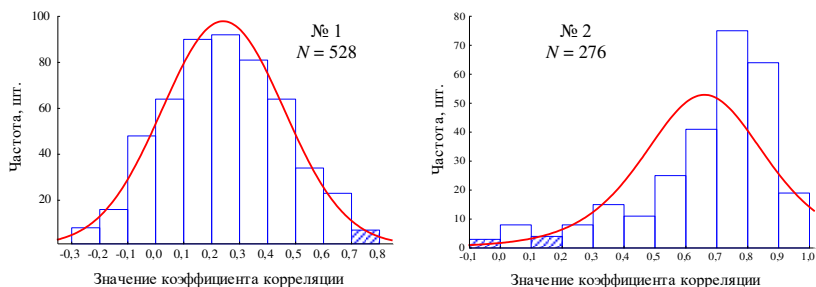


Рис. 4.37. Характер распределения значений коэффициентов корреляции между рядами прироста деревьев на разных участках лесных культур: № 1 – кв. 95 Чернушкинского лесничества Учебно-опытного лесхоза ПГТУ, ТЛУ А₁, исходная густота 31,3 тыс. экз./га, возраст 42 года; № 2 – кв. 21 Старожильского лесничества Пригородного лесхоза, ТЛУ А₂, исходная густота 12,5 тыс. экз./га, возраст 15 лет

Информацию о степени гетерогенности ценопопуляции несут также показатели асимметрии и эксцесса совокупности значений коэффициентов корреляции между рядами прироста деревьев. Расчеты показали, что величина асимметрии изменяется в выборке от -1,159 до +0,028, а эксцесса – от -0,588 до +2,151. Величина коэффициента асимметрии рядов коэффициентов корреляции обратно пропорциональна степени однородности ценопопуляций по характеру роста слагающих их особей ($r = -0,88$), а величина коэффициента эксцесса прямо пропорциональна ей ($r = 0,77$).

Дополнительную информацию при оценке степени гетерогенности ценопопуляций по характеру роста слагающих их особей можно получить, используя анализ изменения значений коэффициентов корреляции рядов прироста деревьев в разные годы. Чем меньше сходство в характере роста одних и тех же деревьев в разные по погодным условиям годы, тем сильнее проявляется в ценопопуляции эффект взаимодействия «генотип – среда» и тем сложнее, следовательно, она устроена. Расчеты показали, что значения коэффициента корреляции между величинами прироста деревьев в разные годы изменяются в пределах всей исследованной выборки ценопопуляций от -0,95 до +0,99, представляя собой, как и значения коэффициента корреляции между рядами прироста деревьев в ценопопуляциях, непрерывный ряд чисел, характер распределения которых в каждой из них индивидуален (рис. 4.38). Среднее значение коэффициента корреляции, оцененное по совокупности данных для каждой из присутствующих в матрице пар строк (r_z), является в каждой

ценопопуляции также величиной положительной и изменяется от 0,01 до 0,49. Величины r_z и r_w абсолютно не связаны между собой, отражают качественно разную информацию о фенотипическом и генотипическом разнообразии в ценопопуляциях, в каждой из которых характер динамики значений коэффициента корреляции между приростами деревьев в смежные годы сугубо специфичен (рис. 4.39 и 4.40).

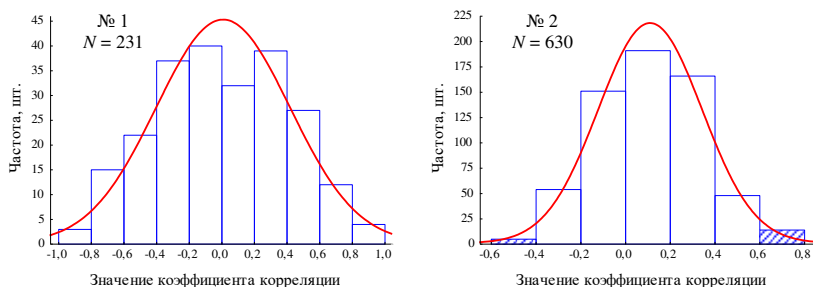


Рис. 4.38. Характер распределения значений коэффициентов корреляции между приростами деревьев в ценопопуляциях в разные по погодным условиям годы: № 1 – кв. 77 Визимьярского лесничества, ТЛУ А₂, исходная густота 22,3 тыс. экз./га, возраст 23 года; № 2 – кв. 95 Чернушкинского лесничества Учебно-опытного лесхоза ПГТУ, ТЛУ А₁, исходная густота 31,3 тыс. экз./га, возраст 42 года

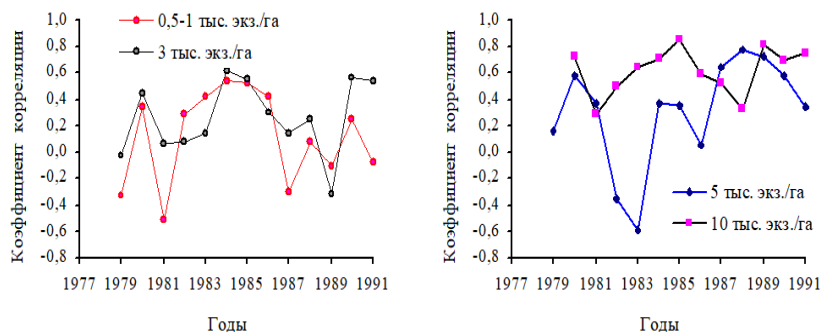


Рис. 4.39. Динамика значений коэффициента корреляции между приростами деревьев в смежные годы в культурах сосны разной густоты, созданных в Силикатном лесничестве Республики Марий Эл

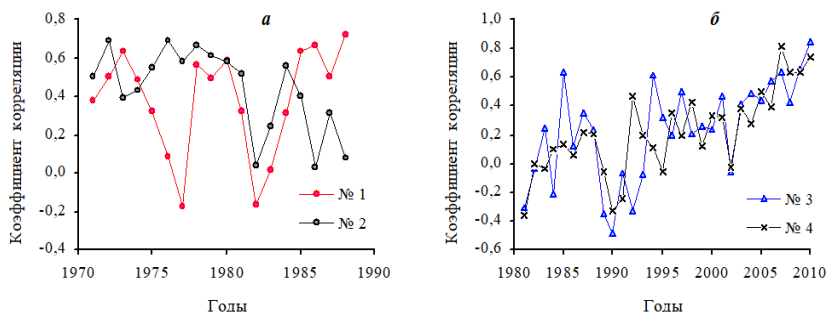


Рис. 4.40. Динамика значений коэффициента корреляции между приростами деревьев в смежные годы на участках культур сосны, расположенных в разных лесничествах Республики Марий Эл: *а* – Старожильское, *б* – Чернушкинское, № 1 – сплошная обработка почвы, № 2 – бороздная обработка почвы, № 3 – густота 16,7 тыс. экз./га, № 4 – густота 31,3 тыс. экз./га

Полученные данные свидетельствуют, казалось бы, о генотипической неоднородности ценопопуляций сосны и возможностях селекционного отбора деревьев в них как по энергии роста, так и по особенностям реакции на колебания климата, в том числе и на засухи. Для уточнения этого положения и обоснованного выбора признаков по выделению хозяйственно ценных генотипов необходимо детально проанализировать особенности роста деревьев на достаточно длинном отрезке времени, в течение которого могли бы встречаться годы с резко различающимися погодными условиями. При этом необходимо также учитывать, что с увеличением возраста деревьев возникают определенные технические сложности измерения у них годичного прироста по высоте и резко возрастают трудозатраты. Выполнить одновременно эти требования при проведении исследований, удачно совместив их, довольно сложно, однако природа сделала нам щедрый подарок, которым мы и воспользовались. Такие условия сложились в 1988 году, когда нам удалось собрать весьма обширный материал в густых культурах сосны, созданных в очагах восточного майского хруща по сплошной обработке почвы в лишайниковом и лишайниково-мшистом типах леса, где условия для роста деревьев являются очень жесткими, что способствует их лучшей дифференциации. В качестве важнейших признаков для выделения хозяйственно ценных генотипов мы использовали среднюю величину годичного прироста деревьев, характеризующую успешность их развития в ценопопуляциях, средние величины прироста за первые и последние пять лет, прирост после экстремальных по погодным условиям годов

(1973 и 1981), а также отношение приростов между смежными годами (1973/1972 и 1981/1980). Значения всех признаков нормировали по отношению к средним величинам в каждой ценопопуляции, что позволило в определенной мере устранить влияние условий произрастания деревьев. Расчеты показали, что величина каждого из этих признаков имеет весьма значительную изменчивость (табл. 4.33). Особенно сильно варьируют у деревьев значения прироста 1973 года, а также отношение их к величине прироста 1972 года, когда в летний период отмечалась аномально жаркая и сухая погода. Меньше же всего изменяется у них величина среднего годовичного прироста.

Таблица 4.33

**Изменчивость фенотипических признаков годовичного прироста
у деревьев в сухих и свежих борах Республики Марий Эл**

Фенотипический признак	Статистика значений признака, % (N = 91)				
	M_x	min	max	Размах	S_x
Средний годовичный прирост	100	80,2	124,2	44,0	8,0
Прирост за первые пять лет	100	64,4	136,0	71,7	11,8
Прирост за последние пять лет	100	67,8	137,2	69,5	13,1
Прирост в 1973 году	100	39,1	185,6	146,5	25,0
Отношение прироста 1973/1972 гг.	72	38,2	134,3	96,1	20,0
Прирост в 1978 году	100	76,2	130,6	54,5	11,1
Прирост в 1979 году	100	60,7	160,6	99,9	14,5
Отношение прироста 1979/1978 гг.	64	37,8	126,9	89,1	11,5

Интересно отметить, что прирост деревьев в 1979 году в ответ на погодные аномалии 1978 года, выразившиеся в экстремальных морозах зимой, недостатке тепла и избытке осадков летом, снизился в целом значительно, чем после засухи 1972 года. Далеко не все деревья при этом снижали прирост после неблагоприятных по погодным условиям лет. У некоторых из них он даже увеличился, составив 127–137 % по отношению к предыдущему году (рис. 4.41). Доля таких деревьев в ценопопуляциях была, однако, небольшой, не превышающей 5–7 %. Различие реакции деревьев на эти аномалии свидетельствует о гетерогенности ценопопуляций по этому признаку, но не доказывает еще его генетической обусловленности. Эти различия могут быть обусловлены, в частности, пространственной неоднородностью условий среды в экотопе и взаимоотношениями между особями в ценозе. Так, к примеру, величина прироста деревьев после этих погодных аномалий в сухих борах снизилась в среднем сильнее, чем свежих: после засухи 1972 года она

уменьшилась в первых из них в 1,69 раза, а во вторых – всего в 1,14 раза по сравнению с предшествующим годом ($p < 0,01$). То же самое произошло в 1979 году: средний прирост деревьев в сухих борах снизился в 1,93 раза, а в свежих борах – в 1,47 раза ($p < 0,01$). Характер распределения числа деревьев по величине отношения их прироста в смежные годы был в каждом из них неодинаков, что свидетельствует о специфичности реакции особей на различные погодные аномалии: в 1973 году он приближался к закону Гаусса, а в 1979 году – имел очень большой эксцесс. Прирост деревьев в годы, следовавшие за погодными аномалиями, изменялся прямо пропорционально его величине в предшествующем году (рис. 4.42), однако в остальные годы теснота и даже знак корреляционной связи очень сильно варьировали (рис. 4.43).

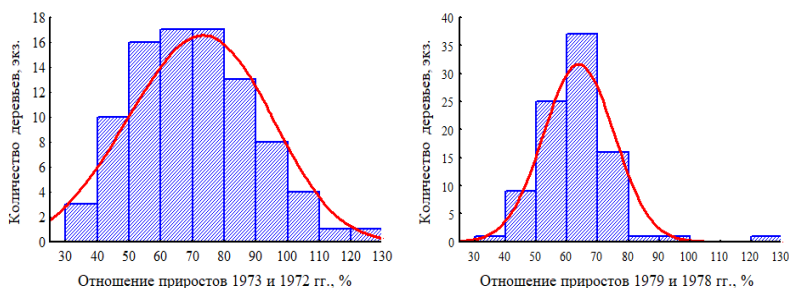


Рис. 4.41. Характер распределения количества деревьев в ценопопуляциях по величине отношения их прироста в смежные с погодными аномалиями годы

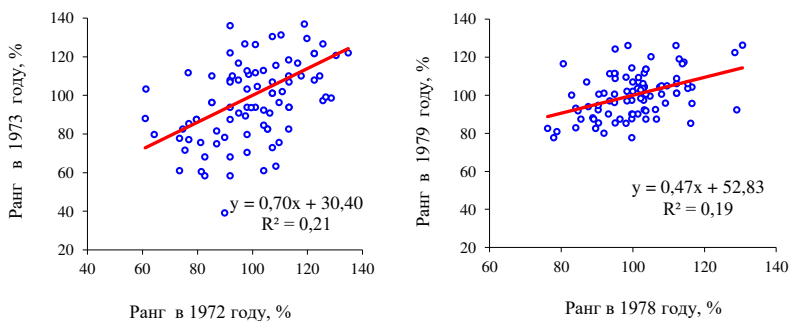


Рис. 4.42. Характер связи годовичных приростов деревьев в высоту в смежные с погодными аномалиями годы

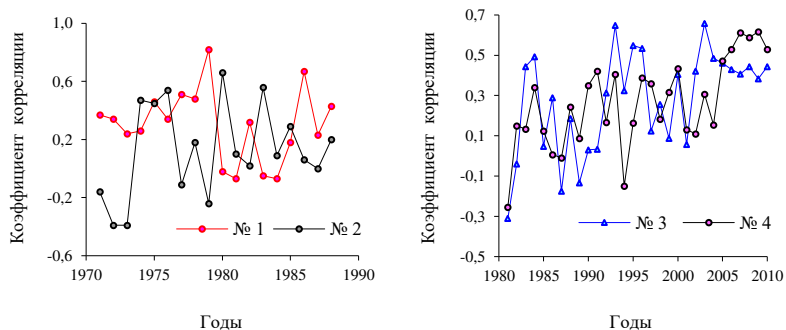


Рис. 4.43. Динамика значений коэффициента корреляции между рангом деревьев в культурах по приросту текущего года и их рангом по высоте в предшествующем году: № 1 – сухой бор; № 2 – свежий бор; № 3 – густота 16,7 тыс. экз./га; № 4 – густота 31,3 тыс. экз./га в условиях свежего бора

Расчеты показали, что большинство фенотипических признаков деревьев довольно слабо коррелирует между собой (табл. 4.34), что указывает на их информативное различие. Тесная положительная связь ($r = 0,73$) имеется только между величинами их прироста за последние пять лет и среднего годовичного прироста, у которого проявляется связь средней тесноты с приростами в 1973 и 1979 годах, а также с приростом за первые пять лет. Такая же теснота связи обнаружена между отношением приростов в смежных с погодными аномалиями годах (1973/1972 и 1979/1978) и их приростом в предшествующем году.

Таблица 4.34

Матрица коэффициентов корреляции между фенотипическими признаками деревьев

Фенотипический признак	Значения корреляции между признаками						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
1. Средний годичный прирост	1,00						
2. Прирост за первые пять лет	0,57	1,00					
3. Прирост за последние пять лет	0,73	0,17	1,00				
4. Прирост в 1973 году	0,51	0,50	0,25	1,00			
5. Отношение приростов 1973/1972 гг.	0,18	-0,01	0,14	0,61	1,00		
6. Прирост в 1978 году	0,51	0,20	0,22	0,10	-0,02	1,00	
7. Прирост в 1979 году	0,54	0,28	0,20	0,45	0,26	0,35	1,00
8. Отношение приростов 1979/1978 гг.	0,13	0,10	0,04	0,32	0,42	-0,34	0,64

Информативность фенотипических признаков можно более четко установить при разделении всей совокупности деревьев на три качественно различные группы (худшие, средние, лучшие) по какому-либо одному из них. Так, при кластеризации деревьев по величине их средне-

го прироста за первые пять лет различия наиболее резко выражены, как показали расчеты, по величине прироста в 1973 году: минимальные их значения отмечаются у худших особей, а максимальные – у лучших (табл. 4.35). По отношениям приростов в смежные с погодными аномалиями годы (1973 и 1972, 1979 и 1978) различия между этими группами деревьев статистически недостоверны. По значениям остальных признаков различия между группами деревьев достоверны, но выражены в целом слабо. При разделении же деревьев по их приросту в 1973 году различия между их группами наиболее резко выражены по величине прироста в 1979 году (табл. 4.36), последовавшего за аномально прохладным и дождливым 1978 годом. По остальным показателям различия выражены слабее, хотя являются статистически достоверными.

Таблица 4.35

Фенотипические признаки деревьев разных групп, выделенных по относительной величине их среднего годовичного прироста в высоту за первые пять лет

Фенотипический признак	Среднее значение признака у разных деревьев, %		
	Худшие (N = 13)	Средние (N = 67)	Лучшие (N = 11)
Средний годовичный прирост	91,7 ± 2,2	100,4 ± 0,8	107,6 ± 1,9
Прирост за первые пять лет	81,6 ± 2,0	100,2 ± 0,8	120,3 ± 2,0
Прирост за последние пять лет	94,3 ± 4,2	101,0 ± 1,5	100,4 ± 4,2
Прирост в 1973 году	81,3 ± 5,8	99,5 ± 2,6	125,3 ± 9,7
Отношение Δh 1973/1972 гг.	76,0 ± 7,5	70,0 ± 2,3	77,6 ± 7,4
Прирост в 1978 году	96,6 ± 2,7	100,0 ± 1,4	104,0 ± 2,1
Прирост в 1979 году	91,1 ± 3,8	105,0 ± 1,8	107,7 ± 2,6
Отношение Δh 1979/1978 гг.	60,6 ± 2,6	63,9 ± 1,6	65,5 ± 3,0

Таблица 4.36

Фенотипические признаки деревьев разных групп по их приросту в 1973 году

Фенотипический признак	Среднее значение признака у разных деревьев, %		
	Худшие (N = 13)	Средние (N = 65)	Лучшие (N = 13)
Средний годовичный прирост	93,9 ± 2,6	99,8 ± 0,8	107,2 ± 2,4
Прирост за первые пять лет	92,4 ± 2,5	99,7 ± 1,3	109,0 ± 4,1
Прирост за последние пять лет	96,8 ± 5,1	99,5 ± 1,4	105,7 ± 4,0
Прирост в 1973 году	63,7 ± 2,6	99,0 ± 1,7	141,5 ± 4,9
Отношение Δh 1973/1972 гг.	51,9 ± 4,0	70,9 ± 2,0	96,1 ± 5,5
Прирост в 1978 году	98,3 ± 3,1	99,8 ± 1,3	102,6 ± 3,6
Прирост в 1979 году	88,8 ± 3,5	99,5 ± 1,5	113,5 ± 4,9
Отношение Δh 1979/1978 гг.	58,2 ± 2,1	63,0 ± 1,1	72,4 ± 5,4

Весьма важным фенотипическим признаком деревьев является среднеквадратическое отклонение относительной величины текущего приращения прироста, которое можно назвать коэффициентом стабильности роста (Битвинкас, 1974). Значение этого показателя вычисляется по формулам

$$K_{CP} = [\sum (Z_i - Z_{cp})^2 / (n-1)]^{0,5};$$

$$Z_i = 100 \times (X_i - X_{i-1}) / X_{i-1},$$

где K_{CP} – коэффициент стабильности роста дерева в течение исследуемого промежутка времени, %; Z_i – текущее приращение прироста, %; Z_{cp} – среднее арифметическое приращение прироста, %; n – объем выборки (количество измерений); X_i – прирост дерева в текущем году, см; X_{i-1} – прирост дерева в предыдущем году, см.

Коэффициент стабильности роста, как показали расчеты, изменяется в пределах всей исследованной совокупности деревьев от 18 до 64 %: чем ниже его значение, тем стабильнее (устойчивее) рост конкретного дерева и тем слабее оно реагирует на изменения условий среды. Данный фенотипический признак деревьев связан только с годичным приростом за первые пять лет и приростом в 1973 году (табл. 4.37). Различия между разными группами деревьев по остальным же признакам, особенно среднему годичному приросту, выражены крайне слабо, что свидетельствует об их информативной независимости.

Таблица 4.37

Фенотипические признаки деревьев разных групп по индексу устойчивости их роста

Фенотипический признак	Среднее значение признака у разных деревьев, %		
	Худшие (N = 12)	Средние (N = 35)	Лучшие (N = 44)
Коэффициент стабильности роста	54,8 ± 1,8	38,2 ± 0,6	26,7 ± 0,6
Средний годичный прирост	98,0 ± 2,1	98,1 ± 1,4	102,1 ± 1,2
Прирост за первые пять лет	92,4 ± 2,4	99,1 ± 2,0	105,8 ± 1,8
Прирост за последние пять лет	97,2 ± 4,3	98,4 ± 2,3	102,0 ± 1,8
Прирост в 1973 году	81,9 ± 6,8	96,0 ± 4,3	108,1 ± 3,3
Отношение Δh 1973/1972 гг.	60,4 ± 7,0	63,6 ± 2,5	81,5 ± 2,7
Прирост в 1978 году	100,4 ± 2,9	98,3 ± 2,1	101,2 ± 1,5
Прирост в 1979 году	105,2 ± 6,2	95,2 ± 2,3	102,4 ± 1,8
Отношение Δh 1979/1978 гг.	62,5 ± 6,1	61,1 ± 1,9	66,0 ± 1,0

Динамика среднего прироста у выделенных групп деревьев, выраженная в относительных показателях по каждому году, имеет свои особенности (рис. 4.44). Так, в группе средних деревьев его величина практически стабильна во времени, находясь на уровне, близком к 100 %. У лучших и худших деревьев прирост варьировал в очень больших преде-

лах (у первых – от 96,6 до 125,3 %, у вторых – от 81,3 до 99,5 % относительно среднего значения в календарный год). До 1975 года, когда культуры имели возраст 7–9 лет, у лучших деревьев его величина была самой высокой. В 1976–1978 годах прирост у деревьев всех групп был практически одинаков, что явилось последствием засухи 1972 года. Небольшие различия в приросте отмечались также в 1983–1987 годах вслед за предшествующими погодными аномалиями.

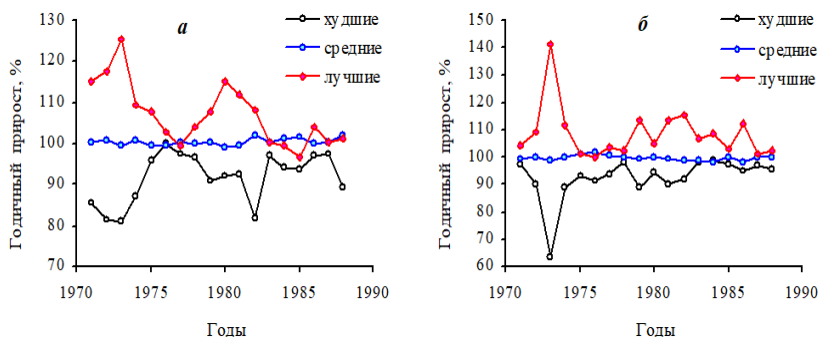


Рис. 4.44. Динамика относительного годичного прироста деревьев разных кластеров, выделенных по его величине за первые пять лет (*а*) и в 1973 году (*б*)

Приведенные данные показывают, что изменение прироста у лучших и худших деревьев происходило диаметрально противоположным образом, что свидетельствует об их взаимной обусловленности: увеличение прироста у лучших деревьев, сопровождалось снижением его у худших. Подобное явление было отмечено Н.М. Горшениным (1956), который связывал его с процессом отпада отставших в росте деревьев, зависящим как от напряженности конкурентных отношений в ценозах, так и от колебаний метеорологических условий. Каждая депрессия роста деревьев, происходящая после погодных аномалий, приводит к скачкообразному увеличению их отпада, освобождению части жизненного пространства, увеличению прироста наиболее развитых особей и его дальнейшему снижению у ослабленных. Напряженность конкурентной борьбы особей за жизненное пространство в лесу наиболее резко проявляется, как установлено исследователями (Русяцкас, 1985), в благоприятные для их роста периоды.

Прирост деревьев у разных групп их жизнеспособности в культурах сосны исходной густотой 12–15 тыс. экз./га, созданных в сухих и свежих борах Республики Марий Эл, обусловлен, таким образом, в основ-

ном их ценотическими отношениями, что математически подтверждают следующие уравнения регрессии:

$$Y = 193,3 - 0,95 \times X; R^2 = 0,535;$$

$$Y = 700,0 - 0,85 \times X - 5,15 \times Z; R^2 = 0,999,$$

где Y – ранг худших по приросту деревьев в i -м году, выделенных по их высоте в возрасте пяти лет, %; X – ранг лучших по приросту деревьев, %; Z – ранг средних по приросту деревьев, %.

Ранговое положение деревьев в ценозе по их высоте, как показали расчеты, не остается постоянным в течение их жизни, что существенно затрудняет ранний отбор перспективных особей при рубках ухода и в селекционных целях. Так, за 20 лет из группы исходно худших деревьев в средние перешло 54 % их числа, а из группы средних в худшие – 11 % (табл. 4.38). Из числа лучших деревьев в средние перешло 38 % особей, а в худшие – 8 %.

Таблица 4.38

Переход деревьев из одной группы деревьев в другую по их ранговому положению

Группа и количество деревьев в первые пять лет	Количество деревьев разных рангов в возрасте 20 лет, экз. (%)		
	Худшие	Средние	Лучшие
Худшие (N = 13)	6 (46 %)	7 (54 %)	0 (0,0 %)
Средние (N = 65)	7 (11 %)	50 (77 %)	8 (12 %)
Лучшие (N = 13)	1 (8 %)	5 (38 %)	7 (61 %)

Затруднено уверенно проводить отбор особей и по комплексу их фенотипических признаков, о чём свидетельствует невысокое значение коэффициента детерминации множественного уравнения регрессии, описывающего их влияние на ранг дерева:

$$Y = 0,225 \times X_1 + 0,063 \times X_2 + 0,242 \times X_3 + 0,131 \times X_4 + 33,92; R^2 = 0,590,$$

где Y – ранг дерева по его высоте в возрасте 20 лет, %; X_1 – ранг дерева по приросту в первые пять лет, %; X_2 – ранг по приросту в 1973 году, %; X_3 – ранг по приросту в 1978 году, %; X_4 – ранг в 1979 году, %.

Исследования показали, таким образом, что отбор особей в ценопопуляциях сосны по признакам их устойчивости к воздействию различных параметров среды довольно затруднен и доказать наследственно предопределенную зависимость реакции деревьев на колебания их значений можно только путем создания испытательных культур. Окончательный результат можно будет получить при этом только спустя несколько десятилетий (Раевский, Щурова, 2016; Рогозин, 2016), что ставит под сомнение саму целесообразность проведения работ в области селекции древесных растений. Дополнительным доводом в пользу этого

высказывания является «золотое правило» популяционной генетики, гласящее, что выигрыш, достигнутый за счет одного признака, ведет к потерям за счет другого. В постоянно меняющихся условиях среды ни один генотип не может превосходить другие по приспособленности ко всем возможным ситуациям и засухоустойчивые особи не будут в целом иметь преимуществ перед остальными за период выращивания насаждений, составляющий, как известно, не менее 80-100 лет. Генетическая неоднородность ценопопуляций является необходимым условием их устойчивого существования и развития (Синская, 1948). Гетерогенность ценопопуляций способствует лучшей и быстрой дифференциации деревьев по их размерам, а также повышению эффективности использования индивидуумами энергетических и материальных ресурсов среды, которые всегда ограничены, за счет нивелирования прироста биомассы в экосистеме. Задача лесоводов, исходя из этого, заключается в сохранении природного уровня генетического разнообразия популяций древесных растений, что позволит повысить их устойчивость к изменениям условий среды, в том числе к колебаниям параметров климата, и свести до минимума вероятность массового размножения вредных насекомых и фитопатогенов.

Результаты исследований по данной главе позволяют сделать следующие **выводы**.

1. Рост деревьев – сложный самоуправляемый процесс реализации потенциальных возможностей генотипа в сложившейся конкретной обстановке.

2. Рост деревьев – не только физиологический, но и информационный процесс, в ходе которого организм осуществляет свою жизнедеятельность исключительно на основе сигналов внешней среды.

3. Кинетические характеристики роста деревьев являются важнейшими показателями состояния их жизнеспособности, таксономического положения, конкурентоспособности и степени соответствия экологических условий индивидуальным потребностям организма.

4. Изменение с возрастом средней высоты древостоев лучше всего описывает уравнение Митчерлиха $H = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times X)]^b$, значения параметров которого, имеющие конкретный биофизический смысл, специфичны для каждого ТЛУ. Особенно сильно выделяется в этом плане ход роста сосновых древостоев, произрастающих в свежих дубравах (ТЛУ D₂). Кульминация текущего годичного прироста деревьев наступает во всех ТЛУ в возрасте от 19 до 30 лет. Сосняки в сухих борах Марий Эл по характеру своего роста в высоту приближаются в среднем к III классу бонитета, в свежих и влажных – ко II, в сырых –

к IV, а в заболоченных – к V классу бонитета, однако до 20 лет их высота ниже нормативных показателей, а с 25 лет выше их.

5. Величина годичного прироста в высоту варьирует у деревьев сосны в очень больших пределах, что свидетельствует о высокой чувствительности их к флуктуациям условий среды обитания и больших адаптационных возможностях. Средняя величина годичного прироста, характеризующая успешность существования деревьев, наиболее велика в свежих сураменах (ТЛУ С₂), однако пределы колебания значений показателя в разных ТЛУ могут в зависимости от возраста древостоев и их реакций на внешние воздействия иногда перекрываться между собой.

6. Характер роста деревьев и их ответных реакций на изменения метеорологических параметров зависит не только от типа леса, но и условий среды во время их возникновения, а также от фактора нарушения состояния биогеоценоза, что необходимо обязательно учитывать при проведении соответствующего анализа. Основным источником изменчивости величины годичного прироста деревьев является их возраст, определяющий от 76 до 96 % дисперсии показателя в пределах ценопопуляции. Величина же индексов прироста деревьев практически во всех ТЛУ слабо зависит от колебаний метеорологических показателей в предшествующем году. Чередование «толчков» различной мощности метеорологических параметров, не отличающихся особой регулярностью, формирует во взаимосвязи с внутренними свойствами экосистем сложный волнообразный квазипериодический ход древесного прироста.

7. Определенное влияние на годичный прирост деревьев сосны в высоту, а также на характер их ответных реакций на колебания условий среды, который проявляется в каждом типе лесорастительных условий в зависимости от возраста древостоев по-разному, оказывает густота древостоя. В течение первых 5-10 лет наиболее высокий годичный прирост в высоту имеют деревья в наиболее густых ценопопуляциях, где происходит быстрое смыкание крон и формирование лесной среды. По мере смыкания древесного полога густые древостои начинают постепенно уступать редким по величине годичного прироста деревьев, и с увеличением их возраста разница по высоте становится все более значительной, достигая к 60-80 годам в зависимости от их исходной густоты 2-3 класса бонитета. Увеличение густоты древостоев приводит также к более раннему наступлению в ценопопуляциях кульминации текущего годичного прироста деревьев. Густые древостои реагируют на климатические аномалии гораздо сильнее редких, но с возрастом различия постепенно сглаживаются. В богатых лесорастительных условиях и на олиготрофных болотах величина годичного прироста деревьев изменя-

ется по годам менее синхронно, чем в сухих и свежих борах, однако реакция их на аномалии погоды 1978 и 1980 годов во всех случаях была одинаковой.

8. Диагностировать раннее проявление признаков заболевания деревьев в очагах корневой губки по величине их годичного прироста в высоту невозможно, поскольку снижение его величины четко проявляется только лишь за два года до их гибели. В течение же предшествующих лет жизни деревьев она у деревьев разных категорий их конечного состояния практически одинакова и изменяется во времени очень синхронно.

9. Годичный прирост в высоту деревьев сосны, находящихся в зоне выбросов завода силикатного кирпича, изменяется в зависимости от концентрации выпавшей пыли и содержащихся в ней химических элементов. Негативное воздействие поллютантов на прирост деревьев происходит лишь при концентрации кальция в образцах ткани по отношению к фоновому уровню более чем в 100 раз, стронция – более чем в 40 раз, а кадмия и свинца – более чем 3 раза, что отмечается на расстоянии 100-130 м от источника загрязнения. Наиболее высокий прирост за последние 5 лет, как и в целом за весь период их жизни, имели деревья, находящиеся на расстоянии 190-210 м от него, где особенно четко проявляется стимулирующий эффект от выпадения пылевых выбросов, который заключается в повышении биологической активности почвы за счет снижения кальцием её кислотности, а также обогащения цинком и медью.

10. Отбор особей в ценопопуляциях сосны по признакам их устойчивости к воздействию различных параметров среды по величине годичного прироста в высоту довольно затруднен, что ставит под сомнение саму целесообразность проведения работ в области селекции древесных растений. Дополнительным доводом в пользу этого является «золотое правило» популяционной генетики, гласящее, что выигрыш, достигнутый за счет одного признака, ведет к потерям за счет другого. В постоянно меняющихся условиях среды ни один генотип не может превосходить другие по приспособленности ко всем возможным ситуациям и засухоустойчивые особи не будут в целом иметь преимуществ перед остальными за весь период выращивания насаждений. Генетическая неоднородность ценопопуляций является необходимым условием их устойчивого существования и развития, способствуя лучшей и быстрой дифференциации деревьев по их размерам, повышению эффективности использования индивидуумами энергетических и материальных ресурсов среды.

ГЛАВА 5

ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ГОДИЧНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ В ОДНОВОЗРАСТНЫХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ

Радиальный годичный прирост деревьев, как и прирост в высоту, является важнейшим параметром их состояния и адаптационных способностей к условиям среды, фиксирующим изменения всех абиотических и биоценологических факторов и надолго сохраняющим эту информацию в структуре годичных колец. Его динамику можно проследить на значительно более продолжительном периоде времени, чем динамику прироста деревьев в высоту. Изучению особенностей радиального прироста деревьев в различных природных зонах и лесорастительных условиях посвящено огромное количество публикаций, они, однако, имеют гораздо большее отношение к климатологии, чем к лесоведению, биогеоценологии и практическому лесоводству.

5.1. Динамика прироста деревьев в разных ТЛУ и типах леса

Одним из важнейших факторов, определяющих величину радиального прироста деревьев и характер её динамики, является плодородие почвы, отображаемое в определенной мере типом лесорастительных условий (ТЛУ). Анализ материалов массовой таксации насаждений Республики Марий Эл показал, что динамику среднего диаметра сосновых древостоев наилучшим образом описывает уравнение $D = a \times (X - c)^b$, значения параметров которого сугубо специфичны для каждого ТЛУ (табл. 5.1). Так, средний диаметр деревьев в возрасте 100 лет наиболее высок в свежих сураменях и дубравах, а наименьшие его значения отмечаются в заболоченных борах. Кульминация среднего годичного прироста деревьев по диаметру наступает во всех ТЛУ, особенно во влажных борах и свежих дубравах, довольно рано. Расчеты показали также, что изменение среднего диаметра деревьев в сосняках Марий Эл с увеличением их возраста происходит не по правилам, установленным в соответствующих таблицах хода роста насаждений (рис. 5.1), что указывает на неадекватность их по отношению к реальным условиям и искусственность подхода к их созданию. Эти данные убедительно свидетельствуют, таким образом, о большом влиянии лесорастительных условий на ход роста древостоев сосны по диаметру, что необходимо учитывать как в научно-исследовательской деятельности, так и на практике при таксации насаждений и планировании хозяйственных мероприятий.

Таблица 5.1

Параметры уравнений динамики среднего диаметра деревьев в сосняках Марий Эл

ТЛУ	Значения параметров уравнения $D = a \times (X - c)^b$					
	a	b	c	$A_{\text{КСП}}$	D_{100}	R^2
A ₁	1,279	0,669	7	20	26,5	0,963
A ₂	1,353	0,674	6	20	28,9	0,981
A ₃	1,415	0,673	4	13	30,5	0,982
A ₄	1,350	0,631	9	25	23,3	0,977
A ₅	1,417	0,572	12	28	18,3	0,965
B ₂	1,629	0,659	7	20	32,3	0,995
B ₃	1,693	0,649	9	25	31,6	0,994
B ₄	1,317	0,672	11	35	26,9	0,989
B ₅	1,335	0,645	13	35	23,8	0,990
C ₂	2,293	0,601	12	30	33,8	0,995
D ₂	2,902	0,546	7	15	34,5	0,911

Примечание: X – возраст древостоев, лет; a, b – безразмерные константы; c – возраст достижения деревом высоты 1,3 м, лет; $A_{\text{КСП}}$ – возраст наступления кульминации среднего годовичного прироста, лет; D_{100} – средний диаметр древостоя в возрасте 100 лет, см; R^2 – коэффициент детерминации уравнения.

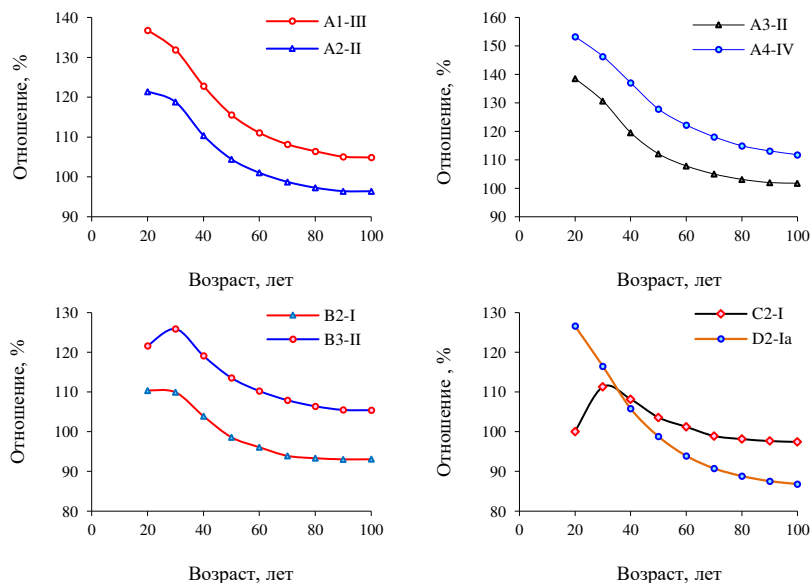


Рис. 5.1. Динамика отношения фактических значений среднего диаметра сосняков Марий Эл к среднему диаметру древостоев соответствующих классов бонитета

Материалы массовой таксации насаждений отображают не фактический ход роста деревьев, а изменение с возрастом их среднего диаметра, происходящее в результате прироста их стволов, а также отпада наиболее ослабленных особей. Поэтому уравнения, полученные на их основе, непригодны для оценки влияния на прирост деревьев вариаций погодных условий и биоценотических факторов, проявляющихся в каждом экотопе по-разному. Для этой цели лучше всего подойдут усредненные по ТЛУ эмпирические данные, показывающие закономерное снижение величины годовичного радиального прироста деревьев сосны с увеличением их возраста (табл. 5.2), которые позволяют объяснить причины отклонения фактических данных от расчетных, т.е. адекватно оценить вклад биоценотических факторов в развитие каждого конкретного насаждения.

Таблица 5.2

Параметры уравнений динамики радиального прироста деревьев сосны, усредненных по биотопам в разных ТЛУ Республики Марий Эл

ТЛУ	Значения параметров уравнения $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t) + b$						
	$N_{пп}$	$N_{дер.}$	$N_{гк}$	K	a	b	R^2
$A_1 - A_2$	53	636	29371	2,15	5,508	1,12	0,922
A_3	2	24	1963	2,13	2,874	0,89	0,900
A_5	9	200	32658	0,59	1,534	0,42	0,996
B_2	2	24	1742	2,61	5,498	1,51	0,866
C_2	11	132	5687	6,53	9,529	1,15	0,991
D_2	1	11	1132	3,75	1,861	0,41	0,802

Примечание: $N_{пп}$ – количество пробных площадей, $N_{дер.}$ – количество модельных деревьев, $N_{гк}$ – количество измеренных годовичных колец.

Наиболее высоким исходным потенциалом роста, как свидетельствуют приведенные данные, обладают деревья, произрастающие на богатых почвах в ТЛУ B_2 , C_2 и D_2 (рис. 5.2). Самый же низкий потенциал роста у деревьев сосны на верховых болотах. Скорость снижения ширины годовичного кольца деревьев с возрастом, отображаемая параметром a уравнения, наивысшая в сухих и свежих борах, а также в свежих сураменях. Наименьшее значение этого параметра функции имеют древостои в сосняках сфагновых и свежих дубравах. Расчеты показали, что даже в однотипных лесорастительных условиях древостои существенно различаются между собой по характеру динамики радиального прироста деревьев, причем наиболее значительные различия наблюдаются по значению параметра a , отображающего скорость возрастных

изменений оцениваемого показателя (табл. 5.3). В очень больших пределах изменяется также величина коэффициента детерминации аппроксимирующего уравнения, свидетельствующая о вкладе фактора «возраст деревьев» в общую дисперсию величины годичного прироста.

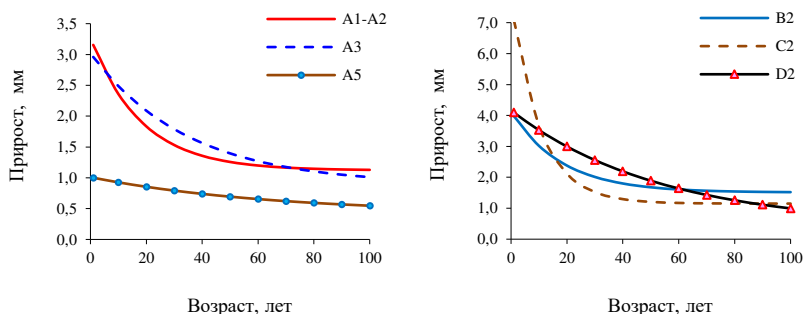


Рис. 5.2. Динамика радиального годичного прироста деревьев сосны в различных типах лесорастительных условий Республики Марий Эл

Таблица 5.3

**Параметры уравнений динамики радиального прироста деревьев
в культурах сосны, созданных в свежих борах республики**

Шифр участка	Год создания	Значения параметров уравнения $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t) + b$			
		K	a	b	R^2
1. ГПЗ, кв. 66	1901	2,33	6,605	1,14	0,493
2. ППП-31	1911	1,14	0,915	0,36	0,226
3. Ардинское л-во	1935	4,79	11,82	0,99	0,932
4. Визимьяры-1	1936	2,71	17,77	1,22	0,851
5. Визимьяры-2	1940	1,24	37,90	1,25	0,419
6. Устье Кундыша	1958	3,54	17,48	1,28	0,922
7. Старожильск-1	1962	3,23	11,64	1,77	0,685
8. Старожильск-2	1968	2,63	5,851	0,58	0,600

Причиной различий характера динамики прироста деревьев в разных экотопах являются биогеоценотические факторы, связанные с густотой древостоев, воздействием фитопатогенов и особенностями их генотипической структуры, а также различные лесохозяйственные мероприятия. Рассмотрим особенности динамики годичного прироста деревьев на каждом из объектов исследования, выразив его значения в относительных показателях, т.е. в индексах.

5.1.1. Сосняки лишайниковые и лишайниково-мшистые

Объектами исследований по динамике прироста деревьев в сосняках лишайниковых явились две постоянные пробные площади, заложенные в кв. 66 и 90 заповедника «Большая Кокшага» в древостоях естественного происхождения, возникших на гарях 1933 года. Анализ исходного материала показал, что изменение значений индексов прироста деревьев в первые 35-40 лет их жизни в этих экотопах происходило под действием биогеоценотических факторов практически во все годы диаметрально противоположным образом (рис. 5.3). Только лишь в 1951 году величина показателя в них одновременно снизилась, а в 1959 и 1962 вновь возросла. До 1975 года величина индекса прироста деревьев на пробной площади в кв. 95 находилась ниже среднего уровня, а в кв. 66 – выше его. После же засухи 1972 года изменение индексов прироста происходило почти синхронно, и до 2009 года их значения в обоих экотопах были выше среднего уровня для данного ТЛУ.

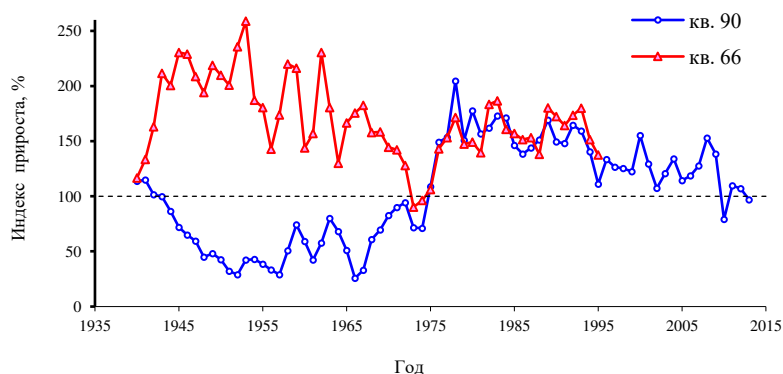


Рис. 5.3. Динамика индексов радиального прироста деревьев в сосняках лишайниковых

В динамике значений показателя в обоих экотопах, как показали расчеты, довольно четко выявляются волновые компоненты, описываемые гармоническими уравнениями:

- в кв. 90 $Y = 55,8 \times \sin(2 \times \pi \times t / 70 - 1,208) + 103,6$; $R^2 = 0,806$;

- в кв. 66 $Y = 27,9 \times \sin(2 \times \pi \times t / 61 + 2,077) + 176,2$; $R^2 = 0,462$,

в которых Y – величина индекса радиального годовичного прироста деревьев, %; t – календарный год.

В сосняках лишайниково-мшистых изменение величины индексов прироста деревьев происходило практически синхронно, особенно на

отрезке времени с 1945 по 1985 годы (рис. 5.4). Синхронность динамики серьезно нарушалась лишь в 1963 и 1988-1992 годах. Величина индекса прироста деревьев на двух пробных площадях находилась ниже среднего уровня для данного ТЛУ, что связано с очень высокой густотой постпирогенных древостоев. В одном из исследованных экотопов, расположенном в кв. 90 ГПЗ «Большая Кокшага», величина данного параметра была выше среднего уровня лишь на отрезке с 1980 по 2001 год.

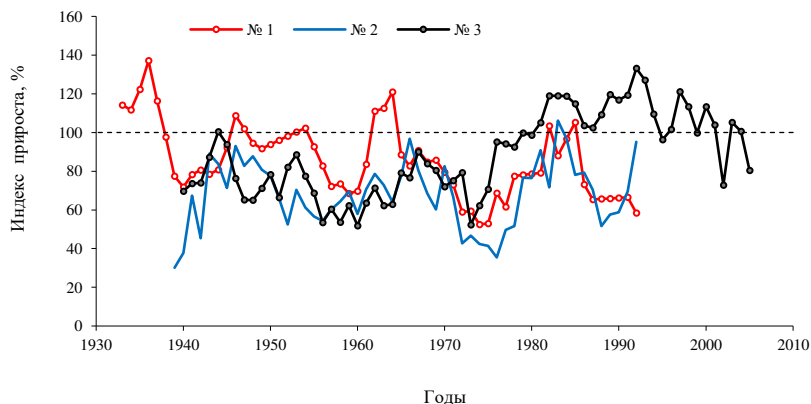


Рис. 5.4. Динамика индексов прироста деревьев в сосняках лишайниково-мшистых: № 1 – Кокшайское л-во, № 2 – Ардинское л-во, № 3 – ГПЗ «Большая Кокшага»

В динамике индексов прироста деревьев в каждом экотопе четко выделяется наличие волн разной периодичности и амплитуды, которые можно описать следующим набором гармоник:

- в экотопе № 1 $Y = 14,6 \times \sin(2 \times \pi \times t / 16 + 2,353) + 75,0$; $R^2 = 0,557$;
- в экотопе № 2 $Y = 16,7 \times \sin(2 \times \pi \times t / 18 + 0,426) + 66,7$; $R^2 = 0,488$;
- в экотопе № 3 $Y = 35,5 \times \sin(2 \times \pi \times t / 66 + 0,601) + 92,5$; $R^2 = 0,869$.

Анализ полученных данных показал, что развитие насаждений в каждом экотопе, исходя из специфики генотипической структуры древостоев и экологических факторов, происходило абсолютно по-разному (рис. 5.5), что является одним из необходимых условий устойчивости лесных экосистем (Демаков, 2000), хотя в отдельные годы их реакция на погодные аномалии была в целом одинаковой. Это хорошо выделяется на графиках, иллюстрирующих обобщенную динамику индексов прироста деревьев в данном типе леса (рис. 5.6). Гребни волн, как свидетельствуют приведенные данные, отмечались в 1946, 1950, 1953, 1962, 1967, 1970 и 1983 годах, а впадины – в 1956-1960 и 1973-1975.

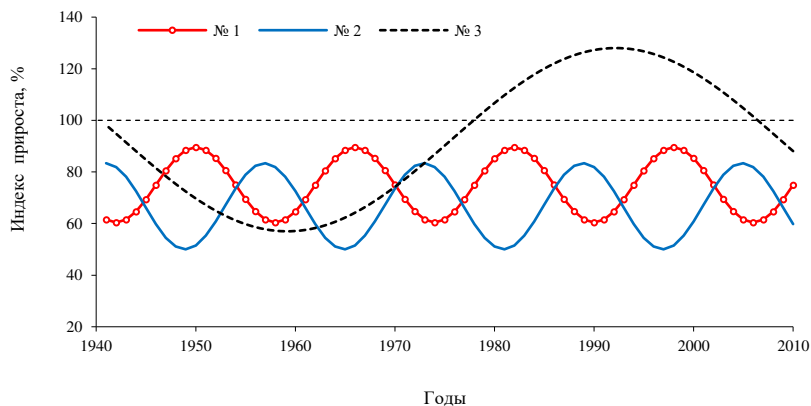


Рис. 5.5. Модельные ряды главных гармоник динамики прироста деревьев в сосняках лишайниково-мшистых (обозначения экотопов приведены на рис. 5.4)

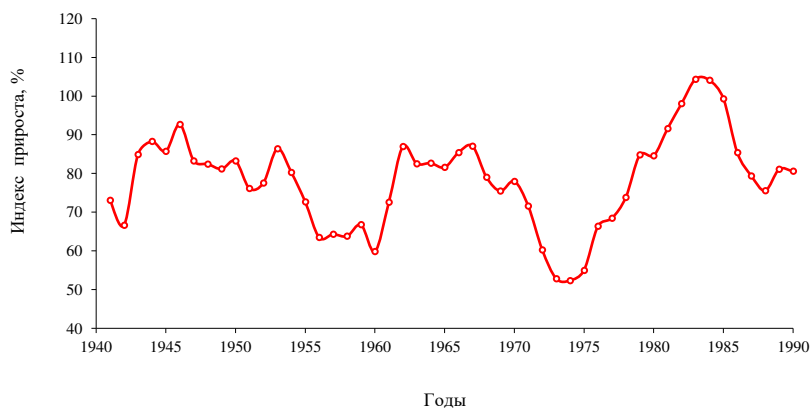


Рис. 5.6. Сводный ряд индексов прироста деревьев в сосняках лишайниково-мшистых

Какова же причина возникновения волновых колебаний значений индексов годичного прироста деревьев? Однозначно ответить на этот вопрос довольно сложно, однако уверенно можно сказать, что она не связана с изменением погодных условий, солнечной активности и возмущений магнитного поля Земли. Возникновение волновых колебаний величины параметра обусловлено действием механизма саморегуляции развития ценопопуляции деревьев, работающего на основе обратных связей древостоя с развитием напочвенного покрова, состоянием самой почвы и грунтовых вод.

Большое влияние на количество и качество самосева сосны, возникшего на вырубках и гарях (все исследованные экотопы являются постпирогенными), зависит, как показано исследователями (Морозов, 1949; Молчанов, 1952, 1953; Санников и др., 2012), от толщины лесной подстилки, сильно ограничивающей появление и развитие всходов (рис. 5.7), и степени развития живого напочвенного покрова, сдерживающего в результате конкуренции за влагу и элементы питания рост молодого поколения леса. По мере развития напочвенного покрова и нормализации процесса разложения опада в экотопе, а это на гарях в сосняках лишайниковых стабилизируется лишь через 20-25 лет (Демаков, Калинин, 2003), прирост деревьев начинает постепенно увеличиваться. Дальнейшее же развитие лишайникового покрова отрицательно отражается на росте деревьев, так как он начинает перехватывать основную часть поступающих атмосферных осадков и элементов питания (Бакаева, Галанин, 1985; Толпышева, Малышева, 1988; Демаков и др., 2013; Демаков, Исаев, 2015), выделяя в почву экзометаболиты, неблагоприятно действующие на древесной. Волновой характер динамики прироста деревьев обусловлен также запаздыванием ответных реакций каждого из этих взаимодействующих между собой компонентов, составляющих систему «ресурс – потребитель». В такой системе, состояние которой регулируется посредством отрицательных обратных связей, обязательно возникают автоколебания, нарушаемые в определенной мере внешними факторами (Абросов и др., 1982). Если принять эту гипотезу за основу, то всё становится вполне объяснимым.

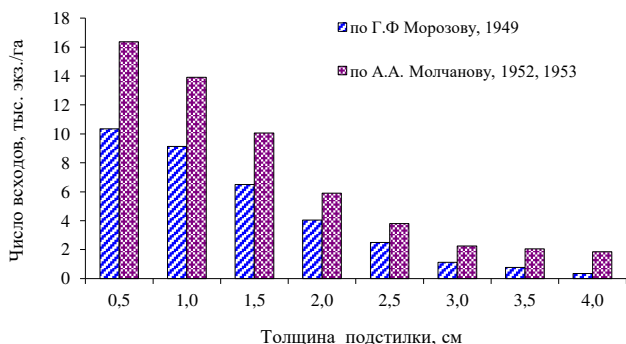


Рис. 5.7. Влияние толщины лесной подстилки на число всходов сосны в биогеоценозах

Важную роль подстилки в лесных экосистемах отмечали многие исследователи (Смольянинов, 1969; Карпачевский, 1977; Бакаева, Гала-

нин, 1985; Толпышева, Малышева, 1988; Габдрахимов, 1989; Богатырев, 1996; Демаков и др., 2017; Богатырев и др., 2019), указывая на то, что она является не только одним из основных их компонентов и продуктов жизнедеятельности, но и фактором, влияющим на все биогеоценотические процессы, в том числе на рост и продуктивность древостоя. Лесная подстилка, обеспечивая жизнедеятельность грибов, почвенной мезофауны и многочисленных микроорганизмов, является важным звеном в биологическом круговороте веществ и энергии, поставляя растениям углекислоту, азот и элементы минерального питания. Темпы накопления и разложения подстилки зависят от многих факторов: состава древостоя, климата, почв, численности почвенной мезофауны, активности грибов и микроорганизмов. Так, искусственное ворошение подстилки способствует ускорению ее разложения, усилению развития ассимиляционного аппарата деревьев и скорости их роста (Смолянинов, 1969). Удаление же подстилки приводит, по данным К.М. Габдрахимова (1989), к иссушению почвы на довольно значительную глубину, уменьшению подвижных форм фосфора, калия и обменных оснований. Влияние лесной подстилки на температурно-гидрологический режим почв подтвердили и наши исследования (Демаков и др., 2017; Богатырев и др., 2019), результаты которых представлены в главе 3 настоящей монографии. Исследования процесса развития подстилки в свежих борах Брянской области показали, что в динамике ее массы отмечаются три периода: интенсивного накопления, стабилизации запаса и медленного его уменьшения (Смолянинов, 1969). Развитие лесной подстилки – не простое изменение ее массы, а сложный процесс разложения и превращения накопленного в ней органического вещества, заканчивающееся его полной минерализацией, протекающий нелинейно. Лесная подстилка, таким образом, развивается циклически, что естественно отражается на ходе роста деревьев.

5.1.2. Сосняки зеленомошниковые и брусничниковые

Плодородие и влажность почвы в сосняках зеленомошниковых и брусничниковых выше, чем в сосняках лишайниковых. Живой напочвенный покров и лесная подстилка в них также более развиты. В ряде экотопов отмечается наличие подлеска средней густоты и второго яруса из ели. Все это оказывает определенное влияние на биологическую активность почв и особенности динамики прироста деревьев.

Анализ исходного материала, собранного на 16 пробных площадях разного возраста и происхождения, показал, что изменение значений

индексов прироста деревьев происходило в каждом из экотопов исходя из сложившихся в них условий, по-разному. Значения коэффициента корреляции между рядами их значений на отрезке времени с 1937 по 1988 год изменялись от -0,21 до 0,77. Даже в лесных культурах, созданных хотя и в разное время, но по одной технологии практически с одинаковой исходной густотой (6-7 тыс. экз./га), коэффициент корреляции составляет всего 0,52. Ряды значений индексов прироста деревьев в наиболее старых экотопах объединяются между собой в довольно «рыхлые» кластеры (рис. 5.8), внутри которых они часто не связаны пространственно, произрастая в разных географически удаленных друг от друга точках.

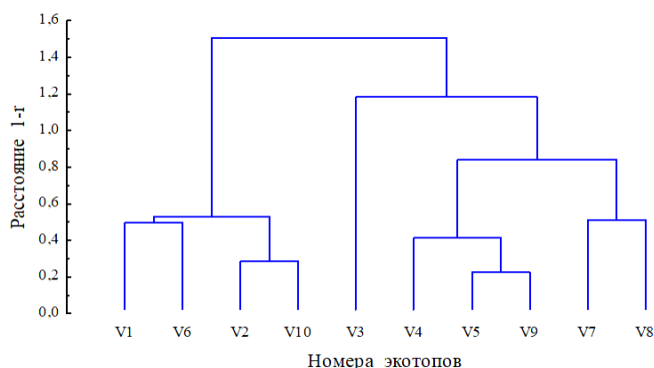


Рис. 5.8. Дендрограмма сходства рядов динамики индексов радиального годичного прироста деревьев в сосняках зеленомошниковых и брусничниковых

Анализ начнем с лесных культур, созданных в 1901 и 1911 годах на территории современного заповедника «Большая Кокшага» и Старожильского лесничества по одинаковой технологии (создание борозд конным плугом и посадка под лопату с исходной густотой 6,0-6,5 тыс. экз./га), удаленных друг от друга на расстояние около 10 км. Величина индексов прироста деревьев в них изменялась почти синхронно с 1933 по 1985 год (рис. 5.9), в остальное же время – асинхронно. Характерной чертой динамики прироста деревьев является четко выраженная волнообразность, хорошо заметная даже без дополнительного сглаживания исходных рядов значений. Гребень первой волны значений индексов прироста деревьев на участке культур 1901 года пришелся на 1909 год, второй волны – на 1944-1946 годы, а третьей – на 1995. Впадины же волн отмечались в 1923 и 1973 годах, следуя за засухами 1921

и 1972 годов. Важно отметить, что снижение прироста деревьев начиналось задолго (за 12-20 лет) до наступления этих экстремальных погодных условий, после которых отмечалось резкое возрастание его величины. Исходя из этого, причиной снижения прироста являются не вариации климата и солнечной активности, характер динамики значений параметров которых различен как по величине амплитуды колебаний, так и по их частоте (рис. 5.10), а геофизические (вулканы и землетрясения) и биогеоценоотические факторы.

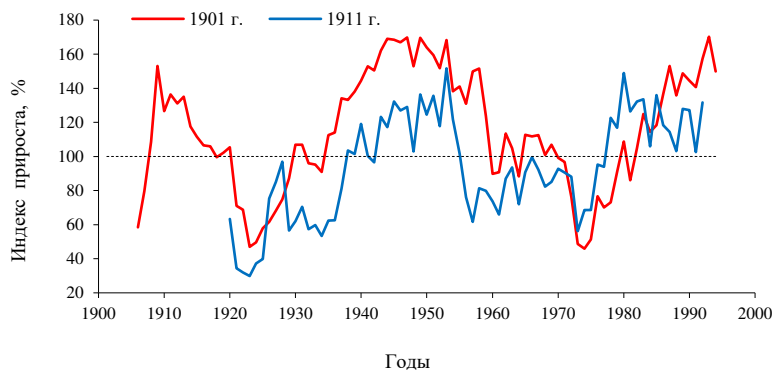


Рис. 5.9. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны, созданных в ТЛУ А₂ в 1901 и 1911 годах

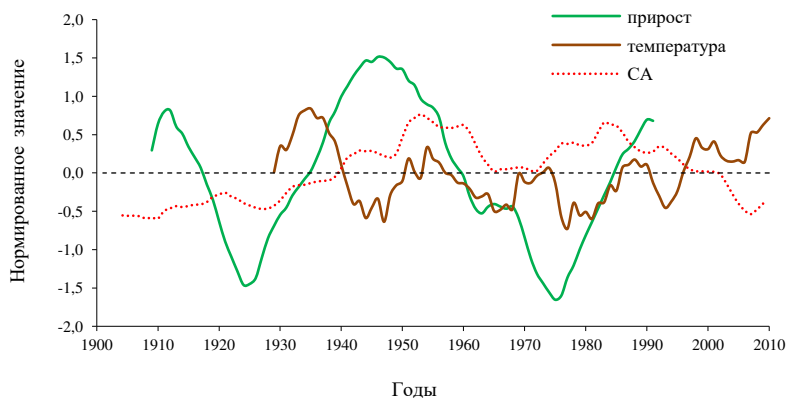


Рис. 5.10. Динамика сглаженных нормированных значений индексов годичного прироста деревьев сосны в культуре 1901 года, летней температуры воздуха и солнечной активности (нормирование проведено по величине среднеквадратического отклонения рядов значений показателей)

В динамике индексов прироста деревьев в каждом экотопе четко выделяется наличие волн разной периодичности и амплитуды, которые можно описать следующим набором гармоник:

- в л/к 1901 года: $Y = 44,3 \times \sin(2 \times \pi \times t / 47 - 1,313) + 116,0$; $R^2 = 0,809$;
- в л/к 1911 года: $Y = 27,4 \times \sin(2 \times \pi \times t / 35 - 2,562) + 99,1$; $R^2 = 0,657$.

Анализ полученных данных показал, что развитие насаждений в каждом из этих экотопов, исходя из специфики генотипической структуры древостоев и экологических факторов, происходило по-разному, хотя в период с 1933 по 1965 год величина индексов прироста деревьев в них изменялась почти синхронно (рис. 5.11). В остальные же годы изменения были асинхронными.

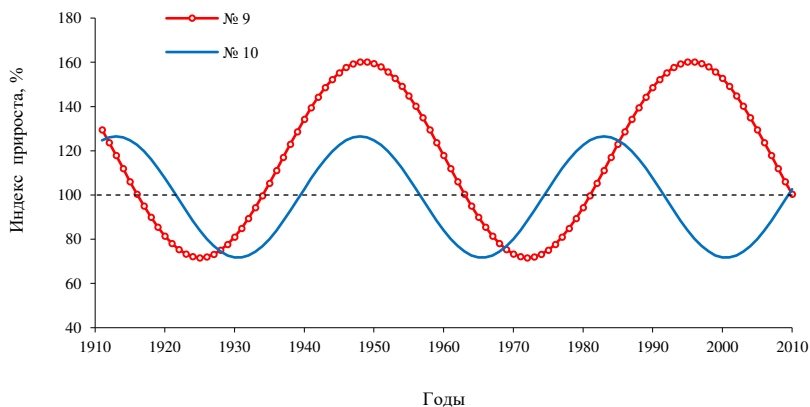


Рис. 5.11. Модельные ряды динамики прироста деревьев в культурах сосны 1901 (экотоп № 9) и 1911 (№ 10) годов, созданных в свежем бору

В культурах молодого возраста индексы прироста деревьев изменялись в целом весьма несинхронно (рис. 5.12 и 5.13). Так, в культурах, созданных в 1935, 1936 и 1940 годах, значение коэффициента корреляции с 1946 по 1992 год изменялось от -0,02 до 0,48, а в культурах 1958, 1962 и 1968 годов, с 1970 по 1991 год – от 0,25 до 0,50. Довольно синхронно изменения прироста происходили в первых трех экотопах на отрезке времени с 1962 по 1976 год, а во вторых – лишь в 1974–1975 и 1985–1991 годах. Диаметрально противоположной реакция древостоев на изменения условий среды была в 1952 и 1980–1984 годах. В динамике индексов прироста деревьев в каждом экотопе присутствуют различающиеся между собой волновые компоненты, которые четко проявляются при сглаживании исходных рядов (рис. 5.14).

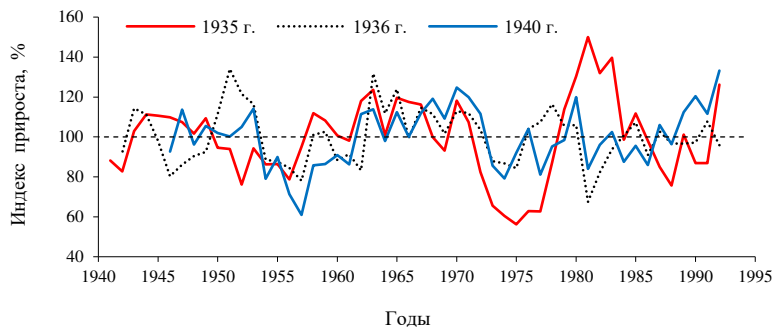


Рис. 5.12. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны, созданных в 1935, 1936 и 1940 годах в свежем бору

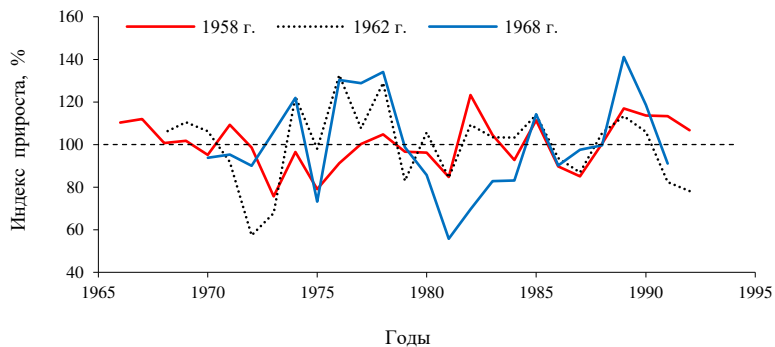


Рис. 5.13. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны, созданных в 1958, 1962 и 1968 годах в свежем бору

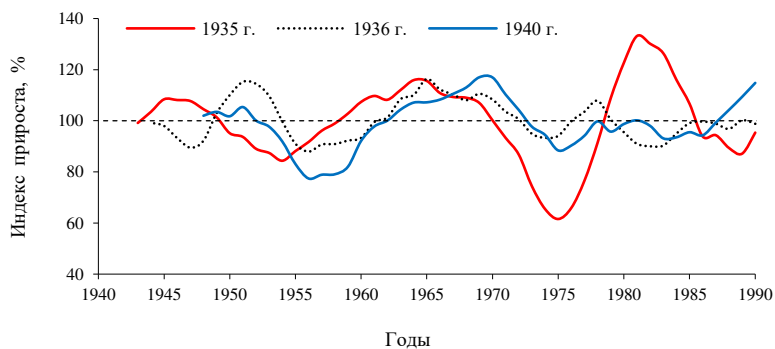


Рис. 5.14. Сглаженные ряды динамики индексов радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны, созданных в 1935, 1936 и 1940 годах в свежем бору

Древостои естественного происхождения также существенно различаются между собой по характеру роста деревьев, прежде всего по параметрам возрастного тренда динамики радиального годичного прироста. Так, величина параметра K аппроксимирующего её уравнения Ципфа–Парето $\Delta r = K \times \exp[-a \times 10^{-2} \times (t - b)] + c$ изменялась от 0,93 до 4,65, параметра a , отображающего скорость падения прироста с возрастом деревьев, – от 1,051 до 9,075, а параметра c , соответствующего нижнему пределу снижения прироста, – от 0,2 до 1,82 мм (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Параметры уравнений динамики радиального прироста деревьев в сосняках зеленомошниковых и брусничниковых естественного происхождения

Лесничество	Значения параметров уравнения $\Delta r = K \times \exp[-a \times 10^{-2} \times (t - b)] + c$				
	K	a	b	c	R^2
Кужерское	1,60	6,085	1892	0,98	0,728
Визимьярское, пп-32	1,86	4,996	1902	0,96	0,816
Старожильское, пп-30	0,93	3,519	1910	1,35	0,340
Куярское, пп-34	1,84	1,051	1911	0,20	0,522
Силикатное	3,33	2,417	1913	0,60	0,543
Яльчинское	4,65	5,525	1923	1,00	0,901
Старожильское, пп-29	2,18	8,856	1934	1,82	0,648
Большая Кокшага	3,31	9,075	1936	0,96	0,922

Примечание: t – календарный год; b – год образования первого годичного кольца.

Индексы прироста деревьев изменялись в целом также весьма несинхронно: величина коэффициента корреляции между рядами их выровненных по скользящим 7-летиям значений изменялась на отрезке времени с 1940 по 1988 годы от -0,41 до 0,90. В сосняках Кужерского участкового лесничества значения годичного прироста деревьев до 1935 года изменялись незначительно, немногим превышая величину их возрастного тренда (рис. 5.15). Затем начались очень большие колебания величины прироста деревьев с периодом около 30 лет и амплитудой $\pm 36\%$ величины их трендовых модельных значений. В сосняках же Визимьярского лесничества этого же возраста в динамике индексов прироста деревьев четко выделяются две основные волновые компоненты с периодом колебаний 12,5 и 42 года (рис. 5.16), амплитуда колебаний которых со временем практически не изменяется и не превышает $\pm 20\%$.

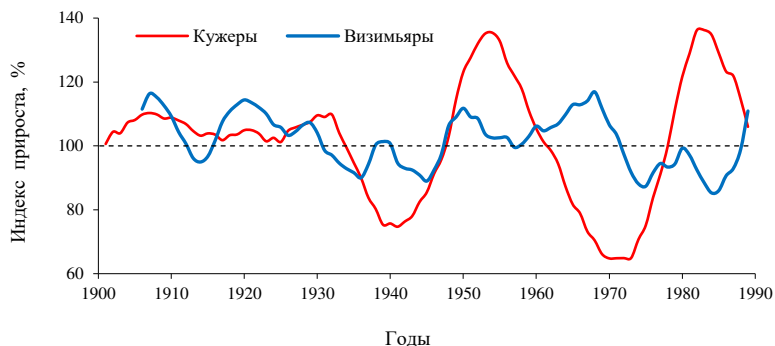


Рис. 5.15. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках брусничниковых естественного происхождения Кужерского и Визимьярского лесничеств

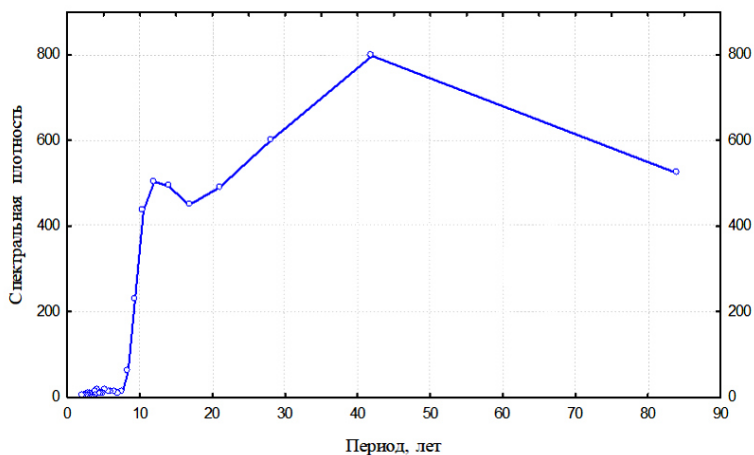


Рис. 5.16. Периодограмма динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках естественного происхождения Визимьярского лесничества

В более молодых сосняках естественного происхождения изменения годичного прироста происходили в каждом экотопе также неодинаково, однако во всех из них четко проявляются волновые компоненты разной амплитуды и периодичности (рис. 5.17 и 5.18). Наиболее схожи друг с другом по характеру динамики индексов прироста деревьев сосняки в двух смежных экотопах Старожильского лесничества (пп-29 и пп-30), величина коэффициента корреляции между рядами сглаженных значе-

ний которых составляет 0,90. Высокое сходство отмечается между рядами прироста сосняков Куярского и Яльчинского лесничеств ($r = 0,84$). После засухи 1972 года прирост древостоев начал увеличиваться, что особенно резко проявилось в сосняках Старожильского и Силикатного лесничеств. Устойчивое же падение прироста началось перед этим в большинстве экотопов в 1945-1950 годах. Исключением является лишь пробная площадь, заложенная в Визимьярском лесничестве, расположенная в непосредственной близости от большого болотного массива.

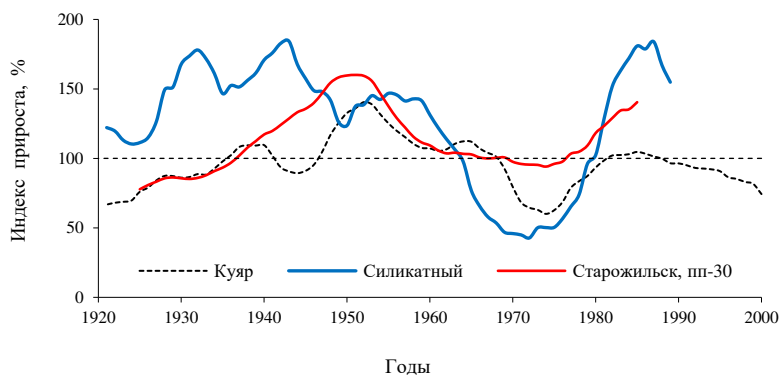


Рис. 5.17. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках естественного происхождения Куярского, Силикатного и Старожильского лесничеств

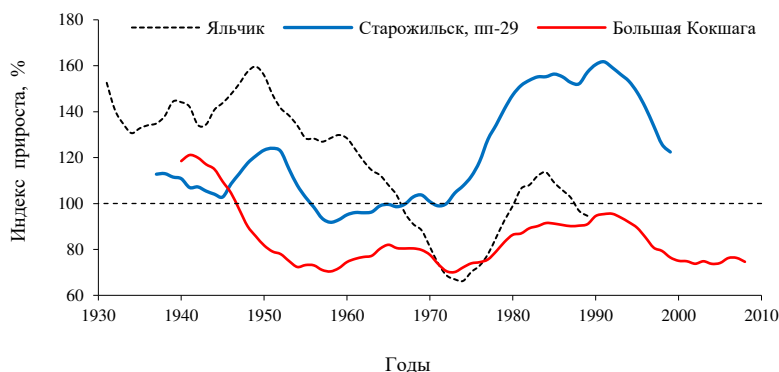


Рис. 5.18. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов радиального годичного прироста деревьев в сосняках естественного происхождения, находящихся на территории разных лесничеств

Возникновение волновых колебаний величины индексов прироста деревьев обусловлено, как уже отмечалось выше, действием механизма саморегуляции развития их ценопопуляций, каждая из которых имеет свою специфическую генотипическую структуру. Чем сильнее выражен возрастной тренд величины годичного прироста деревьев в ценопопуляции, тем слабее выражена в рядах их значений волновая составляющая. Результаты исследования убедительно свидетельствуют о влиянии на рост деревьев не только внешних по отношению к ним факторов, но и внутренних их свойств, искажающих исходный внешний сигнал. Как всё богатство красок окружающего нас мира создается с помощью всего лишь семи или даже трех цветов, так и различное сочетание биотических и абиотических факторов приводит к большому разнообразию форм кривых годичного прироста деревьев в каждом экотопе. В свете этого полностью несостоятельны попытки реконструкции условий климата в прошлом по данным анализа рядов прироста деревьев, а уж тем более их прогноза, особенно долгосрочного.

5.1.3. Сосняки орляково-брусничниковые и кисличниковые

Сосняки орляково-брусничниковые и кисличниковые имеют более высокий класс бонитета ($I-I^a$), чем сосняки зеленомошниковые и брусничниковые, поскольку произрастают на более плодородных почвах. Живой напочвенный покров и лесная подстилка в них также более развиты, оказывают определенное влияние на биологическую активность почв и особенности динамики прироста деревьев.

Анализ исходного материала, собранного на трех пробных площадях разного возраста и происхождения, показал, что древостой в них существенно различаются между собой по параметрам возрастного тренда динамики радиального годичного прироста деревьев (табл. 5.5) и изменениям значений его индексов (величина коэффициента корреляции между рядами их значений изменялась от 0,33 до 0,68).

Таблица 5.5

**Параметры уравнений динамики радиального прироста деревьев
в сосняках орляково-брусничниковых и кисличниковых**

Лесничество	Значения параметров уравнения $\Delta r = K \times \exp[-a \times 10^{-2} \times (t - b)] + c$				
	K	a	b	c	R^2
Алексеевское-80	4,54	14,13	1920	1,40	0,871
Алексеевское-50	9,40	16,75	1950	1,77	0,929
Старожильское, пп-36	3,45	9,093	1957	1,92	0,867

Примечание: t – календарный год; b – год образования первого годичного кольца.

Индексы годичного прироста деревьев изменялись в целом также весьма несинхронно. Так, в 50-летнем сосняке естественного происхождения Алексеевского лесничества, произрастающем в зеленой зоне г. Волжска на южном склоне второй надпойменной террасы р. Волги (Волжск-50), устойчивое снижение значений индексов годичного прироста деревьев началось в 1956 году и продолжалось вплоть до 1974 (рис. 5.19). В остальных двух экотопах, один из которых расположен в непосредственной близости от описанного выше, а другой же удален от них на 110 км, падение прироста деревьев перед засухой 1972 года началось лишь в 1969 году. Продолжительность же последующего подъема значений показателя была в экотопах разной.

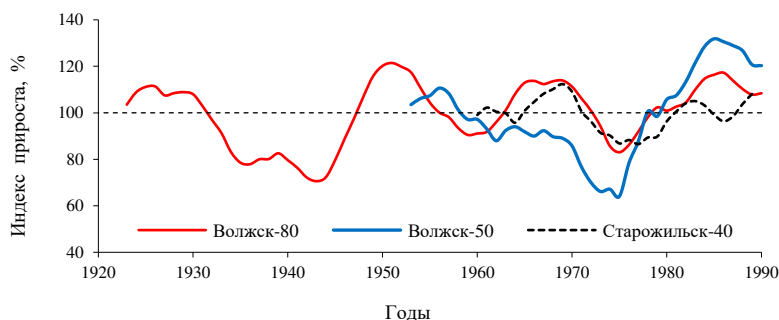


Рис. 5.19. Сглаженные по скользящим 5-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках орляково-брусничниковых и кисличниковых Алексеевского и Старожильского лесничеств

В рядах динамики индексов прироста деревьев, как следует из представленных данных, четко проявляются волновые компоненты, период колебаний которых в экотопе «Волжск-50» составляет 39 лет, а в остальных — 18-19 лет, амплитуда же — от $\pm 7,2$ до $\pm 22,8$ %.

5.1.4. Культуры сосны в раменах и дубравах

Одновозрастные сосняки естественного происхождения в раменах и дубравах Республики Марий Эл, где почвы наиболее богаты элементами питания растений, практически не встречаются. Здесь произрастают лишь их искусственно созданные высокобонитетные насаждения. Живой напочвенный покров и подлесок в них хорошо развиты, а во многих экотопах формируется второй ярус из липы и клена остролистного, оказывающих определенное влияние на особенности динамики прироста деревьев сосны.

Анализ материала, собранного на пяти пробных площадях разного возраста, показал, что древостои в них существенно различаются между собой по параметрам функции возрастного тренда динамики годичного прироста деревьев, детерминирующей на 85,5-99,5 % общую изменчивость его значений (табл. 5.6, рис. 5.20), и характеру изменений индексов параметра (рис. 5.21 и 5.22), величина коэффициента корреляции между рядами которых изменялась от -0,29 до 0,49. Наиболее высокий прирост деревьев в первые годы их жизни отмечался на приовражных землях возле деревни Петриково Медведевского района, а наиболее низкий – в Дубравном лесничестве, что связано как с особенностями погодных условий в этот период, так и технологиями создания культур сосны. Прирост деревьев в последующие годы в первом из этих экотопов снижался более интенсивно, чем на втором. Нижнего уровня стабилизации годичного прироста дерева достигали в возрасте от 20 до 80 лет в зависимости от генотипического разнообразия древостоя, стартовых условий погоды и исходной густоты культур.

Таблица 5.6

Уравнения динамики радиального прироста деревьев в культурах сосны, созданных в свежих раменах и дубравах Республики Марий Эл

Лесничество	ТЛУ и год создания	Уравнения регрессии и коэффициент их детерминации
Дубравное	D ₂ , 1901	$\Delta r = 1,91 \times \exp(-2,942 \times 10^{-2} \times A) + 0,84$; $R^2 = 0,855$
Сернурское	C ₂ , 1907	$\Delta r = 5,83 \times \exp(-2,743 \times 10^{-2} \times A) + 0,78$; $R^2 = 0,876$
Нолькинское	C ₂ , 1948	$\Delta r = 3,35 \times \exp(-10,85 \times 10^{-2} \times A) + 1,64$; $R^2 = 0,902$
Сосновая роща	C ₂ , 1956	$\Delta r = 3,55 \times \exp(-8,807 \times 10^{-2} \times A) + 1,88$; $R^2 = 0,883$
Дер. Петриково	C ₂ , 1968	$\Delta r = 5,03 \times \exp(-1,92 \times 10^{-3} \times A^{2,417}) + 1,59$; $R^2 = 0,995$

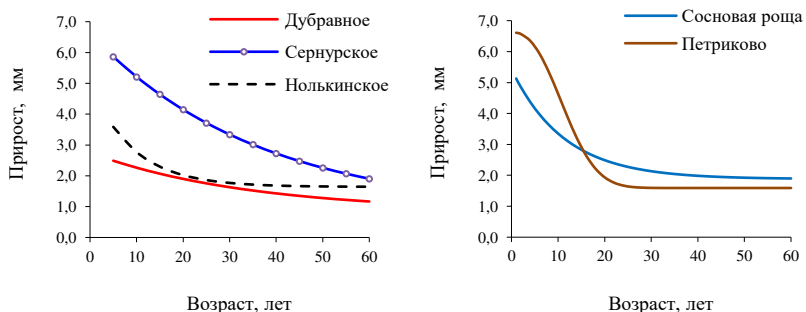


Рис. 5.20. Возрастные тренды радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны, созданных в ТЛУ C₂ и D₂ Республики Марий Эл

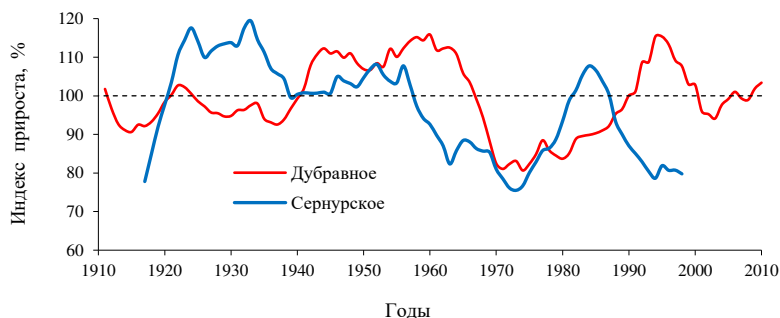


Рис. 5.21. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в культурах сосны Дубравного и Сернурского лесничеств

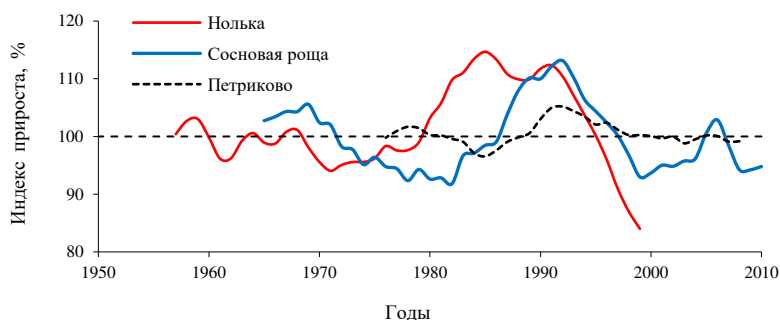


Рис. 5.22. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в культурах сосны Нолькинского лесничества, лесопарка «Сосновая роща» и на приовражных землях у деревни Петриково

В рядах динамики индексов прироста деревьев, как следует из представленных данных, четко выделяются волновые компоненты, амплитуда колебаний которых значительно ниже, чем в сосняках, произрастающих в борах и суборах, а период изменяется от 53 до 7 лет (рис. 5.23). Так, в чистых культурах сосны, произрастающих в Дубравном лесничестве, падение значений индексов годичного прироста деревьев отмечалось в 1910-1913, 1921-1930, 1934-1937, 1944-1951, 1960-1973 и 1994-2003 годах. В 1940-1967 и 1991-1999 годах значения индексов прироста превышали среднеегодовое значение, а в остальное время находились ниже его. Особенно низкие значения показателя отмечались в 1970-1982 годах. В смешанных же сосново-лиственничных культурах Сернурского лесничества, расположенных в северо-восточной части

республики и удаленных от них на 240 км, картина была иной: величина индексов прироста превышала среднемноголетний уровень в 1921-1937, 1946-1956 и 1982-1987 годах, а наиболее низкие значения отмечались в 1963-1979 и 1993-2000 годах. С 1932 по 1973 год величина индексов прироста в основном снижалась, особенно значительно – с 1956 года.

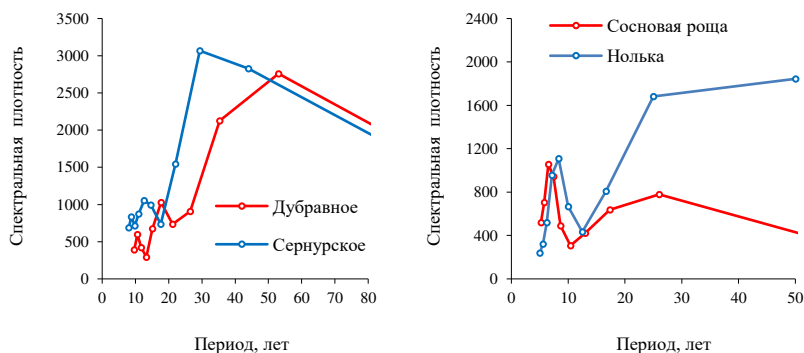


Рис. 5.23. Периодограммы динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в культурах сосны, созданных в свежих раменах и дубравах

В чистых культурах Нолькинского лесничества Учебно-опытного лесхоза ПГТУ устойчивое повышение величины индексов прироста деревьев началось в 1970 году и продолжалось до 1985, а в Сосновой роще – с 1981 по 1992 год. Падение же значений параметра началось у деревьев в обоих экотопах практически одновременно в 1991-1992 годах. В привоажных насаждениях возле деревни Петриково величина индексов прироста деревьев варьировала в значительно меньших пределах, чем в остальных экотопах. Полуволны снижения значений показателя отмечались в 1978-1985 и 1993-2003, а повышения – в 1985-1992 годах.

5.1.5. Сосняки черничниковые

Сосняки черничниковые произрастают на хорошо увлажненных песчаных почвах и являются начальным этапом гигроморфного ряда фитоценозов, которые в ходе естественного развития лесных экосистем постепенно превращаются в ельники сфагновые, а затем и в сосняки сфагновые (Писарчук и др., 2016). В состав их древостоев, имеющих I–I^a класс бонитета, часто входят береза и осина, а под пологом формируется, как правило, второй ярус из ели, которая постепенно выходит в верхний полог. В этих экотопах хорошо развит моховой покров, состо-

ящий в зависимости от степени увлажнения из кукушкина льна обыкновенного и сфагнома. Травяной покров, в котором доминирует черника, развит также хорошо. В результате неполного разложения растительного опада в этом типе леса образуется торфяной горизонт мощностью до 20-25 см. Эти биоэкологические особенности данных экотопов оказывают значительное влияние на микроклимат почв, их биологическую активность и ход роста деревьев.

Анализ материала, собранного на двух пробных площадях в постпирогенных 80-летних сосняках ГПЗ «Большая Кокшага», показал, что древостои в них существенно различаются между собой по параметрам возрастного тренда динамики радиального годичного прироста деревьев (табл. 5.7) и изменениям значений его индексов (рис. 5.24), величина коэффициента корреляции между рядами которых составила 0,507. Особенно большие различия по характеру роста деревьев отмечались в них на отрезке времени с 1969 по 1995 год. В отдельные же периоды динамика прироста деревьев была синхронной. Так, значительное падение величины индексов прироста в обоих экотопах наблюдалось у них в 1957, 1991 и 2006 годах. Одновременное же увеличение значений показателя произошло в 1957-1969 и 2000-2006 годах.

Таблица 5.7

Параметры уравнений динамики радиального прироста деревьев в сосняках черничниковых заповедника «Большая Кокшага»

Экотоп	Значения параметров уравнения $\Delta r = K \times \exp[-a \times 10^{-2} \times (t - b)] + c$				
	K	a	b	c	R^2
ППП-10, кв. 89	2,79	6,98	1937	1,17	0,857
ВПП-1, кв. 90	2,33	1,58	1939	0,34	0,861

Примечание: t – календарный год; b – год образования первого годичного кольца.

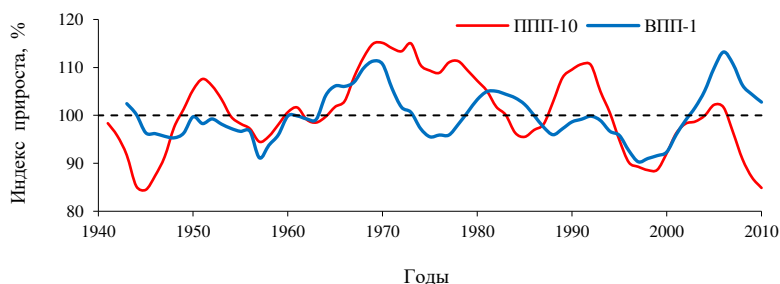


Рис. 5.24. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в постпирогенных сосняках черничниковых заповедника «Большая Кокшага»

В рядах динамики индексов прироста деревьев, которые в целом синхронизированы между собой (рис. 5.25), довольно четко выделяется сложная волновая компонента, описываемая определенным набором гармоник разного периода и амплитуды (табл. 5.8). Наиболее низкие значения индексов прироста отмечались у деревьев в этих экотопах в 1994-2001 годах.

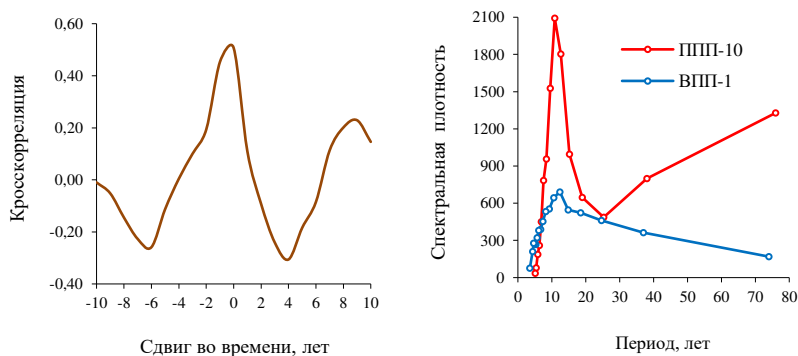


Рис. 5.25. Результаты кросс-корреляционного и спектрального анализа рядов динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках черничниковых заповедника «Большая Кокшага»

Таблица 5.8

Параметры гармоник, описывающих динамику сглаженных значений индексов радиального годичного прироста деревьев в сосняках черничниковых

Пробная площадь	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2 \times \pi \times t / T + \varphi) + 100$			
	A	T	φ	R^2
Первая волновая компонента				
ППП-10	8,10	74,4	-1,785	0,477
ВПП-1	4,41	40,0	-0,301	0,352
Вторая волновая компонента				
ППП-10	4,63	17,9	0,825	0,648
ВПП-1	3,92	19,4	-1,033	0,633
Третья волновая компонента				
ППП-10	2,89	10,3	-0,675	0,756
ВПП-1	1,88	10,6	1,236	0,698

Примечание: А – амплитуда колебаний параметра, %; Т – период колебаний, лет; t – календарный год; φ – фазовый сдвиг относительно принятой шкалы времени. Значение коэффициента детерминации R^2 каждой последующей гармоники приведено с учетом вклада предыдущей.

Расчеты показали, что величина индексов прироста деревьев в данном типе леса, как и во всех предыдущих, очень слабо зависит от параметров внешней среды, влияние которых начинает проявляться часто не сразу. Так, изменение солнечной активности наиболее значительно проявляется лишь спустя 2-3 года, индекса контрастности температуры между зимой и летом – в этот же год и спустя девять лет, а индекса геомагнитной активности – спустя пять лет (рис. 5.26, табл. 5.9).

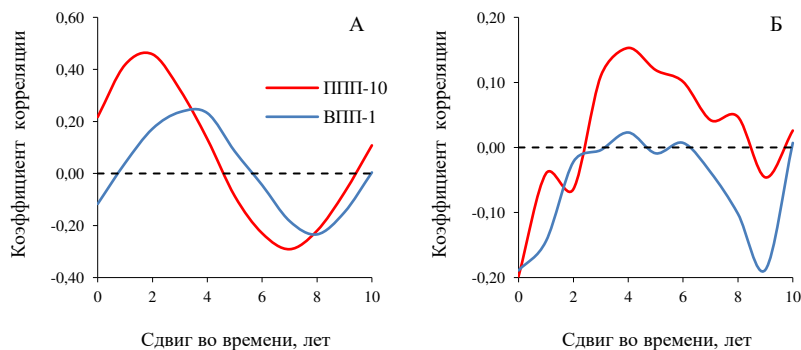


Рис. 5.26. Изменение значений коэффициента корреляции между рядами индексов радиального годичного прироста деревьев в сосняках черничниковых и параметров среды при различном их сдвиге во времени: А – число Вольфа; Б – индекс контрастности температуры между зимой и летом

Таблица 5.9

Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов годичного прироста деревьев и аа-индекса геомагнитной активности

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ПП по сезонам года							
	ППП-10				ВПП-1			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
0	0,228	0,201	0,245	0,069	0,165	-0,037	0,022	-0,114
1	0,115	0,167	0,199	0,085	0,116	0,025	0,122	0,047
2	0,037	0,074	0,080	0,036	-0,048	-0,088	0,145	0,079
3	-0,098	-0,129	-0,076	-0,092	-0,090	-0,042	0,043	0,003
4	-0,228	-0,299	-0,150	-0,147	-0,166	-0,086	0,069	0,096
5	-0,248	-0,344	-0,257	-0,214	-0,267	-0,268	-0,149	-0,093
6	-0,274	-0,232	-0,180	-0,190	-0,225	-0,158	-0,170	-0,139
7	-0,045	-0,172	-0,108	-0,099	-0,038	-0,064	-0,115	-0,106
8	-0,037	-0,121	0,056	0,108	-0,037	-0,165	-0,004	0,020

Примечание: жирным шрифтом здесь и в последующих таблицах выделены значения коэффициентов корреляции, достоверные на 95 %-м уровне значимости.

Установлена достоверная отрицательная слабая связь между величиной индекса прироста деревьев на ППП-10 и продолжительностью солнечного сияния, особенно в весенние и летние месяцы, которая проявляется без задержки (табл. 5.10). У деревьев же на ВПП-1 эта связь не выявлена. Деревья в обоих экотопах абсолютно не реагировали, как показали расчеты, на изменение температуры воздуха и суммы осадков во все сезоны года (табл. 5.11 и 5.12).

Таблица 5.10

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и продолжительности солнечного сияния**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ПП по сезонам года							
	ППП-10				ВПП-1			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
0	-0,290	-0,362	-0,394	0,024	-0,107	-0,002	-0,098	0,046
1	0,026	-0,227	-0,237	-0,028	0,034	-0,164	-0,021	0,008
2	-0,105	-0,264	-0,132	-0,044	0,082	-0,131	0,033	-0,001
3	0,036	-0,136	-0,038	-0,069	0,039	-0,146	0,019	0,015
4	0,069	0,047	0,074	0,082	0,025	0,064	0,120	0,179
5	-0,003	0,063	0,075	-0,026	-0,013	0,059	0,114	0,118
6	0,132	0,060	0,065	-0,073	0,022	0,153	0,108	0,027
7	0,178	0,065	0,077	-0,088	-0,108	0,135	0,157	0,143
8	0,208	0,030	0,053	0,153	-0,071	0,024	0,069	0,259
9	0,094	-0,094	-0,055	0,121	0,007	0,030	0,019	0,237
10	0,138	-0,199	-0,049	-0,013	0,115	0,037	-0,026	0,051

Таблица 5.11

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и средней температуры воздуха**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ПП по сезонам года							
	ППП-10				ВПП-1			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
0	0,130	0,083	-0,171	0,046	0,135	0,092	-0,170	0,109
1	-0,005	0,089	-0,049	0,171	0,131	0,090	-0,060	0,257
2	0,051	0,117	0,011	0,209	0,016	0,058	-0,018	-0,019
3	-0,124	0,099	-0,044	0,108	-0,070	-0,057	-0,183	0,081
4	-0,118	-0,024	0,052	0,018	0,008	-0,005	0,081	0,200
5	-0,112	-0,106	-0,035	0,008	0,031	-0,042	0,055	0,022
6	-0,135	-0,174	-0,142	0,060	-0,009	0,002	-0,003	-0,072
7	-0,097	-0,171	-0,182	0,104	0,062	-0,018	0,054	-0,131
8	-0,075	-0,063	-0,115	0,075	0,094	0,025	-0,039	-0,099
9	0,041	-0,098	-0,053	0,010	0,236	0,038	0,080	-0,034
10	-0,053	-0,159	-0,064	0,013	0,036	-0,012	0,106	-0,034

Таблица 5.12

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и суммы осадков в разные сезоны года**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ПП по сезонам года							
	ППП-10				ВПП-1			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
0	-0,085	0,085	0,080	-0,040	0,128	0,086	-0,009	0,038
1	-0,231	0,093	0,048	-0,068	0,260	0,276	0,275	0,016
2	-0,077	0,119	-0,023	0,017	0,231	0,118	0,129	-0,004
3	-0,125	-0,039	-0,115	-0,013	0,159	0,056	-0,091	-0,010
4	-0,120	-0,265	-0,113	-0,221	0,075	-0,155	-0,021	-0,154
5	-0,160	-0,289	-0,172	-0,007	0,076	-0,295	0,172	-0,067
6	-0,202	-0,187	-0,099	-0,044	0,010	-0,262	0,015	-0,017
7	-0,120	-0,189	-0,083	-0,009	0,108	-0,038	-0,157	-0,032
8	-0,139	-0,114	0,019	-0,204	-0,064	-0,020	0,154	-0,266

Реакция деревьев на варьирование комплексных метеорологических показателей была также слабой и разной в обоих экотопах. Так, на ППП-10 снижение индекса прироста деревьев происходило наиболее ощутимо на второй год после увеличения значений ГТК июня, а на ВПП-1 – на следующий год после снижения его величины в июле (табл. 5.13). Увеличение значений индекса Д.А. Педя у деревьев на обеих пробных площадях приводило к снижению индекса их прироста, однако на ППП-10 это происходило в ответ на изменение величины параметра в июле, а на ВПП-1 – в июне (табл. 5.14). Различной была реакция деревьев в этих экотопах на варьирование значений соотношения между продолжительностью солнечного сияния и температуры воздуха в летние месяцы (табл. 5.15).

Таблица 5.13

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и гидротермического коэффициента**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ПП по сезонам года							
	ППП-10				ВПП-1			
	Июнь	Июль	Август	V-VIII	Июнь	Июль	Август	V-VIII
0	0,021	0,148	0,128	0,147	0,048	0,133	-0,123	0,014
1	-0,111	0,199	0,067	0,049	0,186	0,271	0,039	0,248
2	-0,290	0,210	0,076	-0,004	-0,107	0,217	0,123	0,059
3	-0,137	-0,040	0,002	-0,084	-0,136	-0,014	0,068	-0,059
4	-0,056	-0,098	-0,080	-0,138	0,148	-0,142	-0,079	-0,072
5	-0,150	-0,082	-0,036	-0,108	0,172	0,032	0,076	0,129
6	-0,020	-0,062	-0,055	-0,040	-0,040	-0,011	0,119	0,037
7	0,043	-0,078	-0,074	-0,051	-0,090	-0,239	0,045	-0,096
8	0,099	0,099	-0,139	-0,003	0,189	-0,081	0,131	0,155

Таблица 5.14

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и индекса Д.А. Педя**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ИП по месяцам							
	ППП-10				ВПП-1			
	Июнь	Июль	Август	V-VIII	Июнь	Июль	Август	V-VIII
0	-0,233	-0,286	-0,149	-0,286	-0,310	-0,245	0,162	-0,124
1	-0,088	-0,170	-0,032	-0,123	-0,333	0,205	0,163	-0,235
2	0,200	0,200	-0,122	0,051	0,010	-0,127	0,010	-0,043
3	0,140	-0,068	-0,039	0,037	0,050	-0,066	-0,089	0,010
4	0,010	0,152	0,146	0,145	-0,174	0,225	0,079	0,102
5	0,087	0,048	-0,086	0,017	-0,169	0,178	-0,065	-0,073
6	-0,050	0,027	0,108	-0,053	0,037	0,137	-0,217	0,048
7	-0,166	-0,059	-0,026	-0,079	0,061	0,219	-0,138	0,036
8	-0,118	-0,109	0,113	-0,006	-0,082	0,072	-0,151	-0,127

Таблица 5.15

**Результаты кросс-корреляционного анализа рядов значений индексов
годового прироста деревьев и соотношения ПСС/Т**

Сдвиг, лет	Значение коэффициента корреляции для рядов разных ИП по месяцам							
	ППП-10				ВПП-1			
	Июнь	Июль	Август	V-VIII	Июнь	Июль	Август	V-VIII
0	0,019	-0,237	-0,057	-0,143	0,202	-0,031	0,098	0,172
1	0,065	-0,247	-0,081	-0,145	0,143	-0,094	0,167	0,089
2	0,097	-0,289	-0,028	-0,143	0,148	-0,172	0,096	-0,008
3	0,019	-0,211	0,123	-0,060	0,093	-0,045	0,156	0,018
4	0,021	-0,147	0,115	0,006	-0,038	0,022	0,241	0,112
5	0,129	0,001	0,103	0,141	-0,024	0,074	0,168	0,075
6	0,198	0,070	0,115	0,162	0,215	0,151	-0,117	0,109
7	0,154	0,143	0,255	0,296	0,198	0,202	-0,069	0,212
8	0,128	0,010	0,145	0,089	0,032	0,082	0,073	0,057

Попробуем подойти к оценке влияния метеопараметров на годичный прирост деревьев менее строго и рассмотрим особенности их ответных реакций на засухи 1972 и 2010 годов, а также недостаток тепла и избыток осадков в летние месяцы 1978 и 1980 годов. Анализ исходного материала показал, что изменения значений индексов прироста в каждом экотопе в ответ на одни и те же условия погоды происходили в целом одинаково (рис. 5.27). Так, к примеру, после засухи 1972 года на обеих пробных площадях снижение величины параметра отмечалось в 1973 и 1974 годах, а ответ на менее значительную засуху 2010 года был одномоментным, но более сильным. Реакция же деревьев на погодные ано-

малии 1978 и 1980 годов была довольно слабой. Сильное снижение величины индексов прироста деревьев, особенно резко выраженное на ППП-10, произошедшее в 1994 году, не связано с аномалиями температуры и осадков, а было обусловлено недостатком поступления в летний период солнечного света из-за повышенной облачности неба, произошедшей, как отмечалось в разделе 3.1, в результате мощной солнечной вспышки и извержения в 1991 году вулкана Пинатубо, а также вспышек сверхновых звезд в 1992 и 1993 годах, вызвавших усиление потока космических лучей. Влияние этих событий на прирост деревьев было сопоставимым с засухами 1972 и 2010 годов.

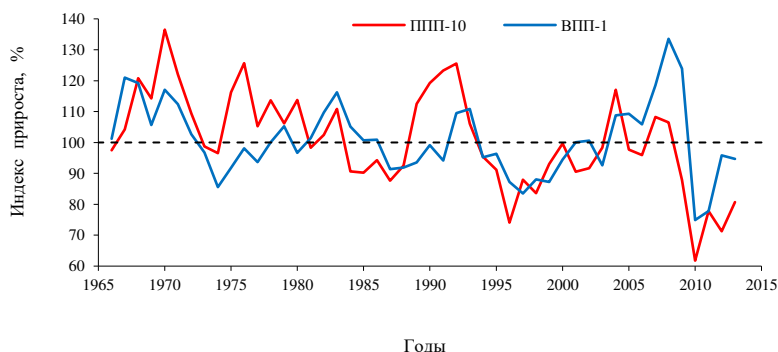


Рис. 5.27. Ряды динамики фактических значений индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках черничниковых заповедника «Большая Кокшага»

Коротковолновые колебания прироста деревьев обусловлены, таким образом, совместным действием не только климатических, но и иных физических факторов, в том числе происходящих в ближнем и дальнем космосе. Чередование внешних толчков различной мощности, не отличающихся особой регулярностью, формирует во взаимосвязи с внутренними свойствами экосистем сложный ход прироста деревьев. При этом действие одного фактора может либо усиливать, либо снижать действие другого. Местные же ландшафтные и биогеоценотические факторы трансформируют в той или иной мере сигналы внешней среды, обуславливая появление локальных особенностей характера роста деревьев (Дьяконов, Бочкарев, 2010). В свете этого положения, как уже отмечалось, полностью несостоятельными являются попытки реконструкции по данным анализа рядов прироста деревьев климатической обстановки в прошлом, а уж тем более её прогнозирования.

5.1.6. Сосняки сфагновые

Сосняки сфагновые, произрастающие в довольно жестких лесорастительных условиях на избыточно увлажненных торфяных почвах, являются финальной стадией развития биогеоценозов гигроморфного ряда. По составу они, как правило, чистые, но чаще всего разновозрастные, а бонитет их изменяется от IV до V⁶ класса. Экологические особенности данного типа леса накладывают свой отпечаток на характер роста деревьев и реакции их на колебания условий среды.

Анализ материала, собранного на трех пробных площадях в одно-возрастных сосняках сфагновых, возникших на гарях, «вымочках» и вырубках разных лет, показал, что величина радиального прироста деревьев изменяется в очень больших пределах (от 0,1 до 5 мм) в зависимости от их возраста и года образования годичного кольца, составляя в среднем 1,0-1,38 мм (табл. 5.16). В низкополнотном 85-летнем древостое на ВПП 30 км отмечается четко выраженный тренд снижения годичного прироста деревьев с возрастом, аппроксимируемый уравнением $\Delta r = 1,48 \times \exp[-10,19 \times 10^{-3} \times (t - 1930)]$, которое описывает 57,1 % исходной дисперсии величины параметра. На ВПП-33б в 50-летнем древостое тренд изменения годичного прироста с возрастом в целом положительный, но выраженный довольно слабо, описываемый линейным уравнением $\Delta r = 12,58 \times 10^{-3} \times (t - 1960) + 1,07$, коэффициент детерминации которого составляет всего лишь 0,146. На ППП-33 в загущенном 75-летнем сосняке возрастной тренд годичного прироста деревьев вообще отсутствует.

Таблица 5.16

**Пределы изменения радиального годичного прироста деревьев
в одновозрастных сосняках сфагновых Марийского Полесья**

Экотоп	Nдер.	Nгп	Значения статистических показателей прироста				
			M	min	max	S	CV
ВПП 30 км	10	711	1,00	0,10	5,00	0,65	65,1
ППП-33	22	1214	1,11	0,20	4,25	0,53	47,8
ВПП-33б	11	436	1,38	0,10	3,75	0,71	51,2

Примечание: Nдер. – количество модельных деревьев; Nгп – количество измеренных годичных колец; M – среднее арифметическое значение годичного прироста, мм; min и max – минимальная и максимальная величина годичного прироста, мм; S – среднее квадратическое отклонение величины годичного прироста в выборке, мм; CV – коэффициент вариации величины годичного прироста в выборке, %.

Значения индексов прироста деревьев на примыкающих друг к другу ППП-33 и ВПП-33б, заложенных на обширном болотном массиве «Илюшкино», изменялись в течение всего периода их существования очень синхронно: величина коэффициента корреляции между их рядами составила 0,80. Ход же роста деревьев на ВПП 30 км, заложенной на верховом болоте площадью всего 1,2 га, был иной. Он характеризовался как меньшей вариабельностью значений, так и существенными различиями, отмечавшимися в отдельные отрезки времени. Особенно большие различия между экотопами отмечались в 1940-1950 и 1980-1990 годах (рис. 5.28). В остальные годы динамика индексов прироста деревьев в них была довольно синхронной. Так, в 1958 году их величина начала здесь одновременно снижаться, опустившись до минимума в 1966 году, а затем неуклонно увеличиваться, поднявшись после засухи 1972 года до локального максимума, отмечавшегося в 1978 году. Локальные максимумы на ППП-33 отмечались в 1940, 1950, 1958, 1978, 1989-1990 и 2000 годах, которые совпали с максимумами на ВПП 30 км лишь трижды – 1958, 1978 и 2000 годах. Локальные же минимумы значений индексов прироста деревьев на объектах отмечались в разные годы. В рядах динамики индексов прироста деревьев, как и в других типах леса, довольно четко проявляется наличие волн разной продолжительности и амплитуды (рис. 5.29), описываемых определенным набором гармоник (табл. 5.17) и обусловленных действием биоценотических факторов, трансформирующих определенным образом сигналы внешней среды.

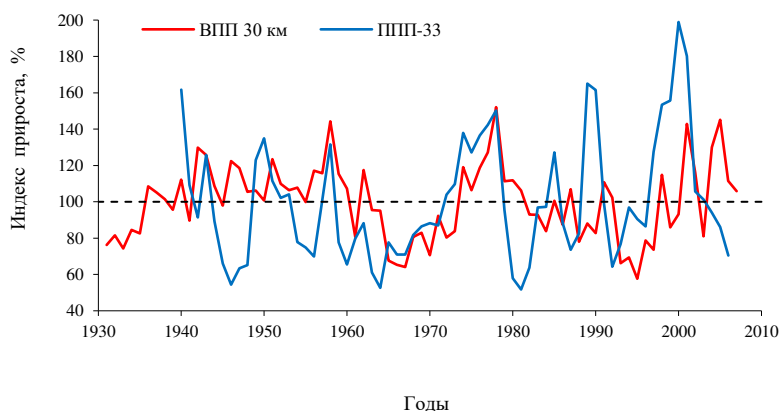


Рис. 5.28. Динамика индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках сфагновых Марийского Полесья

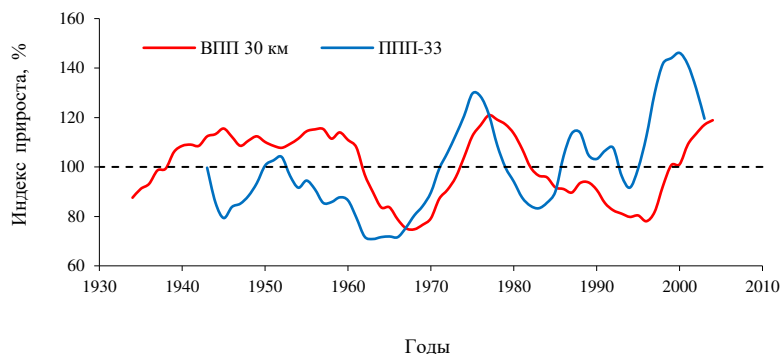


Рис. 5.29. Сглаженные по скользящим 7-летиям ряды динамики индексов годичного радиального прироста деревьев в сосняках сфагновых на объектах исследования

Таблица 5.17

Параметры гармоник, описывающих динамику сглаженных значений индексов радиального годичного прироста деревьев в сосняках сфагновых

Пробная площадь	Параметры уравнений $Y = A \times \sin(2\pi \times t/T + \varphi) + 100$			
	A	T	φ	R^2
Первая волновая компонента				
ВПП 30 км	13,5	28,6	0,373	0,511
ППП-33	16,4	23,1	-1,726	0,361
Вторая волновая компонента				
ВПП 30 км	8,27	20,2	1,544	0,704
ППП-33	10,4	12,1	-0,171	0,508
Третья волновая компонента				
ВПП 30 км	6,28	15,6	-1,971	0,816
ППП-33	9,57	14,4	1,763	0,636

Примечание: A – амплитуда колебаний параметра, %; T – период колебаний, лет; t – календарный год; φ – фазовый сдвиг относительно принятой шкалы времени. Значение коэффициента детерминации R^2 каждой последующей гармонике приведено с учетом вклада предыдущей.

5.1.7. Особенности реакции древостоев в разных типах леса на погодные аномалии

Подведем итоги и обобщим представленные выше материалы, из которых следует, что ответные реакции древостоев на различные погодные аномалии в каждом типе леса были сугубо специфичными. Начнем анализ с наиболее старых древостоев и рассмотрим особенности годичного прироста деревьев в них на разных отрезках времени.

Исследования показали, что динамика годичного прироста деревьев даже в пределах одного и того же типа леса не является синхронной, а зависит от особенностей биогеоценозов и генотипической структуры древостоев. Так, к примеру, деревья в сосняках брусничниковых естественного происхождения Визимьярского лесничества, расположенного в центре Марийской низменности, характеризующейся обилием верховых болот и близким залеганием грунтовых вод, сильнее реагировали на засухи 1911, 1921, 1933 и 1941 годов, чем в сосняках, произрастающих на Сотнурской возвышенности (рис. 5.30). В последующем же на отрезке времени с 1950 по 1990 годы характер их реакции на погодные аномалии изменился на противоположный (рис. 5.31).

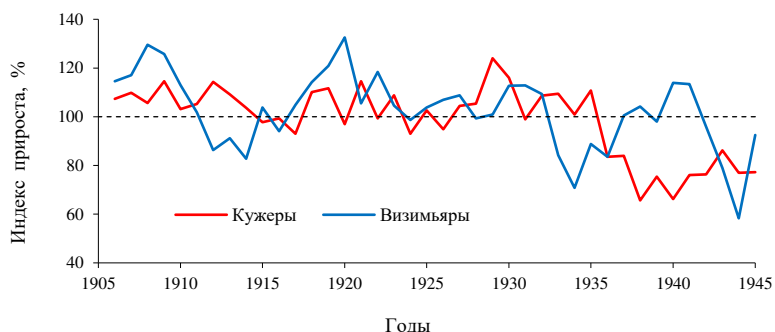


Рис. 5.30. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев на отрезке времени с 1905 по 1945 год в чистых сосняках естественного происхождения, произрастающих в свежих борах Кужерского и Визимьярского лесничеств

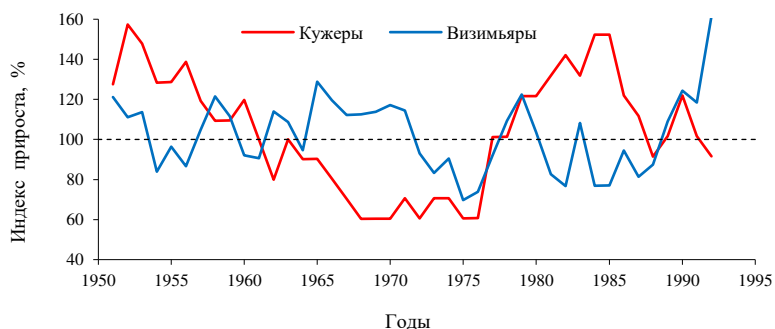


Рис. 5.31. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев на отрезке времени с 1950 по 1995 год в чистых сосняках естественного происхождения, произрастающих в свежих борах Кужерского и Визимьярского лесничеств

Неодинаковой была также реакция на погодные аномалии у деревьев, произрастающих в разных ТЛУ (рис. 5.32 и 5.33). Так, в культурах сосны, созданных в условиях свежего бора, снижение величины индексов прироста деревьев начиналось задолго до засух 1921 и 1972 годов, после которых отмечалось длительное её увеличение. Деревья же в культурах сосны на богатых серых лесных почвах гораздо слабее реагировали на изменение факторов среды.

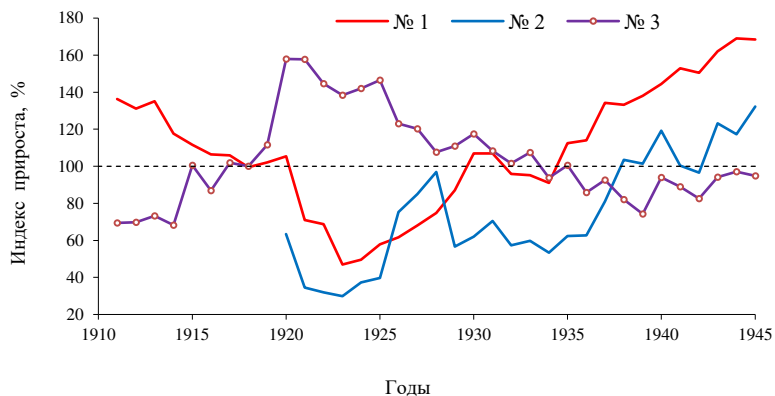


Рис. 5.32. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев на отрезке времени с 1910 по 1945 год в чистых насаждениях сосны, созданных в различных экотопах Республики Марий Эл: № 1 – культуры 1901 года в свежем бору; № 2 – культуры 1911 года в свежем бору; № 3 – культуры 1895 года в свежей дубраве

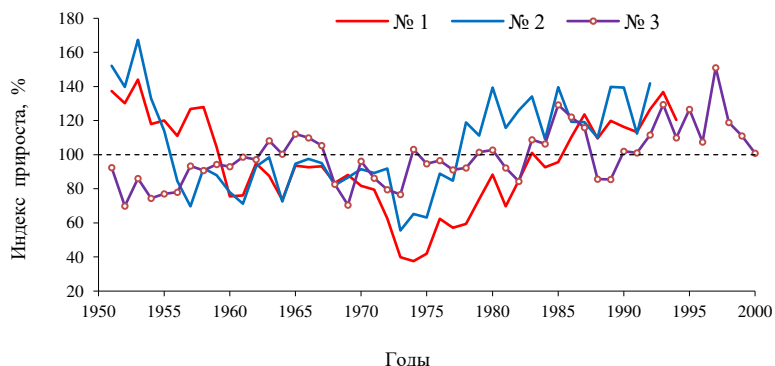


Рис. 5.33. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев на отрезке времени с 1950 по 2000 год в чистых насаждениях сосны, созданных в различных экотопах Республики Марий Эл

Значения индексов прироста деревьев изменялись во времени в разных типах леса весьма несинхронно (табл. 5.18). Особенно значительно отличался от остальных их рост в сосняках сфагновых. Наиболее сильно варьировала величина индексов в сосняках лишайниковых, а слабее же всего – в сосняках черничниковых (рис. 5.34 и 5.35). Одновременное увеличение значений показателя во всех типах леса отмечалось в 1958-1959 и 2008 годах, а такое же одновременное снижение – в 1994-1995 и 2010 годах. В сосняках лишайниковых и сфагновых увеличение индексов прироста деревьев произошло также в 1978 году. Одновременное снижение их величины в сосняках лишайниковых, брусничниковых и черничниковых отмечалось в 1956-1957 годах, в лишайниковых, черничниковых и сфагновых – в 1965-1966 годах. На погодные аномалии 1972, 1978 и 1980 годов древостои реагировали по-разному.

Таблица 5.18

Матрица коэффициентов парной корреляции между рядами значений индексов радиального годичного прироста деревьев в разных типах леса

Тип леса	Значения коэффициента корреляции между типами леса			
	С. лиш	С. бр	С. чер	С. сф
1940-1975 гг.				
С. лишайниковый	1,00			
С. брусничниковый	0,32	1,00		
С. черничниковый	0,10	0,12	1,00	
С. сфагновый	0,06	-0,25	-0,46	1,00
1976-2010 гг.				
С. лишайниковый	1,00			
С. брусничниковый	0,63	1,00		
С. черничниковый	0,51	0,40	1,00	
С. сфагновый	0,11	-0,20	0,22	1,00

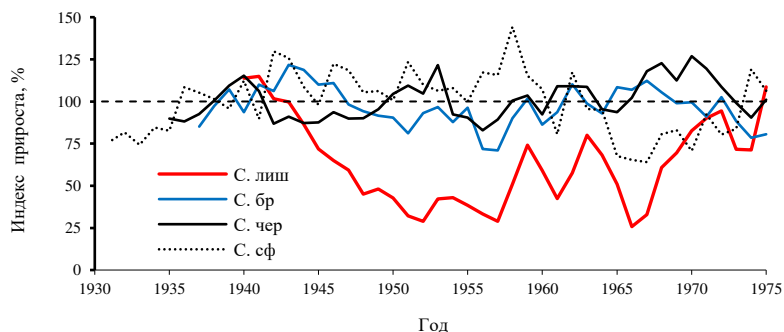


Рис. 5.34. Динамика индексов радиального прироста деревьев в сосняках разных типов леса на отрезке времени с 1930 по 1975 год

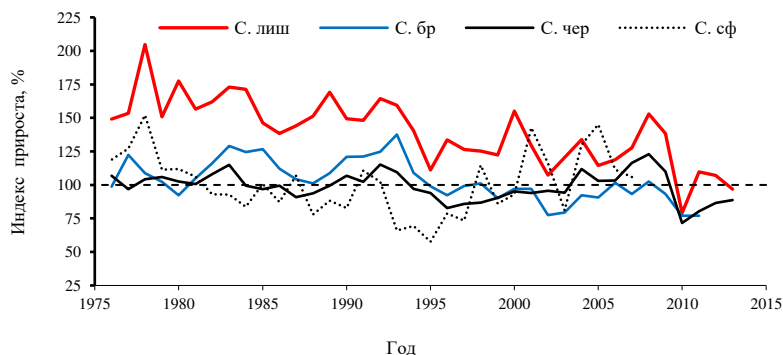


Рис. 5.35. Динамика индексов радиального прироста деревьев в сосняках разных типов леса на отрезке времени с 1975 по 2015 год

Характер динамики прироста деревьев определяет, таким образом, не только тип лесорастительных условий, но также целый комплекс биоценологических, климатических и иных физических факторов, в том числе событий, происходящих в ближнем и дальнем космосе. Выделить вклад каждого из них, мощность и амплитуда колебания которых не имеют строгой регулярности, практически невозможно, т.к. действие одного фактора может либо усиливать, либо снижать действие другого. Возникновение локальных контрастов в динамике роста деревьев происходит также в результате трансформации сигналов внешней среды в цепях связей их с различными компонентами биогеоценозов, имеющих в каждом экотопе свои специфические особенности. Попытаемся же детально рассмотреть вопрос о возможном действии внешних и внутренних факторов на рост деревьев в разных экологических ситуациях.

5.2. Особенности роста деревьев разного рангового положения в ценопопуляциях

Общеизвестно, что деревья в любом одновозрастном древостое как естественного, так и искусственного происхождения сильно различаются между собой по высоте, диаметру и объему ствола, размерам и форме кроны (Сукачев, 1928; Нестеров, 1958, 1961; Ипатов, 1968; Белов, 1983; Санников, Петрова, 2003; Романовский, Щекалев, 2014; Демаков, Нурева, 2019). Эта картина является хотя и застывшим, но необычайно ярким кадром динамического процесса дифференциации деревьев, возникающего в результате их борьбы за свое существование и действующего по законам естественного отбора, детерминированного наследственными

свойствами особей и усложненными вариациями условий среды. Для оценки рангового положения деревьев в ценопопуляциях были разработаны разнообразные классификационные шкалы, первой и наиболее удачной среди которых являлась шкала немецкого лесоведа Эдуарда-Фридриха-Густава Крафта, опубликовавшего свою работу в 1884 году. Шансы на дальнейшее существование у деревьев разного рангового положения далеко не одинаковы, однако анализ литературных источников (Дударев, 1956; Барнишкис, 1972; Демаков, 2000, 2002; Демаков, Козлова, 2004) свидетельствует о весьма большом разбросе величины вероятности их выживания, установленной исследователями, что связано со спецификой исходной структуры древостоев и последующего их развития. Вопрос о закономерностях дифференциации древостоев, несмотря на внешнюю его простоту и давнюю историю, далек от окончательного решения. По-прежнему ощущается острый недостаток экспериментальных данных, полученных на основе длительных регулярных наблюдений на постоянных пробных площадях или же анализа роста деревьев.

Анализ эмпирического материала, собранного на 125 пробных площадях разного возраста, показал, что дифференциация деревьев по их размерам начинается в ценопопуляциях очень рано и продолжается до глубокой старости (Демаков, Нуреева, 2019). В большинстве древостоев преобладают деревья среднего рангового положения (табл. 5.19). Доля господствующих и сверхгосподствующих деревьев, которые по своим параметрам значительно превосходят остальные (табл. 5.20), по числу стволов невелика, однако по площади их сечения и массе хвои, а значит, и роли в функционировании биогеоценозов составляет в среднем около 50 %, достигая в ряде случаев даже 80 %. Доля деревьев IV-V классов Г. Крафта составляет в среднем по числу стволов 31,6 %, а по площади их сечения и массе хвои – всего лишь 12,3-15,9 %.

Таблица 5.19

Доля деревьев сосны разных классов Крафта в сложении структуры ценопопуляций

Параметр структуры	Доля деревьев разных классов Крафта в ценопопуляциях, %				
	I	II	III	IV	V
Число деревьев	$8,4 \pm 0,5$ 0,5 – 33,9	$19,9 \pm 0,6$ 5,7 – 39,6	$40,2 \pm 0,9$ 21,2 – 77,3	$22,5 \pm 0,7$ 1,1 – 42,0	$9,1 \pm 0,5$ 0,0 – 24,1
Площадь сечения стволов	$18,8 \pm 0,9$ 1,7 – 47,7	$30,7 \pm 0,6$ 9,9 – 47,7	$38,3 \pm 1,0$ 12,4 – 76,0	$10,7 \pm 0,5$ 0,7 – 33,4	$1,6 \pm 0,1$ 0,0 – 6,5
Масса хвои деревьев	$16,1 \pm 0,8$ 1,4 – 43,9	$28,4 \pm 0,6$ 9,1 – 44,2	$39,6 \pm 1,0$ 14,2 – 77,6	$13,2 \pm 0,6$ 0,7 – 35,1	$2,7 \pm 0,2$ 0,0 – 8,2

Примечание: над чертой – среднее значение и его ошибка, под чертой – пределы изменения значений.

Таблица 5.20

Статистика относительного диаметра деревьев разных классов роста

Класс Крафта	Значения статистических показателей ($n = 125$)						
	$M_x \pm m_x$	min	max	S_x	CV	A	E
I	$153,7 \pm 1,3$	115,9	202,6	14,6	9,5	0,509	1,345
II	$125,9 \pm 0,9$	95,8	156,6	10,2	9,1	-0,070	0,897
III	$97,5 \pm 0,7$	80,6	125,6	7,4	7,6	0,237	0,875
IV	$66,7 \pm 0,8$	40,9	89,2	9,2	13,8	-0,263	-0,282
V	$40,2 \pm 1,2$	19,1	67,1	12,9	32,2	0,434	-1,150

Примечание: $M_x \pm m_x$ – среднее значение показателя и его ошибка относительно среднего диаметра древостоя, %; min, max – минимальное и максимальное значения в выборке, %; S_x – среднеквадратическое (стандартное) отклонение, %; CV – коэффициент вариации показателя, %; A и E – коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Долевое участие деревьев разных классов и их относительные размеры, как свидетельствуют приведенные данные, варьируют в разрезе изученных ценопопуляций довольно значительно, что связано как с особенностями их генотипической структуры (Романовский, 1994; Романовский, Щекалев, 2014; Санников, Петрова, 2003), так и с субъективными ошибками глазомерной оценки, избежать которых невозможно. Влияние возраста и густоты древостоев, изменяющихся в выборке в очень больших пределах, на величину этих показателей практически не проявляется ($\eta < 0,25$ при $p < 0,05$), что полностью подтверждает известный закон единства строения древостоев. Только при крайне низкой густоте древостоев в них возрастает доля деревьев III класса Г. Крафта, что указывает на снижение интенсивности процесса дифференциации особей. С возрастом древостоев (A , лет) довольно четко изменяется, как показали расчеты, только величина среднего диаметра деревьев разных классов (d_k , см), что с высокой точностью ($p < 0,001$) описывает уравнение Митчерлиха $d_k = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$, параметры которого представлены в таблице 5.21. Установлено, что средний диаметр деревьев каждого класса очень тесно связан со средним диаметром всего древостоя (D , см), что аппроксимирует степенное уравнение $d_k = a \times D^b$, опираясь на которое можно провести оценку ранговой структуры ценопопуляций не только по материалам фактического учета, но также таблицам хода роста насаждений и данным таксационных описаний.

Исследования, проведенные на постоянных пробных площадях (Демаков, Козлова, 2004), а также данные сплошного отбора и измерения кернов на одной из них показали определенную ограниченность приложения закона рангового роста деревьев, выдвинутого Е.Л. Маслаковым (1984), поскольку положение их в ценозе не остается постоянным, а со

временем существенно изменяется (рис. 5.36), что приводит к постепенному ослаблению тесноты связи текущего диаметра с исходным. Однако, несмотря на это, проводить отбор перспективных экземпляров при рубках ухода можно уже довольно уверенно с 15-летнего возраста. Так, из 18 деревьев I-II классов за 40 лет в IV-V классы перешло только одно дерево (6 %), а из 60 деревьев низших классов в основной полог древостоя перешло только 13 (22 %). Из числа деревьев V класса только три поднялись на одну ступень. Особенно неустойчиво положение деревьев III класса, половина из которых понизила свое ранговое положение.

Таблица 5.21

Значения параметров уравнений зависимости среднего диаметра деревьев разных классов Крафта от возраста и среднего диаметра древостоя в сосняках лишайниковых и зеленомошных Республики Марий Эл

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для деревьев разных классов Крафта				
	I	II	III	IV	V
$d_k = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$					
K	44,6	38,7	31,6	23,2	13,7
a	21,47	18,74	16,01	13,28	10,55
b	1,350	1,292	1,234	1,176	1,118
R^2	0,973	0,960	0,956	0,967	0,976
$d_k = a \times D^b$					
a	1,736	1,421	1,005	0,539	0,232
b	0,937	0,940	0,987	1,115	1,301
R^2	0,975	0,984	0,986	0,984	0,957

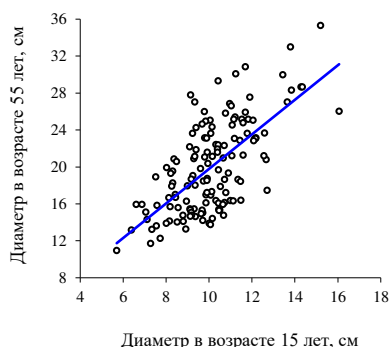
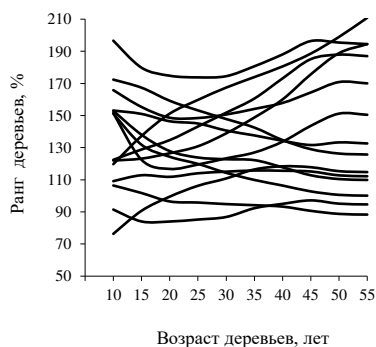


Рис. 5.36. Динамика рангового положения деревьев в ценозе и характер связи между диаметром деревьев в возрасте 15 и 55 лет

Исследования показали, что характер роста деревьев разных классов Крафта и их ответных реакций на изменение условий среды во многом зависит от особенностей экотопов и генотипической структуры ценопопуляций. Так, к примеру, в культурах сосны, созданных в 1974 году по сплошной обработке почвы на гарях 1972 года в Старожильском лесничестве, ширина первого годичного кольца деревьев разных классов Крафта была практически одинаковой, однако уже на следующий год между ними проявились резкие различия (рис. 5.37). Наиболее значительно отличались от остальных по величине прироста деревья 5 класса Крафта, которые почти сразу же перешли в разряд угнетенных. Особенно сильное отставание их в росте началось в возрасте 11 лет. Через 5-6 лет годичные кольца у них перестали формироваться, но прирост в высоту еще продолжался. У деревьев 3 класса Крафта радиальный прирост в отдельные годы (1982) был выше, чем у деревьев 1-2 классов.

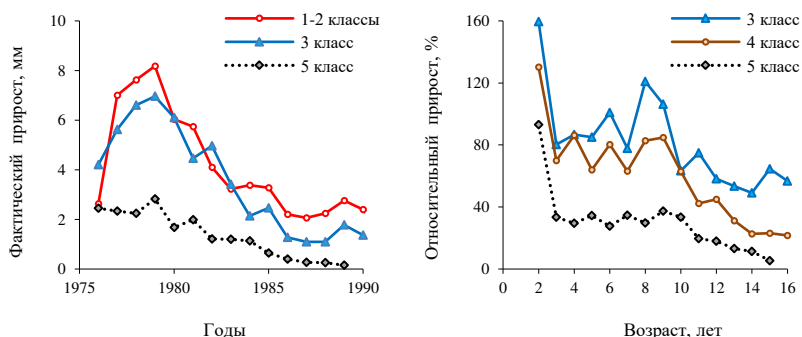


Рис. 5.37. Динамика радиального прироста деревьев разных классов Г. Крафта в культурах сосны, созданных в 1974 году в ТЛУ А₂ (кв. 68 Старожильского лесничества)

Динамику радиального прироста деревьев, как показали расчеты, с высокой точностью описывает уравнение $\Delta r = K \times t \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t)$, параметры которого приведены в табл. 5.22. Наиболее велика у деревьев всех классов Крафта на этом опытном объекте ширина 3-4 годичных колец, затем же она неуклонно снижается и стабилизируется в возрасте 11-12 лет. Самые же высокие индексы прироста отмечались в 1989-1991 годах (рис. 5.38). На изменение условий среды, как следует из представленных данных, деревья разных классов реагировали неодинаково: значения коэффициента корреляции между рядами значений изменяются от 0,86 до -0,40 (табл. 5.23). Особенно значительно отличаются от остальных по характеру роста самые угнетенные деревья, реакция кото-

рых на изменения условий среды является, видимо, не всегда адекватной сложившейся обстановке. Слабее же всего реагируют на колебания условий среды деревья 4 класса Крафта, величина индексов прироста у которых наименее изменчива. Различия в характере роста деревьев первых трех классов минимальны.

Таблица 5.22

Значения параметров математической модели динамики радиального годичного прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1974 года

Класс Крафта	Средний диаметр, см	Параметры модели $\Delta r = K \times t \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t)$		
		K	a	R ²
1-2 класс	12,9	5,50	28,73	0,830
3 класс	10,9	5,73	31,95	0,944
4 класс	8,4	5,46	35,26	0,973
5 класс	3,8	2,76	37,83	0,900

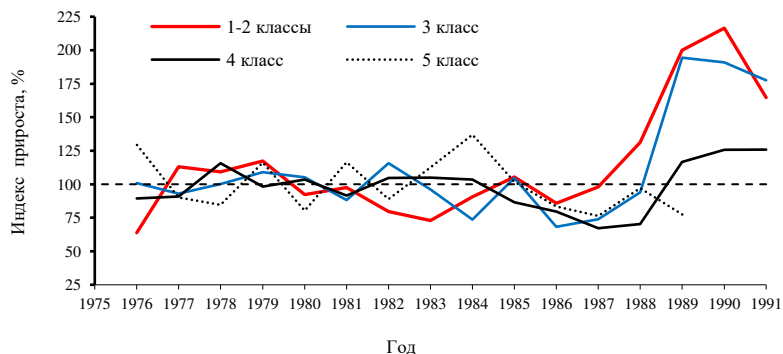


Рис. 5.38. Динамика индексов радиального прироста деревьев разных классов Крафта в культурах сосны, созданных в ТЛЮ А₂ (кв. 68 Старожильского лесничества)

Таблица 5.23

Степень сопряженности рядов динамики индексов радиального прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1974 года

Класс Крафта	Значение коэффициента корреляции между рядами индексов прироста деревьев разных классов Крафта			
	1-2 класс	3 класс	4 класс	5 класс
1-2	1,00			
3	0,86	1,00		
4	0,53	0,75	1,00	
5	-0,40	-0,28	0,05	1,00

В 22-летних загущенных культурах сосны, созданных также по сплошной обработке почвы в кв. 38 Старожильского лесничества, картина происходящих изменений была немного иной. Устойчивое снижение ширины годовичных колец деревьев первых четырех классов Крафта началось в 1979 году в результате погодных аномалий 1978 года, когда летом было мало тепла и солнечного света, хотя резкое падение прироста отмечалось у них до этого в засушливых 1972 и 1975 годах (рис. 5.39). Минимальное значение прироста за весь исследованный отрезок времени у деревьев первых трех классов Крафта отмечалось в 1981 году после аномального по погодным условиям 1980 года. У деревьев 5 класса, которые почти сразу же перешли в разряд угнетенных, его величина в это время стала выше, чем у деревьев 3-4 классов, и практически сравнялась с деревьями верхнего полога, а у деревьев 4 класса минимум величины прироста пришелся на 1986 год. Особенно сильное отставание в росте у деревьев 5 класса началось в возрасте 14 лет, а в 17 лет годовичные кольца у них перестали формироваться, но прирост в высоту продолжался еще 5-6 лет.

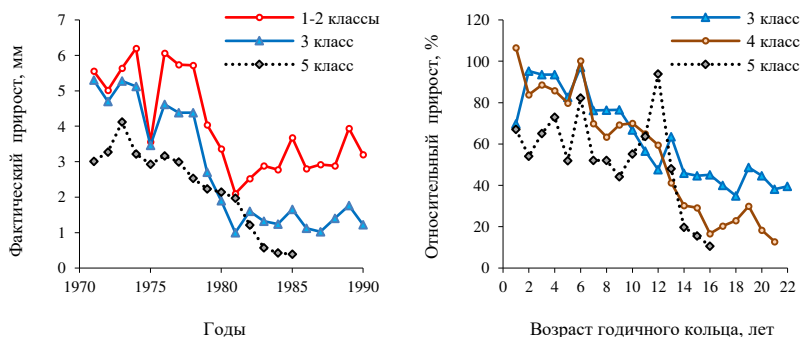


Рис. 5.39. Динамика прироста деревьев разных классов Г. Крафта в густых культурах сосны, созданных в 1968 году на территории Старожильского лесничества

Динамику радиального прироста деревьев на данном объекте описывает, как показали расчеты, с высокой точностью уравнение $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-5} \times t^3) + b$, параметры которого приведены в табл. 5.24. Наиболее велика здесь у деревьев всех классов Крафта ширина, как и на предыдущем объекте, 3-4 годовичных колец, затем же она неуклонно снижается и стабилизируется в возрасте 14-16 лет. Самые же высокие значения индексов прироста у деревьев первых трех классов отмечались в 1978, 1985 и 1989 годах (рис. 5.40). У деревьев же 4 класса последний минимум наступил на год раньше. Деревья разных классов реагировали

на изменение условий среды, как следует из представленных данных, неодинаково. Особенно значительно отличаются от остальных по характеру роста самые угнетенные деревья (табл. 5.25), не вписывающиеся в сложившуюся экологическую обстановку. Различия в характере роста деревьев первых трех классов минимальны.

Таблица 5.24

Значения параметров математической модели динамики радиального годичного прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1968 года

Класс Крафта	Средний диаметр, см	Параметры модели $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-5} \times t^3) + b$			
		K	a	b	R ²
1-2 класс	17,7	2,91	91,13	2,87	0,687
3 класс	12,8	3,77	93,29	1,30	0,881
4 класс	10,6	4,51	83,74	0,64	0,948
5 класс	7,6	3,59	48,24	0,00	0,928

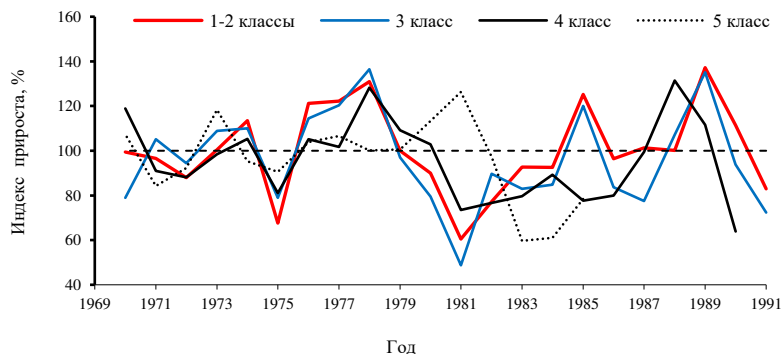


Рис. 5.40. Динамика индексов радиального прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1968 года, созданных в ТЛЮ А₂ (кв. 38 Старожильского лесничества)

Таблица 5.25

Степень сопряженности рядов динамики индексов радиального прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1968 года

Класс Крафта	Значение коэффициента корреляции между рядами индексов прироста деревьев разных классов Крафта			
	1-2 класс	3 класс	4 класс	5 класс
1-2	1,00			
3	0,88	1,00		
4	0,46	0,48	1,00	
5	-0,09	-0,11	0,31	1,00

В густых культурах сосны, созданных в 1952 году в свежей субори (кв. 42 Старожильского лесничества), устойчивое снижение ширины годичных колец деревьев первых четырех классов Крафта началось практически с первых лет их жизни, однако четкое разделение на ранги произошло лишь спустя 10-12 лет (рис. 5.41). Динамику радиального прироста деревьев с высокой точностью описывает отрицательное экспоненциальное уравнение $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t) + b$, параметры которого у каждого их класса сугубо специфичны (табл. 5.26). Изменения значений индексов прироста происходили у них весьма несинхронно (табл. 5.27). Полное совпадение локальных максимумов отмечалось в 1967 и 1990 годах, а минимумов – только в 1986 году (рис. 5.42). В остальное же время наблюдался полный разнобой, что свидетельствует о крайне высокой генотипической неоднородности оцененной ценопопуляции. Перед засухой 1972 года у деревьев всех рангов в течение пяти лет происходило четко выраженное снижение значений индексов прироста, в ответ же на недостаток тепла и солнечного света, отмечавшихся в 1978 и 1980 годах, прирост снизили только деревья 3 класса Крафта.

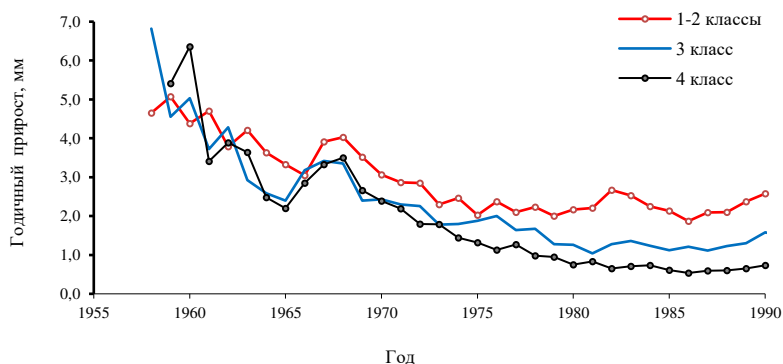


Рис. 5.41. Динамика радиального прироста деревьев разных рангов в культуре сосны 1952 года (свежая суборь, кв. 42 Старожильского лесничества)

Таблица 5.26

Значения параметров математической модели динамики радиального годичного прироста деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1952 года

Класс Крафта	Средний диаметр, см	Параметры модели $\Delta r = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times t) + b$			
		K	a	b	R ²
1-2 класс	20,0	3,31	12,09	2,24	0,850
3 класс	15,8	5,27	12,91	1,21	0,898
4 класс	12,6	6,18	9,21	0,22	0,895

Таблица 5.27

**Степень сопряженности рядов динамики индексов радиального прироста
деревьев разных классов Крафта в культуре сосны 1952 года**

Класс Крафта	Значение коэффициента корреляции между рядами индексов прироста деревьев разных классов Крафта		
	1-2 класс	3 класс	4 класс
1-2	1,00	0,35	0,46
3	0,35	1,00	0,68

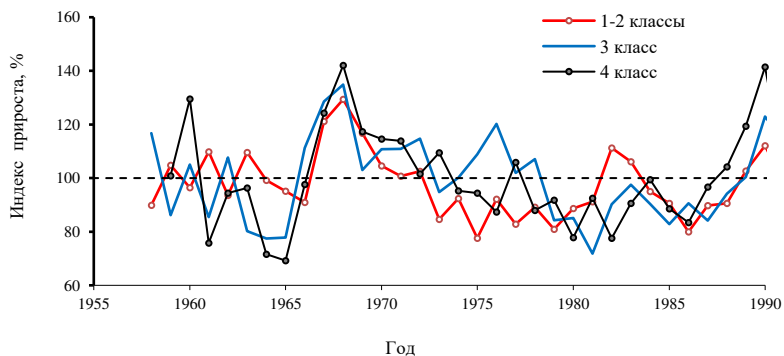


Рис. 5.42. Динамика индексов радиального прироста деревьев разных рангов в культуре сосны 1952 года (свежая суборь, кв. 42 Старожильского лесничества)

Анализ материала, собранного в культурах сосны, созданных в 1911 году в ТЛЮ А₂ (кв. 20 Старожильского лесничества), показал, что возрастной тренд радиального годовичного прироста у деревьев первых трех классов Крафта выражен очень слабо (рис. 5.43) и описывается следующими линейными уравнениями:

- у деревьев 1-2 классов $\Delta r = 1,59 - 0,004 \times t$; $R^2 = 0,051$;

- у деревьев 3 класса $\Delta r = 1,34 - 0,010 \times t$; $R^2 = 0,441$,

где t – год образования первого годовичного кольца на высоте 1,3 м.

За время развития культур, как следует из приведенных данных, отмечалось несколько волн подъема и спада величины годовичного прироста деревьев. Первое снижение прироста произошло в 1929 году и продолжалось вплоть до 1939 года. Второе же мощное снижение прироста деревьев началось в 1956 году и продолжалось 17 лет до 1972 года включительно. Затем величина их прироста, особенно у особей 1-2 классов Крафта, постепенно увеличивалась, достигнув локального максимума в 1980 году, после чего начала медленно снижаться. Колебания

величины прироста деревьев в пределах каждого этапа развития цено-популяции практически не связаны с изменением параметров климата.

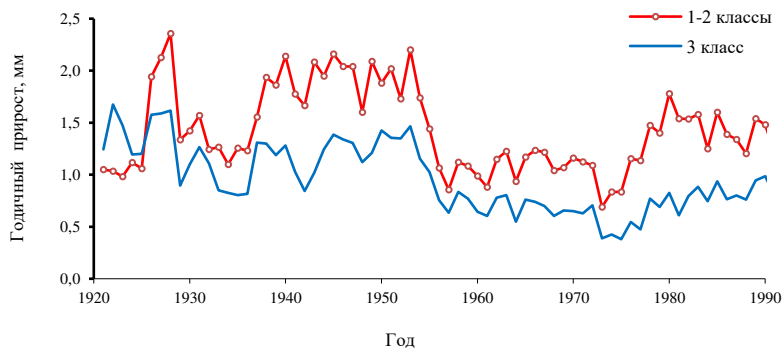


Рис. 5.43. Динамика радиального прироста деревьев разных рангов в культуре сосны 1911 года (свежий бор, кв. 20 Старожильского лесничества)

Деревья 3 класса Крафта начали отставать в росте от деревьев первых двух классов практически с первых же лет их жизни, однако четкое разделение особей на ранги произошло лишь через 15-16 лет развития культур (рис. 5.44). Изменения значений прироста происходили у них в целом весьма синхронно, но их величина в результате различий реакции на колебания условий среды была неодинаковой (величина коэффициента корреляции между рядами значений прироста составила всего 0,67). Деревья 3 класса в ответ на засухи 1932, 1937 и 1972 годов снижали прирост гораздо меньше, чем деревья высших классов.

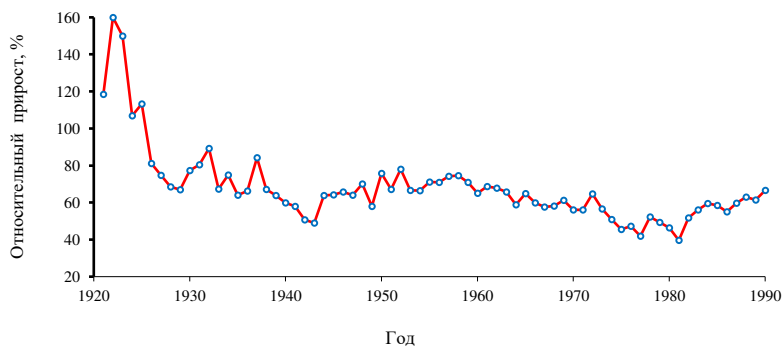


Рис. 5.44. Динамика величины радиального прироста деревьев 3 класса Г. Крафта по отношению к деревьям 1-2 классов в культуре сосны 1911 года

В сосняках естественного происхождения (кв. 17 Старожильского лесничества, ТЛУ А₂) четкое разделение деревьев на ранги произошло лишь спустя 15-20 лет после начала их роста (рис. 5.45). Изменения величины годовичного прироста происходили у них очень синхронно (величина коэффициента корреляции между рядами значений прироста составила 0,79), что свидетельствует о высокой генотипической однородности ценопопуляции. На колебания условий среды деревья 1-2 классов реагировали в целом сильнее, чем деревья 4 класса, прирост у которых начал постепенно, но неуклонно снижаться (рис. 5.46). На засуху 1921 года деревья всех рангов отреагировали слабее, чем на недостаток осадков в 1932 году. Еще слабее была их реакция на засуху 1972 года, прирост до которой начал неуклонно снижаться у них еще с 1952 года. В ответ же на недостаток тепла и солнечного света, отмечавшихся в 1978 и 1980 годах, прирост у них увеличился. Бросается в глаза волновой характер изменения годовичного прироста деревьев и очень большой скачок его увеличения в 1951 и 1952 годах, причины которых не связаны напрямую с ходом погодных условий и остаются пока невыясненными. Подобный характер динамики прироста отмечается также в других экотопах (см. рис. 5.9, 5.11, 5.15, 5.17, 5.18 – 5.19), что наводит на мысль о влиянии на него биоценотических, а также каких-то не выявленных еще геофизических факторов.

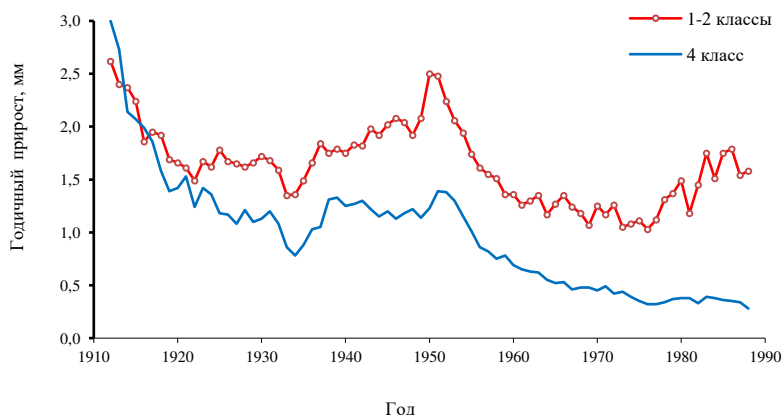


Рис. 5.45. Динамика радиального прироста деревьев разных рангов в сосняках естественного происхождения (свежий бор, кв. 17 Старожильского лесничества)

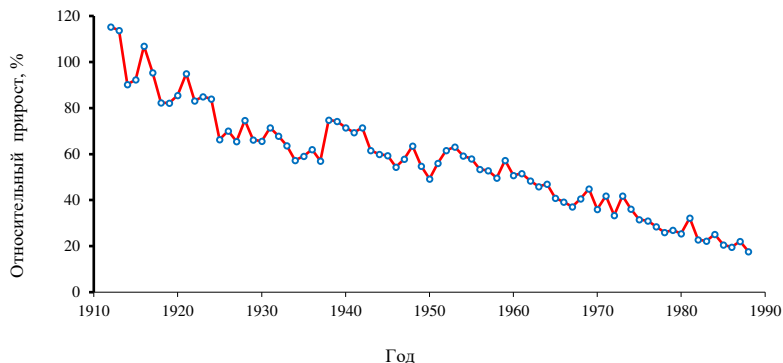


Рис. 5.46. Динамика величины радиального прироста деревьев 4 класса Г. Крафта по отношению к деревьям 1-2 классов в сосняках естественного происхождения

Каковы же причины дифференциации деревьев в ценопопуляциях? В настоящее время среди ученых преобладает концепция, согласно которой полиморфизм древесных растений по их размерам обусловлен наследственными причинами, а конкуренция лишь усиливает их исходное неравенство (Кан-Ихи-Сакай, 1964; Романовский, 1994; Санников, Петрова, 2003; Романовский, Щекалев, 2014). Такое объяснение этого процесса не подкреплено, однако, материалами генетических исследований и не вскрывает сути происходящих изменений. Некоторые исследователи (Harper, 1977; Keddy, 1990; Wedin, Tilman, 1993; Романовский, Щекалев, 2016) считают, что разные темпы роста деревьев могут определяться неодинаковой способностью особей к резервированию в своих органах ресурсов питательных веществ и их распределению между ними. Быстрорастущие особи основную часть аккумулированной солнечной энергии вкладывают в прирост древесной массы и не создают якобы долговременных запасов питательных веществ, а медленно растущие, наоборот, оставляют их в резерве. Наиболее угнетенные деревьями в ценопопуляциях, как было отмечено выше, не образуют в последние годы своей жизни (иногда в течение 10-15 лет) годичных колец, расходуя весь запас питательных веществ на образование новой хвои.

Деревья отличаются друг от друга, по мнению этих исследователей, по длине окружности ствола, приходящейся на единицу листовой массы дерева, величина которой возрастает по мере снижения их рангового положения в ценозе. Наши исследования полностью подтвердили это положение (Демаков, Нуреева, 2019), которое является, однако, следствием, а не причиной дифференциации деревьев. Изменение соотно-

шения между массой хвои и размером кольца флоэмы, по которому происходит отток ассимилянтов, происходит, как это было установлено исследователями (Вомперский, Иванов, 1984; Кайбияйнен, Хари, 1985, Сбалансированность ..., 1986; Хари и др., 1985; Иванов, Дубинин, 1992), в результате сбалансированности системы водного транспорта деревьев, саморегулирующейся на основе отрицательной обратной связи. Недостаточная влагообеспеченность кроны во время засухи вызывает снижение эффективности работы ассимиляционного аппарата и, как следствие, снижение прироста ствола, корней и хвои из-за недостатка продуктов фотосинтеза. Улучшение же влагообеспеченности кроны приводит к последующему увеличению прироста всех органов дерева. Площадь водопроводящей зоны восходящего потока воды, составляющая около 10 % площади сечения всей заболони, ежегодно изменяется по величине, возрастая в сухие периоды и снижаясь во влажные (Вомперский, Иванов, 1984; Иванов, Дубинин, 1992). Ткань ксилемы хвойных функционирует в благоприятных условиях роста деревьев всего 10-12 лет, а в экстремальных же – от 36 до 76 лет. Число годичных слоев заболони, способных проводить воду, соответствует при этом числу живых мутовок у дерева (Кайбияйнен, Хари, 1985). В возрасте 14-17 лет оно, по нашим данным, изменялось у деревьев в сухих и свежих борах от 4 до 11, составляя в среднем 8. В возрасте 22-24 года число живых мутовок у дерева варьировало от 7 до 16, равняясь в среднем 9, а к 30 годам увеличилось до 11. Большое влияние на число живых мутовок у деревьев оказывает густота древостоя, снижающая их количество. Так, в 15-летних культурах сосны с исходной густотой 500 экз./га оно составляло в среднем 12-13 штук, снижаясь при густоте 3-5 тыс. экз./га до 9-10, а при густоте 10 тыс. экз./га – до 7-8. Отношение площади сечения заболони к площади сечения ствола на высоте 1,3 м у деревьев I-III классов Крафта изменяется от 44 до 67 %, а у особей IV-V классов – от 19 до 46 % (Вомперский, Иванов, 1984). С увеличением возраста деревьев величина этого отношения у угнетенных деревьев остается практически неизменной, а у нормально развитых снижается.

Одной из причин дифференциации особей в ценопопуляциях может являться разная скорость их старения, проявляющаяся не только в снижении с возрастом ширины годичного кольца и водопроводящей зоны заболони, но и в сокращении числа живых ветвей, активности очищения ствола от сучьев и ускорении ядрообразования. Скорость старения дерева можно отобразить математически (Зейде, 1972). Для описания этого процесса лучше всего подходит, как показали расчеты, уравнение $d_k = \max d_k \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]$, аппроксимирующее изменение диа-

метра дерева (d_k , см) с его возрастом (A , лет). Параметр $\max d_k$ этого уравнения характеризует предельный диаметр, которого может достичь дерево в процессе своего роста, а параметр a – скорость его старения. Уравнения роста каждого дерева в ценопопуляции, отражающие потенциальные возможности особей и их раскрытие при взаимоотношении с окружающей средой (Карманова, 1976; Демаков, 2000), имеют и другие характерные параметры, которыми, кроме $\max d_k$ и a , являются применительно к нашей выборке диаметр в возрасте 5 и 55 лет, а также их отношения между собой. Каждый из этих параметров изменяется в очень больших пределах (табл. 5.28), что свидетельствует о неоднородности ценопопуляции по скорости старения в ней деревьев. Сильнее всего варьирует в выборке ($CV = 72,2\%$) отношение предельно возможного диаметра дерева, которого оно может достичь в процессе роста, к диаметру в возрасте 5 лет. Самый же низкий коэффициент вариации ($CV = 16,0\%$) имеет отношение диаметра дерева в возрасте 55 лет к предельно возможному диаметру. Деревья каждого класса Крафта четко различаются между собой по средним значениям параметров функции старения (табл. 5.29), большинство из которых закономерно снижается от высших рангов к низшим. Значения же параметров скорости старения дерева (a) и отношение диаметра дерева в возрасте 55 лет к предельно возможному диаметру ($d_{55} / \max d_k$) изменяются противоположным образом. Результаты проведенных расчетов (рис. 5.47) показали, что деревья IV-V классов Крафта практически полностью исчерпывают потенциал роста уже к 40-50 годам, почти не увеличивая диаметр ствола. Оставлять их в древостое, исходя из этого, не имеет смысла. Рубку деревьев остальных классов в оцененной ценопопуляции целесообразно проводить в 85-90 лет, так как в это время они также исчерпывают свои потенциальные возможности роста.

Таблица 5.28

**Вариабельность параметров уравнения скорости старения деревьев
в 55-летних культурах сосны**

Параметр функции	Значения статистических показателей ($n = 138$)				
	$M_x \pm m_x$	min	max	S_x	CV
d_5	$4,1 \pm 0,1$	1,68	8,68	1,32	31,9
d_{55}	$20,0 \pm 0,4$	10,96	35,32	4,95	24,8
$\max d_k$	$25,9 \pm 1,1$	12,40	77,6	12,90	49,8
$d_{55} / \max d_k$	$0,83 \pm 0,01$	0,24	0,99	0,13	16,0
d_{55} / d_5	$5,23 \pm 0,16$	2,39	13,23	1,93	36,9
$\max d_k / d_5$	$7,00 \pm 0,43$	2,42	44,53	5,05	72,2
a	$40,88 \pm 1,54$	5,19	90,05	18,10	44,3

Таблица 5.29

**Значения параметров уравнений роста у деревьев разных классов
в 55-летних культурах сосны**

Параметр уравнения	Значения параметров у деревьев разных классов: среднее значение и лимиты				
	I (n = 7)	II (n = 14)	III (n = 60)	IV (n = 49)	V (n = 11)
d_5	<u>4,38</u> 2,95-6,32	<u>5,08</u> 2,22-8,68	<u>4,25</u> 1,68-7,68	<u>3,89</u> 1,76-6,04	<u>3,27</u> 2,04-5,79
d_{55}	<u>32,3</u> 30,1-35,3	<u>27,6</u> 25,9-30,0	<u>22,0</u> 18,4-25,8	<u>16,0</u> 14,1-18,3	<u>13,1</u> 11,0-14,0
$\max d_k$	<u>51,4</u> 48,8-57,2	<u>41,0</u> 27,0-77,6	<u>28,3</u> 19,6-41,3	<u>17,6</u> 14,6-23,9	<u>14,2</u> 12,4-15,9
$d_{55} / \max d_k$	<u>0,63</u> 0,54-0,71	<u>0,72</u> 0,35-0,96	<u>0,79</u> 0,60-0,96	<u>0,91</u> 0,68-0,99	<u>0,92</u> 0,83-0,99
d_{55} / d_5	<u>7,99</u> 5,59-10,2	<u>6,42</u> 3,00-13,2	<u>5,63</u> 2,88-13,0	<u>4,39</u> 2,39-9,07	<u>4,30</u> 2,40-5,75
$\max d_k / d_5$	<u>13,1</u> 7,85-17,9	<u>9,89</u> 3,12-24,9	<u>7,44</u> 3,03-21,7	<u>4,94</u> 2,42-15,6	<u>4,69</u> 2,42-6,08
a	<u>19,6</u> 13,9-24,7	<u>28,4</u> 7,92-62,8	<u>32,1</u> 16,6-59,5	<u>53,8</u> 20,7-87,1	<u>57,2</u> 34,9-90,1

Любое дерево, представляющее собой высокоорганизованную саморегулирующуюся систему, в процессе своего роста приспосабливается к условиям среды, изменяя размеры своих органов таким образом, чтобы они наилучшим образом выполняли в сложившейся экологической обстановке возложенные на них функции. Достигается это за счет перераспределения ассимилянтов, отражаясь на скорости роста ствола в высоту и толщину. Величина пропорций между высотой дерева и диаметром или площадью сечения ствола, исходя из этой концепции, может являться хорошим диагностическим признаком состояния его жизнеспособности и рангового положения в ценопопуляции (Ключюс, 1986; Демаков, 2000). Чем больше величина отношения $H:D$ или $H:G$, тем больше прирост в высоту преобладает над приростом в толщину и тем большая часть питательных веществ из имеющихся ресурсов направляется деревом на образование верхушечного побега. Деревья разных классов, как это видно на представленном графике, четко различаются между собой в любом возрасте по величине пропорции $H:G$, которая, однако, отражает не причину, а следствие процесса их дифференциации. Следует отметить, что совокупности деревьев каждого класса не являются однородными. В них происходит постоянная перегруппировка особей, которые в процессе роста меняются между собой местами по величине текущего годичного прироста (рис. 5.48), регулируя ранговое положение в ценозе. Причем перегруппировка деревьев происходила почти одновременно в обоих их классах, что свидетельствует об объек-

тивности этого процесса и его связи с каким-то конкретным фактором среды (возможно, с изменением типов циркуляции атмосферы).

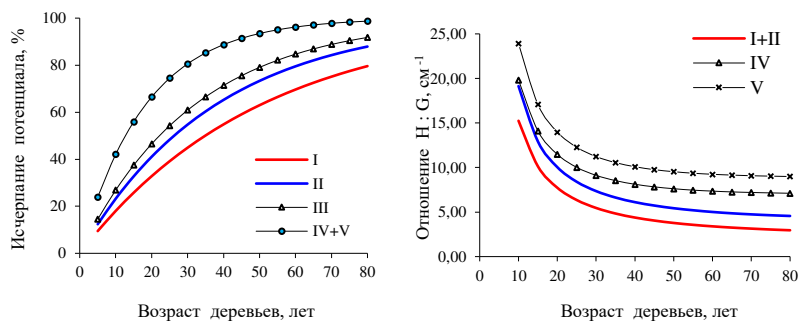


Рис. 5.47. Динамика истощения потенциальных возможностей роста деревьями сосны разных классов Крафта (слева), а также величины пропорции между высотой и площадью сечения их ствола

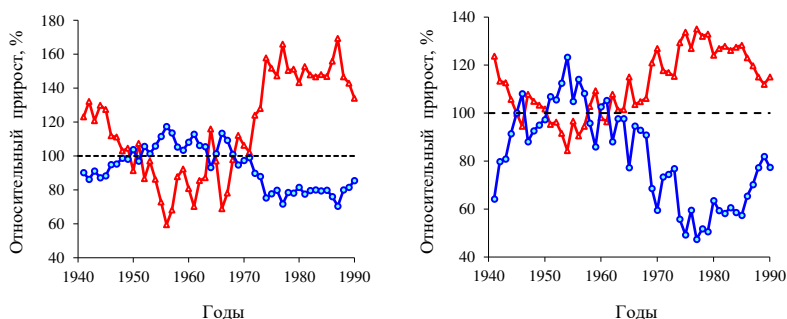


Рис. 5.48. Динамика относительной величины радиального прироста деревьев разных групп среди господствующих (слева) и подчиненных особей в культурах сосны 1911 года

Причины изменения рангового положения деревьев могут быть самыми разными: их наследственные свойства, особенности реакции на погодные условия, взаимоотношения в надземной и подземной сферах с соседними особями, повреждение вредными насекомыми и грибами. Одной из них являются, в частности, особенности архитектуры корневых систем деревьев (Baldwin, 1976; Wilson, 1988; Grubb, 1994; Kadmon, 1995; Тихонова, 2013; Милютин и др., 2013), которые у особей низших рангов расположены ближе к поверхности почвы и менее развиты, чем у наиболее крупных. Еще одной причиной дифференци-

ции деревьев по их размерам в ценопопуляциях может являться неоднородность почвенного покрова в пределах биотопов (Карпачевский, 1977), приводящая к образованию их биогрупп различной величины, густоты и производительности (Внучков, 1976; Тябера, 1980; Бузыкин и др., 1985; Гордина, 1985; Усольцев, 1985, 2013; Сеннов, 1993; Ledermann, Stage, 2001; Mabvurira, Miina, 2002; Stadt et al, 2007; Грабарник, 2010). Результаты исследования этого явления, однако, довольно противоречивы и не позволяют пока сделать однозначного заключения. Взаимовлияние деревьев в ценозах проявляется, по нашим данным (Демаков и др., 2011, 2013), довольно слабо, и их размеры зависят в большей степени не от расстояния до соседей и их размеров, а от экологической неоднородности экотопа и наследственных свойств особей, в том числе определяющих степень их конкурентоспособности.

Главное свойство биологической информации – её неповторимость: уникальные погодные условия сезона, уникальные особенности места сбора материала, уникальные особенности вида и конкретного растения, с которым работает исследователь (Романовский, Щекалев, 2014). На уровне ценопопуляций, представляющих один и тот же вид, – это разнообразные формы индивидуумов (полиморфизм), на уровне же отдельной особи – разнообразие реакций (политропизм). У вида или ценопопуляции нет единого лица. Нередко нет единого образа и у индивидуума, хотя многие исследователи воспринимают его как монотип с единой нормой реакции на изменение внешних условий, забывая о возможных альтернативных вариантах ответа на них. Биологические объекты политипичны и обладают многообразием возможных ответов на колебания параметров среды и разного их сочетания между собой. Текущее состояние любой особи растения зависит от множества факторов, однако конкуренция между особями существует только за свет, влагу и питательные элементы. Температура окружающей среды, кислотность почвы, её засоленность и загрязненность вредными веществами не являются объектами конкуренции, но влияют на жизнеспособность растений не менее, а иногда и более значительно. В качестве детерминант поведения огромное значение имеет также скорость изменения параметров среды и дисбаланс элементов питания.

Традиционно реакции организма на изменения внешних условий считаются плавными и однозначными, хотя они таковыми не являются. Форма организма, его габитус меняются в соответствии с окружающими условиями не только за счет прямых деформационных модификаций, но и за счет выбора должного решения из индивидуального, популяционного или видового арсенала (Медников, 1975, 1987; Романов-

ский, Щекалев, 2014). На каждый внешний раздражитель организм держит в запасе, как правило, не один, а несколько возможных ответов. Выбор среди них определенной реакции зависит от состояния организма, от стечения обстоятельств или от случайности. Нередко характер работы организма кардинально меняется в ответ на изменение интенсивности фактора, определяющего его поведение, что приводит к шаговым перестройкам и дискретному варьированию многих параметров особи. Шаговые перестройки вызываются включением или выключением частей генома в ходе суточных, сезонных, онтогенетических циклов, или под действием аperiodических стрессовых ситуаций, или вовсе независимо от внешних воздействий.

Понять природу такого сложного признака древесных растений, как их годичный прирост, можно на основе изучения не только конкретной динамики лимитирующих факторов среды, но и работы генома организма. Так, В.А. Драгавцев (2009, 2012, 2019) убедительно показал, что при смене лимитирующего фактора внешней среды меняется спектр генов, детерминирующий уровень и генетическую дисперсию того или иного количественного признака. Любой количественный признак, подверженный феномену взаимодействия «генотип – среда», есть результат взаимодействия продуктов генов в клетках растения с флуктуирующими факторами среды. Ярким примером этому является интенсивность фотосинтеза растений. Утренняя транспирация будет интенсивней у особей с крупными и часто расположенными устьицами и толстой плотной кутикулой, а дневная – у особей с мелкими и редко расположенными устьицами и тонкой, рыхлой кутикулой (Драгавцев, 2009). Утром генетическая изменчивость интенсивности транспирации определяется генами размеров и частоты размещения устьиц на листе, в полдень – генами синтеза восков (толщиной и плотностью кутикулы). При этом происходит смена рангов особей по интенсивности транспирации, т.е. возникает эффект взаимодействия «генотип – среда». В течение одного дня меняются спектры генов по признаку «интенсивность фотосинтеза»: с 7 до 12 часов его детерминируют гены метаболических путей фотосинтеза, с 12 до 15 часов – полигены засухоустойчивости, а с 15 до 19 часов – полигены транспорта продуктов фотосинтеза. И это в течение одного дня! Производительность же древесных растений зависит от целого комплекса их морфологических и физиологических параметров: площади поверхности листьев, толщины и плотности кутикулы, числа и размера устьиц, осмотического режима их открытия и закрытия, эффективности работы мембран и энергетики ферментов, глубины проникновения и мощности корневой системы, осмотического давления в

корневых волосках и энергетике транспорта почвенных растворов. В течение короткого момента времени любой количественный признак растений является моногенным, т.е. его генетическая изменчивость детерминируется одним узким местом в метаболическом пути. Однако при сдвиге лимитирующего фактора внешней среды ген, лимитирующий конечный продукт метаболического пути, очень быстро сменяется другим геном или их набором (Драгавцев, 2009, 2012, 2019). Лимитирующий фактор среды изменяет работу генного аппарата растений, обеспечивая ему за счет физиологических реакций максимальное противодействие конкретному стрессору. У организмов, таким образом, существуют мощные регуляторные механизмы, контролирующие работу генов в постоянно меняющихся условиях среды и определяющие тот или иной вариант ответа на них. Высшие растения имеют при этом огромную амплитуду эпигенетической изменчивости количественных признаков, которая обычно составляет в популяциях 85-90 %. Генотипическая же изменчивость признаков составляет всего лишь 10-15 % (Драгавцев, 2012). Конкуренция между растениями внутри ценопопуляции за ресурсы среды как фактор стресса способна снизить экспрессию любого структурного гена в 50-100 раз.

Эпигенетические механизмы (надгенетические, реализационные, часто не зависящие от генотипа) широко распространены в природе (Голубовский, 2000; Ванюшин, 2004; Васильев, 2005; Эпигенетика растений, 2005; Plant Epigenetics, 2005; Эпигенетические ..., 2009; Эпигенетика, 2012). Набор генов предполагает, каким может быть организм в общем виде, а среда же определяет, каким он будет фактически (Медников, 1975, 1987). Способность к целесообразному реагированию присуща любому организму, т.е. имманентна. Данное свойство возникло одновременно с возникновением того или иного вида в природе, а не является результатом естественного отбора (Голубовский, 2000). Всему живому присуще одно главное свойство – стремление к сохранению гомеостаза, порождающее гигантскую систему обратных связей (Петрушенко, 1967; Абросов и др., 1982; Демаков, 2000), которое возникло одновременно с возникновением того или иного вида в природе, а не является результатом естественного отбора (Голубовский, 2000). Вид как сложная мультивариантная система способен приспосабливается к широкому спектру внешних условий (Синская, 1938, 1939, 1948, 1963; Медников, 1975, 1987; Воронцова, Заугольнова, 1978; Голубовский, 2000; Драгавцев, 2009, 2012). На изменение всех факторов среды у организмов происходит в большинстве случаев пошаговая настройка физиологических ответов путем подбора наилучшего варианта из всего их

имеющегося набора (Романовский, Щекалев, 2014). Ритм роста деревьев тесно связан с ритмом у них процессов обмена веществ, которые не останавливаются даже зимой (Цельникер, 1950).

Ярким примером неоднородности ценопопуляций деревьев по характеру распределения ими ассимилянтов между разными органами в процессе роста является соотношение между их высотой и диаметром ствола, на которое большинство исследователей не обращает, как правило, своего внимания. Между тем соотношение этих параметров деревьев отражает характер выбора ими стратегии роста в сложившихся условиях среды. Чем больше высота дерева в ценопопуляции по отношению к среднему значению (норме), соответствующему его диаметру, тем больше питательных веществ из имеющихся ресурсов направляется им в крону на образование верхушечного побега с тем, чтобы выйти победителем в конкурентной борьбе за свет. Эти особи в ценопопуляции наиболее светолюбивы. Другие же деревья, которые менее требовательны к недостатку света, выбирают иную стратегию роста, направляя основные потоки ассимилянтов в ствол и корни, захватывая большее пространство в почве, получая выгоду по использованию влаги и элементов минерального питания.

Анализ исходного материала показал, что особи во всех оцененных ценопопуляциях существенно различаются между собой по соотношению диаметра ствола и высоты дерева (рис. 5.49 и 5.50), что свидетельствует о выборе ими разных стратегий роста. Разница между высотами деревьев в пределах одной ступени толщины составляет при этом от 3,5 до 7,9 м (табл. 5.30). По мере увеличения диаметра деревьев разница по высоте возрастает, что указывает на расширение вариантов выбора стратегии своего роста, которых у мелких особей уже нет.

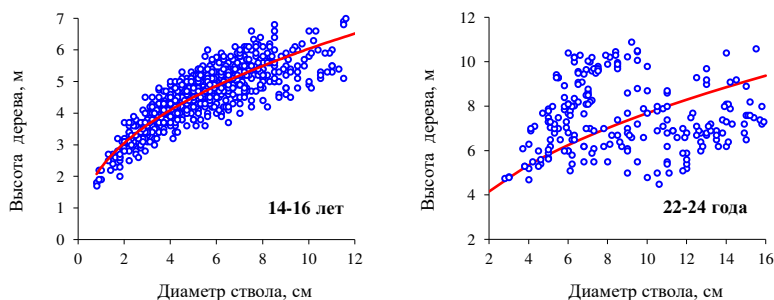


Рис. 5.49. Характер зависимости между диаметром и высотой деревьев в молодых культурах сосны, созданных в сухих и свежих борах Республики Марий Эл

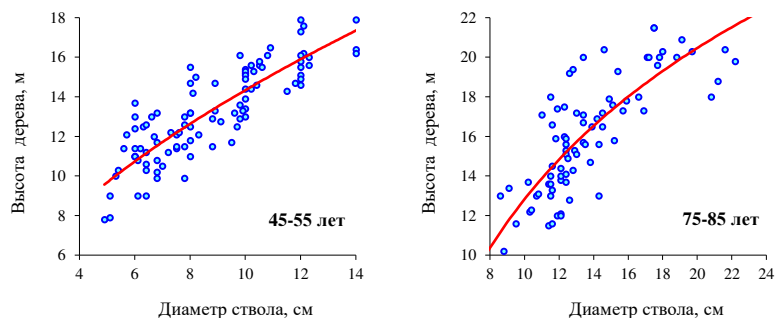


Рис. 5.50. Характер зависимости между диаметром и высотой деревьев III-V классов Крафта в сосняках лишайниково-мшистых и брусничниковых разного возраста

Таблица 5.30

**Пределы изменения высоты деревьев сосны низших классов Крафта
в разных ступенях их толщины**

Ступень толщины, см	Пределы изменения высоты деревьев, м			
	Среднее	min	max	Размах
Древостои возрастом от 45 до 55 лет				
6 см	11,0	7,8	13,7	5,9
8 см	12,7	9,9	15,5	5,6
10 см	14,4	11,7	16,5	4,8
12 см	15,9	14,3	20,2	5,9
Древостои возрастом от 75 до 85 лет				
8 см	9,8	8,0	13,0	5,0
10 см	13,3	11,6	17,1	5,5
12 см	14,8	11,5	19,4	7,9
14 см	16,7	13,0	20,4	7,4
16 см	17,6	15,8	19,3	3,5

Групповая изменчивость в ценопопуляциях отмечается также по толщине грубой коры деревьев и высоте ее поднятия по их стволу (рис. 5.51 и 5.52), описанная М.Г. Романовским и Р.В. Щекалевым (2014), выдвинувшим предположение, что эти признаки определяются, вероятнее всего, особенностями генома особей, влияющего на работу соответствующих ферментов. Весьма изменчивы в ценопопуляциях значения коэффициентов формы ствола, которые слабо связаны как с размерами деревьев, так и отношением $H:D$ (рис. 5.53 и 5.54). Отличия между особями по всем этим признакам указывают на разный характер распределения ассимилянтов между органами деревьев в ходе их роста.

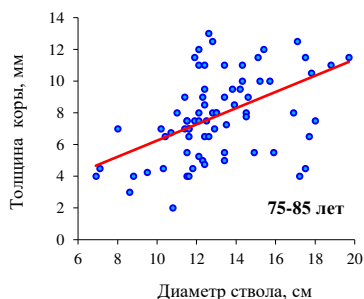
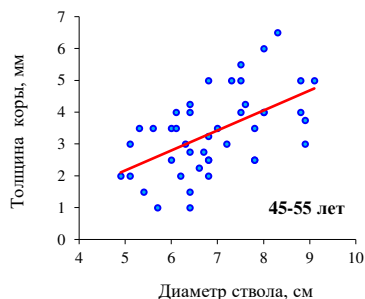


Рис. 5.51. Характер зависимости между диаметром деревьев III-V классов Крафта в сосняках лишайниково-мшистых и брусничниковых разного возраста и толщиной их коры на высоте 1,3 м

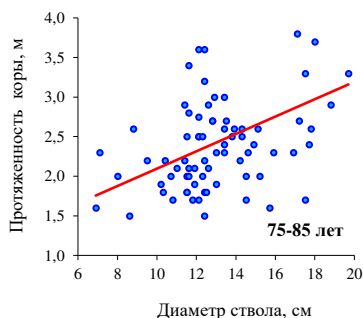
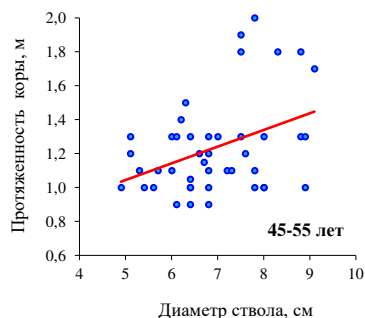


Рис. 5.52. Характер зависимости между диаметром деревьев III-V классов Крафта в сосняках лишайниково-мшистых и брусничниковых разного возраста и протяженностью на их стволе грубой коры

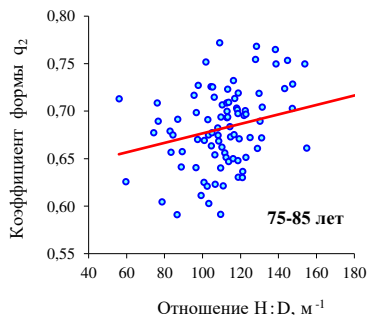
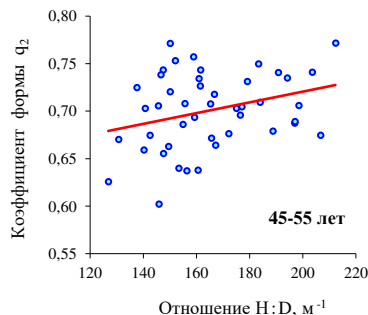


Рис. 5.53. Характер зависимости коэффициента формы ствола q_2 деревьев III-V классов Крафта от отношения их высоты к диаметру на высоте 1,3 м в сосняках лишайниково-мшистых и брусничниковых разного возраста

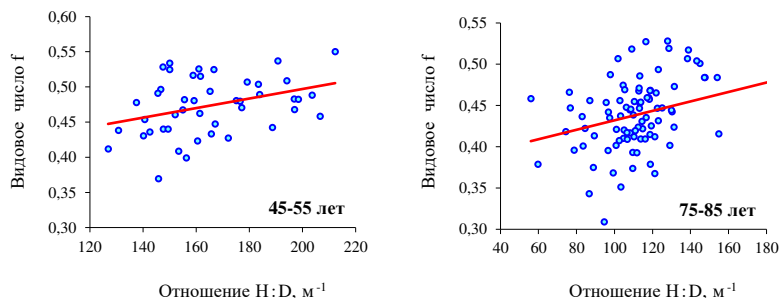


Рис. 5.54. Характер зависимости видового числа f деревьев III-V классов Крафта от отношения их высоты к диаметру на высоте 1,3 м в сосняках лишайниково-мшистых и брусничниковых разного возраста

О наличии различных вариантов стратегии роста деревьев лучше всего можно судить по изменчивости рядов их годовичного прироста в ценопопуляциях. Рассмотрим для примера две ценопопуляции: культуру сосны 1911 года в ТЛУ А₂ и сосняк черничниковый естественного происхождения. Расчеты показали, что по характеру роста все особи в ценопопуляциях как искусственного, так и естественного происхождения (по 20 экз.) очень сильно различаются друг от друга: значение коэффициента корреляции между рядами величины их годовичного прироста изменяется от -0,369 до 0,900 (табл. 5.31). Больше всего в ценопопуляциях деревьев, которые близки между собой по характеру роста ($r > 0,70$); особей же, резко отличающихся от остальных, немного (рис. 5.55). О неоднородности ценопопуляций сосны свидетельствуют также результаты дисперсионного анализа, показавшего существенный вклад в вариабельность величины годовичного прироста «шумов», связанных с различием ответных реакций деревьев на колебания условий среды (табл. 5.32), и соотношение между величинами прироста в разные по погодным условиям годы, не зависящего от текущего прироста у одних и тех же особей (рис. 5.56 и 5.57).

Таблица 5.31

Показатели изменчивости значений коэффициента корреляции между рядами годовичного прироста деревьев сосны в ценопопуляциях

Ценопопуляция, период роста	Статистические показатели (N = 190)					
	M_x	min	max	S_x	A	E
№ 1, 1941-1992 гг.	0,507	-0,369	0,900	0,271	-1,194	0,911
№ 2, 1944-2013 гг.	0,583	0,030	0,875	0,180	-0,953	0,514

Примечание: экотоп № 1 – культуры сосны 1911 года, № 2 – сосняк черничниковый естественного происхождения.

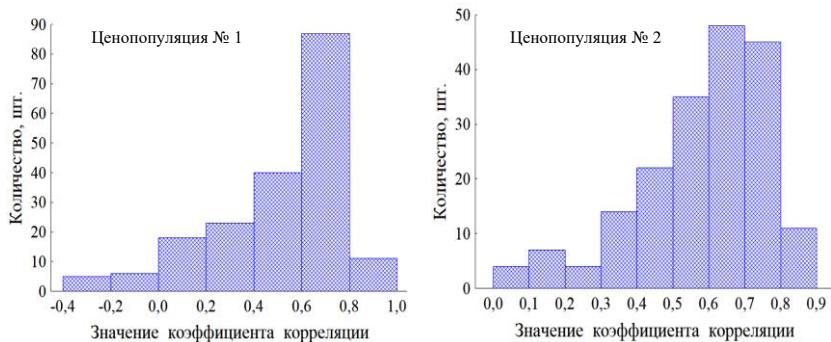


Рис. 5.55. Характер распределения значений коэффициентов корреляции между рядами прироста деревьев в разных ценопопуляциях

Таблица 5.32

Результаты разложения дисперсии рядов динамики годовичного прироста деревьев сосны в разных ценопопуляциях на определяющие ее факторы

Ценопопуляция, период роста деревьев	Факторы дисперсии и доля их влияния, %		
	Деревья (повторности)	Годы (варианты отклика)	Шумы
Культуры сосны 1911 г., 1941-1992 гг.	36,0	30,9	33,1
Сосняк черничниковый, 1944-2013 гг.	16,6	45,6	37,8

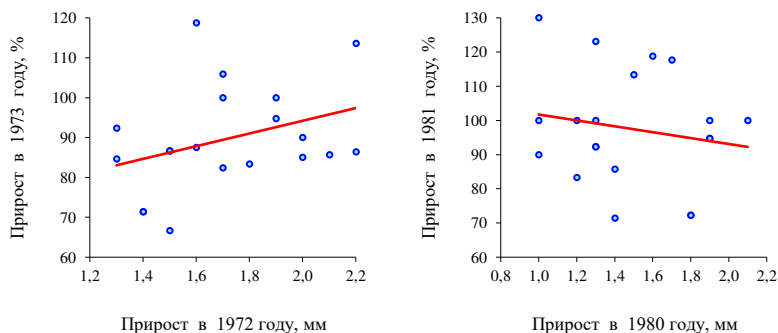


Рис. 5.56. Характер связи между значениями ширины годичных колец деревьев в сосняке черничниковом, сформировавшихся в разные по погодным условиям годы.

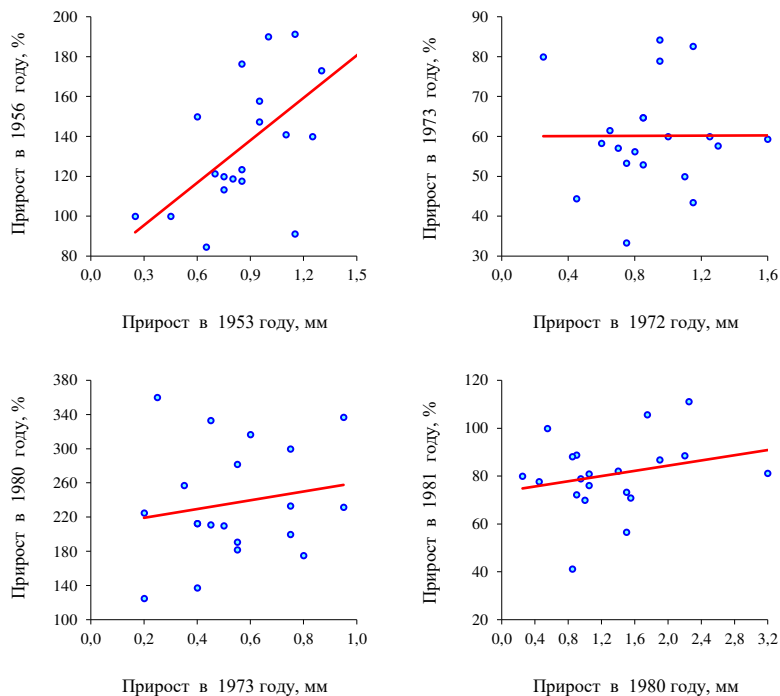


Рис. 5.57. Характер связи между значениями шириной годичных колец деревьев в культуре сосны 1911 года, сформировавшихся в разные по погодным условиям годы.

О характере роста деревьев свидетельствуют также данные по динамике поздней древесины в их годичном кольце, выполняющей в основном механическую функцию: чем больше величина поздней древесины, тем прочнее ствол дерева, но хуже водоснабжение его кроны, поскольку водный ток идет по слою ранней древесины. Доля поздней древесины в годичном кольце деревьев, как показали исследования, очень сильно варьирует во времени (табл. 5.33, рис. 5.58 и 5.59), что связано как с особенностями распределения потоков ассимилянтов между разными их органами, так и с ответными реакциями особей на колебания условий среды: значение коэффициента корреляции между рядами величины изменяется от -0,50 до 0,83 (табл. 5.34). Доля поздней древесины в годичном кольце деревьев практически не зависит при этом от общей его ширины, а определяется исключительно внутренними свойствами особей (рис. 5.60, табл. 5.35). Не зависит она и от рангового положения деревьев в ценозе.

Таблица 5.33

**Показатели изменчивости значений доли позднего слоя
в годичном кольце деревьев в культурах сосны**

Номер п/п	Год создания	ТЛУ	Статистические показатели доли поздней древесины, %				
			N*	$M \pm m$	min	max	S_x
1.	1935	A ₂	480	$41,9 \pm 0,5$	13,8	83,3	10,7
2.	1938	A ₁	376	$38,6 \pm 0,5$	11,4	78,3	10,3
3.	1952	B ₂	512	$31,2 \pm 0,6$	2,4	71,4	13,0
4.	1968	A ₂	400	$30,4 \pm 0,6$	5,6	87,5	11,9
5.	1970	C ₂	1440	$29,6 \pm 0,3$	4,4	80,0	12,3
6.	1974	A ₂	420	$28,5 \pm 0,6$	5,0	90,9	12,8

*N – общее количество измеренных годичных колец в выборке, шт.

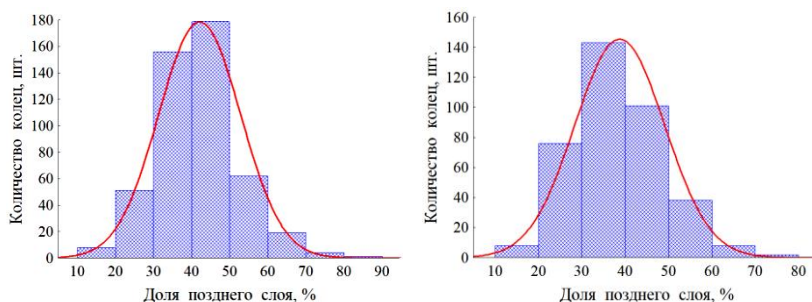


Рис. 5.58. Характер распределения значений доли поздней древесины в годичных кольцах деревьев в культурах сосны 1935 и 1938 годов

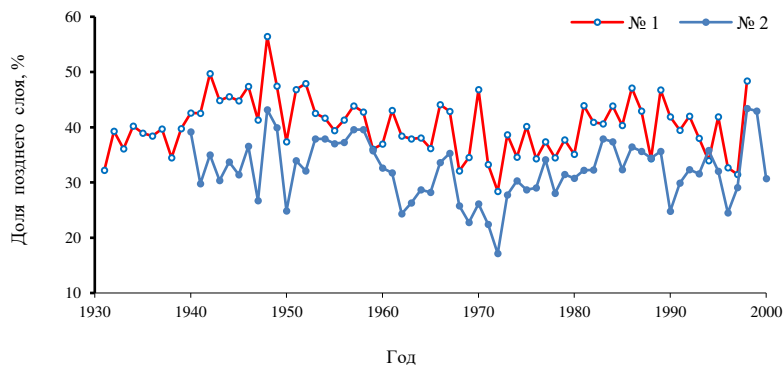


Рис. 5.59. Динамика доли поздней древесины в годичном кольце деревьев сосны, произрастающих в разных лесорастительных условиях: № 1 – пойма р. Малая Кокшага (УОЛ ПГТУ); № 2 – сосново-лиственничные культуры в ТЛУ C₂ Сернурского лесничества

Таблица 5.34

Показатели изменчивости значений коэффициента корреляции между рядами динамики доли позднего слоя годичного кольца деревьев в культурах сосны

Номер п/п	Год создания	ТЛУ	Статистические показатели выборок				
			N*	M _x	min	max	S _x
1	1935	A ₂	45	0,35	-0,09	0,73	0,23
2	1938	A ₁	28	0,49	0,28	0,63	0,08
3	1952	B ₂	120	0,46	-0,05	0,78	0,17
4	1968	A ₂	190	0,26	-0,50	0,83	0,28
5	1970	C ₂	990	0,34	-0,33	0,81	0,21
6	1974	A ₂	66	0,13	-0,41	0,53	0,20

*N – общее количество коэффициентов в выборке, шт.

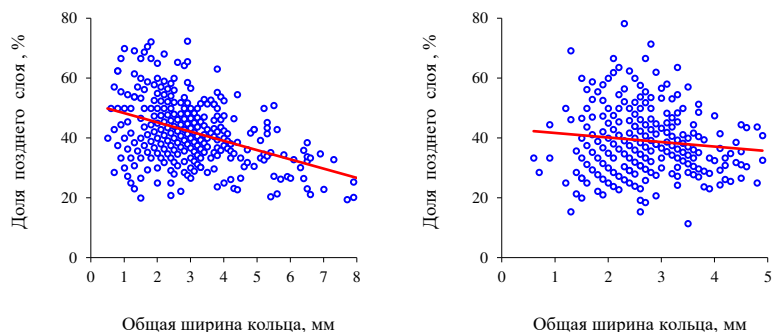


Рис. 5.60. Характер связи между общей шириной годичных колец деревьев в культурах сосны 1935 и 1938 годов, сформировавшихся в разные по погодным условиям годы, и долей поздней древесины в них

Таблица 5.35

Результаты разложения дисперсии рядов динамики доли поздней древесины в годичном кольце деревьев сосны разных ценопопуляций

Год создания	ТЛУ	Учетный интервал времени	Фактор дисперсии и доля его влияния, %		
			Деревья (повторности)	Годы (варианты отклика)	Шумы
1935	A ₂	1945-1992 гг.	5,9	37,1	57,0
1938	A ₁	1946-1992 гг.	9,9	49,1	41,0
1952	B ₂	1960-1991 гг.	5,0	46,3	48,7
1968	A ₂	1972-1991 гг.	7,8	25,8	66,4
1970	C ₂	1980-2011 гг.	26,8	25,3	47,9
1974	A ₂	1983-2017 гг.	10,4	17,6	72,0

Приведенные выше данные показывают, что в годы со значительными аномалиями метеорологических параметров (недобор или избыток тепла и осадков, невысокая продолжительность солнечного сияния) доля поздней древесины снижается, что происходит в основном за счет изменения ширины зоны ранней древесины в годичном кольце. Ширина же зоны поздней древесины варьирует гораздо слабее. Результат этих изменений отражается на состоянии водопроводящей системы дерева, а через нее и на размере его кроны. Далее включается механизм обратной отрицательной связи. Судьба деревьев, превращающая их в гигантов или карликов, определяется, таким образом, особенностями распределения ими продукции фотосинтеза (Романовский, Щекалев, 2016). Колебания же величины прироста деревьев обусловлены действием целого комплекса факторов, выделить вклад каждого из которых часто практически невозможно из-за взаимного их перекрытия. Сигналы внешней среды также подвергаются значительной трансформации в цепях связей деревьев с различными компонентами биогеоценозов, что отражается на характере динамики их роста, который у каждой особи и ценопопуляции сугубо индивидуален и неповторим. В этом можно полностью согласиться с мнением М.Г. Романовского и Р.В. Щекалева (2014), что у ценопопуляций и особей нет единого лица. Биологические объекты политипичны, обладая многообразием возможных ответов на колебания параметров среды и разного их сочетания между собой.

Формовое разнообразие деревьев сосны, описанное в разделе 1.3 настоящей монографии и являющееся отражением политипичности вида *Pinus sylvestris*, возникло в процессе его длительной эволюции, а не одномоментно. Появление каждой формы этого вида было связано, вероятно, с какими-то резкими изменениями среды, условиям которой они более всего соответствовали. Далее же эти произошедшие мутации закрепились в геноме особей, положивших начало новым формам вида, присутствующих в том или ином количестве в современных ценопопуляциях и участвующих в процессе дальнейшего длительного естественного отбора. Дополнительное влияние на этот процесс оказывают кроме климатических факторов также биоценоотические (густота древостоев, режим их выращивания, пожары, птицы и звери, болезни и вредные насекомые), а также антропогенные, связанные с хозяйственной деятельностью человека. Попытаемся далее рассмотреть особенности воздействия всех этих факторов на рост деревьев сосны в ценопопуляциях и характер их ответных реакций на колебания условий среды.

5.3. Влияние густоты насаждений на прирост деревьев

Для оценки влияния этого фактора на характер роста деревьев сосны обратимся вначале к данным массовой таксации насаждений. Было установлено, что полнота древостоев, которая хотя и не всегда идентична их густоте, но в определенной мере всё же связана с ней, оказывает существенное влияние на ход их роста по диаметру: увеличение полноты древостоев приводит в целом, как показали расчеты, к более раннему наступлению кульминации текущего годичного прироста деревьев и некоторому снижению их среднего диаметра в зрелом возрасте (табл. 5.36). В разных ТЛУ влияние этого фактора проявляется неодинаково. Так, в свежих борах республики низко- и среднеполнотные древостои наиболее значительно превосходят высокополнотные по среднему диаметру деревьев в молодом возрасте, а в остальных же ТЛУ – в зрелом (рис. 5.61). По мере увеличения возраста древостоев различия становятся менее значительными. Из всего изложенного следует, что модели хода роста древостоев, созданные на бонитетной основе, являются искусственными, неадекватно отражая действительность. Поэтому их нельзя использовать на практике для решения задач по управлению лесными экосистемами, на что некоторые исследователи (Семечкин, 1975; Проскуряков, 2015) уже давно обратили внимание.

Таблица 5.36

Влияние полноты сосняков в борах Марий Эл на динамику их среднего диаметра

ТЛУ	Полнота	Значения параметров уравнения $D = a \cdot (X - c)^b$					
		a	b	c	$A_{\text{КСП}}$	D_{100}	R^2
A ₁	0,3-0,5	1,126	0,713	7	25	28,5	0,972
	0,6-0,7	1,044	0,724	7	25	27,8	0,982
	0,8-1,0	1,146	0,683	7	20	25,3	0,980
A ₂	0,3-0,5	1,505	0,654	6	17	29,4	0,978
	0,6-0,7	1,369	0,675	6	18	29,4	0,978
	0,8-1,0	1,180	0,703	6	20	28,8	0,981
A ₃	0,3-0,5	1,343	0,687	7	22	30,2	0,978
	0,6-0,7	1,461	0,667	7	21	30,0	0,982
	0,8-1,0	1,348	0,680	7	22	29,4	0,976
A ₄	0,3-0,5	0,975	0,709	9	31	23,9	0,975
	0,6-0,7	1,310	0,638	9	25	23,3	0,973
	0,8-1,0	1,793	0,560	9	20	22,4	0,942
A ₅	0,3-0,5	0,973	0,650	12	34	17,9	0,978
	0,6-0,7	1,515	0,558	12	27	18,4	0,961
	0,8-1,0	1,364	0,581	12	29	18,4	0,971

Примечание: обозначения параметров те же, что и в табл. 4.22.

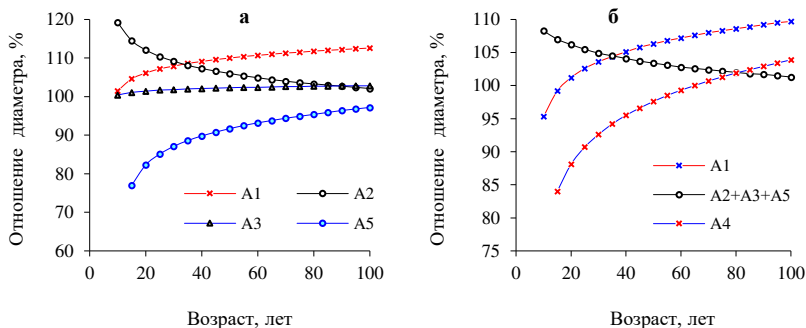


Рис. 5.61. Динамика отношения среднего диаметра низко- (а) и среднеполнотных (б) сосняков в борах Марий Эл к среднему диаметру высокополнотных древостоев

Многолетние исследования, проведенные на стационарном опытном объекте, представленном чистыми культурами сосны разной исходной густоты (от 0,5 тыс. до 11 тыс. экз./га), созданном в кв. 20 Силикатного участкового лесничества (Демаков и др., 2019; Демаков, 2022), показали, что динамику диаметра деревьев в них описывают следующие математические модели:

$$D_{\text{ср.}} = 1,816 \times (A - 5)^{0,707 \cdot \exp(-0,047 \times N)}; R^2 = 0,935; p < 0,001;$$

$$D_{\text{max}} = 2,683 \times (A - 5)^{0,703 \cdot \exp(-0,033 \times N)}; R^2 = 0,917; p < 0,001,$$

где D – средний и максимальный диаметр деревьев, см; A – возраст древостоя, лет; N – исходная густота культур, тыс. экз./га.

Негативное влияние избыточной густоты культур на величину диаметра деревьев в них начинает проявляться, как следует из этих моделей, уже с возраста 5-7 лет, и в дальнейшем различия между вариантами опыта становятся все более значительными (рис. 5.62).

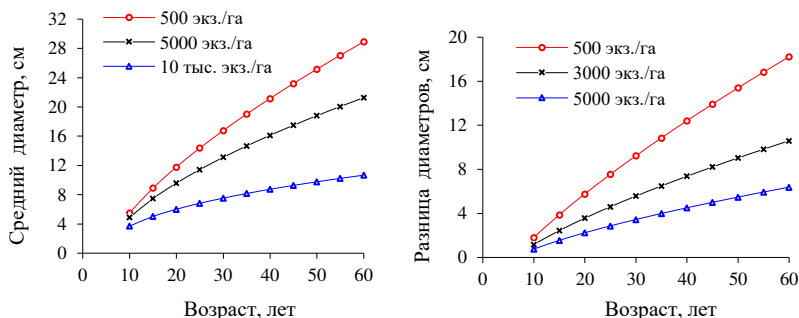


Рис. 5.62. Динамика среднего диаметра деревьев в культурах сосны разной исходной густоты (слева) и его разницы по отношению к варианту 10 тыс. экз./га

Варианты опыта существенно различаются между собой, как показали расчеты, по характеру распределения потока ассимилянтов между различными органами деревьев. Так, на образование годичного прироста фитомассы корней в густых культурах питательных веществ, запасенных деревом, расходуется меньше, чем в редких, а на образование годичного прироста фитомассы хвои, наоборот, больше (рис. 5.63). В результате этого в густых культурах с увеличением их возраста происходит неуклонное снижение эффективности работы ассимиляционного аппарата деревьев, который производит все меньше массы стволовой древесины (рис. 5.64). С увеличением исходной густоты культур происходит также возрастание нагрузки на сосущие корни, которым становится всё труднее обеспечивать влагой и питательными веществами крону деревьев, что приводит к их ослаблению и снижению засухоустойчивости. Деревья в редких культурах наиболее эффективно используют солнечную энергию и депонируют углекислоту.

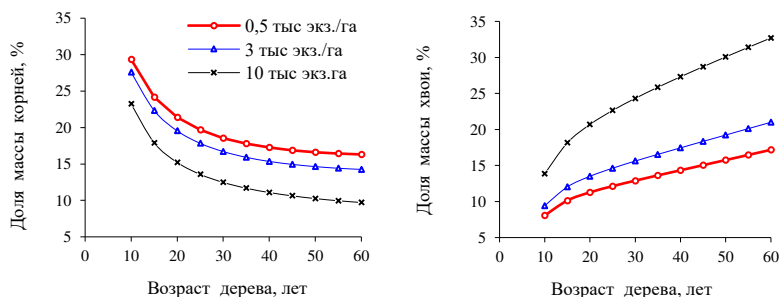


Рис. 5.63. Закономерности изменения распределения годичного прироста массы ассимилянтов между различными органами деревьев в культурах сосны разной густоты

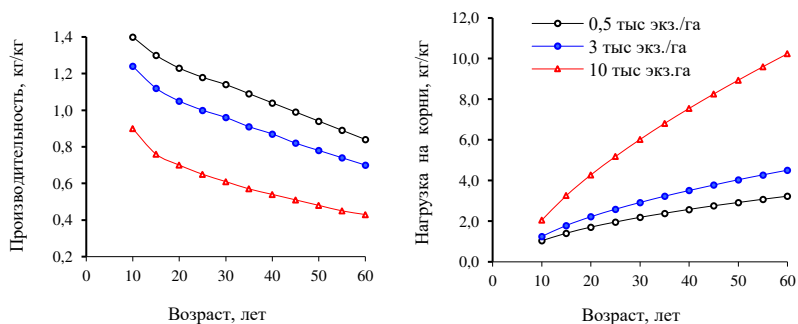


Рис. 5.64. Динамика производительности ассимиляционного аппарата деревьев (слева) и нагрузки на их корни в культурах сосны разной густоты

Густота культур оказывает значительное влияние, как показали расчеты, на рост ветвей деревьев, что также отражается на характере распределения потока ассимилянтов между их разными органами. Динамику длины ветвей (L , см) и величину её среднеквадратического отклонения (S_L , см) аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$L = 432 \times \exp(-11,83 \times 10^{-2} \times N) \times [1 - \exp(-89,7 \times 10^{-3} \times A \times N^{0,25})]; R^2 = 0,98;$$

$$S_L = 50,2 \times \exp(-33,30 \times 10^{-3} \times N) \times [1 - \exp(-10,91 \times 10^{-2} \times A)]; R^2 = 0,93.$$

Динамику величины относительной протяженности крон деревьев (Hh , %) и площади их проекции (S , м²), а также продолжительности жизни нижних ветвей (A , лет) наилучшим образом аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$Hh = 80 \times \exp(-11,41 \times 10^{-4} \cdot (t - 5)^2 \times N^{0,5}) + 20; R^2 = 0,916;$$

$$S = 1,253 \times \exp(-88,76 \times 10^{-3} \times N) \times D^{0,822}; R^2 = 0,806;$$

$$A = 30 \times \exp(-72,54 \times 10^{-3} \times N) \times [1 - \exp(-33,91 \times 10^{-3} \times t)]; R^2 = 0,865.$$

Протяженность кроны деревьев во всех вариантах опыта в результате отмирания их нижних ветвей, как показали расчеты, выравнивается в возрасте культур уже 60 лет, устанавливаясь на отметке 20-30 % общей длины ствола (рис. 5.65). Средняя же продолжительность жизни ветвей в густых культурах будет составлять в этом возрасте 13-14 лет, а их длина – всего 130 см (рис. 5.66). В редких же культурах продолжительность жизни ветвей будет достигать уже 26-27 лет при их длине 390 см, а площадь проекции кроны деревьев будет в 5,6 раза выше, чем в наиболее густых.

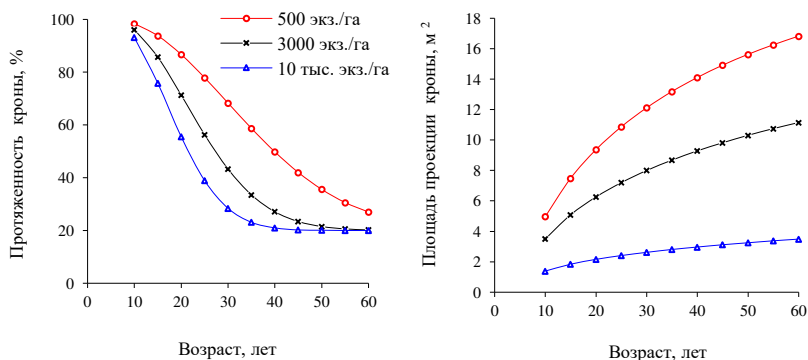


Рис. 5.65. Динамика параметров кроны среднего дерева в культурах разной густоты

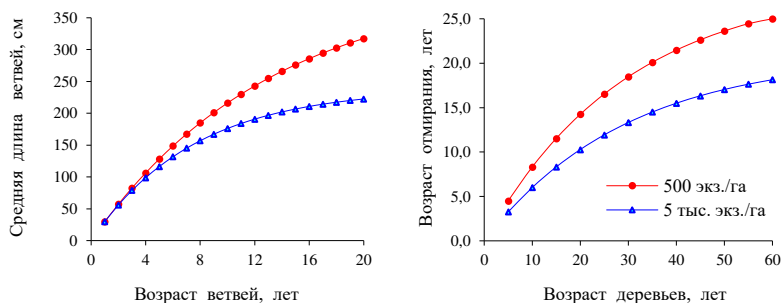


Рис. 5.66. Динамика длины нижних ветвей деревьев и возраста их отмирания в культурах сосны разной исходной густоты

Изменения параметров деревьев отражаются, естественно, на характере динамики их годовичного прироста, наибольшая величина которого в первое время после создания культур отмечается в варианте с густотой посадки 3–5 тыс. экз./га (табл. 5.37, рис. 5.67), что связано с так называемым эффектом группы или принципом Олли (Одум, 1975; Титов, 1978). По мере смыкания древесного полога и усиления конкурентных отношений между деревьями в ценозе величина их годовичного прироста неуклонно снижается, что особенно сильно проявляется в варианте с самой высокой густотой посадки.

Таблица 5.37

Влияние густоты культур сосны на величину годовичного прироста деревьев

Годы	Средний годичный прирост при разной густоте посадки, мм / %				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
1983-1987	$\underline{3,62 \pm 0,17}$ 100	$\underline{3,43 \pm 0,25}$ 100	$\underline{3,85 \pm 0,19}$ 100	$\underline{3,87 \pm 0,21}$ 100	$\underline{2,37 \pm 0,11}$ 100
1988-1992	$\underline{4,28 \pm 0,21}$ 118,2	$\underline{3,72 \pm 0,21}$ 108,5	$\underline{3,30 \pm 0,16}$ 85,7	$\underline{3,38 \pm 0,13}$ 87,3	$\underline{1,80 \pm 0,08}$ 75,9
1993-1997	$\underline{3,19 \pm 0,18}$ 88,1	$\underline{3,15 \pm 0,17}$ 91,8	$\underline{2,29 \pm 0,11}$ 59,5	$\underline{2,20 \pm 0,09}$ 56,8	$\underline{1,23 \pm 0,06}$ 51,9
1998-2002	$\underline{2,65 \pm 0,12}$ 73,2	$\underline{2,35 \pm 0,12}$ 68,5	$\underline{1,65 \pm 0,11}$ 42,9	$\underline{1,42 \pm 0,06}$ 36,7	$\underline{1,02 \pm 0,04}$ 43,0
2003-2007	$\underline{2,22 \pm 0,09}$ 61,3	$\underline{1,76 \pm 0,07}$ 51,3	$\underline{1,12 \pm 0,06}$ 29,1	$\underline{1,07 \pm 0,04}$ 27,6	$\underline{0,85 \pm 0,03}$ 35,9
2008-2012	$\underline{2,08 \pm 0,09}$ 57,5	$\underline{1,78 \pm 0,09}$ 51,9	$\underline{1,14 \pm 0,06}$ 29,6	$\underline{1,22 \pm 0,06}$ 31,5	$\underline{1,00 \pm 0,05}$ 42,2
2013-2017	$\underline{1,36 \pm 0,07}$ 37,6	$\underline{1,24 \pm 0,07}$ 36,2	$\underline{0,81 \pm 0,04}$ 21,0	$\underline{0,92 \pm 0,05}$ 23,8	$\underline{0,70 \pm 0,04}$ 29,5

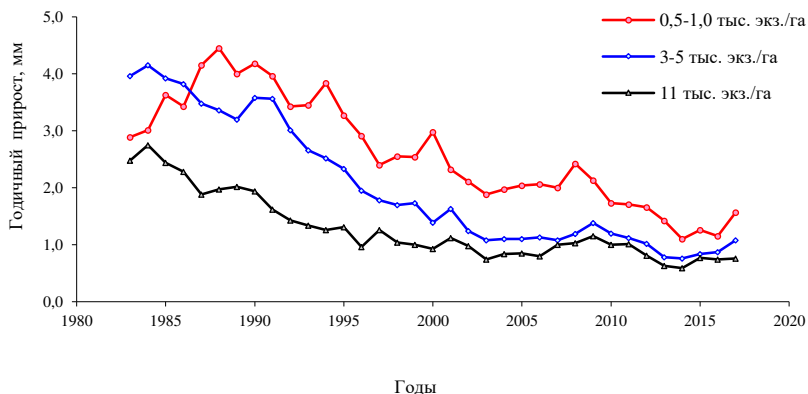


Рис. 5.67. Динамика радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны разной исходной густоты

На разницу величин прироста деревьев в разных вариантах опыта оказывает влияние, как показали исследования, не только возраст культур, но и погодные условия, сложившиеся в тот или иной год. Так, к примеру, наибольшие отличия между крайними по густоте древостоями, достигавшие 325 %, отмечены в 1996 и 2000 годах (рис. 5.68). Минимальные же отличия между этими вариантами опыта наблюдались в 1984, 1997, 2009-2011 и 2014-2016 годах.

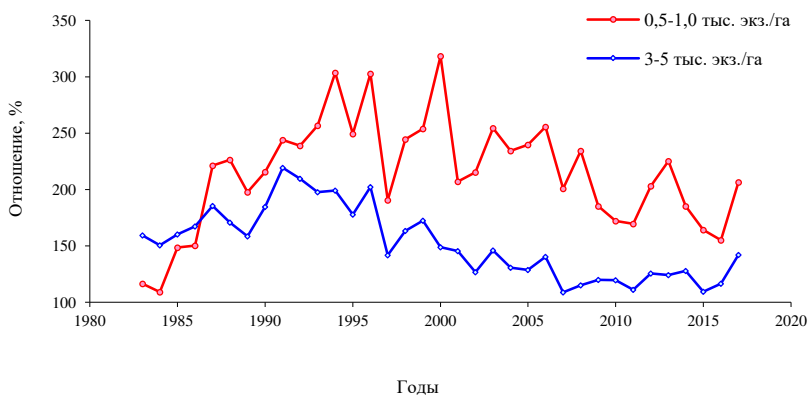


Рис. 5.68. Динамика отношения радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны разной густоты посадки по отношению к варианту с густотой 10 тыс. экз./га

Возрастной тренд годовичного прироста деревьев в разных вариантах опыта с высокой точностью ($p < 0,001$) описывают, как показали расчеты, следующие уравнения регрессии:

- для 500 экз./га: $Y = 4,63 \times \exp(-4,49 \times 10^{-3} \times A^{1,50})$; $R^2 = 0,810$;
 - для 1 тыс. экз./га: $Y = 4,13 \times \exp(-4,55 \times 10^{-3} \times A^{1,50})$; $R^2 = 0,704$;
 - для 3 тыс. экз./га: $Y = 4,69 \times \exp(-11,72 \times 10^{-3} \times A^{1,50}) + 0,53$; $R^2 = 0,953$;
 - для 5 тыс. экз./га: $Y = 4,77 \times \exp(-13,80 \times 10^{-3} \times A^{1,50}) + 0,71$; $R^2 = 0,943$;
 - для 10 тыс. экз./га: $Y = 2,87 \times \exp(-21,72 \times 10^{-3} \times A^{1,50}) + 0,79$; $R^2 = 0,939$,
- где Y – годовичный прирост, мм; A – возраст культур, лет.

Основным фактором вариабельности величины годовичного прироста деревьев является их возраст, а доля вклада вариантов исходной густоты культур в общую дисперсию параметра в три раза меньше (табл. 5.38). Доля же вклада так называемых «шумов», которые связаны с особенностями реакции деревьев на колебания условий среды, в два раза меньше доли вклада густоты культур.

Таблица 5.38

Результаты разложения дисперсии прироста деревьев на ее составные части

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				$F_{\text{факт.}}$	$F_{0,01}$	
Варианты	44,30	4	11,07	64,51	3,46	21,3
Возраст	140,40	34	4,13	24,05	1,80	67,5
Шумы	23,35	136	0,17			11,2
Итого	208,05	174				100,0

Не следует полагать, что возрастной тренд годовичного прироста деревьев обусловлен действием только густоты насаждений и связанной с этим фактором напряженности конкурентных отношений между особями в ценопопуляциях. Возрастной тренд прироста отмечается также и у одиночно растущих деревьев (рис. 5.69), который происходит у них в ходе морфогенеза организма и трансформации его органов, вызывающей изменение пропорций между ними. Любой организм, по словам В.Н. Беклемишева (1994), есть морфопроецесс, в ходе которого происходят неизбежные изменения его частей, обеспечивающие регуляцию жизнедеятельности особи в сложившихся условиях среды.

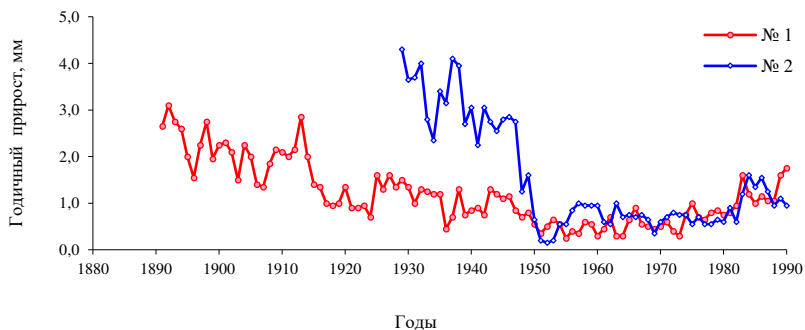


Рис. 5.69. Динамика радиального годичного прироста деревьев сосны, одиночно растущих на задворках крестьянских усадеб в ТЛУ С₂

На фоне общего снижения годичного прироста деревьев происходят, как показали расчеты, волнообразные изменения его величины, что особенно рельефно проявляется при рассмотрении значений индексов показателя (рис. 5.70). Последняя волна снижения прироста началась у деревьев в 2009 году перед сильнейшей засухой 2010 года и продолжалась еще в течение четырех последующих лет, опустившись до минимума в 2014 году. Наибольшая разница между значениями показателя по сравнению с 2008 годом отмечалась в культурах с самой высокой начальной плотностью. Основным фактором вариабельности величины индексов годичного прироста деревьев являются годовые колебания условий среды, а доля же вклада вариантов исходной плотности культур в общую дисперсию параметра ничтожно мала (табл. 5.39).

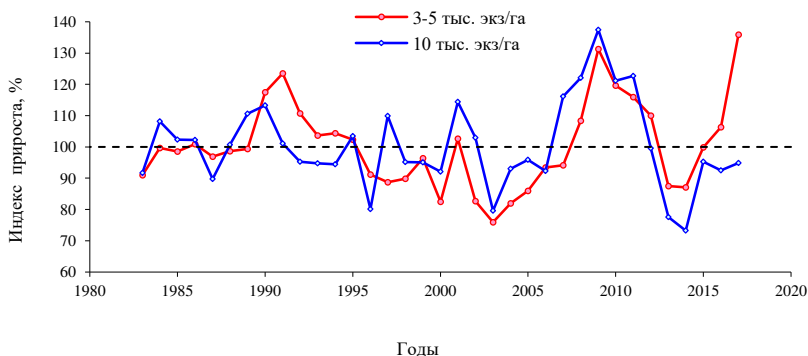


Рис. 5.70. Динамика индексов радиального годичного прироста деревьев в культурах сосны разной исходной плотности

Таблица 5.39

Результаты дисперсионного анализа индексов прироста деревьев

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,01}	
Варианты	56,5	4	14,12	0,12	3,46	0,1
Годы	23742,8	34	698,32	5,78	1,80	59,0
Шумы	16421,2	136	120,74			40,9
Итого	40220,5	174				100,0

Исходная густота культур сосны, в определённой мере отражается, как показали исследования, также на структуре годичного кольца деревьев, вызывая изменение доли позднего слоя ксилемы (табл. 5.40). Влияние этого фактора на величину параметра, однако, не однозначно (табл. 5.41), что связано, на наш взгляд, с неоднородностью генотипической структуры ценопопуляций. Так, наиболее мала в среднем доля поздней древесины в варианте с начальной густотой 1,0 тыс. экз./га, а наиболее высока в близком к нему варианте 500 экз./га.

Таблица 5.40

Влияние начальной густоты культур сосны на динамику доли поздней древесины в годичном кольце учётных деревьев

Годы	Средняя доля поздней древесины при разной густоте культур, %				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
1983-1987	29,7 ± 1,8	20,5 ± 1,8	22,4 ± 1,8	20,2 ± 1,9	24,5 ± 1,8
1988-1992	27,5 ± 1,7	22,1 ± 1,5	26,7 ± 1,6	24,4 ± 2,0	29,1 ± 1,9
1993-1997	31,6 ± 1,8	22,8 ± 1,8	30,5 ± 1,6	22,6 ± 1,7	26,3 ± 1,4
1998-2002	32,8 ± 1,3	23,4 ± 1,1	30,9 ± 1,4	28,6 ± 1,3	29,6 ± 1,8
2003-2007	36,0 ± 1,4	26,5 ± 1,2	31,7 ± 1,3	26,8 ± 1,0	28,2 ± 1,3
2008-2012	36,3 ± 1,7	31,8 ± 2,1	34,2 ± 1,3	28,7 ± 1,2	30,7 ± 1,7
2013-2017	31,9 ± 1,7	27,7 ± 1,2	31,3 ± 1,4	30,4 ± 1,4	30,1 ± 1,7
В среднем	32,3 ± 0,6	25,1 ± 0,6	29,7 ± 0,6	26,0 ± 0,6	28,3 ± 0,6

Таблица 5.41

Результаты дисперсионного анализа рядов динамики доли поздней древесины

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,01}	
Варианты	1197,0	4	299,24	18,1	3,46	18,2
Годы	3118,8	34	91,73	5,54	1,80	47,5
Шумы	2250,6	136	16,55			34,3
Итого	6566,5	174				100,0

Исходная густота культур оказывает большое влияние также на характер распределения деревьев по ступеням их толщины: по мере её увеличения происходит снижение пределов варьирования их диаметра, смещение его средней величины в сторону низких значений и возрастание эксцесса, что особенно резко проявляется в варианте с самой густой посадкой (рис. 5.71, табл. 5.42). Приведенные данные показывают, что дифференциация древостоя происходит при любой густоте посадки, поскольку в ценопопуляциях присутствуют особи, существенно различающиеся как по энергии роста, так и по своей конкурентоспособности. При свободном стоянии деревьев в варианте с самой низкой густотой посадки полностью раскрывается их жизненный потенциал, который в загущенном древостое проявляется гораздо слабее.

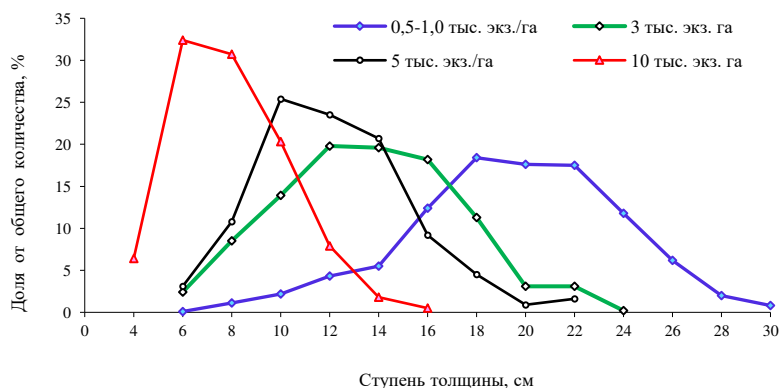


Рис. 5.71. Характер распределения деревьев по ступеням толщины их ствола в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты

Таблица 5.42
Статистика диаметров деревьев в 40-летних культурах сосны разной густоты

Исходная густота, тыс. экз./га	Значения статистических показателей*							
	N	M _x	min	max	S _x	V	A	E
0,5	341	21,3	8	32	4,18	19,6	-0,356	0,054
1,0	403	18,1	6	26	3,82	21,1	-0,487	0,031
3,0	424	13,6	6	24	3,65	26,8	0,160	-0,355
5,0	425	12,2	6	24	3,21	26,4	0,635	0,669
10,0	685	9,0	4	18	2,34	26,0	0,623	0,403

Исходная густота культур оказывает влияние не только на параметры среднего дерева в ценопопуляциях, но и господствующих особей, существенно снижая их размеры, а также потенциал роста. Изменение этого среднего диаметра (D , см) у 500 наиболее крупных деревьев в 40-летних сосновых культурах под влиянием их исходной густоты (N , тыс. экз./га) с высокой степенью достоверности ($p < 0,001$) описывает уравнение регрессии:

$$D = 13,0 \times \exp(-11,1 \times 10^{-2} \times N) + 9,0.$$

По мере развития древостоев изменяются также значения коэффициентов асимметрии и эксцесса рядов их распределения по размерам. Динамика этих показателей довольно своеобразна и представляет собой волновые колебания (рис. 5.72), причиной которых является цикличность процесса роста и дифференциации деревьев, обусловленная действием изменяющихся погодных условий, которые происходят стохастично и трудно прогнозируемы.

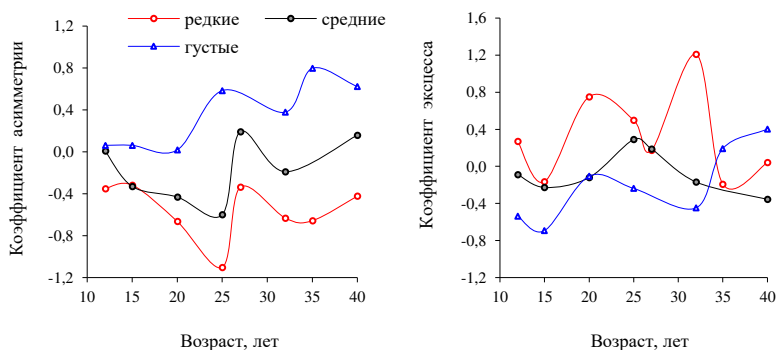


Рис. 5.72. Динамика величин коэффициентов асимметрии и эксцесса диаметра деревьев в культурах сосны разной исходной густоты

В каждом варианте опыта отмечается также большая индивидуальная изменчивость годичного прироста деревьев, обусловленная различиями в скорости роста особей и специфики их ответных реакций на колебания условий среды. О степени неоднородности ценопопуляций по характеру роста в них деревьев убедительно свидетельствует очень большая вариабельность значений коэффициентов корреляции между рядами динамики их прироста, а особенно доли позднего слоя древесины в годичном кольце, изменяющихся в различных вариантах опыта от -0,51 до 0,93 (табл. 5.43 и 5.44). Вклад деревьев в общую дисперсию их

годового прироста в ценопопуляциях очень мал (табл. 5.45), что связано с однородностью выборки, в которую вошли только наиболее крупные особи I-II классов Крафта. Однако и в этой выборке деревья очень сильно отличались по характеру ответных реакций на колебания условий среды, о чем свидетельствует большой вклад в дисперсию этого показателя так называемых шумов, связанных именно с особенностями роста особей, которые наиболее сильно проявляются в вариантах с низкой густотой насаждений. Еще более значителен вклад шумов в общую вариабельность доли поздней древесины, особенно резко проявляющийся в самых густых культурах.

Таблица 5.43

Показатели изменчивости значений коэффициента корреляции между рядами динамики годичного прироста деревьев в разных ценопопуляциях сосны

Показатель (N = 66)	Значения показателей в разных вариантах опыта				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
M _x	0,47	0,42	0,65	0,67	0,61
min	0,06	-0,24	0,26	0,26	0,1
max	0,83	0,9	0,93	0,93	0,86
S _x	0,18	0,26	0,16	0,16	0,16

Таблица 5.44

Показатели изменчивости значений коэффициента корреляции между рядами динамики доли позднего слоя в годичном кольце деревьев

Показатель (N = 66)	Значения показателей в разных вариантах опыта				
	500 экз./га	1 тыс. экз./га	3 тыс. экз./га	5 тыс. экз./га	10 тыс. экз./га
M _x	0,09	0,1	0,15	0,06	0,09
min	-0,29	-0,41	-0,31	-0,51	-0,26
max	0,51	0,62	0,62	0,48	0,71
S _x	0,18	0,24	0,19	0,21	0,19

Таблица 5.45

Результаты разложения дисперсии рядов динамики годичного прироста деревьев в разных вариантах исходной густоты культур сосны

Исходная густота, тыс. экз./га	Фактор дисперсии и доля его влияния, %					
	Общий годичный прирост			Доля поздней древесины		
	Деревья	Возраст	Шумы	Деревья	Возраст	Шумы
0,5	9,2	46,8	44,0	12,3	14,6	73,1
1,0	6,0	45,2	48,8	14,1	15,7	70,2
3,0	5,4	63,4	31,2	6,4	19,7	73,9
5,0	3,1	66,6	30,4	3,2	10,7	86,1
10,0	3,5	60,5	36,0	5,9	14,3	79,8

Не однозначно влияние начальной густоты культур сосны также на величину базисной плотности древесины, изменяющейся в каждом варианте опыта в очень больших пределах (табл. 5.46), что связано с индивидуальными особенностями деревьев. Наиболее высоко ее среднее значение в варианте опыта с начальной густотой 10 тыс. экз./га, а наиболее же низко при густоте 3 тыс. экз./га. Достоверность различий между этими вариантами доказана статистически. О больших индивидуальных особенностях деревьев по характеру распределения ими потоков ассимилянтов в процессе своего роста убедительно свидетельствует очень слабая связь между параметрами их годовичных колец и плотностью древесины (рис. 5.73 и 5.74).

Таблица 5.46

Влияние начальной густоты культур сосны на базисную плотность древесины

Начальная густота, тыс. экз./га	Значения статистических показателей, мг/см ³					
	M ± m	min	max	S	CV, %	p, %
0,5	472 ± 11	413	566	38,5	8,1	2,4
1,0	472 ± 10	416	537	35,0	7,4	2,1
3,0	458 ± 7	424	493	24,0	5,2	1,5
5,0	477 ± 7	428	502	23,1	4,8	1,4
11,0	509 ± 7	466	551	25,1	4,9	1,4

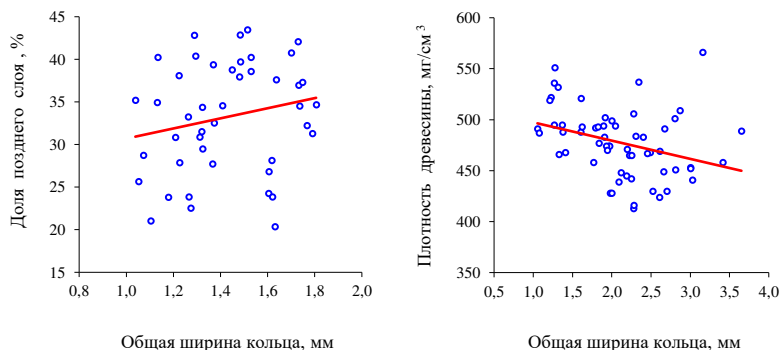


Рис. 5.73. Характер связи между средними значениями общей ширины годовичных колец деревьев, долей поздней древесины и базисной плотностью во всех вариантах опыта создания культур сосны

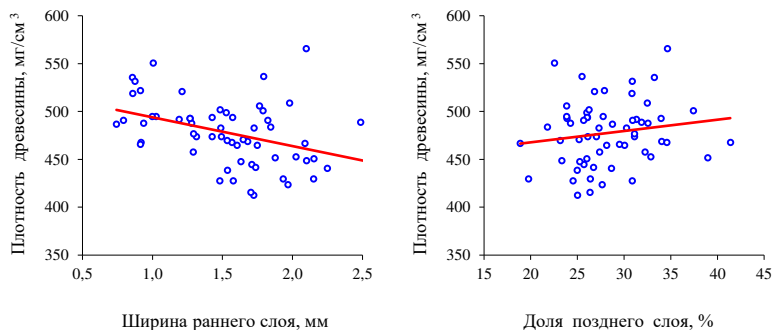


Рис. 5.74. Характер зависимости плотности древесины от средних значений ширины раннего слоя годичных колец деревьев и доли в них позднего слоя

Исследования показали, что деревья с низкой плотностью древесины ($< 440 \text{ mg}/\text{cm}^3$) превосходят по годичному приросту в первые 25 лет своей жизни деревья с высокой ее плотностью (рис. 5.75), но практически не различаются между собой по скорости накопления биомассы и доле поздней древесины, изменяющейся у них несинхронно ($r = 0,52$) и в очень больших пределах (рис. 5.76). Наибольшие различия между группами деревьев с разной плотностью древесины, отобранных в вариантах с густотой от 0,5 тыс. до 3 тыс. экз./га, по величине их годичного прироста отмечались в 1986, 1992 и 1998-2003 годах (рис. 5.77). Начиная с 2004 года, когда возраст деревьев составил 27 лет, различия между ними по величине годичного прироста исчезли. Реакция деревьев на вариации погодных условий каждой из различающихся по плотности древесины групп сугубо специфична (рис. 5.78), о чем свидетельствует очень слабая связь ($r = 0,30$) между рядами индексов их прироста.

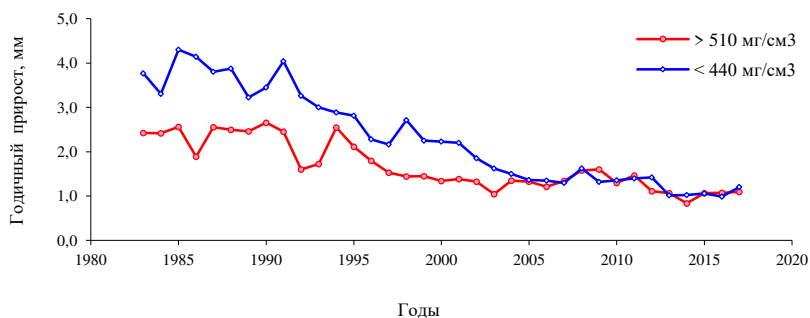


Рис. 5.75. Динамика радиального прироста деревьев с разной плотностью древесины

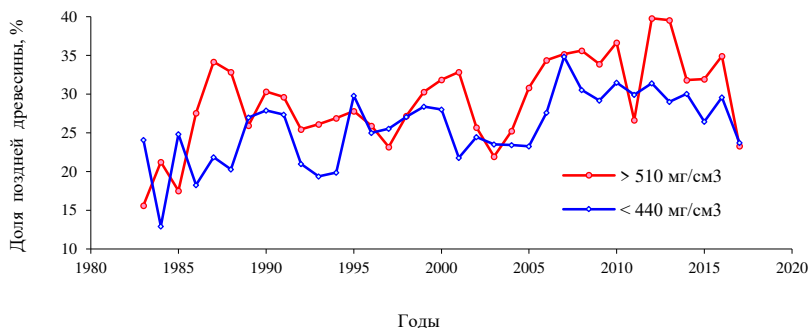


Рис. 5.76. Динамика доли поздней древесины в годичном кольце деревьев, различающихся между собой по плотности древесины

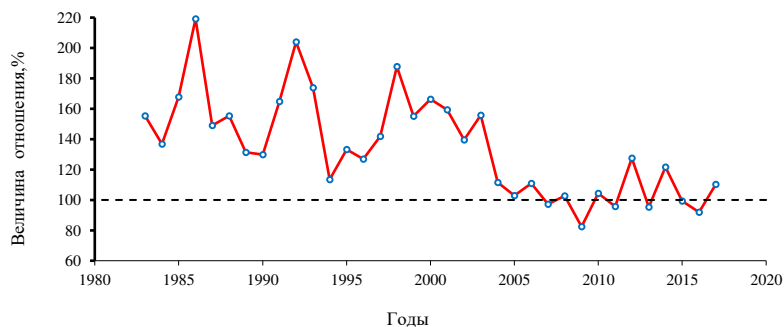


Рис. 5.77. Динамика отношения величины радиального прироста деревьев с низкой плотностью древесины к деревьям с высокой плотностью

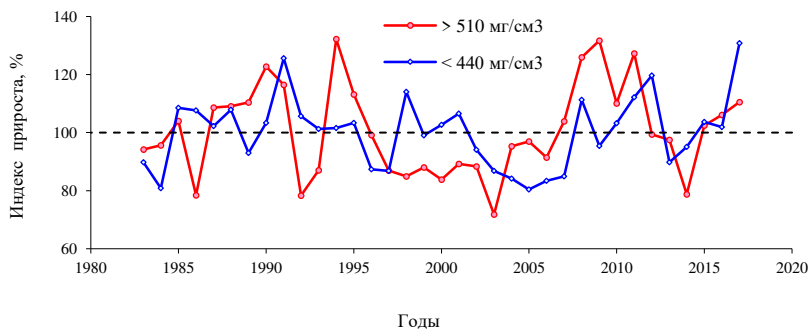


Рис. 5.78. Динамика индексов радиального прироста деревьев с разной плотностью древесины

Рост деревьев из разных групп, отобранных по средней величине годовичного прироста в 1986-1990 годах, также имеет свои особенности (рис. 5.79 и 5.80). Наибольшие различия между ними наблюдаются именно в эти годы, однако деревья с высоким приростом, отмечавшимся в первые годы их жизни, продолжают и в дальнейшем сохранять свое лидерство в ценопопуляции, превышая деревья другой группы по величине годовичного прироста в среднем на 28 %, но не отличаются от них по плотности древесины, составляющей в среднем 472 мг/см³. Этот факт указывает на возможность раннего отбора деревьев в ценопопуляциях для селекционных целей по величине их диаметра. Особенно перспективен отбор их в густых древостоях, где они испытывают очень большое конкурентное давление со стороны соседей.

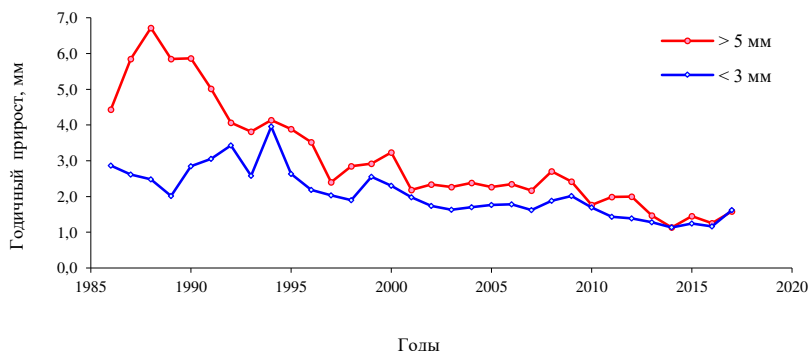


Рис. 5.79. Динамика радиального прироста деревьев сосны с разной его величиной в 1986-1990 годах в культурах густотой 0,5-3 тыс. экз./га

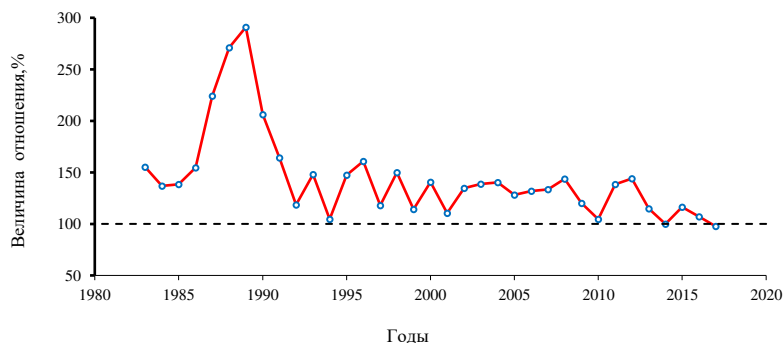


Рис. 5.80. Динамика отношения величины радиального прироста деревьев с высокими его значениями в 1986-1990 годах к деревьям с низкими значениями

Исследования показали, таким образом, что густота древостоев оказывает достоверное влияние на характер динамики радиального годичного прироста деревьев, однако не искажает существенно его общей картины под влиянием флуктуаций климата. Наибольший же вклад в дисперсию величины прироста вносят индивидуальные наследственно предопределенные особенности деревьев, по-разному реагирующих на изменения условий среды путем распределения потоков ассимилянтов между своими органами.

5.4. Реакция деревьев на изреживание насаждений

Исследования, проведенные на опытном объекте в чистых культурах сосны (кв. 68 Старожильского лесничества), показали, что изреживание 14-летнего древостоя привело прежде всего к снижению величины отпада деревьев, который на контрольных секциях был максимальным и составил за прошедшие 30 лет после начала проведения эксперимента 7,7 тыс. экз./га (Демаков и др., 2019). Самые высокие абсолютные значения прироста деревьев за весь исследуемый отрезок времени отмечались в варианте с изреживанием 50 % их числа (рис. 5.81), наиболее же высокие относительные его значения в течение первых пяти лет имели деревья в варианте с изреживанием 50 % по числу стволов, во второе пятилетие – 80 %, а в последующем – 25 % (табл. 5.47). Влияние этого лесоводственного мероприятия на прирост деревьев наиболее значительно проявлялось, как следует из приведенных данных, в течение 20 лет после его проведения, однако его величина изменялась в основном плавно и наиболее значительно в варианте с выборкой 80 %.

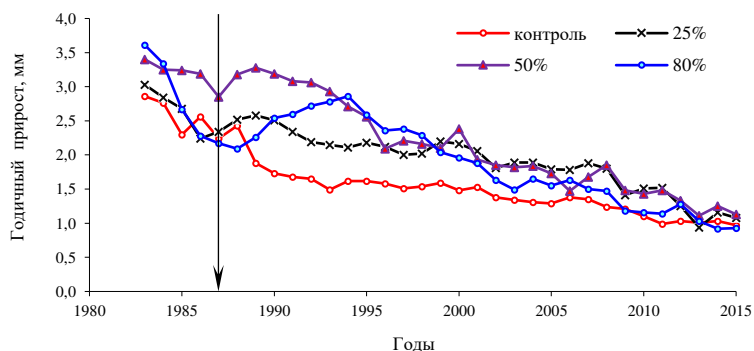


Рис. 5.81. Динамика годичного прироста деревьев при разной интенсивности изреживания 14-летних культур сосны на опытном объекте. Стрелкой отмечен год проведения изреживания

Таблица 5.47

**Влияние интенсивности изреживания культур сосны на динамику
среднего годовичного радиального прироста учётных деревьев**

Годы	Средний годовичный прирост деревьев при разном изреживании культур, мм / %				
	Контроль	25 %	50 %	70 %	80 %
1983-1987	$\frac{2,54 \pm 0,17}{100}$	$\frac{2,63 \pm 0,14}{100}$	$\frac{3,18 \pm 0,18}{100}$	$\frac{2,50 \pm 0,14}{100}$	$\frac{2,80 \pm 0,17}{100}$
1988-1992	$\frac{1,87 \pm 0,09}{73,6}$	$\frac{2,43 \pm 0,08}{92,4}$	$\frac{3,16 \pm 0,13}{99,4}$	$\frac{1,99 \pm 0,07}{79,6}$	$\frac{2,44 \pm 0,08}{87,1}$
1993-1997	$\frac{1,56 \pm 0,07}{61,4}$	$\frac{2,11 \pm 0,07}{80,2}$	$\frac{2,50 \pm 0,11}{78,6}$	$\frac{1,83 \pm 0,07}{73,2}$	$\frac{2,59 \pm 0,07}{92,5}$
1998-2007	$\frac{1,42 \pm 0,05}{55,9}$	$\frac{1,95 \pm 0,06}{74,1}$	$\frac{1,90 \pm 0,06}{59,8}$	$\frac{1,40 \pm 0,05}{56,0}$	$\frac{1,76 \pm 0,06}{62,9}$
2008-2012	$\frac{1,11 \pm 0,05}{43,7}$	$\frac{1,50 \pm 0,07}{57,0}$	$\frac{1,52 \pm 0,07}{47,8}$	$\frac{1,05 \pm 0,07}{42,0}$	$\frac{1,25 \pm 0,06}{44,6}$
2013-2017	$\frac{0,94 \pm 0,06}{37,0}$	$\frac{1,00 \pm 0,06}{38,0}$	$\frac{1,18 \pm 0,06}{37,1}$	$\frac{0,83 \pm 0,05}{33,2}$	$\frac{0,85 \pm 0,06}{30,4}$

Влияние изреживания излишне загущенного древостоя (около 10 тыс. экз./га) на долю поздней древесины в годовичном кольце наиболее развитых деревьев оказалось хотя и достоверно значимым, но далеко не однозначным (табл. 5.48 и 5.49, рис. 5.82). Самое высокое значение этого параметра отмечено на контрольных секциях, а наименьшее – при изреживании древостоя на 25 %. Остальные же варианты опыта занимали промежуточное положение и практически не различались между собой по доле поздней древесины. Этот парадокс связан, вероятно, с неоднородностью ценопопуляций деревьев, которую сложно учесть при небольшом объеме их выборки (по 12 деревьев в каждом из вариантов). Доля поздней древесины, как свидетельствуют приведенные данные, довольно значительно варьирует по годам в зависимости от сложившихся метеоусловий. Велик также вклад в дисперсию значений показателя шумов, связанных с особенностями роста деревьев (табл. 5.50).

Таблица 5.48

Влияние изреживания культур на долю позднего слоя в годовичном кольце деревьев

Вариант изреживания	Значения статистических показателей, %					
	M ± m	min	max	S	CV	p
Контроль	40,4 ± 1,0	20,3	48,3	5,8	14,3	2,4
25 %	27,9 ± 0,9	9,9	39,1	5,7	20,4	3,4
50 %	34,8 ± 0,7	25,0	42,0	4,0	11,5	1,9
70 %	37,6 ± 1,0	20,3	48,1	6,0	16,0	2,7
80 %	36,3 ± 1,0	23,9	47,3	5,9	16,1	2,7

Таблица 5.49

**Результаты дисперсионного анализа рядов динамики доли поздней
древесины в опыте по изреживанию густых культур сосны**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,01}	
Варианты	3061,3	4	765,33	71,87	3,46	37,1
Годы	3742,2	34	110,07	10,34	1,80	45,3
Шумы	1448,3	136	10,65			17,6
Итого	8251,9	174				100,0

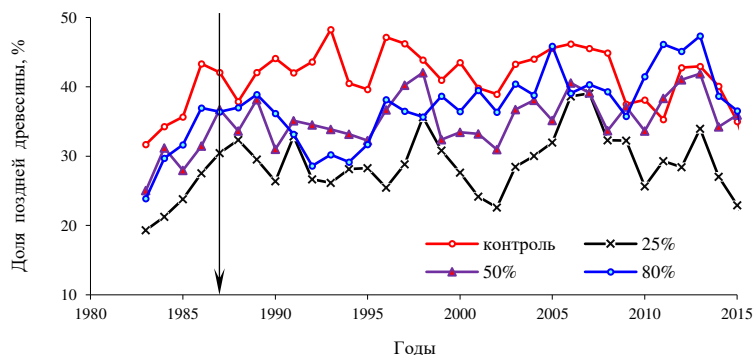


Рис. 5.82. Динамика доли поздней древесины в годичном кольце деревьев при разной интенсивности изреживания 14-летних культур сосны на опытном объекте. Стрелкой отмечен год проведения изреживания

Таблица 5.50

**Изменение значений коэффициента корреляции между рядами динамики
доли позднего слоя в разных вариантах изреживания культур сосны**

Вариант опыта	Значение показателей в разных вариантах изреживания культур				
	Контроль	25 %	50 %	70 %	80 %
Контроль	1,00				
25 %	0,74	1,00			
50 %	0,55	0,70	1,00		
70 %	0,61	0,75	0,69	1,00	
80 %	0,52	0,60	0,64	0,82	1,00

О большой изменчивости роста деревьев на всех секциях опытного объекта и особенностей их реакции на колебания погодных условий убедительно свидетельствуют также результаты дисперсионного анализа, показавшего очень большой вклад в дисперсию годичного прироста и доли поздней древесины (табл. 5.51).

Таблица 5.51

**Результаты разложения дисперсии рядов динамики годичного прироста
деревьев в разных вариантах изреживания густых культур сосны**

Вариант опыта	Фактор дисперсии и доля его влияния, %					
	Общий годичный прирост			Доля поздней древесины		
	Деревья	Годы	Шумы	Деревья	Годы	Шумы
Контроль	24,6	43,4	32,0	10,4	17,6	72,0
25 %	26,7	40,8	32,5	22,1	20,2	57,7
50 %	22,8	49,7	27,5	22,3	6,8	70,9
70 %	8,3	52,4	39,3	7,5	19,4	73,1
80 %	8,8	54,7	36,5	14,7	15,0	70,3

Влияние изреживания культур сосны на величину базисной плотности древесины, изменяющейся в каждом варианте опыта в очень больших пределах (табл. 5.52), было статистически незначимым (табл. 5.53), что связано с индивидуальными особенностями деревьев (рис. 5.83). Наиболее высоко среднее значение плотности древесины в варианте опыта с изреживанием 80 %, а наиболее же низко – при 25 %. Установлено, что прирост у деревьев с более высокой плотностью древесины с 2004 года был выше, чем у деревьев с низкой плотностью. До этого времени различия практически отсутствовали, но эти особи по-разному отзывались на колебания метеопараметров (рис. 5.84).

Таблица 5.52

Влияние изреживания древостоя на базисную плотность древесины

Вариант опыта	Значения статистических показателей, мг/см ³					
	$M \pm m$	min	max	S	CV, %	p, %
Контроль	505 ± 8,0	467	561	27,6	5,5	1,6
25 %	493 ± 10	436	554	32,9	6,7	1,9
50 %	504 ± 19	389	601	64,9	12,9	3,7
70 %	496 ± 15	406	591	51,8	10,5	3,0
80 %	513 ± 11	441	585	37,7	7,4	2,1

Таблица 5.53

**Результаты дисперсионного анализа рядов плотности древесины
в опыте по изреживанию густых культур сосны**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05}	
Варианты	3124,6	4	781,14	0,38	2,54	2,7
Деревья	111766,4	55	2032,12			97,3
Итого	114891,0	59				100,0

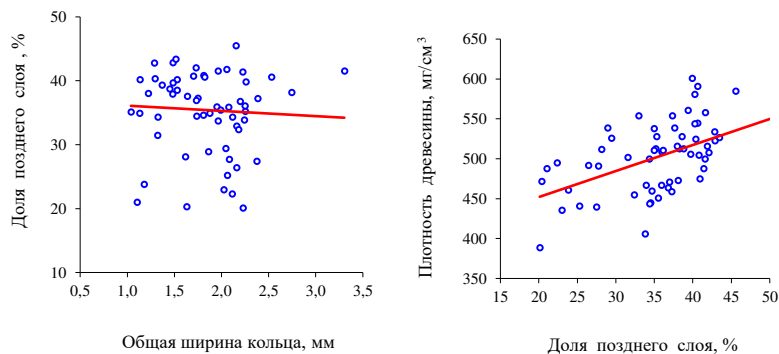


Рис. 5.83. Характер связи между средними значениями общей ширины годовичных колец деревьев, долей поздней древесины и базисной плотности во всех вариантах опыта

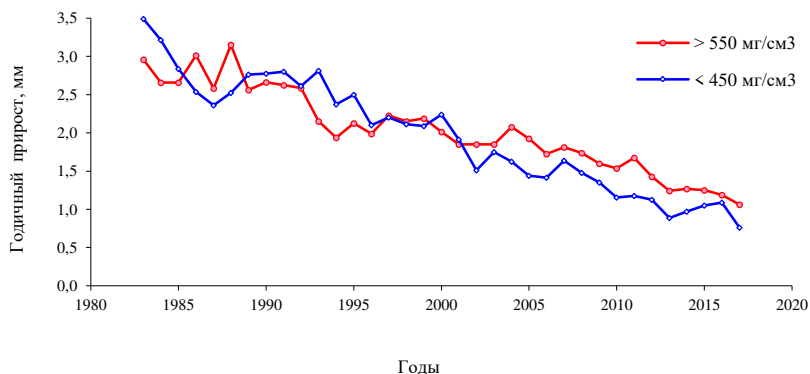


Рис. 5.84. Динамика радиального прироста деревьев сосны с разной плотностью древесины на опытном объекте по изреживанию загущенных 14-летних культур

Изреживание 60-летнего древостоя, проведенное в это же самое время с интенсивностью 25 % по запасу, не привело к резкому увеличению годичного прироста деревьев и изменению доли поздней древесины в их кольцах (рис. 5.85 и 5.86), как это ожидалось в эксперименте. Вариацию величины годичного прироста деревьев, как было установлено на основе регулярных измерений их диаметра, определяют их индивидуальные особенности протекания физиологических функций и реакций на воздействие факторов внешней среды, приводящие к неравномерности темпов роста особей (рис. 5.87).



Рис. 5.85. Динамика радиального прироста деревьев в сосняке естественного происхождения на опытном объекте рубок ухода (кв. 17 Старожильского лесничества, ТЛЮ А₂). Стрелкой отмечен год проведения изреживания

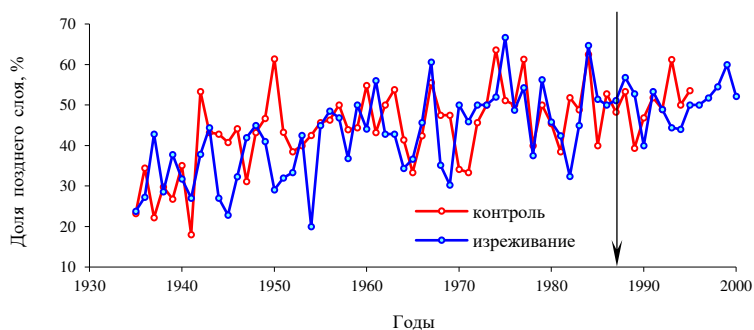


Рис. 5.86. Динамика доли позднего слоя в годичных кольцах деревьев на опытном объекте с проведением рубок ухода (кв. 17 Старожильского лесничества, ТЛЮ А₂)

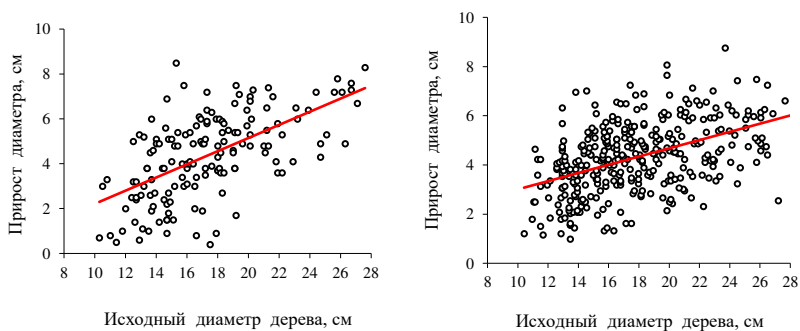


Рис. 5.87. Связь между величиной прироста деревьев за 15 лет и их исходным диаметром в контроле (слева) и на секциях с изреживанием древостоя

Существенного влияния на характер годичного прироста деревьев не оказывают в ряде случаев и более значительные изменения условий среды в стенах леса, непосредственно примыкающих к сплошным вырубкам, которые иногда приводят даже к его снижению (рис. 5.88 и 5.89). Изменение величины прироста выражено при этом все же менее резко по сравнению с ее колебаниями, происходящими под влиянием флуктуаций климата в насаждениях, где лесоводственные мероприятия не проводились (см., к примеру, рис. 5.9, 5.28, 5.43 и 5.45). Слабое влияние полосно-постепенных рубок в сосняках черничниковых Карелии на последующий прирост деревьев в оставшихся кулисах отмечает, в частности, С.М. Синькевич (2022).

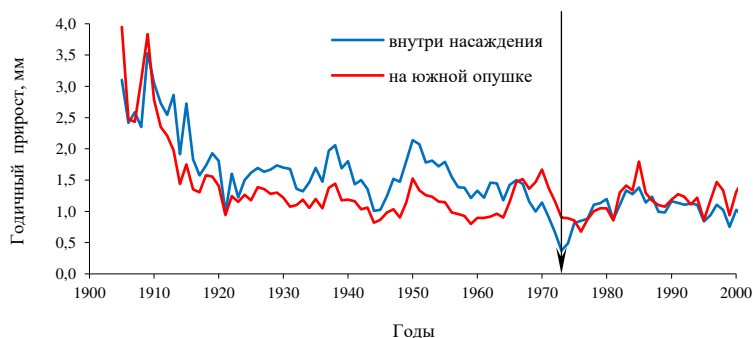


Рис. 5.88. Динамика радиального прироста деревьев в сосняке естественного происхождения (Куярское лесничество, ТЛУ А₂). Стрелкой отмечен год проведения сплошной рубки древостоя на примыкающем к насаждению участке леса

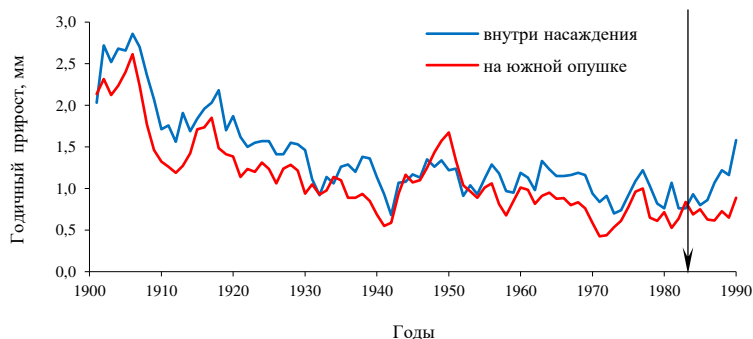


Рис. 5.89. Динамика радиального прироста деревьев в сосняке естественного происхождения (Визимьярское лесничество, ТЛУ А₂). Стрелкой отмечен год проведения сплошной рубки древостоя на примыкающем к насаждению участке леса

Если же рассматривать влияние на рост деревьев сплошных рубок леса, которые приводят не только к снижению конкурентной борьбы за свет и жизненное пространство в примыкающих насаждениях, но также и увеличению в них температуры почвы, за более длительный период, то оно может проявиться уже более четко. Об этом свидетельствуют, в частности, исследования, проведенные в защитных насаждениях, примыкающих с севера к крупной автомагистрали, которые показали, что прирост деревьев, удаленных от нее на 20 м, был в основном выше, чем в глубине леса (рис. 5.90). Особенно четко это проявлялось в первые 35 лет после разрубки трассы (табл. 5.54). Динамика же прироста деревьев, расположенных на разном удалении к северу от автомагистрали, была весьма синхронной, что особенно четко проявилось в 1965-1975 годах, когда отмечались значительные погодные аномалии.

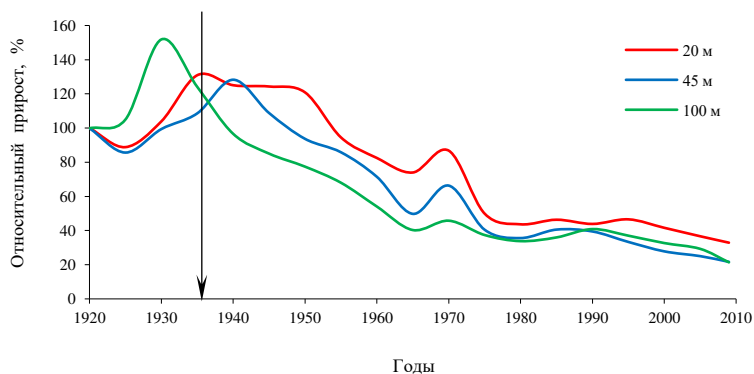


Рис. 5.90. Сглаженная по пятилетиям динамика радиального прироста деревьев сосны в защитных насаждениях на разном их удалении к югу от автомагистрали Йошкар-Ола – Казань (Куярское лесничество, ТЛУ А₂), выраженная по отношению к первому 20-летию. Стрелкой отмечен год вырубki древостоя

Таблица 5.54
Результаты дисперсионного анализа рядов динамики радиального прироста деревьев в защитных насаждениях возле автомагистрали за 1936-1970 годы

Фактор дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,01}	
Варианты	2,98	2	1,488	27,31	3,89	20,1
Периоды	11,20	6	1,867	34,27	3,00	75,5
Итого	0,65	12	0,054			4,4

Проведение изреживания древостоев и сплошных рубок леса, как следует из всего изложенного, не искажает существенно общей картины динамики годичного прироста деревьев в сосняках Республики Марий Эл, происходящей под влиянием флуктуаций климата. Наибольший вклад в дисперсию величины прироста вносят индивидуальные особенности особей, по-разному реагирующих на изменения условий среды.

5.5. Изменение характера роста деревьев после лесных пожаров

Лесные пожары, как известно, приводят к весьма значительным изменениям структуры биоценозов, а также параметров почв и микроклимата, что должно отразиться на последующем росте оставшихся живых деревьев. Исследования, проведенные в спелом сосняке тимьяно-лишайниковом (кв. Силикатного лесничества), пройденном в 1972 году беглым низовым пожаром, показали, что годичный прирост оставшихся здесь живых деревьев, не имеющих внешних повреждений ствола, в последующий период резко увеличился и стал даже выше, чем в смежном с ним ненарушенном древостое (рис. 5.91). Особенно значительно изменился на гари характер динамики доли поздней древесины в годичном кольце деревьев, значения которой в послепожарный период резко возросли и стали сильно варьировать по годам (рис. 5.92). Произошедшие трансформации связаны, как можно полагать, со снижением напряженности конкурентных отношений в ценозе за счет гибели здесь 40 % деревьев, изменением лесорастительных свойств почвы, обогатившейся подвижными элементами, а также микроклимата в биогеоценозах. Немаловажное значение имело, вероятно, изменение силы воздействия на деревья в изреженных насаждениях ветровых нагузов.

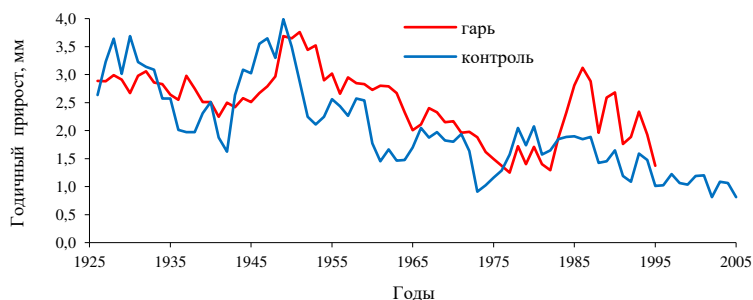


Рис. 5.91. Динамика радиального прироста деревьев в сосняке тимьяно-лишайниковом, поврежденном в 1972 году беглым низовым пожаром, и смежном с ним ненарушенном древостое естественного происхождения (кв. 20 Силикатного лесничества)

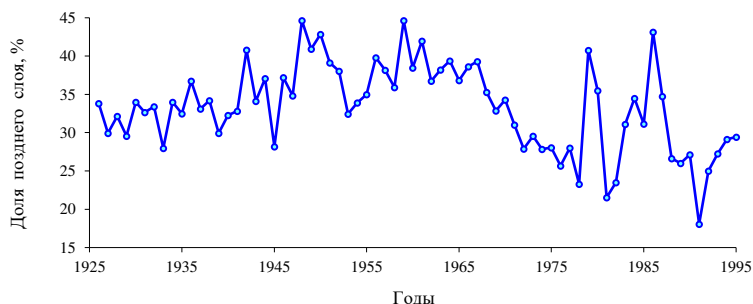


Рис. 5.92. Динамика доли слоя поздней древесины в годичном кольце деревьев в сосняке тимьяно-лишайниковом, пройденном в 1972 году беглым низовым пожаром

Интересно отметить, что снижение годичного прироста деревьев в обоих насаждениях началось задолго до засухи 1972 года и связанного с ней пожара. Это необычное явление было обусловлено в определенной мере изменениями климата под влиянием серии мощных извержений вулканов, произошедших в разных частях земного шара в 1944, 1945, 1951 и 1956 годах (см. табл. 2.1), а также, вероятно, военных действий 1939-1945 годов, бомбардировки атомным оружием японских городов и последующих многочисленных испытаний ядерных и термоядерных бомб, что привело к повышению концентрации в атмосфере аэрозольных частиц. В 1946, 1947 и 1952 годах на территории Евразии отмечались еще и мощные метеорные дожди, являющиеся источником образования атмосферных аэрозолей.

Во многом схожим был также характер изменения годичного прироста деревьев после пожаров 1921 и 1933 годов, происходивший в сосняках лишайниково-мшистых заповедника «Большая Кокшага», который выразился в увеличении прироста, продолжавшемся в течение 17-24 лет (рис. 5.93). После 1950 года динамика прироста деревьев в этих экотопах была абсолютно синхронной, обусловленной как изменениями условий среды, так и внутренними свойствами ценозов, поскольку никаких лесохозяйственных мероприятий здесь не проводилось. Спад годичного прироста деревьев продолжался до 1959 года, затем последовала небольшая волна его увеличения и последующего спада, завершившегося в 1973 году. Гребень последней волны прироста деревьев на исследованном отрезке времени пришелся на 1990 год, а затем последовало его снижение, во многом связанное с мощным извержением вулкана Пинатубо на филиппинском острове Лусон. Сочетание всех факторов, воздействующих на деревья, привело в результате к формированию сложного волнового характера динамики их годичного прироста.

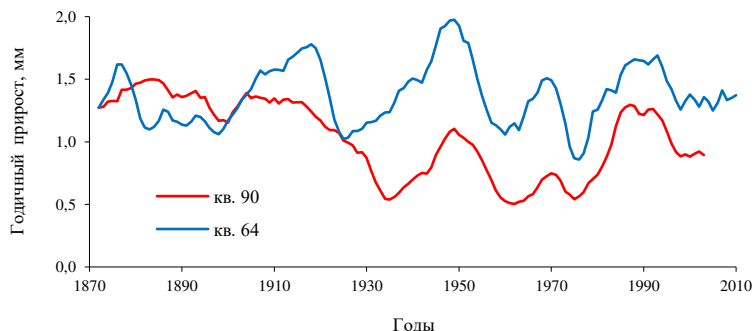


Рис. 5.93. Сглаженная по пятилетиям динамика радиального прироста деревьев старшего поколения в сосняках лишайниково-мшистых заповедника «Большая Кокшага»

Лесные пожары, как следует из изложенного выше, приводят в первое время к увеличению прироста сохранившихся живыми деревьев, но не искажают в целом общей картины его динамики, происходящей под влияние геофизических факторов, флуктуаций климата и внутренних свойств экосистем.

5.6. Годичный прирост деревьев, пораженных смоляным раком

В сосняках Республики Марий Эл и других регионов России довольно часто встречаются деревья, пораженные в разной степени смоляным раком (серянкой), вызываемым ржавчинным грибом *Peridermium pini* (Willd) Lev. et Kleb. (Семенкова, Соколова, 2003). При проникновении в ствол дерева мицелия этого гриба он распространяется из года в год, вызывая отмирание камбия и образование раковой раны. Средняя скорость распространения грибницы составляет 11 см в год по длине ствола и 2 см по окружности. Состояние дерева зависит от расположения и количества ран на его стволе. Возникновение их под кроной дерева или в нижней ее части приводит его к гибели; если же раны расположены выше, то происходит отмирание вершины (сухостержинность) и болезнь дерева может продолжаться очень долго. Раковые раны, особенно охватывающие более 50 % окружности ствола, снижают жизнеспособность дерева за счет ухудшения водоснабжения его кроны и оттока ассимилянтов к корням.

Исследования показали, что деревья, пораженные смоляным раком, уступали здоровым по величине радиального годичного прироста уже с возраста 25-30 лет (рис. 5.94, табл. 5.55). Особенно значительными различия были в 1935-1955 и 1985-2005 годах (рис. 5.95). В отдельные же

периоды прирост больных и здоровых деревьев был практически одинаковым, а после засухи 1972 года у первых из них он был в 2,2 раза выше, что связано, вероятно, с меньшим потреблением ими воды. По характеру роста деревья в целом очень слабо различались между собой, сходно реагируя на изменение условий среды обитания (рис. 5.96).

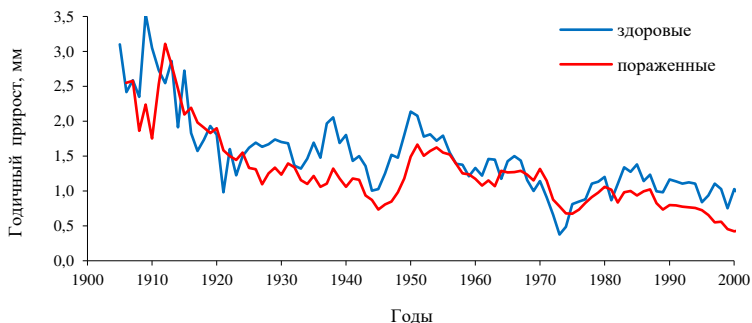


Рис. 5.94. Динамика радиального прироста здоровых и пораженных смоляным раком деревьев в сосняке естественного происхождения (Куярское лесничество, ТЛУ А₂)

Таблица 5.55

Радиальный прирост здоровых и пораженных смоляным раком деревьев в разные периоды их жизни

Категория деревьев	Значения прироста в разные отрезки времени, мм				
	1951-1960 гг.	1961-1970 гг.	1971-1980 гг.	1981-1990 гг.	1991-2000 гг.
Здоровые	1,60 ± 0,09	1,30 ± 0,06	0,84 ± 0,09	1,15 ± 0,05	1,02 ± 0,04
Больные	1,45 ± 0,06	1,21 ± 0,03	0,87 ± 0,05	0,91 ± 0,03	0,65 ± 0,04

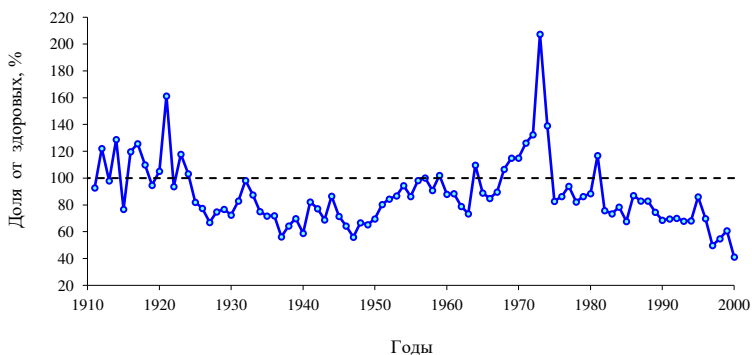


Рис. 5.95. Динамика радиального прироста деревьев, пораженных смоляным раком, по отношению к здоровым особям в сосняке естественного происхождения

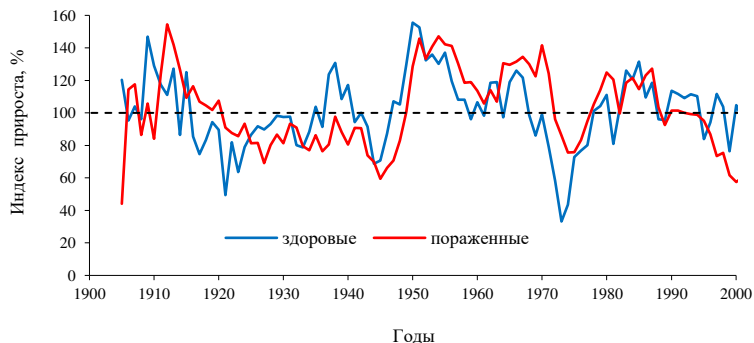


Рис. 5.96. Динамика индексов радиального прироста здоровых и пораженных смоляным раком деревьев в сосняке естественного происхождения

Оценить степень устойчивости деревьев к поражению их смоляным раком по характеру динамики их радиального прироста, как следует из всего изложенного, хотя и довольно сложно, но все-таки возможно, поскольку заболеванию подвергаются, вероятно, более ослабленные особи, значительно уступающие здоровым по величине этого параметра в благоприятные по условиям периоды своего роста. Диагностировать же ухудшение состояния больных деревьев гораздо проще, т.к. устойчивое снижение прироста начинается у них задолго до отмирания. Поражение деревьев смоляным раком не искажает в целом общей картины динамики их прироста, происходящей под влиянием флуктуаций внешней среды и внутренних свойств экосистем.

5.7. Влияние колоний цапли на динамику прироста деревьев

Большую роль в функционировании лесных биогеоценозов играют позвоночные животные, в том числе и птицы, оказывающие как положительное, так и негативное влияние на их состояние (Воронцов, 1963; Сукачев, 1974; Рахилин, 1970; Одум, 1975; Иноземцев, 1978; Северцов, 2012). Средообразующая деятельность птиц наиболее сильно проявляется в местах их массовых скоплений (Ардамацкая, 1967; Бреслина, Карпович, 1969; Семаго, 1975; Тараненко, 1975; Втюрина, 2002; Захаренко, Романов, 2009; Лысенков, 2016). Яркий пример – крупные гнездовые поселения серой цапли (*Ardea cinerea* L., 1758), где птицы приносят значительные массы органического вещества при строительстве гнёзд и особенно выкармливании птенцов, оказывая очень большое влияние на организацию и состояние заселенных ими биогеоценозов (Растворова, 1986; Чугай, 1993; Недосекин, 2001; 2003; Кулаков, Кры-

лов, 2018), выступая в качестве своеобразных экосистемных инженеров (Jones et al., 1994; Wright, Jones, 2004). Исследователями показано, что колонии цапли приводят к формированию мощной лесной подстилки, затрудняющей прорастание семян растений и препятствующей процессу естественного лесовозобновления, изменяют структуру и химизм почв, а также населяющих их сообществ беспозвоночных. В итоге всё это вызывает обеднение исходного состава фитоценозов и снижение проективного покрытия растениями вплоть до полного их исчезновения непосредственно под гнездами птиц. Длительное гнездование цапель на одних и тех же деревьях приводит к их усыханию, что вынуждает птиц перемещаться на новые участки. Воздействие цапель на биогеоценозы зависит от плотности населения птиц и длительности существования колоний, а также местных особенностей экотопов, что должно быть предметом детального изучения, актуальность которого в современных условиях, когда человек активно преобразовывает ландшафты, вполне очевидна.

Цель нашего исследования заключалась в выявлении особенностей динамики радиального прироста деревьев в местах гнездования серой цапли, возникших в искусственно созданных на приовражных землях в бассейне реки Манага в 1973 году в чистых сосновых насаждениях (рис. 5.97), поскольку этот вопрос вообще не отражен в литературе. Текущая густота древостоя на участке составила 1360 экз./га, относительная полнота – 1,18, средняя высота – 24 м, а средний диаметр – 21 см. Почва на опытном объекте дерново-подзолистая суглинистая с долей частиц более 0,01 мм 32,4 %, свойства верхнего слоя которой сильно изменены колонией цапли (табл. 5.56), состоящей в настоящее время из 16-19 гнездящихся пар птиц. В качестве контроля выбрано аналогичное по параметрам насаждение, в котором поселения цапли отсутствуют.



Рис. 5.97. Снимки объекта исследований и гнёзд серой цапли на деревьях

Таблица 5.56

Агрохимическая характеристика почв на объекте исследования

Показатель	Значения показателей в разных слоях почвы в насаждениях					
	Контрольное насаждение			Насаждение с колонией цапли		
	0-20 см	30-50 см	60-80 см	0-20 см	20-40 см	40-60 см
pH	4,30	4,07	4,25	3,17	4,11	4,68
ГК	4,16	4,79	2,98	7,18	2,45	1,75
COO	11,5	17,1	20,4	5,00	12,0	11,6
CHO	73,4	78,1	87,3	41,1	83,0	86,9
P ₂ O ₅	5,6	7,6	11,6	27,8	8,0	8,1
K ₂ O	5,6	6,8	2,4	21,5	7,7	4,1

Примечание: pH – значение кислотности в солевой (KCl) вытяжке почвы, ГК – гидротитическая кислотность почвы, мг-экв./100 г; COO – сумма обменных оснований, мг-экв./100 г; CHO – степень насыщенности основаниями, %; P₂O₅ – содержание подвижных форм фосфора, мг/100 г; K₂O – содержание обменного калия, мг/100 г.

Поселения серой цапли, которые птицы устраивали только на деревьях сосны, появились на территории опытного объекта в 1985 году, что удалось довольно четко установить с помощью дендрохронологического анализа. Как показали исследования, поселения цапли привели к существенному повышению как общей ширины годичного кольца деревьев, так и разных его слоев (рис. 5.98-5.100), что было обусловлено увеличением биологической активности почвы и содержания в ней подвижных элементов питания. По толщине слоя ранней древесины наибольшие различия между экотопами отмечались в 1987, 1989 и 2004 годах, а поздней древесины – в 1988 и 2010 годах. После этого различия стали уменьшаться, постепенно полностью исчезая.

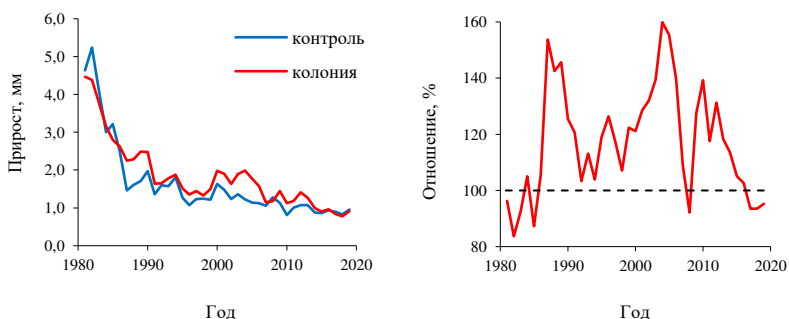


Рис. 5.98. Динамика радиального годичного прироста деревьев контрольного и заселенного серой цаплями сосновых насаждений и соотношения между ними

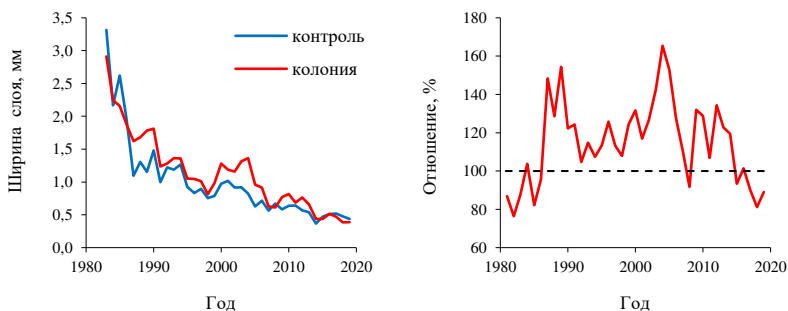


Рис. 5.99. Динамика ширины раннего слоя в годичном кольце деревьев контрольного и заселенного серой цаплей сосновых насаждений и соотношения между ними

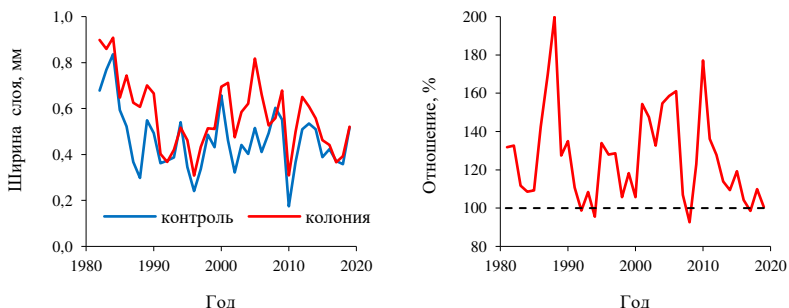


Рис. 5.100. Динамика ширины позднего слоя в годичном кольце деревьев контрольного и заселенного серой цаплей сосновых насаждений и соотношения между ними

Наиболее существенные различия отмечались по значениям оптической плотности древесины (рис. 5.101), во многом зависящей от толщины клеточных стенок колец и количества в них лигнина, отрицательно коррелируя с физической (реальной) плотностью древесины (Blue reflectance ..., 2002; Blue intensity ..., 2011, 2014; Using adjusted ..., 2015; Dolgova, 2016; Долгова, 2017; 970-year-long ..., 2017; Потенциал ..., 2018). Изменения значений этого параметра произошли, как показали исследования, за счет изменения размера стенок клеток годичных колец, которые в контрольном насаждении были тоньше и содержали меньшее количество лигнина. Обращает на себя внимание резкий скачок повышения оптической плотности древесины в обоих экотопах, произошедший в 2010 году, что связано с сильной засухой. Большие различия между экотопами по величине этого параметра отмечались в 1988 и 2019 годах.

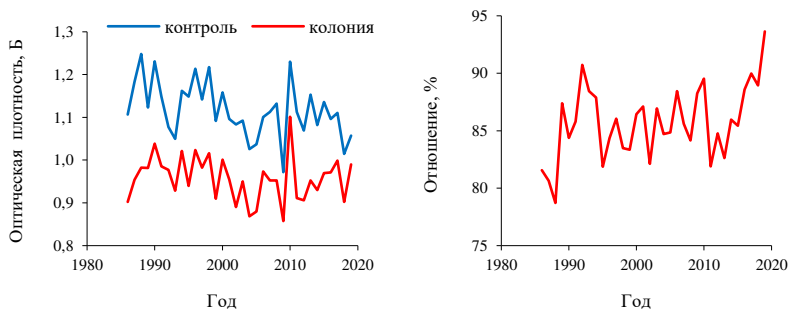


Рис. 5.101. Динамика оптической плотности годичного слоя у деревьев в контрольном и заселенном серой цаплей сосновых насаждениях и соотношения между ними

Доля поздней древесины в годичном кольце деревьев на участке с колонией цапли до 1988 года была выше, чем в контрольном насаждении (рис. 5.102). Затем же различия стали варьировать по годам, изменяясь от 87 до 127 % по отношению к контролю, составляя в среднем на отрезке времени с 1989 по 2019 год 103 %. Наибольшее превышение отмечалось в 2001 и 2010 годах.

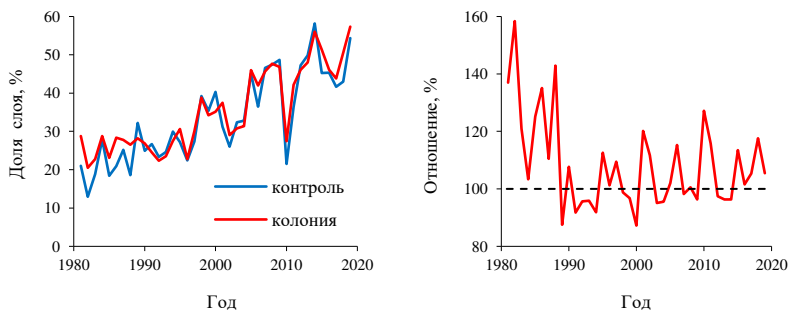


Рис. 5.102. Динамика доли поздней древесины в кольце деревьев контрольного и заселенного серой цаплей сосновых насаждений и соотношения между ними

Изменения значений каждого из описанных выше параметров годичного слоя деревьев происходили в экотопах довольно синхронно ($r = 0,758...0,939$), что свидетельствует об однотипности их реакций на флуктуации метеорологических условий. Менее сходными между собой оказались ряды абсолютной ширины позднего слоя древесины, а наиболее же сопряженными – ряды значений его доли в годичном кольце.

Коэффициент корреляции между рядами значений оптической плотности древесины годичных колец составил 0,779. На засуху 2010 года древостои отреагировали одинаково, резко снизив прирост позднего слоя годичного кольца и толщину клеточных стенок, что привело к увеличению значений оптической плотности древесины. Изменения же значений разных параметров годичного слоя происходили в каждом из экотопов несинхронно (табл. 5.57), что указывает на их разное информативное значение. Наиболее сходен ход значений общей ширины годичного кольца и слоя ранней древесины, динамика же значений оптической плотности древесины наименее сопряжена с динамикой значений всех остальных параметров годичного кольца ($r = -0,47 \dots 0,32$).

Таблица 5.57

Корреляционная связь между разными параметрами прироста деревьев сосны на объектах исследования с 1986 по 2019 год

Оцениваемый параметр	Коэффициент корреляции между параметрами				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Участок с поселениями серой цапли					
1. Общий годичный слой древесины	1,00				
2. Индекс годичного прироста	0,63	1,00			
3. Слой ранней древесины	0,95	0,48	1,00		
4. Слой поздней древесины	0,49	0,64	0,19	1,00	
5. Доля поздней древесины	-0,55	-0,13	-0,77	0,43	1,00
6. Оптическая плотность	-0,13	-0,29	0,02	-0,45	-0,30
Участок без поселений серой цапли					
1. Общий годичный слой древесины	1,00				
2. Индекс годичного прироста	0,53	1,00			
3. Слой ранней древесины	0,96	0,39	1,00		
4. Слой поздней древесины	0,30	0,57	0,02	1,00	
5. Доля поздней древесины	-0,57	-0,08	-0,77	0,57	1,00
6. Оптическая плотность	0,23	-0,12	0,32	-0,27	-0,47

Наибольшее влияние на изменчивость значений почти всех оцененных параметров в обоих экотопах оказывает, как показали расчеты, возраст деревьев (табл. 5.58). Вариабельность же оптической плотности древесины зависит в большей мере от особенностей экотопов, связанных с воздействием колонии цапли на свойства почвы и деревьев, на которых птицы сооружали свои гнезда. Влияние погодных условий наиболее велико на изменение ширины позднего слоя и его доли в годичном кольце деревьев.

Таблица 5.58

Результаты разложения дисперсии рядов динамики параметров годичного кольца деревьев в культурах сосны на приовражных землях

Анализируемый параметр	Доля влияния фактора дисперсии, %			
	вариантов	возраста	погоды	шумов
Общая ширина годичного кольца	1,1	88,6	7,4	2,9
Ширина раннего слоя в кольце	0,3	88,5	8,0	3,2
Ширина позднего слоя в кольце	9,7	51,3	32,0	7,0
Доля поздней древесины	0,7	71,0	25,6	2,7
Оптическая плотность годичного слоя	65,6	3,1	27,2	4,1

Исследования показали, что деревья в каждом из экотопов довольно сильно различаются между собой по характеру изменения параметров годичного кольца, о чем убедительно свидетельствует большое варьирование значений коэффициента корреляции между рядами их динамики (табл. 5.59). Особенно велико варьирование коэффициента корреляции в насаждении, где цапли основали свою колонию, что связано с различиями воздействия птиц на деревья и неоднородностью распространения в экотопе их гнезд и помета. Особенно велики различия между экотопами по характеру динамики у деревьев общей ширины годичного кольца, а менее же всего они различаются по значениям оптической плотности древесины. Наибольшее влияние на изменчивость значений прироста деревьев в насаждении с колонией цапли оказывают, как показали расчеты (табл. 5.60), шумы, связанные с пространственной неоднородностью здесь среды. В насаждении же, не подвергшемся воздействию птиц, вариабельность годичного прироста деревьев обусловлена в основном их возрастом. Влияние погодных условий в обоих экотопах мало, хотя и статистически значимо.

Таблица 5.59

Показатели изменчивости значений коэффициента корреляции между рядами динамики параметров годичного кольца деревьев в культурах сосны

Варианты объектов	Статистические показатели выборок (N = 66)			
	M _x	min	max	S _x
Общая ширина годичного слоя древесины				
Насаждение без поселений цапли	0,907	0,702	0,966	0,050
Насаждение с колонией цапли	0,730	-0,230	0,946	0,247
Слой поздней древесины				
Насаждение без поселений цапли	0,480	0,110	0,791	0,159
Насаждение с колонией цапли	0,320	-0,554	0,841	0,321
Оптическая плотность древесины				
Насаждение без поселений цапли	0,409	-0,084	0,718	0,182
Насаждение с колонией цапли	0,364	-0,112	0,726	0,254

Таблица 5.60

**Результаты разложения дисперсии рядов динамики годичного прироста
деревьев в насаждении сосны с колонией серой цапли и в контроле**

Варианты объектов	Доля влияния фактора дисперсии, %			
	деревьев	возраста	погоды	шумов
Насаждение без поселений цапли	4,1	78,8	6,8	10,3
Насаждение с колонией цапли	20,5	25,7	3,2	50,6

В насаждении с колонией цапли все деревья в выборке объединяются в три четко выраженных кластера (рис. 5.103), различающихся между собой по характеру динамики годичного прироста (рис. 5.104). Деревья, вошедшие в первый кластер, подверглись наибольшему воздействию со стороны птиц, существенно снизив прирост по сравнению с другими особями. Деревья же третьего класса развивались в естественном режиме, близком к контрольному насаждению.

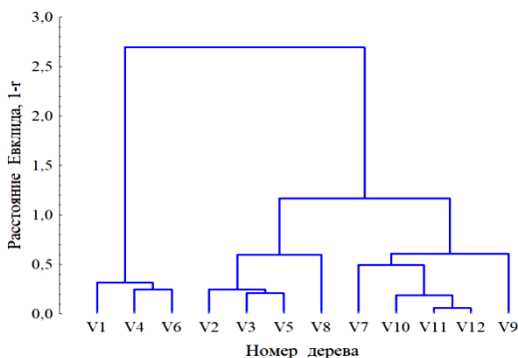


Рис. 5.103. Дендрограмма сходства деревьев в заселенном серой цаплями сосновом насаждении по характеру динамики их радиального прироста

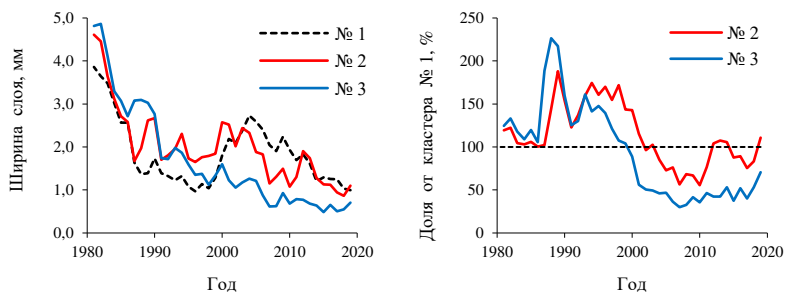


Рис. 5.104. Динамика радиального годичного прироста деревьев разных кластеров в сосновом насаждении с колонией серой цапли и соотношения между ними

Колонии серой цапли (*Ardea cinerea* L., 1758) , как следует из всего изложенного, оказывают очень большое влияние на величину всех параметров годичных колец деревьев, особенно ширины их позднего слоя и оптической плотности древесины (значения первого из этих параметров в насаждениях, подвергшихся воздействию колоний цапли, выше по сравнению с контролем, а второго ниже), но не искажают в целом общей картины их динамики, происходящей под влиянием флуктуаций климата. В первые 15-20 лет колонии серой цапли оказывают положительное влияние на годичный прирост деревьев, особенно на ширину позднего слоя древесины и толщину клеточных стенок, но затем оно становится отрицательным, постепенно приводя к летальному исходу, что вынуждает птиц перемещаться в новые места обитания. Время существования колоний цапли на одном месте составляет около 35-40 лет. Дендрохронологический анализ позволяет четко диагностировать состояние деревьев в колониях цапли и объективно оценить их воздействие на лесные экосистемы.

Результаты исследований по данной главе позволяют существенно расширить круг знаний о влиянии внешних и внутренних факторов на рост деревьев и дополнить **выводы**, приведенные в предыдущей главе.

1. Величина радиального годичного прироста варьирует у деревьев сосны в очень больших пределах, что свидетельствует о высокой чувствительности их к флуктуациям условий среды обитания и больших адаптационных возможностях.

2. Характер динамики прироста деревьев зависит как от типа лесорастительных условий, так и целого комплекса биоценотических, климатических и иных физических факторов, в том числе событий, происходящих в ближнем и дальнем космосе. Выделить вклад каждого из них, мощность и амплитуда колебания которых не имеют строгой регулярности, практически невозможно, т.к. действие одного фактора может либо усиливать, либо снижать действие другого. Величина годичного прироста деревьев зависит, согласно закону Либиха, от фактора, находящегося в минимуме: недостаток света и тепла нельзя восполнить избытком влаги, и наоборот.

3. В результате трансформации сигналов внешней среды во внутренних каналах связи между разными компонентами лесных экосистем возникает сложный волнообразный ход годичного прироста деревьев, который зависит не только от типа леса, но и генотипической структуры ценопопуляций, а также характера происходивших нарушений состояния биогеоценозов. В большинстве случаев основными факторами годичного прироста деревьев, изменяющегося в течение их жизни в боль-

ших пределах, являются их возраст и густота ценопопуляций. Пожары, антропогенная деятельность и биотические факторы, часто оказывающие на величину годичного прироста деревьев довольно большое влияние, не искажают в целом общей картины его динамики, происходящей под влиянием флуктуаций климата.

4. Фактически имеющие место цикличные изменения емкости экологических ниш существования древостоев, детерминированные флуктуациями условий среды, и связанные с этим колебания их производительности многими исследователями не принимаются во внимание, что приводит к серьезным ограничениям практического применения лесоводственных и таксационных нормативов, в частности таблиц хода роста насаждений.

5. Генотипическая неоднородность ценопопуляций по характеру ответных реакций деревьев на изменение параметров внешней среды является необходимым условием их устойчивого существования и развития, способствуя лучшей и быстрой дифференциации особей по размерам, а также повышению эффективности использования особями энергетических и материальных ресурсов среды. В постоянно меняющихся условиях обитания ни один генотип не может превосходить другие по приспособленности ко всем возможным ситуациям и поэтому особи, обладающие повышенной устойчивостью к определенному фактору среды, не будут в целом иметь преимуществ перед остальными за весь период выращивания насаждений. Селекционный же отбор деревьев по скорости их роста давно осуществлен природой и продолжает постоянно совершенствоваться, что ставит под сомнение саму целесообразность проведения работ в области селекции древесных растений. Дополнительным доводом в пользу этого является «золотое правило» популяционной генетики, гласящее, что выигрыш, достигнутый за счет одного признака, ведет к потерям за счет другого.

6. Реакции деревьев в ответ на одни и те же изменения параметров среды не всегда однозначны, и поэтому несостоятельны, на наш взгляд, попытки реконструкции условий климата в прошлом, а уж тем более их прогноза, особенно долгосрочного, по данным анализа рядов прироста деревьев в лесной зоне. Динамика индексов годичного прироста деревьев несет информацию лишь о том, насколько благоприятными были условия их произрастания в тот или иной период времени, но не отражает действие какого-либо конкретного фактора среды. Только в экстремальных условиях произрастания деревьев, где лимитирующим может являться лишь один фактор, можно надеяться на получение определенных результатов.

ГЛАВА 6

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ В РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ

Сосновые древостои являются в ряде случаев разновозрастными, особенно на олиготрофных болотах (Демаков и др., 2012), где можно выделить до шести поколений деревьев, что связано, по данным многих исследователей (Мелехов, 1948; Молчанов, 1954, 1971; Санников, 1973, 1992; Верхунов, 1976; Громцев, 1993; Демаков, Калинин, 2003; Цветков, 2002, 2008; Проблемы экологии..., 2005; Кутявин, 2018), с прохождением в них пожаров различной интенсивности. Степень повреждения огнем всех компонентов лесных экосистем в значительной степени зависит при этом от давности и интенсивности предшествующего пожара: чем больше времени прошло после предыдущего нарушения, тем выше интенсивность горения в результате накопления в насаждениях большой массы горючих материалов. Наиболее часто пожары возникают в сухих и свежих борах. В древостоях же на суглинках и глинах, где обычно велика доля лиственных пород, а также на возвышенностях среди болот вероятность их возникновения мала. Периодичность пожаров на территории европейской части России варьирует в современный период от 30-50 до 500 лет в зависимости от породной структуры лесов, условий их произрастания и сложившейся климатической обстановки.

Каждое из поколений деревьев сохраняет информацию о прежних пожарах и развивается в разных экологических условиях, в связи с чем анализ динамики их радиального прироста может представлять большой научный и практический интерес, позволяя лучше познать особенности развития того или иного биогеоценоза и предложить способы повышения их производительности. Публикации по этой тематике пока практически отсутствуют, что и послужило поводом для проведения наших исследований на территории Республики Марий Эл.

6.1. Заболоченные бору

Сосняки на олиготрофных болотах представляют собой во многих случаях уникальные экосистемы, состояние которых близко к климаксу, а развитие происходит естественным путем, поскольку они часто не вовлечены в хозяйственную деятельность человека. Уникальны они и наличием в их составе деревьев разных поколений, возраст самых старых из которых может составлять иногда 400-450 лет (Оленин, 1974, 1976; Румянцев, Черкашев, 2018). Современные крупные массивы

сосняков на олиготрофных болотах являются устойчивыми саморегулирующимися системами, проявляющими относительную независимость от влияния условий внешней среды (Демаков и др., 2012).

Объектами исследования явились восемь разных по площади болотных массивов Марийского Заволжья, находящихся на территории Пригородного и Волжского лесничеств, а также Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Структура и развитие фитоценозов на каждом из них имели свои особенности, что отразилось, как будет показано ниже, на динамике радиального прироста деревьев в них.

Наибольший объем исследований проведен в лесном массиве «**Илюшкино болото**», который имеет площадь 196 га и расположен в кв. 34, 35, 48 и 49 Старожильского лесничества. Древостой здесь абсолютно разновозрастный, класс бонитета и полнота которого варьируют в пределах массива от IV до V^a и от 0,54 до 0,80 соответственно. Молодое поколение деревьев в настоящее время весьма малочисленно из-за сильного развития кустарничков и мохового покрова (рис. 6.1). Мощность торфяного слоя, в котором имеются следы многочисленных пожаров разной давности (рис. 6.2), достигает 425 см. Образование болота началось, по данным радиоуглеродного датирования самого нижнего слоя торфа, 10337 ± 231 лет назад. В 1972 году часть болотного массива (32 га) была пройдена торфяным пожаром, после которого произошло успешное естественное восстановление древостоя (рис. 6.3). Уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода колеблется, по данным 17-летних наблюдений, от 0 до 41 см.



Рис. 6.1. Общий вид фитоценоза на верховом болоте Илюшкино



Рис. 6.2. Колонка торфа, извлеченная с глубины 375-425 см, на которой четко видны следы былых мощных пожаров



Рис. 6.3. Молодое поколение леса, возникшее на месте торфяного пожара 1972 года

Диаметр деревьев в сложившемся субклимаксовом сообществе варьирует от 6 до 40 см (рис. 6.4) и слабо связан с их возрастом (рис. 6.5), который, как было установлено на основе анализа имеющейся выборки кернов, изменяется практически без разрывов в пределах от 50 до 340 лет, что свидетельствует об отсутствии в нем за это время пожаров или иных природных катастроф. Появление новых деревьев происходило, однако, волнообразно (рис. 6.6). Наиболее благоприятные условия для этого сложились в 1801-1850 годах в результате какого-то природного явления, приведшего к гибели части старых деревьев, экологическую нишу которых постепенно стали занимать молодые особи. Возраст их достиг в настоящее время 170-220 лет. Основной причиной этого природного явления, оказавшего столь мощное воздействие на состояние всего биоценоза, является, вероятнее всего, серия крупных вулканиче-

ских извержений в различных частях Земли, приведшая к «вымочке» лесов, что отмечалось, в частности, в 1978-1980 годах (Демаков, 2000, 2005; Демаков и др., 2012) в результате обилия осадков и низкой летней температуры воздуха.

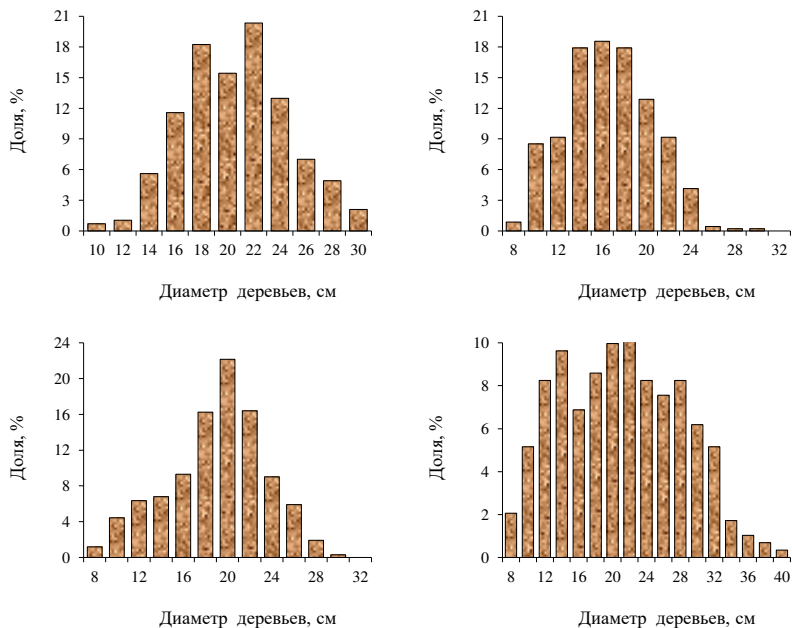


Рис. 6.4. Размерная структура древостоя на объектах в массиве «Илюшкино болото»

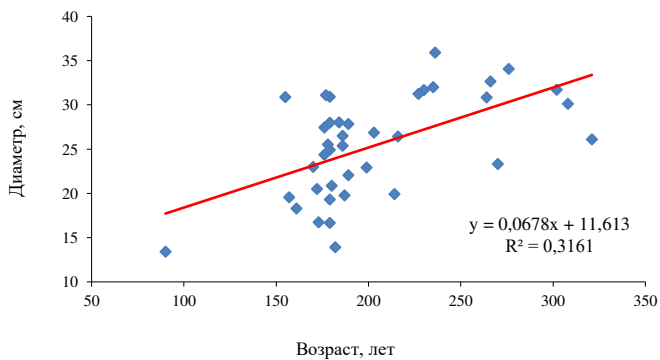


Рис. 6.5. Связь между возрастом и диаметром деревьев в массиве «Илюшкино болото»

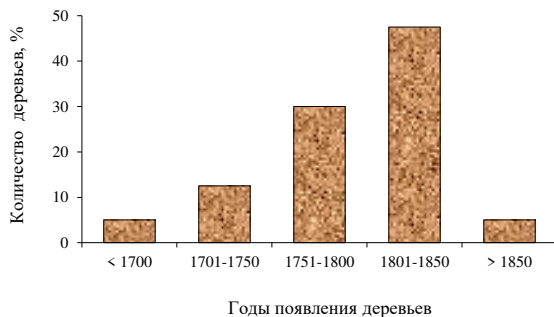


Рис. 6.6. Динамика появления молодого поколения леса в массиве «Илюшкино болото».

Расчеты показали, что годичный прирост деревьев на объекте исследования изменялся в очень больших пределах (табл. 6.1) и неуклонно снижался с увеличением их возраста (табл. 6.2, рис. 6.7). Обобщенный возрастной тренд годичного прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 0,95 \times \exp(-30,05 \times 10^{-2} \times A^{0,33}) + 0,35$, описывающее 61 % дисперсии исходных данных (A – возраст деревьев, лет).

Таблица 6.1

**Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений
в лесном массиве «Илюшкино болото»**

Поколение деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	$M \pm m$	min	max	S	CV
> 250 лет	2007	$0,52 \pm 0,01$	0,05	3,10	0,35	66,5
200-240 лет	1760	$0,64 \pm 0,01$	0,05	2,35	0,38	59,5
170-190 лет	3600	$0,66 \pm 0,01$	0,05	4,00	0,48	72,7
< 170 лет	594	$0,72 \pm 0,02$	0,10	2,90	0,41	56,3

Примечание: N – количество измеренных годичных слоев, шт.; $M \pm m$ – среднее арифметическое значение годичного прироста и его ошибка, мм; min и max – минимальное и максимальное значения, мм; S – среднеквадратическое отклонение, мм; CV – коэффициент вариации, %.

Таблица 6.2

**Возрастные изменения годичного прироста деревьев разных поколений
в лесном массиве «Илюшкино болото»**

Поколение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 250 лет	0,91	0,80	0,74	0,52	0,52	0,43
200-240 лет	0,76	0,65	0,78	0,61	0,66	0,60
170-190 лет	0,99	0,53	0,52	0,53	0,78	0,64
< 170 лет	0,89	0,63	0,57	0,78	0,79	0,70

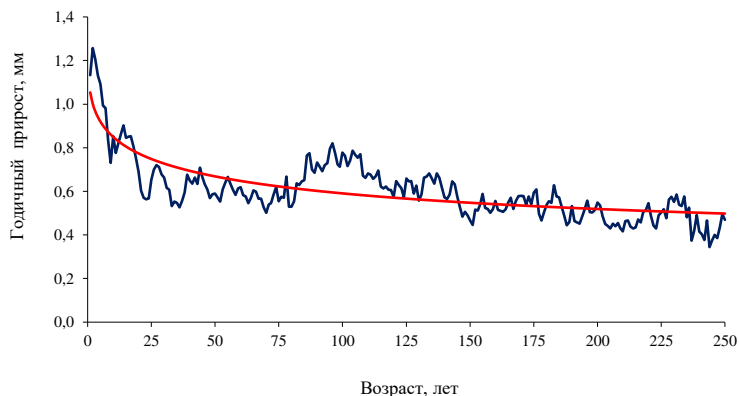


Рис. 6.7. Возрастные изменения годичного прироста деревьев на болоте «Илюшкино»

Динамика индексов прироста деревьев разных возрастных поколений имеет, как показали расчеты, свои особенности. Так, у наиболее старых деревьев индекс прироста сильно изменялся во времени, и даже выравнивание усредненного ряда значений по скользящим 11-летиям не позволило сгладить наличие имеющихся флуктуаций. Гребни волн значений индексов прироста пришлись на 1712, 1747-1759, 1774, 1803, 1867, 1895-1915, 1938-1940 и 1982-1985 годы, причем вторая из волн была самой высокой (рис. 6.8).

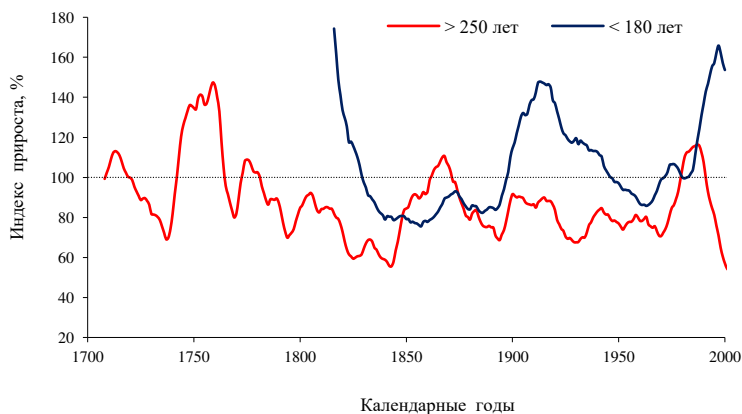


Рис. 6.8. Динамика сглаженных по 11-летиям индексов годичного прироста деревьев в лесном массиве «Илюшкино болото»

Первое снижение прироста, начавшееся в 1713 году, связано с извержениями вулканов Пэктусан (1668 и 1702 гг.), Везувий (1669), Этна (1693), Гекла (1693, 1725) и Фудзияма (1707). Очередная, но более сильная депрессия роста деревьев, которая отмечалась в период с 1760 по 1840 годы, произошла после серии мощных извержений вулканов Котопакси (1742, 1744, 1768), Майон (1766, 1814), Гекла (1766), Лаки и Гримсвётн (1783-1784), Унзен (1792), Везувий (1793), Тамбора (1815), Эйяфьятлайокюдль и Катла (1821-1823), Галунгтунг (1822), Косигуана (1835), а также землетрясений (1757, 1775, 1797, 1802, 1806, 1811, 1812, 1814, 1822), приведших к дестабилизации климатической системы Земли. В 1799, 1803 и 1833 годах отмечались также очень интенсивные метеорные дожди (Воронцов-Вельяминов, 1976).

Следующее снижение прироста деревьев, начавшееся в 1868 году и продолжавшееся до 1892 года, вновь связано с интенсивными метеорными дождями, отмечавшимися в 1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877, 1882, 1885 годах, серией извержений вулканов Везувий (1872), Котопакси (1875), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883), а также землетрясений (1885, 1887, 1889). В этот период произошла также мощная вспышка на Солнце (1859) и наблюдался взрыв сверхновой звезды (1868), что, как отмечалось в разделе 1.2, могло отразиться в определенной мере на климате нашей планеты.

Падение прироста в 1915-1929 годах связано с серией извержений вулканов Мон-Пеле, Суффриер и Санта-Мария (1902), Пэктусан (1903), Везувий (1906), Тааль (1911), Катмай (1912) и Келуд (1919), а также мощных землетрясений, произошедших в Алеутской зоне субдукции (1899, 1906), Турции (1903), США (1906), Италии (1908, 1911, 1916, 1918) и Китае (1920), вспышек на Солнце (1917, 1921) и взрывов сверхновых звезд (1918, 1920). В 1908 году произошла Тунгусская катастрофа, а в 1903, 1912 и 1922 годах наблюдались очень интенсивные метеорные дожди, которые, как отмечалось в разделе 1.2, приводят к дестабилизации климата за счет ионизации верхних слоев атмосферы и насыщению их аэрозолями.

Последнее значительное падение прироста деревьев в пределах анализируемого временного ряда, начавшееся в 1984 году, также связано с мощными землетрясениями в Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965) и других регионах земного шара (1978, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010), извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985), Пинатубо (1991-1993), вспышками на Солнце (1991), взрывами сверхновых (1992, 1993) и метеорными дождями (1980, 1984, 1985,

1999, 2003). Влияние же погодных аномалий, зарегистрированных гидрометеослужбой на территории Республики Марий Эл (катастрофические засухи 1921, 1933, 1972, 2010 и 2021 годов, избыток осадков и низкая температура воздуха летом 1978, 1980, 2017 годов, сильные морозы зимой 1941/1942, 1955/1956 и 1978/1979 годов), на динамику прироста деревьев практически не проявлялось.

Появление молодого поколения деревьев в 1801-1850 годах пришлось на депрессию прироста старых деревьев и гибель некоторой их части, что было, несомненно, связано с серией мощных извержений вулканов. Вплоть до 1853 года величина индексов прироста вновь появившихся деревьев неуклонно снижалась в результате большой загрязненности атмосферы вулканическими аэрозолями, снижавшей поступление к поверхности Земли солнечного света и тепла. После 1885 года величина прироста у молодых деревьев была больше, чем у старых, что связано с их высокой жизненной энергией и лучшей приспособленностью к условиям среды. Особенно высокий прирост отмечался у них в 1905-1920 годах. Снижение прироста началось в 1912 году и продолжалось 47 лет вплоть до 1958 года. Связано оно, как и у деревьев предыдущего поколения, с мощными землетрясениями, извержениями вулканов, метеорными дождями, вспышками на Солнце и взрывами сверхновых звезд, дестабилизирующих в той или иной мере состояние климатической системы Земли. Условия для роста деревьев на верховых болотах республики в ближайшие годы, а возможно, десятилетия, учитывая возросшую в последнее время вулканическую активность, будут в целом неблагоприятными.

Следующим объектом исследования явилось верховое болото **Тетёркино**, расположенное в кв. 78, 79, 91 и 92 Старожильского лесничества на площади 119 га. Мощность торфяного слоя здесь гораздо меньше и не превышает 185 см. В 1972 году 90 % площади этого болотного массива было пройдено верховым пожаром, который привел к полной гибели древостоя, вызвав лишь прогорание верхнего слоя оочеса, что для данных условий является редкостью. На всей площади гари произошло успешное естественное восстановление леса.

Старый ненарушенный пожаром древостой имеет практически те же параметры, что и на описанном выше объекте (рис. 6.9). Диаметр деревьев варьирует в нем от 8 до 36 см и очень слабо связан с их возрастом ($r=0,36$), который изменяется практически без разрывов от 100 до 160 лет, что свидетельствует об отсутствии в экотопе в этот период пожаров или иных природных катастроф. Наиболее старое поколение деревьев появилось здесь в 1840-1850 годах после серии мощных из-

вержений вулканов Тамбора (1815), Эйяфьятлайокюдль и Катла (1821-1823), Галунггунг (1822), Косигуана (1835).



Рис. 6.9. Общий вид фитоценоза на болоте Тетёркино

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе более значительно, чем на предыдущем объекте, и в целом неуклонно снижался с увеличением их возраста, что особенно резко проявляется у самых молодых особей (табл. 6.3, 6.4 и рис. 6.10). Генерализованный возрастной тренд годовичного прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 1,10 \times \exp(-1,00 \times 10^{-3} \times A^{1,65}) + 0,39$, описывающее 82 % дисперсии исходных данных.

Таблица 6.3

Пределы изменения годовичного прироста деревьев на болоте Тетёркино

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годовичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
> 150 лет	1191	0,76 ± 0,02	0,05	4,95	0,68	90,2
120-150 лет	1044	0,91 ± 0,02	0,05	4,65	0,78	85,5
< 120 лет	813	0,96 ± 0,03	0,05	4,40	0,86	89,6

Таблица 6.4

Возрастные изменения годовичного прироста деревьев на болоте Тетёркино

Поколение деревьев	Средний годовичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 150 лет	1,19	0,51	1,52	0,87	0,56	0,40
120-150 лет	1,03	1,36	1,51	0,84	0,48	0,46
< 120 лет	1,82	1,58	0,58	0,43	0,46	0,33

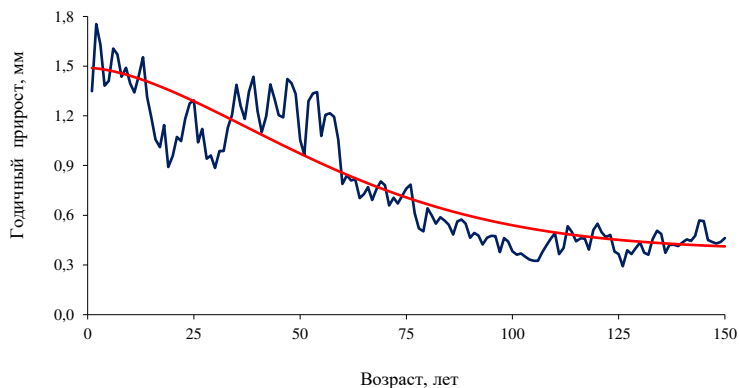


Рис. 6.10. Возрастные изменения годичного прироста деревьев в экотопе «Тетёркино болото»

Динамика индексов прироста деревьев одинакового возраста в экотопе «Тетёркино болото» и «Илюшкино болото» имеет, как показал анализ исходных данных (рис. 6.11), большое сходство, выразившееся в сильной депрессии роста после серии мощных извержений вулканов Галунггунг (1822), Косигуана (1835), Везувий (1872), Котопакси (1875), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883). Затем прирост деревьев начал резко увеличиваться, достигнув максимума в 1916 году. Последующее снижение индексов прироста, продолжавшееся вплоть до 1961 года, и дальнейшие колебания их величины связаны опять-таки, как и у деревьев в экотопе «Илюшкино болото», с мощными извержениями вулканов, вспышками на Солнце и взрывами сверхновых звезд, дестабилизирующих в той или иной мере состояние климатической системы Земли. Воздействие текущих погодных аномалий на динамику прироста деревьев проявлялось при этом слабее и не всегда однозначно.

Происходящее сейчас повышение среднегодовой температуры воздуха на всей планете обусловлено не только извержениями вулканов, но также тесно связанными с ними землетрясениями, которые, как показано в исследованиях (Сорохтин, 2006; Тронин, 2011; О роли ..., 2011; Осика и др., 2013; Лобковский, 2020; Гарагаш, Лобковский, 2021), приводят к выделению огромного количества газов и тепловой энергии, оказывающей сильное дестабилизирующее влияние на климатическую систему Земли. Определенное влияние на климат через воздействие ударных волн на кору и более глубокие слои Земли могли оказать испытания ядерного оружия, активно проводившиеся в разных регионах в 1945-1965 годах.

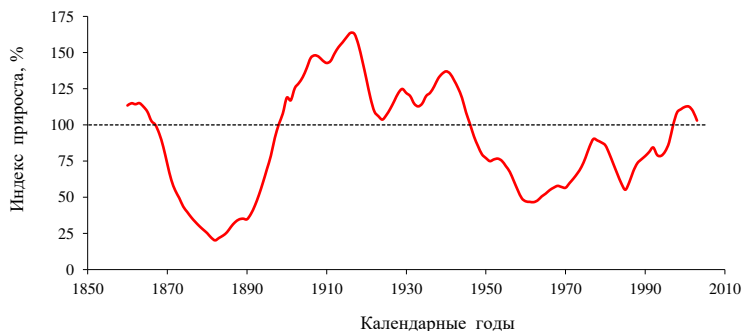


Рис. 6.11. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев в экотопе «Тетёркино болото»

Довольно интересным объектом исследования явился древостой на верховом болоте **Изи куп** (в переводе с марийского «маленькое болото») площадью всего 2,9 га, расположенное в кв. 17 Старожильского лесничества. Мощность торфяного слоя, в котором на разной глубине часто встречаются следы былых пожаров, не превышает 160 см. Древостой разновозрастный, редкостойный и низкобонитетный (рис. 6.12). Диаметр деревьев варьирует от 2 до 36 см и, как и на предыдущих объектах, слабо связан с их возрастом, который изменяется практически без разрывов от 80 до 212 лет, что свидетельствует о длительном отсутствии в экотопе пожаров или иных природных катастроф.



Рис. 6.12. Общий вид фитоценоза на болоте Изи Куп

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе также значительно, как на предыдущих объектах, но не столь четко снижался с увеличением их возраста, имея в целом, однако, все ту же тенденцию (табл. 6.5, 6.6 и рис. 6.13). Возрастной тренд годовичного прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 0,52 \times \exp(-25,1 \times 10^{-7} \times A^{3,413}) + 0,47$, описывающее 73 % дисперсии исходных данных.

Таблица 6.5

Пределы изменения годовичного прироста деревьев в экотопе «Изи куп»

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годовичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
> 150 лет	532	0,62 ± 0,02	0,10	4,25	0,42	67,1
120-150 лет	407	0,73 ± 0,03	0,05	3,40	0,61	83,4
< 120 лет	1508	0,59 ± 0,01	0,05	4,80	0,56	94,1

Таблица 6.6

Возрастные изменения годовичного прироста деревьев в экотопе «Изи куп»

Поколение деревьев	Средний годовичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 150 лет	0,66	0,74	0,87	0,59	0,58	0,53
120-150 лет	0,71	1,38	1,04	0,54	0,36	0,52
< 120 лет	1,02	0,76	0,43	0,31	0,47	0,50

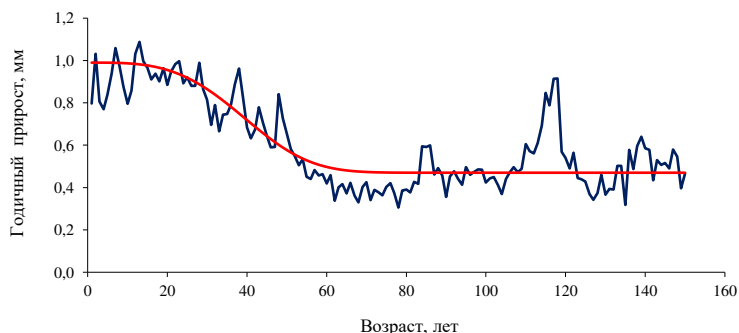


Рис. 6.13. Возрастные изменения годовичного прироста деревьев в экотопе «Изи куп»

Наиболее старые деревья стали появляться в этом экотопе после серии мощных извержений вулканов Котопакси (1742, 1744, 1768), Майон (1766, 1814), Гекла (1766), Лаки, Гримсвётн (1783-1784), Унзен (1792) и Везувий (1793), приведших к гибели старого древостоя в результате

значительного изменения условий среды. Извержения вулканов и мощные землетрясения в последующий период времени также отразились на характере динамики годичного прироста этих деревьев. Их влияние особенно резко проявилось в 1912-1921 годах, когда величина прироста резко возросла, достигнув максимального значения за весь исследуемый период времени в 1916 году, а затем также резко снизилась (рис 6.14). Следует отметить, что прирост деревьев в двух рассмотренных выше экотопах также достиг в это время максимума и далее пошел на снижение, связанное с мощными извержениями вулканов. Воздействие текущих погодных аномалий на динамику прироста деревьев проявлялось очень слабо и не всегда однозначно.



Рис. 6.13. Динамика годичного прироста наиболее старых деревьев в экотопе «Изи куп»

Динамика индексов прироста деревьев во всех рассмотренных экотопах, как показали расчеты, во многом сходна между собой (рис. 6.14) и все волны изменения их значений обусловлены сериями мощных извержений вулканов, вспышками на Солнце и взрывами сверхновых звезд, дестабилизирующих в той или иной мере состояние климатической системы Земли. Воздействие текущих погодных аномалий на динамику прироста деревьев проявлялось при этом слабее и не всегда однозначно. Наблюдающееся сейчас увеличение среднегодовой температуры воздуха на всей планете обусловлено не только извержениями вулканов, но также тесно связанными с ними землетрясениями. Небольшие различия, отмечавшиеся в 1878-1888, 1906-1912 и 1925-1933 годах, связаны с особенностями лесорастительных условий в экотопах и генотипической структуры древостоев в них.

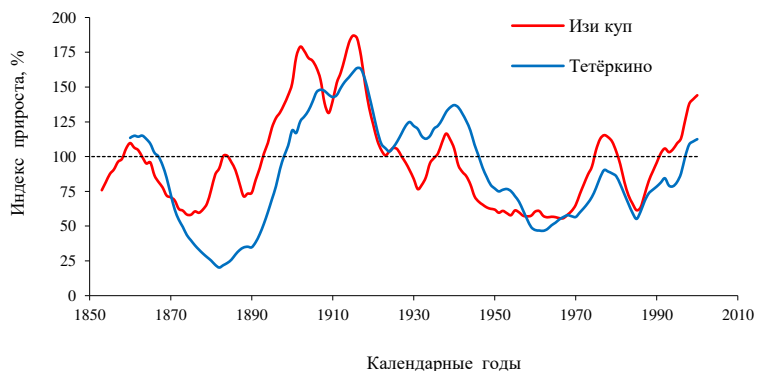


Рис. 6.14. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев в экотопах «Изи куп» и «Тетёркино болото»

Следующим объектом исследования явился древостой на верховом болоте **Безымянное** – 45 км площадью 36 га, расположенном в кварталах 4 и 5 Старожильского лесничества. Мощность торфяного слоя, в котором на разной глубине часто встречаются следы бывших пожаров, превышает 260 см. Диаметр деревьев варьирует от 2 до 32 см, а возраст, оцененный в 2005 году, составляет от 45 до 255 лет. В 1972 году на 2/3 площади болота прошел торфяной пожар, после которого произошло появление нового поколения леса (рис. 6.15).

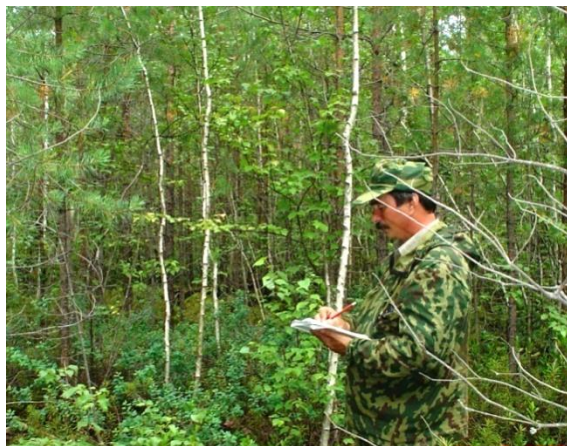


Рис. 6.15. Смешанный 35-летний молодняк, возникший после торфяного пожара в сосняке кустарничково-сфагновом на верховом болоте Безымянное

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе, как на всех предыдущих объектах, также в больших пределах, имея в целом ту же тенденцию к снижению с увеличением их возраста, хотя у разных поколений его величина изменялась неодинаково (табл. 6.7, 6.8). Возрастной тренд годичного прироста (рис. 6.16) аппроксимирует уравнение регрессии $y = 0,33 \times \exp(-22,88 \times 10^{-7} \times A^{2,763}) + 0,37$, описывающее 70 % дисперсии исходных данных.

Таблица 6.7

Пределы изменения годичного прироста деревьев на верховом болоте Безымянное

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
> 220 лет	2092	0,57 ± 0,01	0,08	2,75	0,38	67,7
120-220 лет	1997	0,48 ± 0,01	0,05	2,45	0,34	69,4
< 120 лет	1012	0,64 ± 0,01	0,05	3,10	0,43	67,5

Таблица 6.8

Возрастные изменения годичного прироста деревьев на болоте Безымянное

Поколение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 220 лет	0,94	0,95	0,65	0,57	0,60	0,44
120-220 лет	0,52	0,58	0,53	0,56	0,51	0,42
< 120 лет	0,60	0,52	0,57	0,70	0,82	0,89

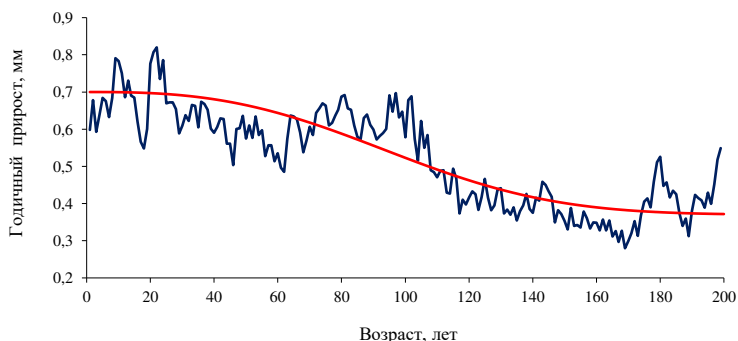


Рис. 6.16. Возрастные изменения прироста деревьев на верховом болоте Безымянное

Динамика годичного прироста деревьев на данном объекте имеет свои особенности. Существующее ныне наиболее старое поколение деревьев, преобладающее в составе древостоя (рис 6.17), возникло здесь после мощных извержений вулкана Котопакси (1742-1744). Извержения вулкана

нов в последующий период времени также отразились на характере их роста, вызывая его флуктуации (рис. 6.18), что особенно отчетливо проявляется в изменениях сглаженных значений индексов годовичного прироста (рис. 6.19), которые у деревьев разных поколений происходили весьма синхронно (коэффициент корреляции изменялся от 0,77 до 0,83). Первое снижение величины показателя, продолжавшееся с некоторыми флуктуациями по 1839 год, связано с серией извержений вулканов Майон, Гекла, Котопакси, Пападаян, Везувий, Сакурадзима, Лаки, Гримсвётн, Унзен, Тамбора, Галунггунг и Косигуана, произошедших в период с 1766 по 1835 год. Следующий спад значений индексов прироста деревьев, начавшийся с 1862 года и продолжавшийся 27 лет, также связан с мощными извержениями вулканов, оказавшими большое влияние на изменение климата в регионе. Интересно отметить, что прирост деревьев опустился до локального минимума после мощного извержения вулкана Кракатау, произошедшего в 1883 году. Сильная депрессия роста деревьев, отмечавшаяся в период с 1931 по 1944 год, произошла после извержений вулканов Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912) и Новарупта (1912), обусловивших в итоге возникновение засух 1921 и 1933 годов.

Последнее из отмечавшихся снижений индексов прироста деревьев в исследуемом их ряду, начавшееся в 1983 году, связано с серией извержений вулканов Сант-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982) и Невадо-дель-Руис (1985). Мощное воздействие на прирост деревьев оказало извержение подводного вулкана на оз. Ньос на северо-западе Камеруна, выбросившее в атмосферу 21 августа 1986 года около 1,6 млн тонн диоксида углерода, а также крупное извержение вулкана Пинатубо (1991-1993) на острове Лусон (Филиппины). Воздействие же текущих погодных аномалий отражалось на динамике их роста, как следует из представленных данных, очень слабо.

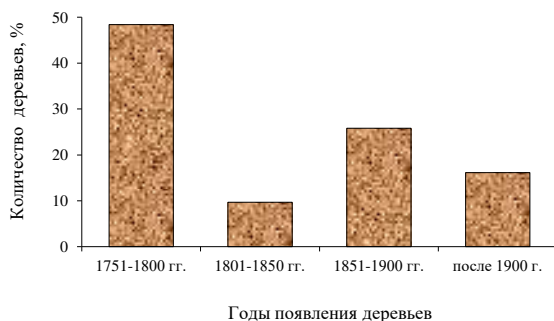


Рис. 6.17. Динамика появления деревьев на верховом болоте Безымянное



Рис. 6.18. Динамика прироста наиболее старых деревьев на болоте Безымянное

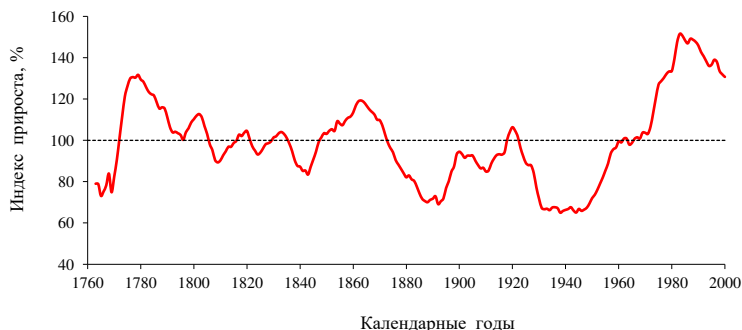


Рис. 6.19. Динамика сглаженных по 11-летиям индексов годичного прироста деревьев на верховом болоте Безымянное

На болоте **Визимьярское**, расположенном в кв. 92 и 93 одноименного лесничества, наиболее старые деревья, доля которых в древостое ныне мала, стали появляться в 1758 году также после мощных извержений вулкана Котопакси (1742-1744). Последующие извержения вулканов в период с 1766 по 1835 годы привели к новой волне появления деревьев, наибольшее количество которых зародилось в период с 1848 по 1868 год. Самое молодое их поколение стало появляться после 1900 года.

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе, как на предыдущих объектах, также очень значительно и имел тенденцию к снижению с увеличением их возраста, хотя у разных поколений его величина изменялась неодинаково (табл. 6.9 и 6.10). Возрастной тренд прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 2,493 \times A^{-0,33}$, описывающее 52 % дисперсии исходных данных (рис. 6.20).

Таблица 6.9

Пределы изменения годичного прироста деревьев на болоте Визимьярское

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M $\pm$ m	min	max	S	CV
> 240 лет	243	0,56 $\pm$ 0,02	0,15	2,10	0,34	61,0
140-180 лет	1345	0,74 $\pm$ 0,02	0,05	5,25	0,65	87,0
< 140 лет	196	0,84 $\pm$ 0,04	0,20	4,35	0,50	59,1

Таблица 6.10

Возрастные изменения годичного прироста деревьев на болоте Визимьярское

Поклоение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 240 лет	1,04	0,79	0,64	0,55	0,76	0,42
140-180 лет	1,10	0,57	0,88	0,94	0,76	0,53
< 140 лет	1,26	0,85	0,61	0,73	0,78	0,43

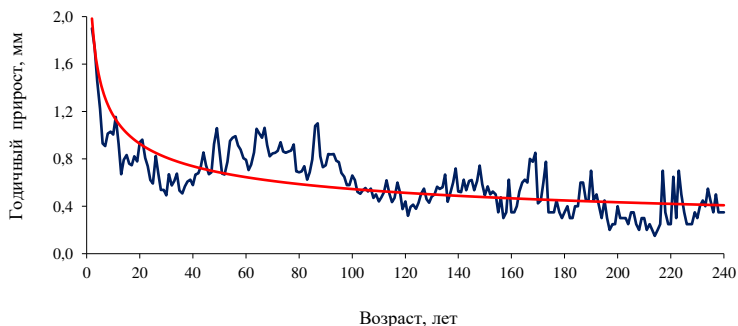


Рис. 6.20. Возрастные изменения прироста деревьев на болоте Визимьярское

Извержения вулканов четко отразились на динамике индексов прироста деревьев на данном объекте, характер которой имел, однако, некоторые отличия по сравнению с предыдущими экотопами (рис. 6.21), что связано с особенностями их лесорастительных условий. Снижение их величины начиналось в 1783, 1806, 1859 и 1923 годах, а локальные минимумы пришлось на 1792, 1817, 1886 и 1969 годы, первый из которых был связан с серией извержений вулканов Лаки (1783-1785), Гримсвётн (1784) и Унзен (1792), а второй – Тамбора (1815). Третий минимум индексов прироста деревьев наступил после взрывов сверхновых звезд (1838, 1868), мощнейшей за весь период наблюдений вспышки на Солнце (1859), а также извержения вулкана Кракатау (1883). Последний же минимум произошел после извержений вулканов Агунг (1963), Шивелуч (1964), Тааль (1965), Келуд (1966) и Фернандина (1968).

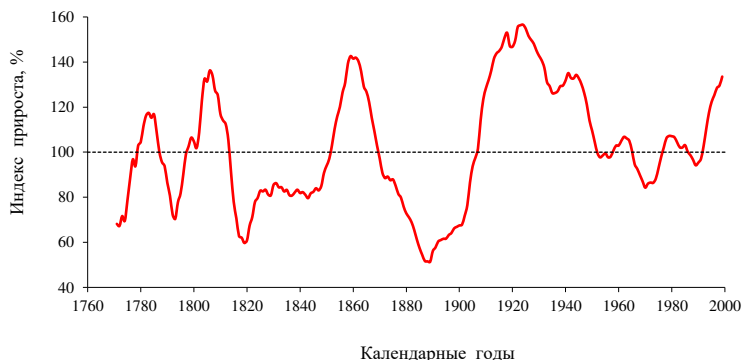


Рис. 6.21. Динамика сглаженных по 11-летиям индексов годичного прироста деревьев в экотопе «Визимьярское болото»

В экотопе **Кундышское болото**, расположенном в кв. 85 заповедника «Большая Кокшага», наиболее старые деревья стали появляться в 1763 году после извержений вулкана Котопакси (1742-1744). Наибольшее количество деревьев появилось в экотопе в период с 1852 по 1884 год, а самое молодое поколение – с 1915 года.

Как и на всех предыдущих объектах, годичный прирост деревьев варьировал в данном экотопе также в больших пределах и имел в целом тенденцию к снижению с увеличением их возраста, хотя у разных поколений его величина изменялась неодинаково (табл. 6.11 и 6.12). Возрастной тренд годичного прироста (рис. 6.22) аппроксимирует уравнение регрессии $y = 2,293 \times A^{-0,280}$, описывающее 47 % дисперсии исходных данных.

Таблица 6.11

Пределы изменения годичного прироста деревьев на верховом болоте Кундышское

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
> 240 лет	470	0,67 ± 0,02	0,05	3,80	0,51	75,4
130-200 лет	651	0,89 ± 0,02	0,10	5,50	0,63	70,6
< 130 лет	442	0,97 ± 0,03	0,15	4,75	0,68	69,6

Таблица 6.12

Возрастные изменения годичного прироста деревьев на болоте Кундышское

Поколение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 240 лет	1,71	0,87	0,82	0,41	0,68	0,50
130-200 лет	1,19	0,77	1,00	0,97	0,94	0,77
< 130 лет	1,46	1,15	1,03	0,69	0,69	0,67

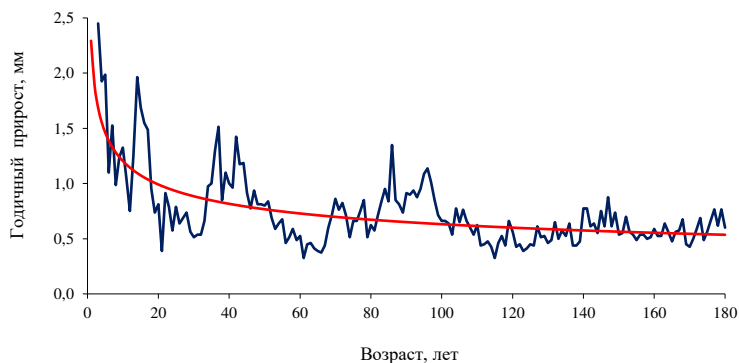


Рис. 6.22. Возрастные изменения прироста деревьев на верховом болоте Кундышское

Извержения вулканов довольно четко отразились на динамике индексов прироста деревьев на данном объекте, характер которой имел, однако, ряд некоторых отличий по сравнению с предыдущими экотопами (рис. 6.23), что связано с особенностями их лесорастительных условий. Снижения их величины начинались в 1788, 1818, 1868 и 1922 годах, а значительные депрессии отмечались в 1790-1810, 1825-1860, 1873-1885 и 1942-1990 годах. Все они были связаны с сериями извержений вулканов, мощных землетрясений и астрофизических событий. Самое длительное снижение индексов прироста деревьев началось сразу же после засухи 1921 года и продолжалось вплоть до 1962 года.



Рис. 6.23. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев на верховом болоте Кундышское

Диаметр деревьев в сложившемся субклимаксовом фитоценозе на верховом болоте **Красноярское**, расположенном в кв. 52 заповедника «Большая Кокшага», варьирует от 2 до 36 см, а возраст в имеющейся выборке кернов – от 83 до 248 лет. Появление новых поколений деревьев происходило в этом экотопе волнообразно (рис. 6.24). Наиболее старые деревья стали появляться здесь, как и на трех предыдущих объектах, после мощных извержений вулкана Котопакси (1742-1744). Затем в период с 1800 по 1850 год появления деревьев не происходило. Следующее поколение деревьев, которое является сейчас самым многочисленным, обязано своим появлением череде мощных извержений вулканов Везувий (1822, 1872), Косигуана (1835), Котопакси (1877), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883). Самое молодое их поколение стало появляться после 1900 года, что связано опять-таки с серией извержений вулканов Мон-Пеле, Суфриер и Санта-Мария (1902), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912), Новарупта (1912).

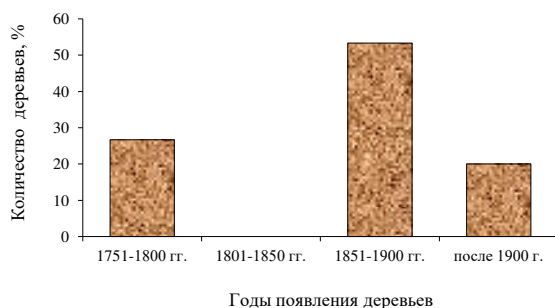


Рис. 6.24. Динамика появления деревьев на верховом болоте Красноярское

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе, как на предыдущих объектах, также очень значительно и имел тенденцию к снижению с увеличением их возраста, хотя у разных поколений его величина изменялась неодинаково (табл. 6.13 и 6.14). Возрастной тренд прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 2,69 \times \exp(-11,72 \times 10^{-2} \times A) + 0,52$, описывающее 75 % дисперсии исходных данных (рис. 6.25).

Таблица 6.13

Пределы изменения годичного прироста деревьев на болоте Красноярское

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
> 220 лет	906	0,61 ± 0,02	0,05	4,50	0,52	86,0
120-140 лет	629	1,07 ± 0,03	0,10	3,60	0,63	59,3
< 120 лет	586	1,23 ± 0,03	0,10	4,15	0,71	57,5

Таблица 6.14

Возрастные изменения годичного прироста деревьев на болоте Красноярское

Поколение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет	> 100 лет
> 220 лет	1,55	0,54	0,34	0,47	0,49	0,55
120-140 лет	0,80	1,33	1,23	1,07	0,85	1,10
< 120 лет	1,43	1,45	1,24	1,12	1,06	1,09

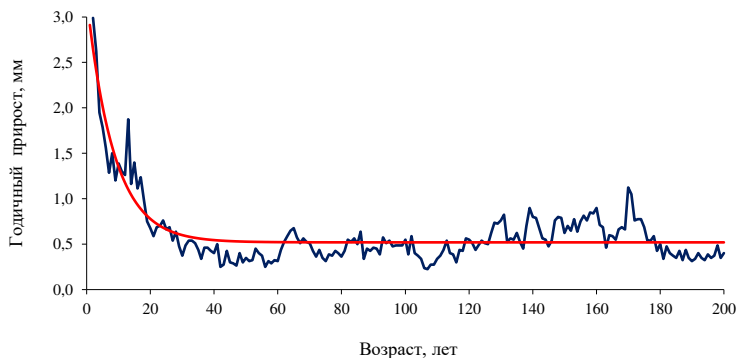


Рис. 6.25. Возрастные изменения прироста деревьев на болоте Красноярское

Извержения вулканов также отразились в данном экотопе на динамике индексов прироста деревьев, хотя характер их изменений был иной, чем на всех предыдущих объектах (рис. 6.26). Условия для роста деревьев были здесь в течение 145 лет вплоть до 1908 года неблагоприятными, о чем свидетельствуют значения индексов прироста, которые были ниже 100 %. Особенно сильные депрессии роста отмечались в 1765-1779, 1819-1842 и 1877-1884 годах. Локальные максимумы пришлось на 1794, 1855, 1938 и 1996 годы; наиболее высоким был предпоследний из них. Резкое снижение индексов прироста деревьев, начавшееся после засух 1933, 1938 и 1939 годов, продолжалось синхронно у разных поколений деревьев вплоть до 1964-1969 годов. После же засухи 1972 года прирост деревьев, наоборот, начал возрастать и достиг в 1999 году локального максимума. Такое разнонаправленное изменение величины индексов прироста деревьев свидетельствует о том, что оно не связано с вариациями погодных условий, а обусловлено действием иных факторов, в том числе и извержений вулканов, отклик которых в каждом экотопе по необъяснимым пока причинам является сугубо специфичным.

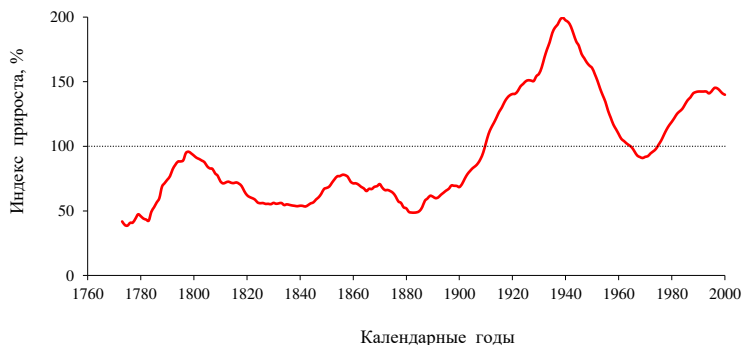


Рис. 6.26. Сводный ряд динамики сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев на верховом болоте Красноярское

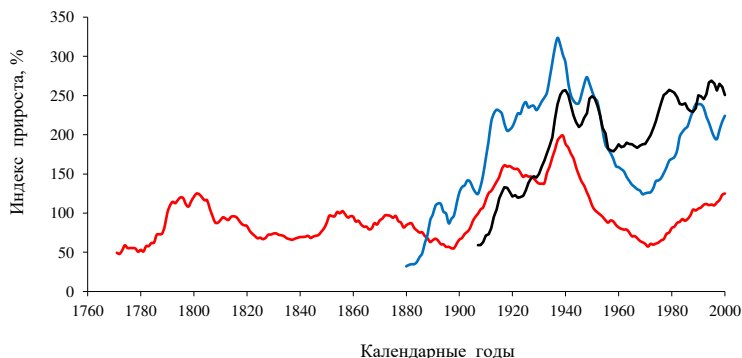


Рис. 6.27. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев разных поколений на верховом болоте Красноярское

Уникальными объектами исследований явились деревья, произрастающие в крайне жестких лесорастительных условиях на сплавине оз. **Кошеер** (рис. 6.28 и 6.29), находящегося в кв. 66 заповедника «Большая Кокшага» (координаты $56^{\circ}39'24''$ с.ш., $47^{\circ}18'31''$ в.д.), диаметр которых варьировал от 6 до 11 см, а возраст в имеющейся выборке кернов – от 49 до 130 лет. Выбор экотопа не был случайным и объясняется несколькими причинами. Во-первых, предполагалось, что на сплавине, толщина которой составляет всего 1,5-2 м, величина радиального прироста деревьев должна зависеть в основном от температурного режима в разные годы, т.к. условия увлажнения здесь более или менее стабильны. Второй причиной явилось отсутствие внутривидовой конку-

ренции между деревьями за жизненное пространство из-за их удаленности друг от друга, что должно было значительно упростить анализ ритмики прироста, которая должна всецело зависеть только от условий внешней среды. Третья причина – крайне жесткие условия произрастания деревьев, обусловленные недостатком элементов минерального питания (минерализация воды в оз. Кошеер самая низкая из всех озер Среднего Поволжья, составляющая 19,5 мг/л), в которых действие лимитирующих рост факторов проявляется наиболее отчетливо.



Рис. 6.28. Общий вид озерно-болотного комплекса «Кошеер»



Рис. 6.29. Деревья, произрастающие на сплавине оз. Кошеер

Годичный прирост деревьев варьировал в экотопе, как и во всех предыдущих, также в очень больших пределах (табл. 6.15, 6.16), но изменялся с их возрастом параболически, что связано с какими-то биоценотическими процессами (рис. 6.30), хотя у разных поколений это происходило неодинаково. Наиболее старые деревья появились здесь в 1864-1872 годах после извержений вулканов Везувий (1822) и Косигуана (1835), а также взрывов сверхновых звезд (1838, 1868) и мощнейшей вспышки на Солнце (1859). Следующее поколение деревьев возникло в 1910-1924 годах, что связано с серией извержений вулканов Мон-Пеле, Суфриер и Санта-Мария (1902), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912), Новарупта (1912).

Таблица 6.15

Пределы изменения годичного прироста деревьев на сплаvine оз. Кошеер

Возраст деревьев	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M $\pm$ m	min	max	S	CV
> 120 лет	240	0,50 $\pm$ 0,02	0,05	2,25	0,31	61,8
60-85 лет	199	0,57 $\pm$ 0,02	0,15	1,45	0,29	50,5
< 60 лет	181	0,86 $\pm$ 0,02	0,25	1,90	0,33	38,0

Таблица 6.16

Возрастные изменения годичного прироста деревьев на сплаvine оз. Кошеер

Поколение деревьев	Средний годичный прирост, мм					
	< 10 лет	11-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	41-50 лет	> 50 лет
> 120 лет	1,07	0,45	0,34	0,28	0,28	0,52
60-85 лет	0,66	0,61	0,49	0,51	0,52	0,56
< 60 лет	0,90	0,80	0,86	0,87	0,89	-

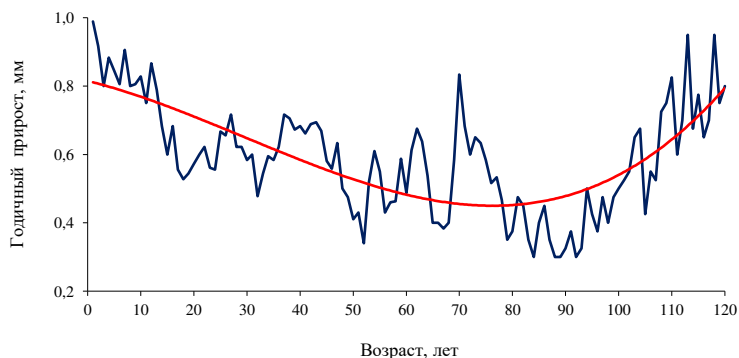


Рис. 6.30. Возрастные изменения прироста деревьев на сплаvine оз. Кошеер

Извержения вулканов также четко отразились на динамике прироста деревьев на данном объекте, как и на всех предыдущих, характер которой имел, однако, некоторые отличия (рис. 6.31), что связано с особенностями лесорастительных условий. Первое снижение их величины, начавшееся в 1880 году и продолжавшееся до 1903, связано с серией извержений вулканов Торагай (1841), Везувий (1872), Котопакси (1875), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883). В этот же период произошли, как отмечалось выше, также взрывы сверхновых звезд (1838, 1868) и мощная вспышка на Солнце (1859). Затем отмечалось непродолжительное увеличение прироста, прервавшееся вновь в 1909 году извержениями вулканов Мон-Пеле, Суфrier и Санта-Мария (1902), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912), Новарупта (1912).

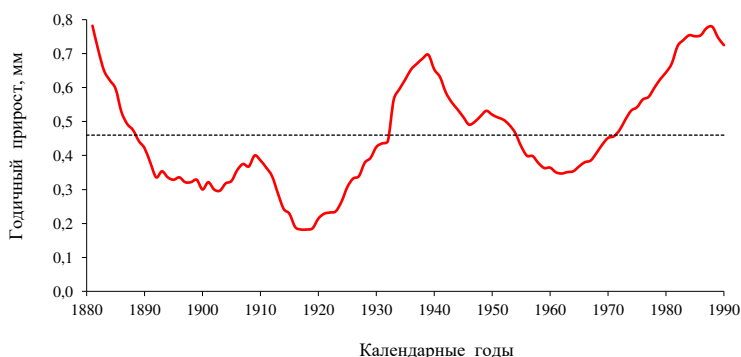


Рис. 6.31. Динамика сглаженной по 7-летиям величины годичного прироста наиболее старых деревьев на сплавине оз. Кошээр

С 1919 по 1939 год величина прироста деревьев неуклонно возрастала, что связано, вероятно, с очищением атмосферы от пыли и газов, т.к. крупных извержений вулканов в этот период не происходило. Последующее снижение прироста началось вслед за извержениями вулканов Мерапи (1931), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), закончившись лишь в 1963 году. Текущее снижение прироста, начавшееся в 1988 году, связано с извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985). В дальнейшем же этот спад, несомненно, будет продолжаться, поскольку с 1991 года последовала длительная череда мощных извержений вулканов в разных регионах нашей планеты. Воздействие текущих

погодных аномалий на динамику прироста деревьев проявлялось, как и в других экотопах, слабо и не всегда однозначно.

Исследования показали, таким образом, что величина годичного прироста деревьев сосны на верховых болотах Марийского Заволжья изменяется в больших пределах, сугубо специфичных для каждого экотопа (табл. 6.17). Максимальная величина прироста может достигать иногда 5,5 мм, а минимальная же не опускается ниже 0,05 мм. Среднее значение показателя изменяется от 0,55 до 0,91 мм, среднеквадратическое отклонение годичного прироста деревьев – от 0,34 до 0,77 мм, а коэффициент вариации – от 54,4 до 89,3 %. Годичный прирост деревьев в целом неуклонно снижается с увеличением их возраста, но в каждом экотопе это происходит по-разному (табл. 6.18, 6.19), что во многом связано с вариациями климата, а также индивидуальными особенностями особей (рис. 6.32).

Таблица 6.17

Пределы изменения годичного прироста деревьев в сосняках сфагновых

Экотоп	Значения статистических параметров годичного прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
Илюшкино	7961	0,62 ± 0,005	0,05	4,00	0,43	68,3
Тетёркино	3048	0,86 ± 0,014	0,05	4,95	0,77	89,3
Изи куп	2447	0,62 ± 0,011	0,05	4,80	0,54	87,1
Безымянное	5101	0,55 ± 0,005	0,05	3,10	0,38	69,3
Визимьярское	1784	0,73 ± 0,014	0,05	5,25	0,60	82,7
Кундышское	1563	0,85 ± 0,016	0,05	5,50	0,62	73,2
Красноярское	2121	0,91 ± 0,015	0,05	4,50	0,67	73,1
Кошеер	620	0,63 ± 0,014	0,05	2,25	0,34	54,4

Таблица 6.18

Возрастные изменения годичного прироста деревьев в сосняках сфагновых

Экотоп	Средний годичный прирост, мм				
	< 20 лет	21-40 лет	41-60 лет	61-80 лет	81-100 лет
Илюшкино	0,92	0,61	0,62	0,57	0,71
Тетёркино	1,35	1,15	1,20	0,71	0,50
Изи куп	0,92	0,85	0,59	0,38	0,47
Безымянное	0,67	0,67	0,58	0,61	0,62
Визимьярское	1,12	0,64	0,82	0,87	0,76
Кундышское	1,43	0,94	0,98	0,75	0,80
Красноярское	1,25	1,20	0,99	0,88	0,78
Кошеер	0,76	0,62	0,56	0,55	0,39
В среднем	1,05	0,84	0,79	0,67	0,63

Таблица 6.19

**Результаты дисперсионного анализа влияния факторов на изменение
радиального годичного прироста деревьев в заболоченных сосняках**

Фактор дисперсии	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат отклонений	Критерий Фишера		Вклад, %
				F _{факт.}	F _{0,05.}	
Экотопы	1,163	7	0,166	8,09	2,36	44,1
Возраст	0,900	4	0,225	11,0	2,71	34,1
Шумы	0,575	28	0,021			21,8
Итого	2,637	39				100,0

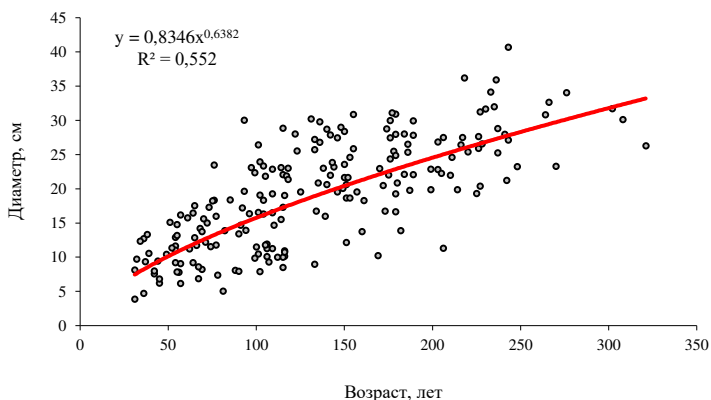


Рис. 6.32. Характер зависимости диаметра деревьев сосны на верховых болотах Марийского Заволжья от их возраста

На основе дендрохронологического анализа 161 дерева был создан сводный ряд динамики индексов их годичного прироста на верховых болотах Марийского Заволжья (рис. 6.33), на котором четко проявились последствия вулканических извержений в разных частях планеты, приводящие к дестабилизации состояния ее климатической системы. Так, снижения их величины, которые начинались в 1713, 1758, 1784, 1862, 1915, 1939 и 1995 годах, были связаны, несомненно, с сериями извержений вулканов, а также взрывами сверхновых звезд и мощных вспышек на Солнце. Первое из них, завершившееся в 1736 году, было связано с извержениями вулканов Пэктусан (1668, 1702), Везувий (1669), Этна (1693), Гекла (1693) и Фудзияма (1707). В 1737-1742 годах на Камчатке произошла крупная региональная природная катастрофа, имевшая комплексный характер (Реконструкция динамики ..., 1999), что привело ко второму из отмечавшихся спадов прироста деревьев. Извергались или

находились в стадии повышенной активности вулканы Шивелуч, Ключевской, Плоский Толбачик, Малый Семячик, Карымский, Жупановский, Авачинский, Горелый, Мутновский, Камбальный, Кошелева. Извержено 2.9-3.1 км³ продуктов весом 6.3-6.7 млрд тонн, произошли шесть мощных землетрясений, которые сопровождались катастрофическими цунами. Участок тихоокеанского побережья Камчатки был поднят на 3-4 м. В это же период извергались вулканы Гекла (1725, 1766), Котопакси (1742, 1744) и Майон (1766).

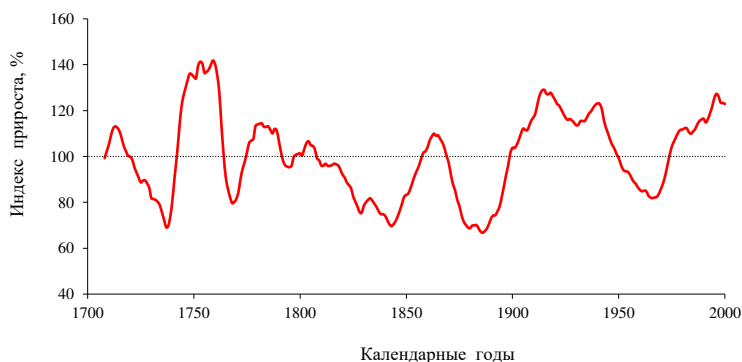


Рис. 6.33. Сводный ряд сглаженной по 11-летиям динамики индексов годичного прироста деревьев сосны на верховых болотах Марийского Заволжья

Третье снижение прироста деревьев, которое завершилось в 1840 году, являлось самым продолжительным, связано с серией извержений вулканов Котопакси (1768), Лаки (1783, 1785), Гримсвётн (1784), Унзен (1792), Майон (1814), Тамбора (1815), Эйяфьятлайокюдль и Катла (1821-1823), Галунггунг (1822) и Косигуана (1835), приведших к загрязнению атмосферы и дестабилизации климатической системы Земли. Четвертый спад индексов прироста деревьев, завершившийся в 1885 году, связан с серией извержений вулканов Везувий (1822, 1872), Торагай (1841), Котопакси (1875, 1877), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883), а также с взрывами сверхновых звезд (1838, 1868) и мощнейшей вспышкой на Солнце (1859).

Очередная, пятая по счету, депрессия роста деревьев, которая отмечалась в период с 1915 по 1925 год, произошла после серии извержений вулканов Мон-Пеле, Суффриер и Санта-Мария (1902), Пэктусан (1903), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912), Новарупта (1912) и Келуд (1919), а также мощных землетрясений, произо-

шедших в Алеутской зоне субдукции (1899, 1906), Турции (1903), США (1906), Сицилии (1908), Италии (1916) и Китае (1920), вспышек на Солнце (1917, 1921) и взрывов сверхновых звезд (1918, 1920). В это же время произошла Тунгусская катастрофа (1908).

Следующее снижение прироста деревьев, начавшееся в 1939 году и продолжавшееся до 1963 года, связано с извержениями вулканов Мерапи (1931), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), мощными землетрясениями в Китае (1939), Турции (1939), Ашхабаде (1948), а также вспышками на Солнце (1940, 1948, 1956) и взрывами сверхновых (1936). В 1948 году отмечалось также падение очень крупного Сихотэ-Алинского метеорита.

Текущее падение прироста деревьев, начавшееся в 1995 году, связано с мощными землетрясениями в Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), Марокко (1960), Чили (1960), Иране (1962), Ташкенте (1966), Перу (1970), Китае (1976) и Гватемале (1976), извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985), Пинатубо (1991-1993), вспышками на Солнце (1991) и взрывами сверхновых (1992, 1993). В дальнейшем снижение прироста деревьев будет, несомненно, продолжаться, поскольку в разных регионах нашей планеты происходит череда мощных извержений вулканов. Воздействие же текущих погодных аномалий на динамику прироста деревьев проявлялось в течение всего исследуемого отрезка времени слабо и не всегда однозначно.

6.2. Пойменные экотопы

Пойменные леса, выполняющие важные средоохранные и средообразующие функции, нуждаются в особом внимании со стороны лесоводов. Многочисленные исследования (Денисов, 1954; Максимов, 1974; Миркин, 1974; Шаталов и др., 1984; Демаков и др., 1992; Восточноевропейские леса..., 2004; Золотухин, Овчаренко, 2007; Браславская, 2008; Исаев, 2008; Исаев, Демаков, 2017; Демаков, Исаев, 2019) позволили выявить особенности их структуры, однако влияние изменений климата на развитие пойменных лесов изучено пока довольно слабо.

Объектами исследования явились четыре экотопа, различающиеся по структуре древостоев и характеру роста деревьев, расположенные в пойме рек Большой и Малой Кокшаги. Возраст деревьев в них изменялся от 47 до 182 лет, а диаметр – от 26 до 64 см. Величина годичного прироста деревьев на объектах исследования, которая изменялась в очень больших пределах (табл. 6.20), была значительно выше (в 2,5-4,3 раза),

чем в сосняках сфагновых, что свидетельствует о благоприятных лесорастительных условиях, сложившихся в пойменных экотопах. Расчеты показали, что величина прироста деревьев четко снижалась с увеличением их возраста (рис. 6.34). Возрастной тренд прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 4,22 \times \exp(-37,5 \times 10^{-3} \times A^{0,872}) + 0,80$, описывающее 98 % дисперсии исходных данных (A – возраст деревьев, лет).

Таблица 6.20

Пределы изменения годичного прироста деревьев сосны в пойменных экотопах

Экотоп	Значения статистических параметров прироста					
	N	$M \pm m$	min	max	S	CV
Лесопарк «Сосновая роща»	1915	$2,27 \pm 0,04$	0,20	14,6	1,56	68,8
Лесопарк «Дубовая роща»	3620	$2,34 \pm 0,02$	0,20	14,2	1,50	64,1
Кв. 74 Кортинского лесничества	975	$2,19 \pm 0,04$	0,20	10,6	1,36	62,4
Кв. 35 ГПЗ «Большая Кокшага»	918	$1,91 \pm 0,02$	0,17	8,64	1,33	69,6

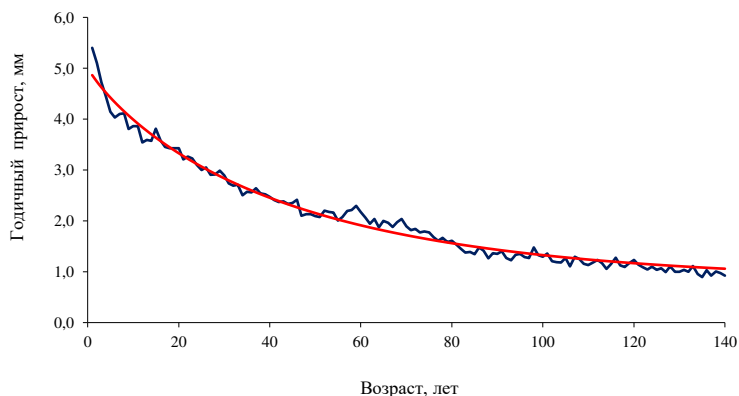


Рис. 6.34. Динамика годичного прироста деревьев сосны в пойменных экотопах

Древостой в лесопарке «Сосновая роща», находящемся в пойме р. Малой Кокшаги на юго-восточной окраине г. Йошкар-Олы, возник, судя по всему, на заброшенных сельскохозяйственных землях в 1828-1830 годах после серии мощных извержений вулканов Гримсвётн (1784), Унзен (1792), Майон (1814), Тамбора (1815), Эйяфьятлайокюдль и Катла (1821-1823), Галунггунг (1822) и Косигуана (1835), приведших к значительному понижению температуры воздуха и избытку осадков в летнее время года, что вынудило крестьян отказаться от выращивания здесь зерновых культур. Заселение заброшенных земель лесом произо-

шло за счет примыкающих к ним сосняков. Древостой в настоящее время является по составу смешанным, в котором старые деревья сосны произрастают биогруппами разной величины (рис. 6.35). Молодые же деревья сосны встречаются здесь крайне редко.

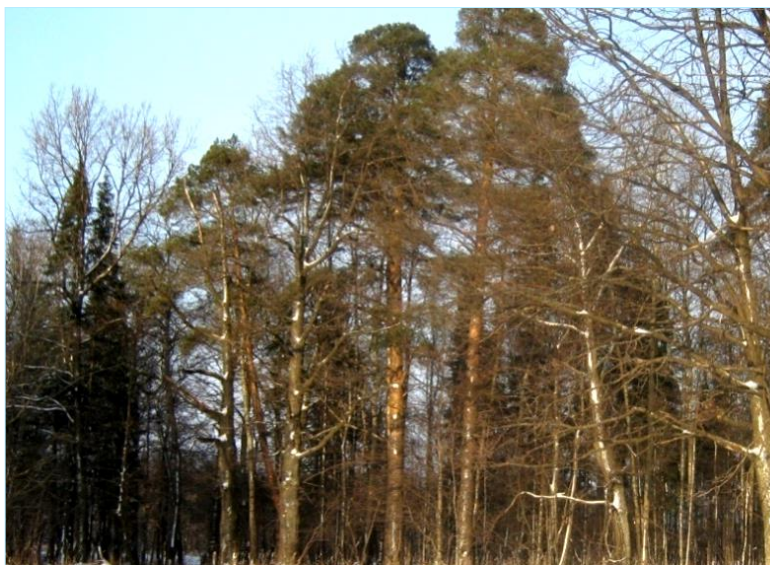


Рис. 6.35. Общий вид древостоя в лесопарке «Сосновая роща», расположенного на окраине г. Йошкар-Ола.

Динамика индексов прироста деревьев разных возрастных поколений имеет, как показали расчеты, большие особенности. Их величина очень сильно изменялась во времени и даже выравнивание значений по скользящим 11-летиям не позволило сгладить наличие имеющихся флуктуаций. Гребни волн значений показателей у наиболее старых деревьев пришлись на 1857-1875, 1890, 1909, 1925 и 1993-1997 годы (рис. 6.36). Падение индексов прироста деревьев во всех случаях происходило после мощных извержений вулканов. Особенно значительная и продолжительная депрессия роста деревьев началась в 1925 году и закончилась лишь в 1975-м. Связана она с серией извержений вулканов Тааль (1911), Катмай (1912), Келуд (1919), Мерапи (1931), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1964), Тааль (1965), Келуд (1966) и Фернандина (1968), мощных землетрясений, произошедших в Италии (1916), Китае (1920, 1923, 1939), Японии (1923), Турции (1939), Ашхабаде (1948), Марокко (1960), Чили (1960), Иране (1962) и Ташкенте (1966), а также вспышек на Солнце (1917, 1921, 1940, 1947, 1956) и взрывов сверхновых звезд (1918, 1920, 1924, 1925, 1936). В 1922, 1933, 1938, 1946, 1947, 1952 и 1966 годах также наблюдались очень интенсивные метеорные дожди, а в 1948 году упал крупный Сихотэ-Алинский метеорит.

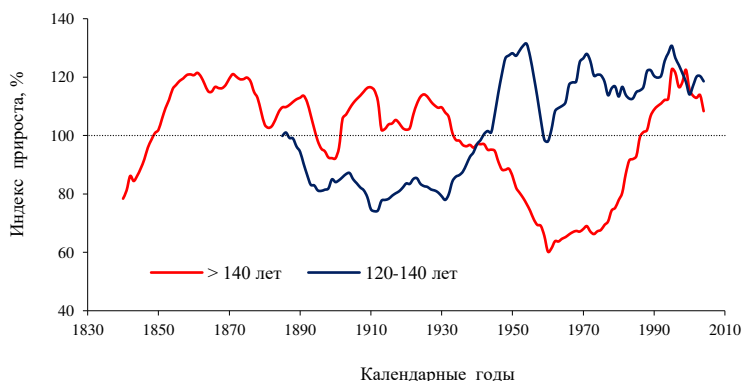


Рис. 6.36. Динамика сглаженных по 11-летиям индексов годичного прироста деревьев сосны разных поколений в лесопарке «Сосновая роща»

Величина индексов прироста деревьев следующего поколения до 1940 года была, как следует из представленных данных, значительно ниже, что связано с угнетением их деревьями старшего поколения, и

изменялась асинхронно по отношению к ним. В дальнейшем же, по мере выхода молодых деревьев в основной полог леса, положение их по величине индекса прироста кардинально изменилось. Пики волн значений отмечались в 1948-1953, 1971 и 1995 годах. После 1996 года прирост деревьев обоих поколений синхронно пошел на снижение, что связано с мощными землетрясениями в Китае (1976), Гватемале (1976), Армении (1988), Иране (1990), извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985), Пинатубо (1991-1993), вспышками на Солнце (1991, 1998), взрывами сверхновых (1987, 1992, 1993) и метеорными дождями (1980, 1984, 1985, 1999, 2003). Влияние же погодных аномалий, отмечавшихся в это время, на динамику прироста деревьев практически не проявилось.

В лесопарке «Дубовая роща», который также находится в пойме р. Малой Кокшаги на северной окраине г. Йошкар-Олы, деревья сосны встречаются гораздо реже, чем на предыдущем объекте, и произрастают как поодиночке, так и небольшими биогруппами. Наиболее старое их поколение появилось в составе древостоев в 1845-1855 годах, т.е. несколько позднее, чем в лесопарке «Сосновая роща».

Динамика индексов прироста деревьев на этом объекте исследования имеет свои особенности, однако и здесь довольно четко проявляется влияние геофизических и космических факторов. Гребни волн динамики значений параметра у деревьев первого поколения отмечались в 1869, 1885, 1924 и 1943 годах (рис. 6.37). Падение индексов прироста деревьев во всех случаях происходило после мощных извержений вулканов. Особенно значительная депрессия роста деревьев наблюдалась в 1943-1960 годах, которая была связана с серией извержений вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951) и Безымянный, мощных землетрясений в Турции (1939) и Ашхабаде (1948), а также вспышек на Солнце (1940, 1947, 1956), взрывов сверхновых звезд (1936) и очень интенсивных метеорных дождей (1938, 1946, 1947, 1952).

У более молодых деревьев пики волн пришлось на 1909, 1922, 1944-1948 и 1981 годы. Наиболее значительные депрессии их роста отмечались в 1949-1971 и 1981-2000 годах, что также связано с геотектонической активностью и космическими факторами. Асинхронность в динамике индексов прироста деревьев разных поколений наиболее резко была выражена лишь в 1970-1990 годах, что связано, очевидно, с особенностями данного экотопа и развития древостоев. После 1990 года величина индексов прироста деревьев всех поколений была ниже среднемноголетнего уровня.

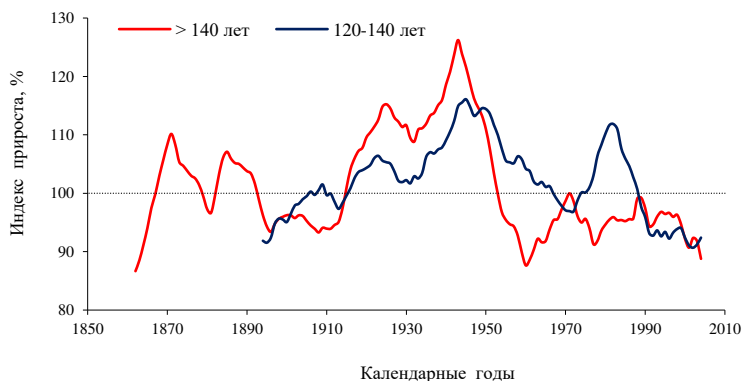


Рис. 6.37. Динамика сглаженных по 11-летиям индексов годичного прироста деревьев сосны разных поколений в лесопарке «Дубовая роща»

Наиболее старое поколение деревьев сосны в составе древостоя, находящегося тоже в пойме р. Малой Кокшаги на расстоянии 4 км южнее г. Йошкар-Олы в кв. 74 Кортинского лесничества, появилось в 1890-1895 годах после серии извержений вулканов Котопакси (1875, 1877), Эль-Чичон (1882) и Кракатау (1883), а также взрывов сверхновых звезд (1838, 1868) и мощнейшей вспышки на Солнце (1859). В дальнейшем здесь происходило появление не только деревьев сосны, но и ели, что привело к образованию весьма густого многоярусного древостоя.

Динамика индексов прироста деревьев имела в этом экотопе свои особенности, выражающиеся в большой ее синхронности у разных поколений деревьев, разница в возрасте между которыми составляла всего 27 лет, однако в ней также довольно четко проявляется влияние геофизических и космических факторов. Гребни волн динамики значений параметра, равные по своей величине, отмечались одновременно в 1946-1949 и 1983-1985 годах (рис. 6.38). Падение индексов прироста деревьев во всех случаях происходило после мощных извержений вулканов. Первый мощный спад значений показателя, начавшийся в 1949 году и продолжавшийся до 1972 года, был связан с серией извержений вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951) и Безымянный, мощных землетрясений в Турции (1939) и Ашхабаде (1948), а также вспышек на Солнце (1940, 1947, 1956), взрывов сверхновых звезд (1936) и очень интенсивных метеорных дождей (1938, 1946, 1947, 1952). Вторая волна спада значений индексов прироста деревьев, начавшаяся в 1986 году, связана с мощными землетрясениями в Китае (1976), Гватемале (1976), Армении (1988),

Иране (1990), извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985), Пинатубо (1991-1993), вспышками на Солнце (1991, 1998), взрывами сверхновых (1987, 1992, 1993) и метеорными дождями (1980, 1984, 1985). Погодные же аномалии, отмечавшиеся в это время, влияния на динамику прироста деревьев практически не оказывали. Так, к примеру, спад значений индексов начался задолго до засухи 1972 года и сразу же после нее сменился длительным устойчивым подъемом.

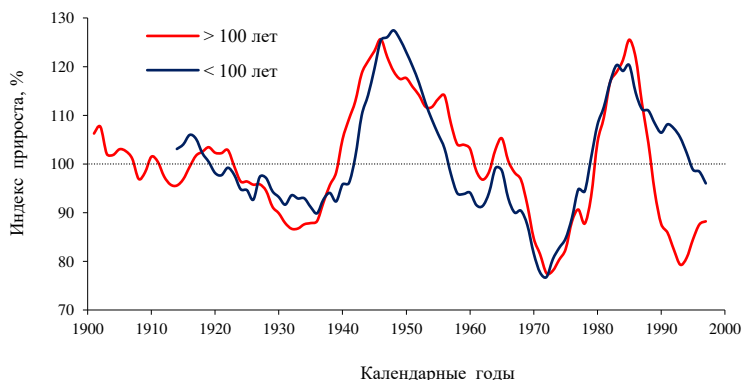


Рис. 6.38. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев сосны разных поколений в кв. 74 Кортинского лесничества

Первое поколение деревьев сосны в составе смешанного древостоя, находящегося в пойме р. Большая Кокшага южнее в непосредственной близости от оз. Шушьер (кв. 35 заповедника «Большая Кокшага»), появилось в 1853-1860 годах после серии извержений вулканов Эйяфьятлайокюдль и Катла (1821-1823), Галунгтунг (1822) и Косигуана (1835), а также взрыва сверхновой звезды (1838) и мощнейшей вспышки на Солнце (1859). Разница в возрасте между деревьями разных поколений составляла здесь 41 год, а динамика индексов их прироста также имела свои особенности (рис. 6.39). В ней, если рассматривать внимательно, также можно выявить влияние на величину индексов прироста деревьев геофизических и космических факторов. Так, гребни волн динамики значений параметра отмечались в 1872, 1911, 1937, 1947-1949 и 1986-1995 годах. Падение индексов прироста деревьев во всех случаях происходило после мощных извержений вулканов. Первый спад значений показателя, начавшийся в 1873 году и продолжавшийся до 1891-го, был связан с серией извержений вулканов Косигуана (1835), Везувий (1872), Котопакси

(1877) и Кракатау (1883), а также вспышками на Солнце (1859, 1880), взрывами сверхновых звезд (1838, 1868) и очень интенсивными метеорными дождями (1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877, 1882, 1885).

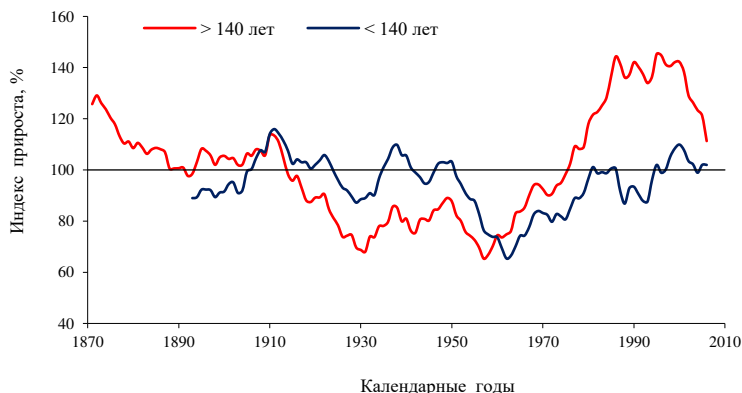


Рис. 6.39. Динамика сглаженных по 7-летиям индексов годичного прироста деревьев сосны разных поколений в кв. 35 ГПЗ «Большая Кокшага»

Следующий спад величины индексов прироста, который особенно сильно выражен у деревьев первого поколения, начавшийся в 1911 году и закончившийся в 1930-м, также связан с геофизическими и астрофизическими аномалиями: извержениями вулканов Мон-Пеле, Суфrier и Санта-Мария (1902), Пэктусан (1903), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912) и Келуд (1919), вспышками на Солнце (1880, 1917, 1921), взрывами сверхновых звезд (1918, 1920, 1924, 1925) и очень интенсивными метеорными дождями (1903, 1912, 1922). Непродолжительное снижение индексов прироста деревьев в 1938-1943 годах связано с извержением вулкана Мерапи (1931), землетрясениями в Китае и Турции (1939), а также вспышкой на Солнце (1936), взрывом сверхновой звезды (1936) и интенсивными метеорными дождями (1933, 1938). С 1956 по 1986 год величина индексов прироста деревьев постоянно увеличивалась, что особенно четко проявилось у наиболее старых особей. С 1990 года начался их спад, связанный с извержениями вулканов Невадо-дель-Руис (1985) и Пинатубо (1991-1993), мощными землетрясениями в Армении (1988), Иране (1990), вспышкой на Солнце (1991), взрывами сверхновых (1987, 1992, 1993) и метеорными дождями (1984, 1985). Погодные же аномалии, отмечавшихся в это время, заметного влияния на динамику прироста деревьев не оказывали.

На основе дендрохронологического анализа 29 наиболее старых деревьев был создан сводный ряд динамики индексов их годовичного прироста в пойменных экотопах рек Большой и Малой Кокшаги, протекающих по территории Марийского Заволжья, на котором очень четко проявились последствия геофизических и астрофизических аномалий, приводящих к дестабилизации состояния климатической системы Земли (рис. 6.40). Первое снижение значений показателя, начавшееся в 1876 году, было связано с серией извержений вулканов Косигуана (1835), Везувий (1872) и Котопакси (1877), а также вспышками на Солнце (1859, 1880), взрывами сверхновых звезд (1838, 1868) и интенсивными метеорными дождями (1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877).

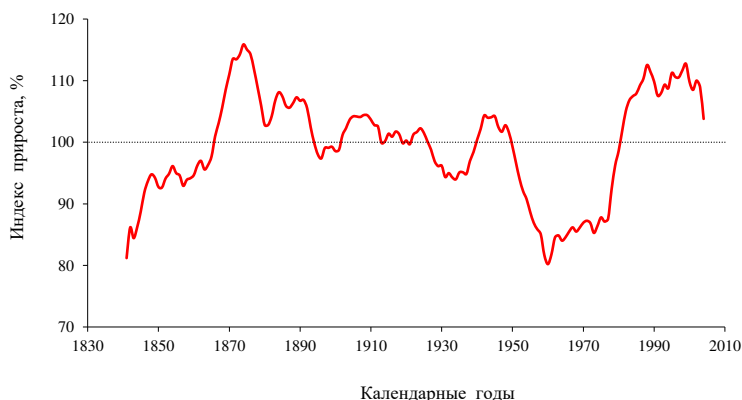


Рис. 6.40. Сводный ряд сглаженной по 11-летиям динамики индексов годовичного прироста наиболее старых деревьев сосны в пойменных экотопах

На представленном выше графике далее прослеживаются последствия извержений вулканов Кракатау (1883), Мон-Пеле, Суфриер и Санта-Мария (1902), Пэктусан (1903), Везувий (1906), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Катмай (1912), Келуд (1919), Мерапи (1931), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1954), Тааль (1965), Келуд (1966), Фернандина (1968), Кальбуко (1972), Эльдфедль (1973) и Фуэго (1974), мощных землетрясений в Алеутской зоне субдукции (1899, 1906, 1957, 1964, 1965), Турции (1903, 1939), Италии (1908, 1916), Китае (1920, 1923, 1939, 1976), а также взрывов сверхновых звезд (1918, 1920, 1924, 1925, 1936), вспышек на Солнце (1917, 1921, 1940, 1947, 1956, 1972) и очень интенсив-

ных метеорных дождей (1903, 1912, 1922, 1933, 1938, 1946, 1947, 1952, 1966). Особенно неблагоприятные условия для роста деревьев в пойменных экотопах отмечались в 1952-1978 годах. В 1984-2002 годах условия для роста деревьев были благоприятными, однако они вновь изменились после воздействия геофизических и космических факторов: извержений вулканов Сент-Хеленс (1980, 2008), Эль-Чичон (1982), Невадо-дель-Руис (1985), Пинатубо (1991-1993), Гекла (2000) и Колима (2005), мощных землетрясений в Армении (1988), Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывов сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004), вспышек на Солнце (1991, 1998, 2000) и метеорных дождей (1985, 1999, 2003).

Все эти события в той или иной мере отражались на экологической обстановке в районе проведения исследований и, следовательно, на годовичном приросте деревьев. Для подтверждения этого положения, однако, нельзя использовать традиционные методы регрессионного и спектрального анализа, а необходимо опираться на более сложные математические модели. Дело в том, что последствия возмущающих факторов проявляются в большинстве случаев не сразу, а имеют разное время запаздывания в зависимости от мощности и времени их воздействия относительно друг друга и сезона года, а также от сложившейся климатической обстановки. Кроме того, они взаимно накладываются друг на друга, образуя в итоге сложную, но вместе с тем вполне объясняемую картину динамики роста деревьев, определенное влияние на которую оказывают также лесорастительные условия экотопа и особенности генотипа деревьев, по-разному реагирующих на колебания внешней среды. Каждое дерево можно сравнить со струной или трубой органа, издающего в ответ на внешнее воздействие звук определенного тона. Древостой в этом случае будет представлять собой гусли, арфу или орган, а совокупность древостоев – симфонический оркестр, управляемый опытным дирижером. Исследователь же является слушателем, умеющим воспринимать не только звуки струн, но и, как говорил в свое время великий Пифагор, «музыку сфер» в целом, т.е. смысл симфонии в честь могущества природных стихий. Для объяснения причин флуктуации годовичного прироста деревьев наилучшим образом подходит концепция, основанная на учете событий, происходящих как на Земле, так и в космосе. Условия для роста деревьев в пойменных экотопах республики, учитывая возросшую вулканическую и сейсмическую активность на Земле, будут в ближайшие годы, а возможно, и десятилетия в целом неблагоприятными. Время покажет, насколько точен этот прогноз.

6.3. Припойменные экотопы

Объектами исследования в данном типе лесорастительных условий, которые характеризуются более стабильным режимом увлажнения, чем в предыдущих экотопах, явились 44 дерева, произрастающие в узкой полосе на бровке поймы реки Большая Кокшага и ее малых притоков на территории одноименного заповедника. Возраст деревьев изменялся от 73 до 260 лет, а диаметр – от 30 до 69 см. Корреляционная связь между данными параметрами практически отсутствует (рис. 6.41), что свидетельствует об особенностях роста деревьев разных поколений. Появление деревьев в экотопе происходило почти непрерывно, однако в период с 1881 по 1900 год лесовозобновление отсутствовало (рис. 6.42).

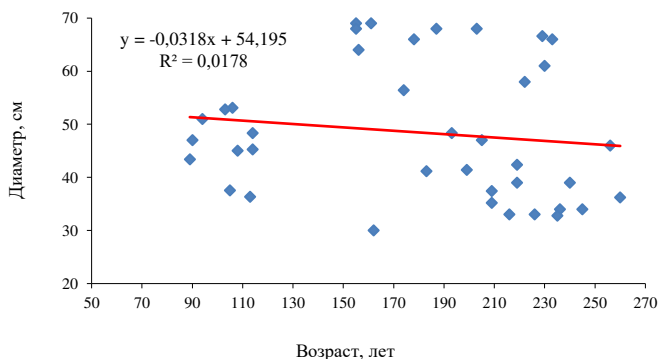


Рис. 6.41. Связь между возрастом и диаметром деревьев в припойменных экотопах

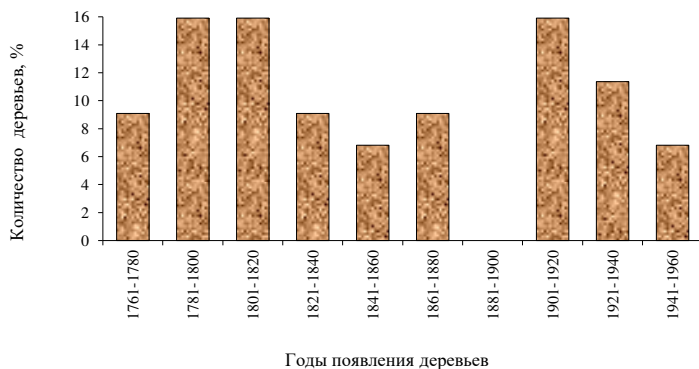


Рис. 6.42. Динамика появления молодого поколения леса в припойменных экотопах

Наиболее старые деревья в экотопе появились в 1761-1780 годах, что было связано с разрушением материнского древостоя в результате резких изменений климата, сопряженных с природной катастрофой на Камчатке, произошедшей в 1737-1742 годах: извергались или находились в стадии повышенной активности вулканы Шивелуч, Ключевской, Плоский Толбачик, Малый Семячик, Карымский, Жупановский, Авачинский, Горелый, Мутновский, Камбальный, Кошелева и отмечалось шесть мощных землетрясений (Дирксен, Мелекесцев, 1999; Реконструкция ..., 1999). В это время извергались также вулканы Котопакси (1742, 1744, 1768), Майон (1766), Гекла (1766) и Папандаян (1772).

Величина годовичного прироста деревьев в экотопе, которая изменялась в очень больших пределах, была значительно выше, чем в сосняках сфагновых, но ниже, чем в поймах рек республики (табл. 6.21). Основной причиной вариабельности прироста деревьев является их возраст, на который приходится 83-95 % дисперсии значений показателя. Расчеты показали, что возрастной тренд динамики прироста деревьев, который у каждого их поколения сугубо специфичен, с высокой точностью аппроксимируют соответствующие уравнения регрессии (табл. 6.22). Величина прироста деревьев старшего поколения и их диаметр были в течение первых 100 лет их жизни значительно ниже, чем у особей последующих поколений (рис. 6.43), что свидетельствует об улучшении со временем лесорастительных условий в экотопе.

Таблица 6.21

Пределы изменения годовичного прироста деревьев сосны в припойменных экотопах

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1762-1800	2520	0,97 ± 0,01	0,10	5,25	0,68	69,5
1801-1840	2147	1,15 ± 0,02	0,10	5,30	0,75	65,3
1841-1880	1080	1,87 ± 0,04	0,10	8,70	1,28	68,4
1901-1950	1291	2,65 ± 0,04	0,23	10,4	1,32	49,8

Таблица 6.22

Значения параметров математических моделей динамики годовичного прироста деревьев сосны в припойменных экотопах

Годы появления деревьев	Математическая модель и коэффициент ее детерминации
1762-1840	$Y = 1,29 \times \exp(-20,25 \times 10^{-9} \times A^{3,30})$; $R^2 = 0,887$
1841-1880	$Y = 3,27 \times \exp(-37,45 \times 10^{-3} \times A^{0,76}) + 0,47$; $R^2 = 0,831$
1901-1950	$Y = 3,46 \times \exp(-48,79 \times 10^{-5} \times A^{1,72}) + 0,2$; $R^2 = 0,953$

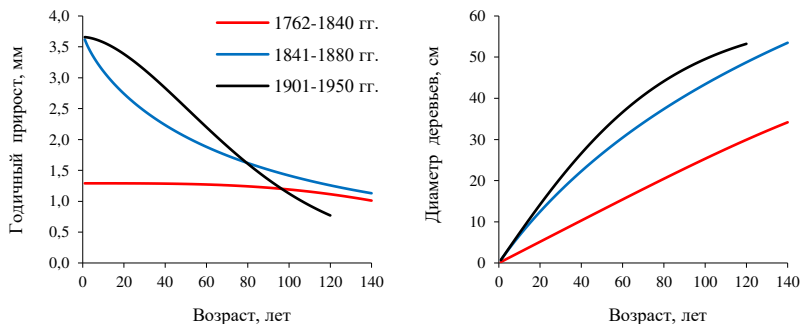


Рис. 6.43. Динамика годичного прироста и диаметра деревьев сосны в припойменных экотопах

Наиболее благоприятные условия для роста деревьев в припойменных экотопах отмечались в 1932-1958 годах, а самые же неблагоприятные – в 1810-1830 (рис. 6.44). В динамике индексов их годичного прироста, вычисленных на основе представленных выше математических уравнений, также очень четко проявились последствия геофизических и астрофизических аномалий, приводящих к дестабилизации состояния климатической системы Земли. Так, первое снижение значений показателя, продолжавшееся в 1765-1781 годах, было связано, как уже отмечалось, с активизацией вулканической и сейсмической активности на Камчатке (1737-1742), а также извержениями вулканов Котопакси (1742, 1744, 1768), Майон (1766), Гекла (1766) и Папандаян (1772).



Рис. 6.44. Сводный ряд сглаженных по 11-летиям значений индексов годичного прироста деревьев сосны в припойменных экотопах ГПЗ «Большая Кокшага»

Второе снижение индексов прироста в 1789-1794 годах было сопряжено с извержениями вулканов Везувий (1779), Лаки (1783, 1785), Гримсвётн (1784) и Унзен (1792), а также вспышкой на Солнце (1778). Следующий спад значений показателя, продолжавшийся с 1804 по 1820 год, связан со взрывом в 1798 году сверхновой звезды и извержениями вулканов Везувий (1793), Вестдал (1795), Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тутупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815) и Раунг (1817). В 1808 году произошло также мощнейшее извержение неизвестного вулкана в Колумбии, выявленное по отложениям пепла во льдах Гренландии и Антарктиды (Observations ..., 2014; https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_volcanic_eruptions_1500_-_1899). Все эти события привели к значительному снижению летней температуры воздуха в России в 1810-1830 годы (Борисенков, Пасецкий, 1988, 2002).

Сильное и весьма продолжительное снижение значений индексов прироста деревьев, отмечавшееся в 1865-1903 годах, было связано с извержениями вулканов Косигуана (1835), Гекла (1845), Фунуалей (1846), Усу (1853), Шивелуч (1854), Аву (1856), Фуэго (1857), Катла (1860), Макиан (1861), Синарка (1872), Мерапи (1872), Гримсвётн (1873) Везувий (1872), Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877), Фуэго (1880), и Кракатау (1883), а также вспышками на Солнце (1859, 1880), взрывами сверхновых звезд (1838, 1868) и метеорными дождями (1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877). Причиной следующего, пятого по счету, снижения величины показателя, начавшегося в 1917 году и закончившегося в 1920-м, также явились извержения вулканов Везувий (1875-1906), Кальбуко (1893, 1894), Майон (1897), Донья Хуана (1899), Суфриер (1902), Мон-Пеле (1902), Торисима (1902), Санта Мария (1902), Лолобау (1904, 1911), Ксудач (1907), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919) и Манам (1919). В предшествующий этому периоду произошли мощные землетрясения в Алеутской дуге (1899, 1906), Турции (1903) и Италии (1908, 1916), отмечались интенсивные метеорные дожди (1903, 1912), вспышка на Солнце (1917) и взрыв сверхновой звезды (1918).

После достижения наиболее высокого значения индекса прироста деревьев в 1936 году вновь началось снижение величины показателя, закончившееся лишь в 1973 году. Оно происходило на фоне извержений вулканов Мерапи (1931), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1954), Тааль (1965), Келуд (1966) и

Фернандина (1968), мощных землетрясений в Турции (1939), Китае (1923, 1939), Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), а также взрыва сверхновой звезды (1936), вспышек на Солнце (1940, 1947, 1956) и интенсивных метеорных дождей (1933, 1938, 1946, 1947, 1952, 1966). Подъем значений индексов прироста деревьев, начавшийся с 1974 года, в 1988 году был вновь прерван извержениями вулканов Сент-Хеленс (1980, 2008), Алайд (1981), Северный Паган (1981-1985), Галунгунг (1982), Эль-Чичон (1982), Коло (1983), Невадо-дель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990), Келуд (1990), Унзен (1991), Гудзон (1991), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997), Гекла (2000) и Колима (2005), мощными землетрясениями в Армении (1988), Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывами сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004), вспышками на Солнце (1991, 1998, 2000) и интенсивными метеорными дождями (1985, 1999, 2003).

6.4. Приозерные экотопы

Объектами исследований в данных экотопах явились 49 деревьев сосны, произрастающие по берегам озер Яльчик и Глухое на разном удалении от кромки воды, находящихся на территории Национального парка «Марий Чодра» и имеющих карстовое происхождение (рис. 6.45). Площадь первого из озер равна 150 га, а максимальная глубина достигает 35 м. У второго озера значения этих параметров составляют 9,5 га и 26 м. Берега их, которые сложены песчаными почвами. У озера Яльчик они пологие, а у озера Глухое крутые, особенно с южной его стороны.

Карстовые процессы в районе озер продолжают проявляться и в настоящее время. Первый документально зафиксированный случай произошел в 1882 году близ села, которое после этого было названо Провалом. В августе 1914 года на оз. Яльчик произошел провал берега с растущими на нем деревьями, в 1957 году в окрестностях деревни Полевой образовался большой карстовый провал, 6 июля 1962 года в п. Красногорск провалился под землю склад завода автофургонов, в ноябре 1989 года в этом же населенном пункте около общежития завода «Электродвигатель» образовалась карстовая воронка диаметром 10 м и два сарая ушли под землю, 4 апреля 2001 года рядом с полотном железной дороги Казань – Йошкар-Ола появился провал размером 160×208 м и глубиной 5 м, а 2 февраля 2022 года исчезло озеро Морской глаз (рис. 6.46), являвшееся одной из жемчужин данной местности, где находится крупнейший на Русской равнине карстовый ров длиной 15 км.

Возраст деревьев в данных экотопах изменялся от 67 до 195 лет, а их диаметр – от 25 до 55 см. Корреляционная связь между данными параметрами умеренная (рис. 6.47), что свидетельствует об особенностях роста деревьев, находящихся на разном удалении от кромки воды. Появление деревьев здесь происходило почти непрерывно, однако наибольшее их количество возникло в период с 1876 по 1895 годы (рис. 6.48). Наиболее старые деревья в экотопе появились в 1816-1835 годах, что сопряжено с извержением вулканов Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815) и Раунг (1817).



Рис. 6.45. Общий вид приозерных древостоев в НП «Марий Чодра»

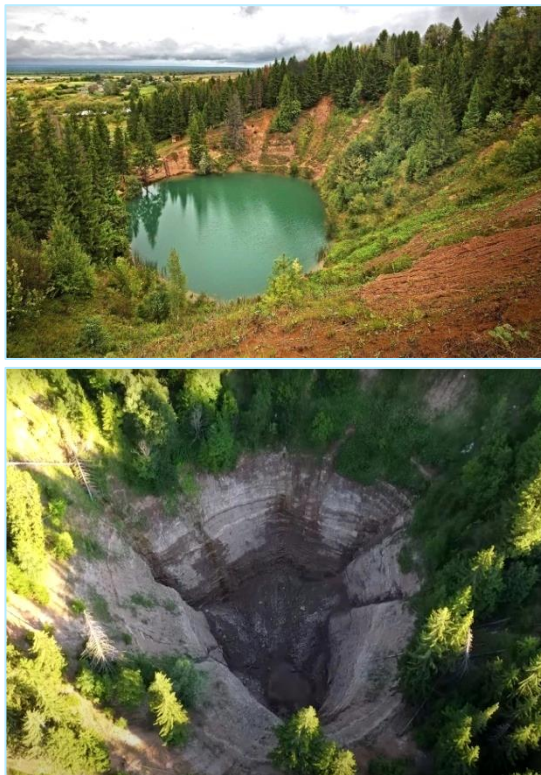


Рис. 6.46. Озеро Морской глаз до и после его исчезновения

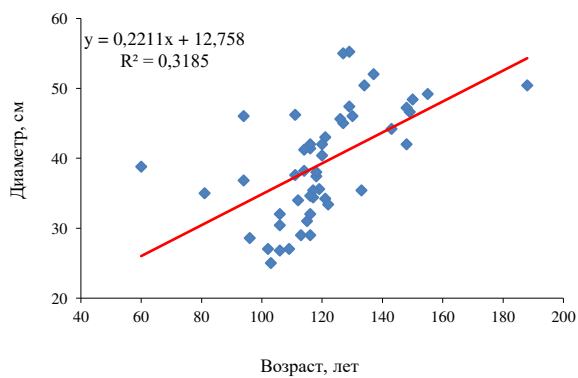


Рис. 6.47. Связь между возрастом и диаметром деревьев в приозерных экотопах

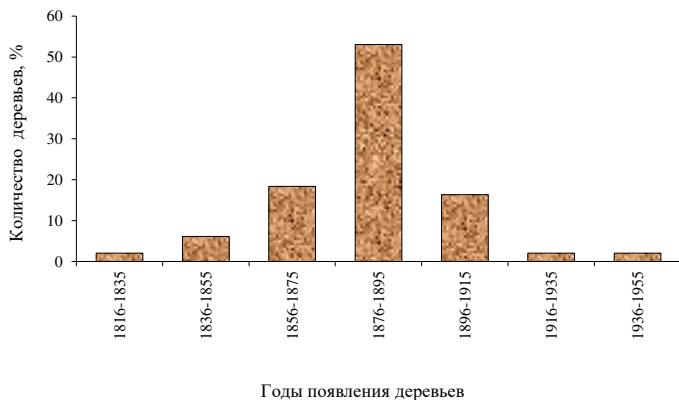


Рис. 6.48. Динамика появления молодого поколения леса в приозерных экотопах

Величина годичного прироста деревьев в экотопах, которая изменялась в очень больших пределах, наиболее высокой была на берегу оз. Яльчик и практически одинаковой на разном удалении их от кромки воды (табл. 6.23). На берегу же оз. Глухое наибольший прирост имели в среднем деревья, расположенные ближе к кромке воды, что связано с большой крутизной склонов в этом экотопе.

Основной причиной вариабельности прироста деревьев является их возраст, на который приходится 90-97 % дисперсии значений показателя. Расчеты показали, что возрастной тренд прироста деревьев, который в каждом экотопе имеет свои особенности, аппроксимируют соответствующие уравнения регрессии (табл. 6.24). У деревьев на берегу оз. Яльчик величина годичного прироста и диаметр были выше, чем у деревьев на берегу оз. Глухое (рис. 6.49), что свидетельствует о более благоприятных лесорастительных условиях в первом из экотопов, имеющего в месте отбора кернов весьма пологие склоны.

Таблица 6.23

Пределы изменения годичного прироста деревьев сосны в приозерных экотопах

Экотоп	Расстояние от уреза воды, м	Значения статистических параметров прироста					
		N	M ± m	min	max	S	CV
Яльчик-1	Менее 20	1375	1,62 ± 0,03	0,10	7,00	1,00	61,6
Яльчик-2	20-40	1877	1,63 ± 0,03	0,10	9,80	1,17	72,1
Глухое-1	Менее 20	1254	1,54 ± 0,03	0,10	9,00	1,06	68,5
Глухое-2	20-40	1367	1,38 ± 0,03	0,10	9,70	0,99	72,0

Таблица 6.24

Значения параметров математических моделей динамики годичного прироста деревьев сосны в приозерных экотопах

Экотоп	Математическая модель и коэффициент ее детерминации
Яльчик-1	$Y = 2,52 \times \exp(-28,42 \times 10^{-3} \times A) + 1,02$; $R^2 = 0,900$
Яльчик-2	$Y = 4,24 \times \exp(-58,63 \times 10^{-3} \times A) + 1,06$; $R^2 = 0,971$
Глухое-1	$Y = 3,14 \times \exp(-46,71 \times 10^{-3} \times A) + 0,90$; $R^2 = 0,942$
Глухое-2	$Y = 3,90 \times \exp(-80,50 \times 10^{-3} \times A) + 0,97$; $R^2 = 0,960$
Все вместе	$Y = 3,42 \times \exp(-56,97 \times 10^{-3} \times A) + 1,08$; $R^2 = 0,973$

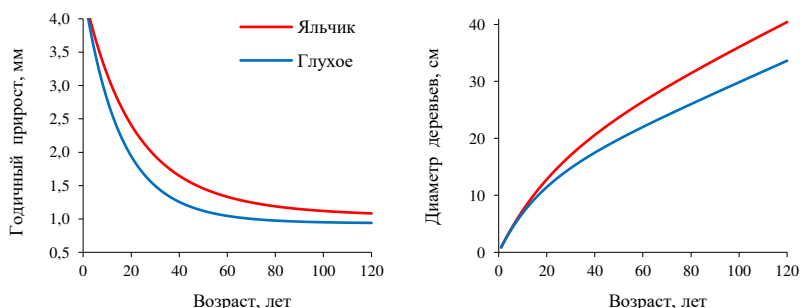


Рис. 6.49. Динамика годичного прироста и диаметра деревьев сосны в прибрежной полосе разных озер

Величина прироста деревьев, как было установлено, в определенной мере зависела от времени их возникновения: наиболее высокие его значения имели в среднем особи, возникшие в 1861-1880 годах (табл. 6.25). Они, однако, как и деревья других поколений, характеризовались разным возрастным трендом прироста, аппроксимируемым соответствующими уравнениями регрессии (табл. 6.26). Сопоставление роста деревьев разных поколений показало, что более молодые из них имели более высокий годичный прирост и диаметр лишь на начальном этапе их жизни, а затем стали уступать особям, появившимся на свет в 1816-1860 годах (рис. 6.50).

Таблица 6.25

Пределы изменения годичного прироста деревьев сосны, появившихся в приозерных экотопах в разные годы

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
До 1860	1081	1,47 ± 0,03	0,10	7,00	0,92	62,4
1861-1880	1172	1,75 ± 0,04	0,10	8,70	1,21	69,0
1881-1890	2116	1,50 ± 0,02	0,10	9,80	1,06	70,8
После 1891	1504	1,51 ± 0,03	0,10	9,70	1,05	69,7

Таблица 6.26

Значения параметров математических моделей динамики годичного прироста деревьев сосны разных поколений в приозерных экотопах

Годы появления деревьев	Математическая модель и коэффициент ее детерминации
1816-1860	$Y = 2,29 \times \exp(-27,43 \times 10^{-3} \times A) + 0,95$; $R^2 = 0,743$
1881-1890	$Y = 4,02 \times \exp(-62,62 \times 10^{-3} \times A) + 0,97$; $R^2 = 0,966$
1891-1910	$Y = 3,12 \times \exp(-73,30 \times 10^{-3} \times A) + 1,03$; $R^2 = 0,941$

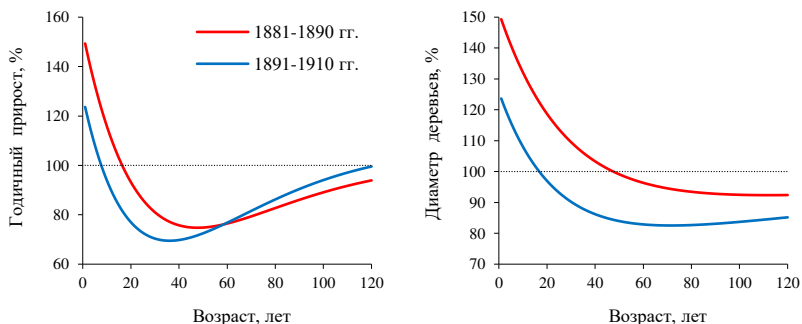


Рис. 6.50. Динамика годичного прироста и диаметра деревьев сосны, появившихся в приозерных экотопах в разное время, по отношению к деревьям 1816-1860 гг.

В динамике индексов годичного прироста деревьев в данных экотопах, вычисленных на основе представленных выше математических уравнений, также очень четко проявились последствия геофизических и астрофизических аномалий. Так, у самого старого дерева первое снижение значений показателя, продолжавшееся в 1850-1855 годах (рис. 6.51), было сопряжено с извержениями вулканов Косигуана (1835), Гекла (1845), Фунуалей (1846) и Усу (1853), а также взрывом сверхновой (1838) и метеорным дождем (1852). Следующее непродолжительное, но сильное снижение индексов прироста, отмечавшееся в 1893-1897 годах, было связано с извержениями вулканов Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877), Фуэго (1880) и Кракатау (1883), а также вспышкой на Солнце (1880) и метеорными дождями (1877, 1882, 1885, 1887). Причиной следующего сильного и весьма продолжительного падения значений показателя, начавшегося в 1921 году и закончившегося в 1941, также явилась серия извержений вулканов Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919), Манам (1919)

и Мерапи (1931). В это же время происходили вспышки на Солнце (1917, 1921), взрывы сверхновых звезд (1918, 1920, 1924, 1925, 1936) и интенсивные метеорные дожди (1912, 1922, 1933, 1938). Наихудшие условия для роста дерева отмечались в 1930-1960 годах.



Рис. 6.51. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста самого старого дерева сосны в приозерных экотопах НП «Марий Чодра»

Следующий спад индексов прироста у самого старого дерева произошёл в 1979 году после предшествовавшего ему года с холодным и дождливым летом, который закончился в 1990, был сопряжен с серией извержений вулканов Сент-Хеленс (1980), Алаид (1981), Северный Паган (1981-1985), Галунгунг (1982), Эль-Чичон (1982), Коло (1983), Невадо-дель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990) и Келуд (1990), взрывов сверхновых звезд (1975, 1987) и интенсивных метеорных дождей (1980, 1984, 1985). С 1991 по 1998 год величина индекса прироста неуклонно повышалась, а затем резко пошла на спад, что было связано с извержениями вулканов Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суффриер-Хиллз (1997), Колима (1998, 2005), Гекла (2000) и Сент-Хеленс (2008), мощными землетрясениями в Армении (1988), Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывами сверхновых звезд (1992, 1993, 2004, 2006, 2008), вспышками на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и интенсивными метеорными дождями (1985, 1999, 2003).

Сводная динамика индексов радиального прироста всех 49 деревьев в данных экотопах была во многом сходной с динамикой самого старого дерева, хотя и имела некоторые отличия (рис. 6.52). Так, очень длитель-

ный спад значений показателя, отмечавшийся в период с 1889 по 1938 год, был связан с серией извержений вулканов Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877), Фуэго (1880), Кракатау (1883), Везувий (1875-1906), Кальбуко (1893, 1894), Майон (1897), Донья Хуана (1899), Суфриер (1902), Мон-Пеле (1902), Торисима (1902), Санта Мария (1902), Лолобау (1904, 1911), Ксудач (1907), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919), Манам (1919), Мерапи (1931), а также взрывов сверхновых звезд (1918, 1920, 1925, 1936), вспышек на Солнце (1880, 1917, 1921) и метеорных дождей (1877, 1882, 1885, 1887, 1903, 1912, 1922, 1933, 1938). Следующий спад индексов прироста начался в 1951 году и закончился в 1973-м. Он, как и предыдущий, был сопряжен с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1954), Тааль (1965), Келуд (1966) и Фернандина (1968), мощными землетрясениями в Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), а также вспышками на Солнце (1947, 1956) и интенсивными метеорными дождями (1946, 1947, 1952, 1966).

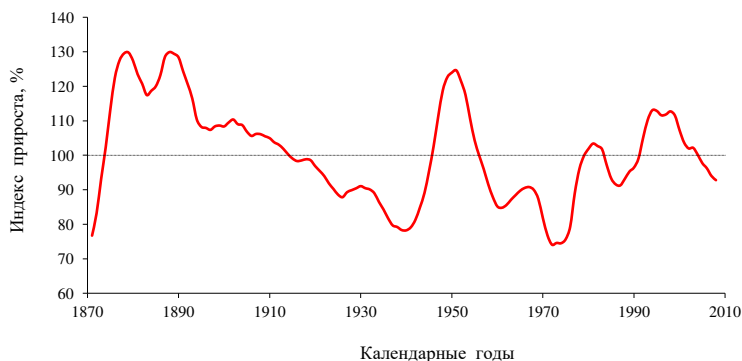


Рис. 6.52. Сводный ряд сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев сосны в приозерных экотопах НП «Марий Чодра»

Причиной последнего из отмечавшихся падений величины индексов прироста деревьев, начавшегося в 1998 году, являются извержения вулканов Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощные землетрясения в Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывы сверхновых звезд (1992, 1993, 2004, 2006,

2008), вспышки на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и метеорные дожди (1985, 1999, 2003). Погодные же аномалии, отмечавшиеся в это время, влияния на динамику прироста деревьев практически не оказывали. Так, к примеру, снижение значений параметра во всех случаях начиналось задолго до наступления засух 1921, 1938 и 1972 годов. Не прослеживается также влияние на прирост деревьев рекреационной нагрузки, которая начала значительно возрастать с 1960 года. Имевшиеся различия в характере динамики индексов прироста самого старого дерева и всей их совокупности связано, очевидно, с наличием формового разнообразия особей (см. раздел 1.3), а также неоднородностями почвенного покрова и густоты древостоя.

6.5. Сухие и свежие боры

Древостой в сухих и свежих борах очень часто повреждаются лесными пожарами, изучение последствий которых представляет большой научный и практический интерес. Объектами исследования явились деревья сосны, произрастающие в девяти разных экотопах, находящихся на территории Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», а также ряда лесничеств республики. Структура и развитие фитоценозов в каждом из них имели свои особенности, что отразилось на динамике радиального прироста деревьев в них.

Первый из экотопов расположен в **кв. 90 заповедника «Большая Кокшага»**. Тип леса – сосняк лишайниково-мшистый, произрастающий на песчаной дерново-слабоподзолистой слабогумусированной почве. Древостой состоит из трех возрастных поколений. Его относительная полнота составляет 0,86, средний диаметр деревьев – 20,2 см, а их средняя высота – 20,4 м. Подлесок очень редкий, а подрост практически отсутствует (рис. 6.53). Живой напочвенный покров состоит из лишайников и зеленых мхов. Возраст деревьев в экотопе изменяется от 65 до 225 лет, а их диаметр – от 6 до 56 см. Наиболее старые деревья появились в экотопе в 1770 году, что сопряжено с извержением вулканов Майон (1766), Гекла (1766), Котопакси (1768), Папандаян (1772), Везувий (1779), Лаки (1783, 1785) и Гримсвётн (1784).

Годичный прирост деревьев в экотопе изменялся в очень больших пределах и был в среднем наиболее высоким у молодого поколения (табл. 6.27). Одной из основных причин вариабельности прироста деревьев являлся их возраст, с которым связано от 41 до 76 % дисперсии значений показателя (табл. 6.28). Деревья младших поколений по величине годичного прироста уступали наиболее старым в первые 30 лет

своей жизни, но затем стали превосходить их (рис. 6.54). По величине же диаметра деревья младших поколений до 75-95 лет уступали старым.



Рис. 6.53. Общий вид фитоценоза в кв. 90 заповедника «Большая Кокшага»

Таблица 6.27

**Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений
в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 90 ГПЗ «Большая Кокшага»)**

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M $\pm$ m	min	max	S	CV
1770	218	0,86 $\pm$ 0,06	0,10	5,05	0,89	102,5
1850-1870	845	1,12 $\pm$ 0,02	0,15	4,05	0,55	48,5
1933-1940	712	1,40 $\pm$ 0,02	0,20	4,25	0,59	41,8

Таблица 6.28

Значения параметров математических моделей динамики годичного прироста деревьев в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 90 ГПЗ «Большая Кокшага»)

Годы появления деревьев	Математическая модель и коэффициент ее детерминации
1770	$Y = 2,90 \times \exp(-46,38 \times 10^{-3} \times A) + 0,58$; $R^2 = 0,407$
1850-1870	$Y = 0,85 \times \exp(-13,10 \times 10^{-3} \times A) + 0,74$; $R^2 = 0,589$
1933-1940	$Y = 1,58 \times \exp(-14,68 \times 10^{-2} \times A) + 1,25$; $R^2 = 0,657$
Все деревья	$Y = 1,08 \times \exp(-30,82 \times 10^{-3} \times A) + 0,89$; $R^2 = 0,760$

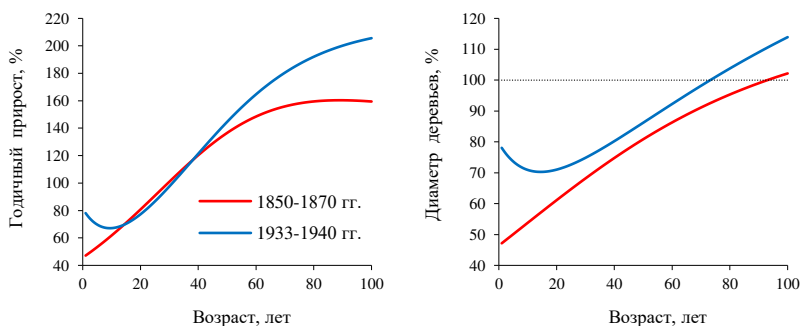


Рис. 6.54. Динамика годичного прироста и диаметра деревьев сосны в кв. 90 заповедника «Большая Кокшага» по отношению к деревьям, появившимся в 1770 году

В динамике индексов годичного прироста деревьев в данном экотопе, вычисленных на основе представленных выше уравнений, также очень четко проявились последствия геофизических и астрофизических событий. Так, у самого старого дерева первое снижение значений показателя, которое началось в 1804 году и перешло в глубокую депрессию, продолжавшуюся с 1815 по 1858 год (рис. 6.55), было сопряжено с серией извержений вулканов Лаки (1783, 1785), Гримсвётн (1784), Этна (1787), Килауэла (1790), Везувий (1793), Сан-Мартин-Тустла (1793), Вестдал (1795), Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тутупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815), Раунг (1817), Галунгунг (1822), Келуд (1826), Авачинский (1827), Ключевской (1829), Бабуян Кларо (1831), Косигуана (1835), Агунг (1843), Невадо-Дель-Руис (1845), Гекла (1845), Фунуалей (1846) и Усу (1853), а также вспышкой на Солнце (1778), взрывом сверхновой (1838) и метеорными дождями (1799, 1803, 1833, 1852). Следующее сильное и продолжительное снижение индексов прироста, отмечавшееся в 1884-1980 годах,

началось после серии извержений вулканов Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877), Фуэго (1880) и Кракатау (1883), а также взрыва сверхновой звезды (1868), вспышки на Солнце (1880) и метеорных дождей (1877, 1882). Важно отметить, что физиологическая активность деревьев после длительных и весьма значительных депрессий роста восстанавливалась практически полностью.

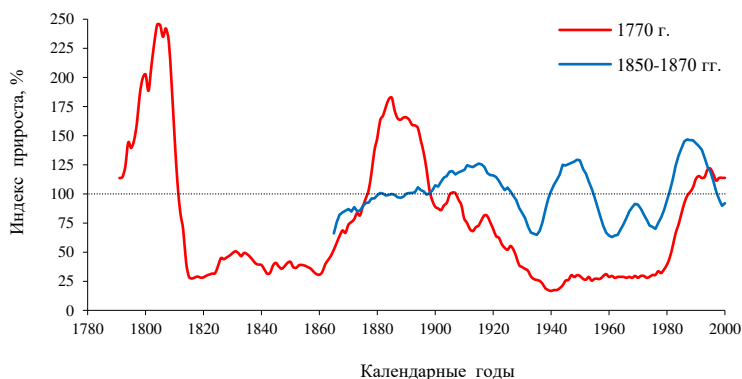


Рис. 6.55. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев старшего поколения в кв. 90 ГПЗ «Большая Кокшага»

В последующем прирост деревьев этого поколения также сдерживали извержения вулканов Кальбуко (1893, 1894), Майон (1897), Донья Хуана (1899), Суфриер (1902), Мон-Пеле (1902), Торисима (1902), Санта Мария (1902), Лолобау (1904, 1911), Ксудач (1907), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919), Манам (1919) и Мерапи (1931), а также взрывы сверхновых звезд (1918, 1920, 1925, 1936), вспышки на Солнце (1880, 1917, 1921) и метеорные дожди (1885, 1887, 1903, 1912, 1922, 1933, 1938). Длительная депрессия прироста этих деревьев, продолжавшаяся с 1940 по 1980 год, была сопряжена с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Агунг (1963), Шивелуч (1954), Тааль (1965), Келуд (1966) и Фернандина (1968), мощными землетрясениями в Китае (1939), Турции (1939), Ашхабаде (1948), Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), Марокко (1960), Чили (1960), Иране (1962), Ташкенте (1966), Перу (1970), Китае (1976) и Гватемале (1976), а также вспышками на Солнце (1940, 1947, 1956, 1972) и интенсивными метеорными

дождями (1938, 1946, 1947, 1952, 1966). Объяснить же происходившие изменения индексов прироста деревьев на основе климатогенной их обусловленности невозможно.

Реакция деревьев следующего поколения на внешние воздействия была иной и менее яркой, однако и в динамике их прироста также можно довольно четко выделить влияние происходивших геофизических и астрофизических событий. Так, прежде всего появление на свет этих деревьев произошло после извержений вулканов Косигуана (1835), Агунг (1843), Невадо-Дель-Руис (1845), Гекла (1845), Фунуалей (1846) и Усу (1853), а также взрыва сверхновой (1838) и метеорных дождей (1833, 1852). Первый спад значений индексов прироста, начавшийся в 1915 году и закончившийся в 1932, совпал с извержениями вулканов Лолобау (1911), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911), Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919) и Манам (1919), а также взрывами сверхновых звезд (1918, 1920, 1925), вспышками на Солнце (1917, 1921) и метеорными дождями (1912, 1922). Следующий спад значений, отмечавшийся в 1949-1959 годах, был сопряжен с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), мощным землетрясением в Ашхабаде (1948), вспышкой на Солнце (1947) и интенсивными метеорными дождями (1946, 1947, 1952). Последний из зарегистрированных спадов индексов прироста деревьев, начавшийся в 1987 году, происходил на фоне извержений вулканов Невадо-Дель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990), Келуд (1990), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощных землетрясений в Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывов сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004, 2006, 2008), вспышек на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и интенсивных метеорных дождей (1985, 1999, 2003).

В динамике индексов прироста самого молодого поколения деревьев также четко проявляется влияние геофизических и астрофизических факторов. Первый спад значений индексов прироста, начавшийся в 1943 году и закончившийся лишь в 1958-м (рис. 6.56), был сопряжен с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), мощным землетрясением в Ашхабаде (1948), вспышкой на Солнце (1947) и интенсивными метеорными дождями (1946, 1947, 1952). Последний же из отмечавшихся спадов значений параметра, начавшийся в

1992 году, происходил на фоне извержений вулканов Редут (1989-1990), Келуд (1990), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Та-вурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощных землетрясений в Иране (1990), Японии (2001), Курилах (2001) и Китае (2003, 2004), взрывов сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004, 2006, 2008), вспышек на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и интенсивных метеорных дождей (1985, 1999, 2003).



Рис. 6.56. Динамика сглаженных по 5-летиям значений индексов годичного прироста деревьев третьего поколения в кв. 90 ГПЗ «Большая Кокшага»

Следующий экотоп расположен в **кв. 65 заповедника «Большая Кокшага»** в сходных лесорастительных условиях. Древостой чисто сосновый, состоящий из четырех возрастных поколений. Возраст деревьев в выборке изменялся от 83 до 230 лет, а их диаметр — от 23 до 69 см. Наиболее старые деревья появились в данном экотопе, как и в предыдущем, в 1785 году, что сопряжено с извержением вулканов Майон (1766), Гекла (1766), Котопакси (1768), Папандаян (1772), Везувий (1779), Лаки (1783, 1785) и Гримсвётн (1784).

Величина годичного прироста деревьев в экотопе изменялась, как и во всех предыдущих, в очень больших пределах и была в среднем наиболее высокой у поколения, возникшего в 1901-1915 годах (табл. 6.29). Одной из причин вариабельности прироста деревьев являлся их возраст, с которым связано от 41 до 85 % дисперсии значений показателя (табл. 6.30). Деревья младших поколений, особенно последнего, превосходили по годичному приросту и диаметру наиболее старые в течение всей своей жизни, причем различия изменялись с возрастом нелинейно (рис. 6.57), что связано с изменениями условий среды их обитания.

Таблица 6.29

**Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений
в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 65 ГПЗ «Большая Кокшага»)**

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1785-1795	442	0,67 ± 0,02	0,05	3,00	0,42	63,6
1841-1865	970	1,37 ± 0,03	0,15	5,60	0,81	59,1
1901-1915	968	1,66 ± 0,03	0,20	8,00	0,90	54,2
1921-1935	1096	1,63 ± 0,02	0,15	5,90	0,79	48,3

Таблица 6.30

**Значения параметров математических моделей динамики годичного прироста
деревьев в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 65 ГПЗ «Большая Кокшага»)**

Годы появления деревьев	Математическая модель и коэффициент ее детерминации
1785-1795	$Y = 1,82 \times \exp(-18,20 \times 10^{-2} \times A) + 0,70$; $R^2 = 0,407$
1841-1865	$Y = 1,19 \times \exp(-11,64 \times 10^{-2} \times A) + 1,34$; $R^2 = 0,398$
1901-1915	$Y = 2,39 \times \exp(-12,30 \times 10^{-3} \times A) + 0,35$; $R^2 = 0,752$
1921-1935	$Y = 2,59 \times \exp(-13,87 \times 10^{-3} \times A) + 0,11$; $R^2 = 0,849$
Все деревья	$Y = 1,46 \times \exp(-31,62 \times 10^{-3} \times A) + 1,10$; $R^2 = 0,840$

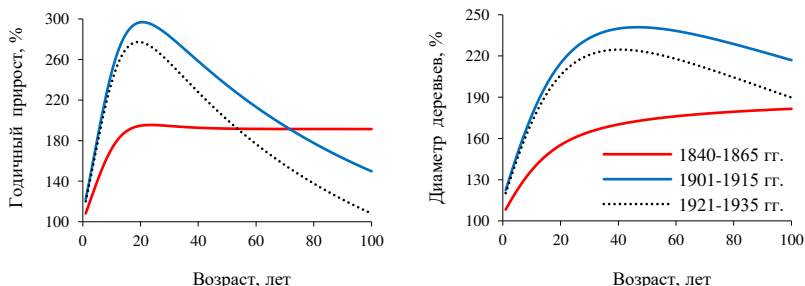


Рис. 6.57. Динамика годичного прироста и диаметра деревьев сосны в кв. 65 заповедника «Большая Кокшага» по отношению к особям, появившимся в 1785-1795 годах

В динамике индексов годичного прироста деревьев в данном экотопе, вычисленных по общему для всех уравнению, также очень четко проявились последствия воздействия геофизических и астрофизических факторов. Так, у самых старых деревьев отмечено шесть волн в динамике индексов их годичного прироста, значения которых в течение всей их жизни были ниже, чем в среднем по экотопу. Первое снижение значений показателя, начавшееся в 1805 году и закончившееся спустя 25 лет в 1830-м (рис. 6.58), было сопряжено с серией извержений вулканов Лаки (1783, 1785), Гримсвётн (1784), Этна (1787), Килауэла (1790), Ве-

зувий (1793), Сан-Мартин-Тустла (1793), Вестдал (1795), Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тутупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Пу-тана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815), Раунг (1817), Галунгунг (1822), Келуд (1826), Авачинский (1827) и Ключевской (1829), а также вспышкой на Солнце (1778) и метеорными дождями (1799, 1803). Следующее снижение индексов прироста, отмечавшееся в 1842-1852 годах, началось после серии извержений вулканов Бабуян Кларо (1831), Косигуана (1835), Агунг (1843), Невадо-Дель-Руис (1845), Гекла (1845) и Фунуалей (1846). Подъем значений показателя, продолжавшийся до 1886 года, был вновь прерван серией извержений вулканов Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877), Фуэго (1880) и Кракатау (1883), а также взрывом сверхновой звезды (1868), вспышкой на Солнце (1880) и метеорными дождями (1877, 1882).

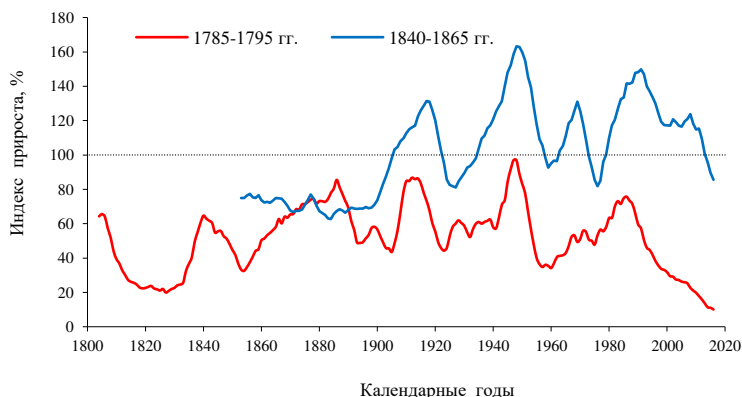


Рис. 6.58. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев первых двух поколений в кв. 65 ГПЗ «Большая Кокшага»

В 1893-1903 годах, как следует из представленных выше данных, отмечалась депрессия роста деревьев этого поколения, которая была связана с извержениями вулканов Бандай (1888), Колима (1889), Суваноседзима (1889), Абу (1892), Кальбуко (1892-1894), Майон (1897), Донья Хуана (1899), Суфриер (1902), Мон-Пеле (1902) и Санта Мария (1902). Следующее, четвертое по счету, снижение значений индексов прироста деревьев, продолжавшееся с 1912 по 1921 год, совпало с извержениями вулканов Лолобау (1911), Баурдарбунг (1910), Тааль (1911),

Новарупта (1912), Катмай (1912), Колима (1913), Сакурадзима (1914), Тунгурауа (1916), Катла (1918), Келуд (1919) и Манам (1919), а также метеорным дождем (1912). Следующий спад значений, отмечавшийся в 1946-1958 годах, был сопряжен с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), мощным землетрясением в Ашхабаде (1948), вспышкой на Солнце (1947) и интенсивными метеорными дождями (1946, 1947, 1952). Последний из отмечавшихся спадов индексов прироста деревьев, начавшийся в 1986 году, происходил, как и в предыдущем экотопе, на фоне извержений вулканов, мощных землетрясений, взрывов сверхновых звезд, вспышек на Солнце и интенсивных метеорных дождей. Изменение индексов прироста деревьев второго поколения проходило в течение всей их жизни практически синхронно с деревьями первого поколения. Лишь в 1961-1975 годах у них возникла дополнительная волна в динамике значений показателя, связанная с особенностями их генотипа, а также взаимодействия с соседями по сообществу. Снижение индексов прироста деревьев второго поколения в этой волне, начавшееся в 1969 году, произошло в результате извержений вулканов Таал (1965), Келуд (1966), Аву (1966), Фернандина (1968) и Ареналь (1968), а также мощнейших землетрясений в Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), на которые деревья первого поколения почему-то не отреагировали.

Изменение индексов прироста у деревьев третьего и четвертого поколений происходило в целом синхронно (рис. 6.59). Сильное снижение значений показателя, отмечавшееся у них в 1948-1974 годах, было сопряжено с извержениями вулканов Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Ключевской (1945), Гекла (1947, 1948), Ламингтон (1951), Безымянный (1956), Таал (1965), Келуд (1966), Аву (1966), Фернандина (1968) и Ареналь (1968), а также с мощнейшими землетрясениями в Ашхабаде (1948), Алеутской зоне субдукции (1957, 1964, 1965), Марокко (1960), Чили (1960), Иране (1962), Ташкенте (1966) и Перу (1970), вспышками на Солнце (1947, 1956) и интенсивными метеорными дождями (1946, 1947, 1952, 1966). Объяснить же происходившие изменения индексов прироста деревьев на основе климатогенной их обусловленности невозможно. Последний из отмечавшихся спадов индексов прироста деревьев, начавшийся, как и у деревьев старших поколений, в 1986 году, происходил на фоне серии извержений вулканов, мощных землетрясений, взрывов сверхновых звезд, вспышек на Солнце и интенсивных метеорных дождей.

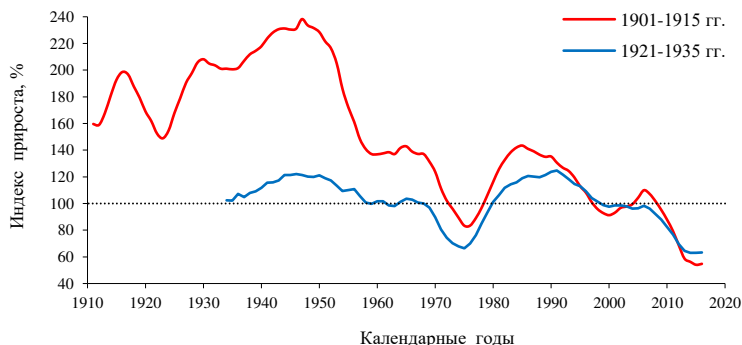


Рис. 6.59. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев третьего и четвертого поколений в кв. 65 ГПЗ «Большая Кокшага»

Следующий из объектов исследования заложен в **кв. 32 заповедника «Большая Кокшага»** в сосняке лишайниково-мшистом, состоящем из четырех возрастных поколений деревьев. Наиболее старые деревья появились в этом экотопе в 1833-1843 годах, что сопряжено с серией извержений вулканов Галунгунг (1822), Келуд (1826), Авачинский (1827), Ключевской (1829) и Бабуян Кларо (1831), приведших к возникновению пожаров в результате изменений климата и послуживших причиной гибели старого поколения леса.

Годичный прирост деревьев в экотопе изменялся, как и во всех предыдущих, в очень больших пределах и был в среднем наиболее высоким у третьего их поколения, возникшего в 1895-1905 годах (табл. 6.31). Рост деревьев всех поколений происходил, как показали расчеты, очень синхронно, но имел весьма специфические особенности: до 1897 года величина их годичного прироста была в основном ниже среднего уровня, затем резко увеличилась, а с 1905 начала неуклонно снижаться в результате возрастания конкуренции в ценозе (рис. 6.60).

Таблица 6.31

Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 32 ГПЗ «Большая Кокшага»)

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1830-1840	524	1,00 ± 0,03	0,15	3,50	0,50	50,2
1860-1880	569	1,38 ± 0,04	0,15	5,90	0,93	67,3
1895-1905	228	1,79 ± 0,08	0,30	6,60	1,14	63,6
1930-1940	82	1,55 ± 0,07	0,35	3,15	0,59	38,2

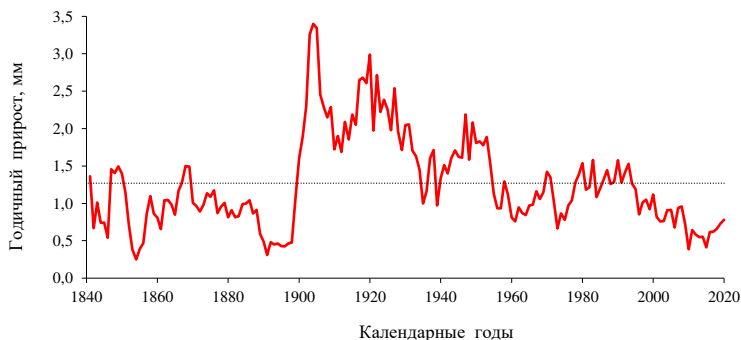


Рис. 6.60. Динамика годичного прироста деревьев первого поколения в кв. 32 заповедника «Большая Кокшага»

Изменения годичного прироста деревьев были во многом обусловлены геофизическими и астрофизическими явлениями, которые проявились в данном экотопе весьма своеобразно, что связано с особенностями его лесорастительных условий и генотипической структуры древостоя. Так, низкая величина показателя в 1840-1897 годах была сопряжена с серией мощных извержений вулканов Косигуана (1835), Агунг (1843), Невадо-Дель-Руис (1845), Гекла (1845), Фунуалей (1846), Усу (1853), Шивелуч (1854), Аву (1856, 1892), Хоккайдо (1856), Фуэго (1857), Катла (1860), Макиан (1861), Синарка (1872), Мирапи (1872), Гримсвётн (1873), Аскья (1875), Суваноседзима (1877, 1889), Котопакси (1877), Фуэго (1880), Кракатау (1883), Августин (1883-1884), Тунгурауа (1886), Таравера (1886), Ниуафоу (1886), Бандай (1888), Колима (1889) и Кальбуко (1893-1894), землетрясений (1848, 1885, 1887, 1889, 1896), а также взрывами сверхновых звезд (1838, 1868), вспышками на Солнце (1859, 1880) и интенсивными метеорными дождями (1852, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1877, 1882, 1885). Следует отметить, что в период с 1882 по 1894 год в Средней полосе России отмечались сильнейшие засухи, приведшие к лесным пожарам и массовым размножениям короедов (Шевырев, 1896). Спад значений прироста, начавшийся в 1905 году, также связан с извержениями вулканов Везувий (1875-1906), Донья Хуана (1899), Суффриер (1902), Мон-Пеле (1902), Санта Мария (1902), Тордархирна (1903), Лолобау (1904), Ксудач (1907) и землетрясениями (1902, 1908, 1911).

Затем последовали еще три большие волны изменений прироста, которые особенно четко проявились на графике динамики значений индексов (рис. 6.61). Первый спад значений показателя, начавшийся в 1921 году и закончившийся в 1936, связан с извержениями вулканов

Катла (1918), Келуд (1919), Манама (1919), Райкоке (1924), Ириомоте (1924), Авачинский (1926), Рокатенда (1928), Хоккайдо (1929), Мерапи (1930, 1931), Ключевской (1931) и Аниакчак (1931), землетрясениями (1916, 1918, 1920, 1923, 1927), вспышками на Солнце (1917, 1921) и взрывами сверхновых звезд (1918, 1920, 1924, 1925), а также очень интенсивным метеорным дождем (1922), которые вызвали дестабилизацию климатической системы Земли и сейсмические волны, распространившиеся по всей ее поверхности, спровоцировав в ряде районов довольно значительные толчки. Следующий спад значений индексов прироста, отмечавшийся в 1950-1962 годах, происходил на фоне извержений вулканов Гекла (1948), Ламингтон (1951) и Безымянный (1956), мощных землетрясений в Ашхабаде (1948), Алеутской зоне субдукции (1957), Марокко (1960), Чили (1960) и Иране (1962), а также вспышек на Солнце (1947, 1956) и интенсивных метеорных дождей (1946, 1947, 1952). Последнее из наблюдавшихся снижений величины индексов прироста деревьев, начавшееся в 1992 году, напрямую связано с извержениями вулканов Редут (1989-1990), Келуд (1990), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощными землетрясениями в различных регионах Земли (1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011), взрывами сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004, 2006, 2008), вспышками на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и интенсивными метеорными дождями (1985, 1999, 2003). Объяснить же происходившие изменения значений показателя на основе климатогенной их обусловленности невозможно.



Рис. 6.61. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев в кв. 32 заповедника «Большая Кокшага»

Еще один из объектов исследования заложен в **кв. 75 заповедника «Большая Кокшага»** в сосняке брусничниково-черничниковом со вторым ярусом ели. Древостой, состоящий из трех возрастных поколений деревьев, имеет очень высокую полноту (0,98). В состав живого напочвенного покрова входят брусника, папоротник-орляк, черника и зеленые мхи (плеврозий Шребера и дикранум волнистый). Наиболее старые деревья в экотопе (рис. 6.62) появились в 1780 году, что сопряжено с извержениями вулканов Майон (1766), Гекла (1766), Котопакси (1768), Папандаян (1772) и Везувий (1779).



Рис. 6.62. Одно из наиболее старых деревьев сосны в кв. 75 ГПЗ «Большая Кокшага».

Годичный прирост деревьев в экотопе изменялся, как и во всех предыдущих, в очень больших пределах и был в среднем наиболее высоким у третьего их поколения, возникшего в 1935-1950 годах (табл. 6.32). Возрастной тренд прироста аппроксимирует уравнение регрессии $y = 1,32 \times \exp(-66,2 \times 10^{-3} \times A) + 1,07$, которое описывает 68 % дисперсии исходных данных (A – возраст деревьев, лет).

Таблица 6.32

Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 75 ГПЗ «Большая Кокшага»)

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1880-1800	1102	0,99 ± 0,02	0,05	3,85	0,57	58,2
1810-1860	711	0,99 ± 0,02	0,10	2,95	0,44	44,6
1935-1950	360	2,16 ± 0,05	0,75	8,10	0,86	40,0

Рост деревьев всех поколений происходил, как показали расчеты, очень синхронно, поэтому динамика индексов их прироста была представлена в виде сводного ряда (рис. 6.63), на котором очень четко проявились последствия геофизических и астрофизических явлений, имеющие в данном экотопе некоторые особенности, связанные со спецификой в нем лесорастительных условий и генотипической структуры древостоя. Так, до 1840 года происходило неуклонное снижение значений показателя, что было сопряжено с серией мощных извержений вулканов Лаки (1783, 1785), Гримсвётн (1784), Этна (1787), Килауэла (1790), Везувий (1793), Сан-Мартин-Тустла (1793), Вестдал (1795), Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тутупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815), Раунг (1817), Галунгунг (1822), Келуд (1826), Авачинский (1827), Ключевской (1829), Бабуян Кларо (1831) и Косигуана (1835), землетрясений (1797, 1802, 1806, 1811, 1812, 1814, 1822), а также со вспышкой на Солнце (1778), взрывами сверхновых звезд (1728, 1838) и метеорными дождями (1799, 1803, 1833). До 1862 года индекс прироста увеличивался, а затем после извержений вулканов Катла (1860) и Макиан (1861) до 1872 года снижался. Следующий спад значений показателя, продолжавшийся с 1887 по 1893 год, произошел в результате извержений вулканов Кракатау (1883), Августин (1883-1884), Тунгурауа (1886), Таравера (1886), Ниуафоу (1886), Бандай (1888), Колима (1889) и Суваноседзима (1889), землетрясений (1885, 1887, 1889), а также метеорных дождей (1885, 1887).

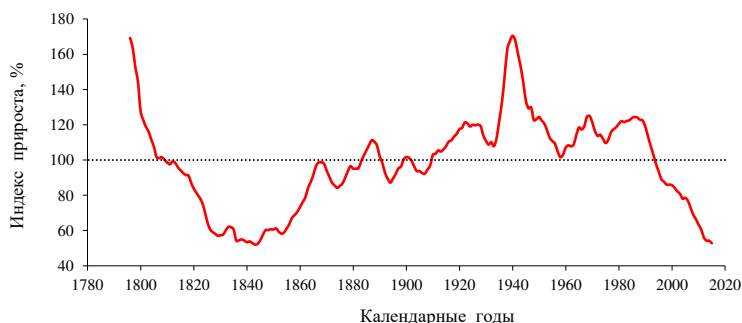


Рис. 6.63. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев в кв. 75 заповедника «Большая Кокшага»

Наиболее значительное снижение значений индексов прироста деревьев в данном экотопе, отмечавшееся в 1940-1957 годах, происходило

на фоне извержений вулканов Рабаул (1937), Паракутин (1943-1952), Везувий (1944), Авачинский (1945), пик Сарычева (1946), Гекла (1947), Вильяррика (1948), Амбрим (1950), Ламингтон (1951), Келуд (1951), Хибок-Хибок (1951), Багана (1952), Сперр (1953), Карран-Лос-Венадос (1955) и Безымянный (1955-1957), мощных землетрясений (1938, 1948, 1950, 1954, 1957), а также вспышек на Солнце (1947, 1956) и интенсивных метеорных дождей (1946, 1947, 1952). Последнее из наблюдавшихся снижений величины индексов прироста деревьев, начавшееся в 1986 году, напрямую связано с извержениями вулканов Коло (1983), Невадодель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990), Келуд (1990), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощными землетрясениями в различных регионах Земли (1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010, 2011), взрывами сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004, 2006, 2008), вспышками на Солнце (1991, 1998, 2000, 2003, 2005) и метеорными дождями (1985, 1999, 2003).

Следующий объект исследования заложен в кв. 6 заповедника «Большая Кокшага» в сосняке лишайниково-мшистом, состоящем из трех возрастных поколений деревьев, наиболее старые из которых появились практически в то же время, как и в предыдущем экотопе, что сопряжено с серией извержений вулканов Лаки (1783, 1785), Гримсвотн (1784), Этна (1787), Килауэла (1790), Везувий (1793) и Сан-Мартин-Тустла (1793). Величина годичного прироста была в среднем наиболее высокой у самого молодого поколения деревьев (табл. 6.33).

Таблица 6.33

Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 6 ГПЗ «Большая Кокшага»)

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1795-1805	650	1,29 ± 0,03	0,05	4,00	0,85	66,1
1851-1865	156	1,63 ± 0,06	0,30	4,30	0,72	44,4
1921-1940	333	2,79 ± 0,08	0,50	11,2	1,37	49,2

Рост деревьев каждого поколения имеет, как показали расчеты, свои особенности, выражающиеся прежде всего в специфичности их возрастного тренда: у старших поколений он имеет колоколообразную форму, а у младшего – гиперболическую (рис. 6.64 и 6.65). У деревьев первого поколения наиболее высокий годичный прирост отмечался в период с 1850 по 1880 год, а у второго и третьего – в 1947-1955 годах.

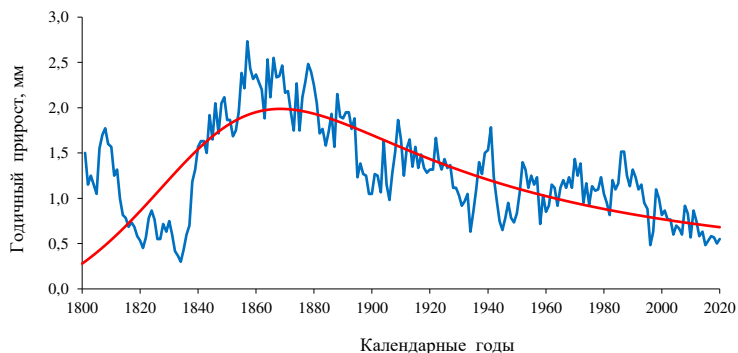


Рис. 6.64. Динамика годичного прироста деревьев первого поколения в кв. 6 заповедника «Большая Кокшага»

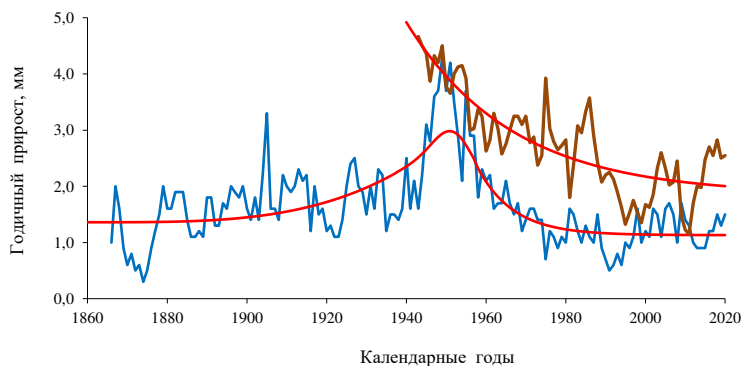


Рис. 6.65. Динамика годичного прироста деревьев второго и третьего поколений в кв. 6 заповедника «Большая Кокшага»

Первый спад величины индексов прироста деревьев, начавшийся в 1808 году и закончившийся лишь в 1832-м (рис. 6.66), происходил на фоне извержений вулканов Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тутупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815), Раунг (1817), Галунггунг (1822), Келуд (1826), Авачинский (1827) и Ключевской (1829). До 1858 года происходил неуклонный рост значений показателя, что было связано со снижением вулканической и тектонической активности на планете. Далее в течение 80 лет вплоть до 1932 года отмечался в целом отрицательный тренд индексов прироста деревьев, на фоне которого происходили небольшие флуктуации их значений. Вер-

шины «холмиков», приходящиеся на 1858, 1879, 1890, 1910 и 1924 годы, сопряжены с извержениями вулканов, землетрясениями, взрывами сверхновых звезд, вспышками на Солнце и метеорными дождями. С 1932 по 1951 год индекс значений прироста неуклонно увеличивался, а затем после серии извержений вулканов Амбрим (1950), Ламингтон (1951), Келуд (1951), Хибок-Хибок (1951), Багана (1952), Сперр (1953), Карран-Лос-Венадос (1955) и Безымянный (1955-1957), а также сопровождавших их мощных землетрясений (1950, 1954) до 1959 года снижался. Спад значений индексов прироста деревьев, начавшийся с 1985 года, связан с серией извержений вулканов Сент-Хеленс (1980), Алаид (1981), Северный Паган (1981-1985), Эль-Чичон (1982), Галунггунг (1982), Коло (1983), Невадо-дель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурочки (1986), Ключевской (1987) и Редут (1989-1990), землетрясений (1978, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995), взрывов сверхновых звезд (1975, 1987, 1992), вспышек на Солнце (1989, 1991) и интенсивных метеорных дождей (1980, 1984, 1985), дестабилизировавших состояние климатической системы Земли.

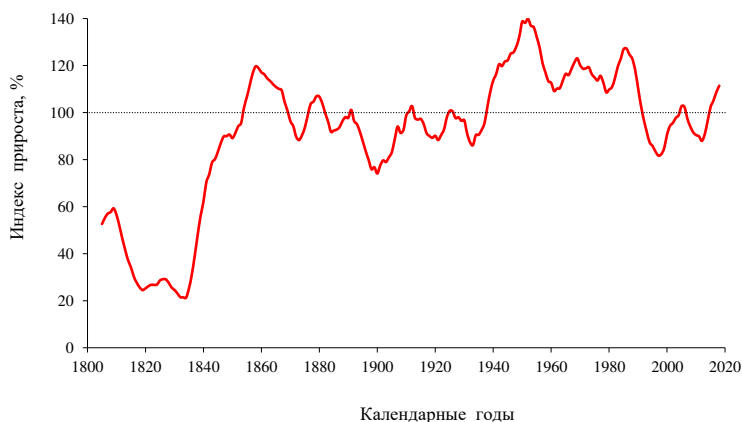


Рис. 6.66. Обобщенный ряд динамики сглаженных по 7-летиям значений индексов годовичного прироста деревьев в кв. 6 заповедника «Большая Кокшага»

Еще один из объектов исследования заложен в **кв. 87 Визимьярско-го лесничества** в сосняке зеленомошниковом. Древостой состоит из двух четко разделенных возрастных поколений деревьев, средний диаметр которых составляет 24,8 см, а средняя высота 24,5 м. Наиболее старые деревья в экотопе появились в 1830 году, что сопряжено с из-

вержениями вулканов Келуд (1826), Авачинский (1827) и Ключевской (1829).

Годичный прирост деревьев в экотопе, как и во всех остальных, изменялся в очень больших пределах и был в среднем более высоким у второго их поколения, возникшего в 1890-1895 годах (табл. 6.34). У деревьев первого поколения возрастной тренд годичного прироста имеет куполообразную форму, наилучшим образом аппроксимируемую уравнением оптимума $Y = A/(14,02 \times 10^{-3} \times A^2 - 0,681 \times A + 25,45)$, объясняющим 58 % дисперсии исходных данных, а у второго же поколения – уравнением $Y = 1,91 \times \exp(-48,32 \times 10^{-3} \times A) + 0,84$, объясняющим уже 80 % дисперсии значений показателя (A – возраст деревьев, лет).

Таблица 6.34

**Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений
в сосняке зеленомошниковом (кв. 87 Визимьярского л-ва)**

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1830-1835	780	1,17 ± 0,03	0,15	4,65	0,70	60,0
1890-1895	1113	1,26 ± 0,02	0,05	6,05	0,69	54,8

Рост деревьев всех поколений происходил, как показали расчеты, очень синхронно, поэтому динамика индексов их прироста была представлена в виде сводного ряда (рис. 6.67), на котором очень четко выделяется ряд волн, связанных с геофизическими и астрофизическими явлениями. Так, первое из наблюдавшихся снижений значений показателя было сопряжено с извержениями вулканов Агунг (1843), Этна (1843), Невадо-дель-Руис (1845), Гекла (1845), Фунуалей (1846), Усу (1853), Шивелуч (1854), Аву (1856), Кома-га-таке (1856), землетрясением (1848), взрывом сверхновой звезды (1838), а также метеорными дождями (1833, 1852). До 1869 года индекс прироста увеличивался, а затем, после извержений вулканов Руанг (1871), Синарка (1872), Мерапи (1872), Гримсвэтн (1873), Аскья (1875), Суваноседзима (1877), Котопакси (1877) и Фуэго (1880), до 1881 года снижался. Следующий спад значений показателя, продолжавшийся с 1888 по 1899 год, произошел в результате извержений вулканов Кракатау (1883), Августин (1883-1884), Тунгурауа (1886), Таравера (1886), Ниуафоу (1886), Бандай (1888), Колима (1889), Суваноседзима (1889), Аву (1892), Кальбуко (1893-1894), Майон (1897), землетрясений (1885, 1887, 1889), а также метеорных дождей (1885, 1887). Очередное, четвертое по счету, снижение индексов прироста деревьев, начавшееся в 1907 и закончившееся в 1913 году, было сопряжено с извержениями вулканов Везувий (1906),

Ксудач (1907), Таал (1911), Лолобау (1911) и Новарупта (1912), землетрясениями (1908, 1911), падением Тунгусского метеорита (1908) и метеорным дождем (1912). Все последующие волны динамики прироста деревьев также связаны с теми или иными геофизическими и астрофизическими явлениями, поскольку объяснить их генезис на основе вариаций климатических параметров невозможно.

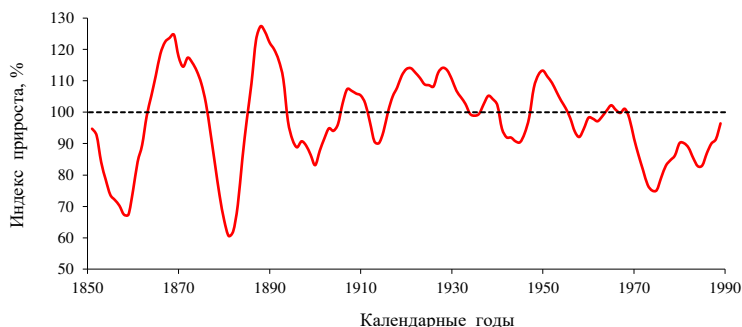


Рис. 6.67. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев в кв. 87 Визимьярского лесничества

Следующий объект исследования заложен в **кв. 128 Кокшайского лесничества** в сосняке лишайниково-мшистом, состоящем из трех возрастных поколений деревьев, наиболее старые из которых появились, как и на предыдущем объекте, в 1830 году, что сопряжено с серией извержений вулканов Келуд (1826), Авачинский (1827) и Ключевской (1829). Величина годичного прироста была в среднем наиболее высокой у самого молодого их поколения (табл. 6.35). Возрастной тренд прироста деревьев, который у них хорошо выражен (рис. 6.68), аппроксимирует уравнение регрессии $Y = 1,94 \times \exp(-39,2 \times 10^{-3} \times A) + 0,95$, описывающее 87 % дисперсии исходных данных (A – возраст деревьев, лет).

Таблица 6.35

Пределы изменения годичного прироста деревьев разных поколений в сосняке лишайниково-мшистом (кв. 128 Кокшайского лесничества)

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
1830-1840	300	1,38 ± 0,05	0,20	5,00	0,91	65,6
1860-1880	687	1,31 ± 0,03	0,20	6,00	0,85	64,8
1890-1900	178	1,71 ± 0,07	0,20	5,70	0,87	51,0

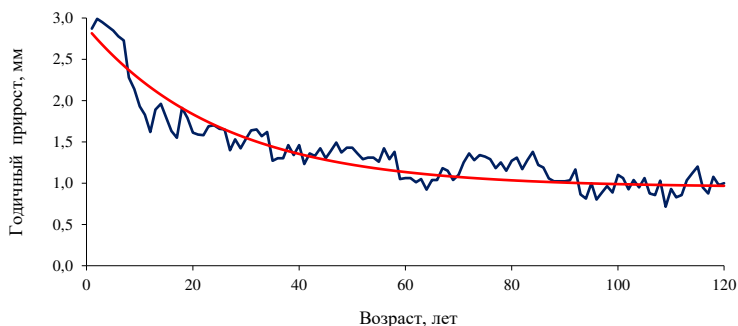


Рис. 6.68. Динамика годичного прироста деревьев сосны в кв. 128 Кокшайского л-ва

В динамике величины индексов прироста деревьев, которая хотя и совсем не схожа с предыдущим экотопом, также довольно четко проявляется влияние геофизических и астрофизических явлений, а не вариаций климатических параметров. Так, неблагоприятные условия для роста деревьев отмечались в 1830-1860, 1940-1950 и 1970-1995 годах, а благоприятные – в 1875-1910 и 1952-1962 годах (рис. 6.69). Первое весьма значительное и продолжительное снижение значений индексов прироста началось после серии извержений вулканов Кракатау (1883), Августин (1883-1884), Тунгурауа (1886), Таравера (1886), Ниуафоу (1886) и Бандай (1888), землетрясений (1885, 1887), а также интенсивных метеорных дождей, выпавших в 1885 и 1887 годах. Снижение значений показателя в 1907-1915 годах обусловили извержения вулканов Везувий (1906), Ксудач (1907), Таал (1911), Лолобау (1911) и Новарупта (1912), землетрясения (1908, 1911), падение Тунгусского метеорита в 1908 и метеорного дождя в 1912 году.

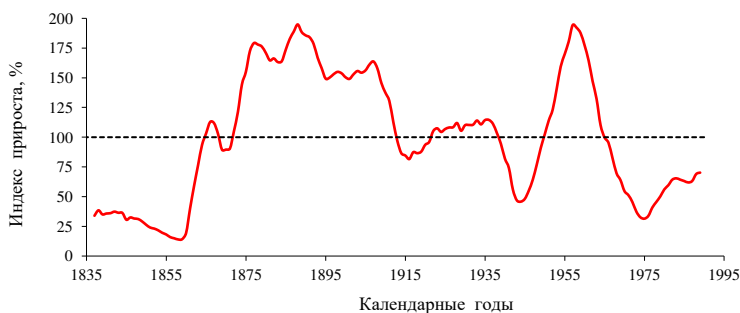


Рис. 6.69. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста наиболее старых деревьев в кв. 128 Кокшайского лесничества

Значительное снижение значений индексов прироста деревьев в данном экотопе, отмечавшееся, как следует из представленных данных, в 1937-1942 годах, было спровоцировано серией следующих событий: взрывом сверхновой звезды (1936), извержением вулкана Рабаул (1937), мощными землетрясениями (1938, 1939), интенсивным метеорным дождем (1938) и вспышкой на Солнце (1940). До 1956 года величина показателя возрастала, а затем до 1973 неуклонно снижалась, причиной чего явились извержения вулканов Сперр (1953), Карран-Лос-Венадос (1955), Безымянный (1955-1957), Агунг (1963), Суртси (1963-1967), Шивелуч (1964), Таал (1965), Келуд (1966), Аву (1966) и Фернандина (1968), мощные землетрясения (1954, 1957, 1960, 1964, 1966, 1970), интенсивные метеорные дожди (1952, 1966) и вспышка на Солнце (1956).

Особый интерес представляет изучение особенностей роста деревьев разных поколений в насаждениях, находящихся вблизи источников промышленного загрязнения. В качестве таких объектов исследования были выбраны сосняки лишайниковые, находящиеся кв. 21 и 27 Силикатного лесничества на разном удалении от завода силикатного кирпича (Воздействие завода ..., 2013), начавшего работу в 1953 году. Древостой в этих экотопах состоит из двух четко разделенных возрастных поколений деревьев, наиболее старые из которых появились в 1900 году. Величина их годовичного прироста изменялась, как и во всех остальных экотопах, в очень больших пределах и была в среднем более высокой у деревьев первого их поколения на контрольном участке (табл. 6.36).

Таблица 6.36

Пределы изменения годовичного прироста деревьев разных поколений в сосняках, расположенных на разном удалении от завода силикатного кирпича

Годы появления деревьев	Значения статистических параметров прироста					
	N	M ± m	min	max	S	CV
Насаждение, удаленное от завода на 1500-1700 м (контроль)						
1905-1910	717	2,01 ± 0,04	0,20	7,15	1,18	58,8
1942-1947	434	1,46 ± 0,01	0,25	4,65	0,77	52,3
Насаждение, удаленное от источника загрязнения на 100-150 м						
1900-1905	786	1,67 ± 0,05	0,20	8,25	1,27	76,3
1939-1945	481	1,35 ± 0,01	0,20	5,45	0,78	57,4

Техногенное загрязнение среды обитания деревьев не изменило, как показали исследования, общих закономерностей их роста. У деревьев первого поколения возрастной тренд годовичного прироста имеет куполообразную форму, наилучшим образом аппроксимируемую уравнением оптимума $Y = A/(14,02 \times 10^{-3} \times A^2 - 0,681 \times A + 25,45)$, объясняющим 58 %

дисперсии исходных данных, а у второго же поколения – уравнением $Y = 1,91 \times \exp(-48,32 \times 10^{-3} \times A) + 0,84$, объясняющим уже 80 % дисперсии значений показателя. Рост деревьев всех поколений в каждом из экотопов происходил очень синхронно, и в динамике индексов их прироста очень четко выделяется ряд волн, связанных с геофизическими и астрофизическими явлениями. Так, на контрольном участке первое снижение значений показателя, начавшееся в 1931 году (рис. 6.70), было сопряжено с серией извержений вулканов Хоккайдо (1929), Мерапи (1930-1931), Ключевской (1931), Аниакчак (1931), Фуэго (1932), Серро-Азул (1932), Харимкотан (1933), Суох (1933), Кучиноэрабудзима (1933-1934), землетрясением (1927), взрывом сверхновой звезды (1936), а также очень интенсивными метеорными дождями (1933, 1938), которые дестабилизировали работу климатической системы Земли, вызвав сейсмические волны, распространявшиеся по всей ее поверхности.

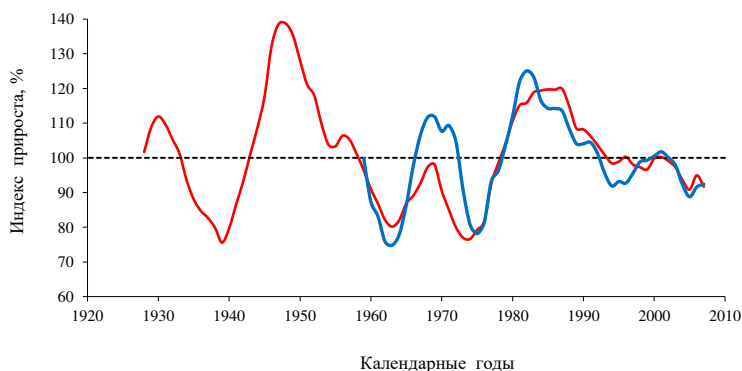


Рис. 6.70. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев в контрольном насаждении, удаленном от завода силикатного кирпича на 1,5 км.

В период с 1939 по 1948 годы, как следует из приведенных данных, происходило неуклонное увеличение величины индексов прироста деревьев, которое вновь прервалось до 1962 года вспышкой на Солнце (1947), серией извержений вулканов Авачинский (1945), Пик Сарычева (1946), Гекла (1947), Вильяррика (1948), Амбрим (1950), Ламингтон (1951), Келуд (1951), Хибок-Хибок (1951), Багана (1952), Сперр (1953), Карран-Лос-Венадос (1955) и Безымянный (1955-1957), мощных землетрясений (1948, 1950, 1954, 1957, 1960) и интенсивных метеорных дождей (1947, 1952). Следующая депрессия роста деревьев, продолжавшаяся с 1972 по 1979 год, связана с серией извержений вулканов Фернандина (1968), Ареналь (1968), Гудзон (1971), Эльдфелл (1973), Тятя

(1973), Фуэго (1974), Толбачик (1975) и Августин (1976), а также мощными землетрясениями в Перу (1970), Китае (1976) и Гватемале (1976). В это же время наблюдались вспышка на Солнце (1972) и взрыв сверхновой звезды (1975). Далее до 1982 года прирост деревьев увеличивался, а затем начал неуклонно снижаться, причиной чего явились извержения вулканов Сент-Хеленс (1980), Алаид (1981), Северный Паган (1981-1985), Эль-Чичон (1982), Галунггунг (1982), Коло (1983), Невадодель-Руис (1985), Августин (1986), Чикурачки (1986), Ключевской (1987), Редут (1989-1990), Келуд (1990), Пинатубо (1991-1993), Сперр (1992), Ласкар (1993), Тавурвур (1994), Ринджани (1994), Суфриер-Хиллз (1997) и Колима (1998), мощные землетрясения (1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1997), взрывы сверхновых звезд (1987, 1992, 1993, 2004), вспышки на Солнце (1989, 1991, 1998) и интенсивные метеорные дожди (1984, 1985, 1999), дестабилизировавшие работу климатической системы Земли. Объяснить же происходившие изменения значений прироста деревьев на основе вариаций климата невозможно.

Динамика индексов годичного прироста деревьев в зоне наибольшего техногенного загрязнения имела лишь небольшие отличия, обусловленные особенностями экотопа. С 1936 года здесь отмечалось неуклонное и значительное увеличение значений показателя, которое прервалось практически одновременно с пуском предприятия в 1953 году (рис. 6.71). Эти два события, однако, не связаны между собой, о чем убедительно свидетельствует сходный характер динамики индексов прироста деревьев в контрольном насаждении. Причиной же длительной депрессии их роста, продолжавшейся вплоть до 1975 года являются в большей степени события, происходившие на Земле и в космосе.

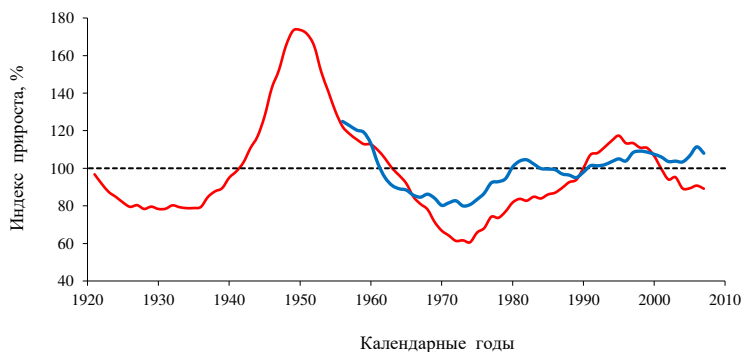


Рис. 6.71. Динамика сглаженных по 7-летиям значений индексов годичного прироста деревьев в насаждении, удаленном от завода силикатного кирпича на 100-150 м

6.6. Особенности отклика деревьев во всех изученных экотопах на геофизические и космические явления

Деревья во всех изученных экотопах Республики Марий Эл, как следует из приведенных выше данных, по-разному откликались на одни и те же геофизические и космические явления, о чем свидетельствует отсутствие в большинстве случаев корреляционной связи между рядами динамики их годовичного прироста (табл. 6.37). Тесно связаны между собой только ряды прироста деревьев в экотопах № 4 (приозерные сосняки) и № 5 (сухие и свежие боры), с которыми более всего схожи по характеру роста деревья, произрастающие в поймах рек (рис. 6.72). Особенно же сильно отличается от остальных динамика прироста деревьев в заболоченных борах.

Таблица 6.37

Показатели сопряженности рядов динамики годовичного прироста деревьев сосны на объектах исследования в разных экотопах Республики Марий Эл

Экотоп	Значение коэффициента корреляции между экотопами				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1. Заболоченные боры	1,00				
2. Поймы рек	0,23	1,00			
3. Припойменные древостой	0,08	-0,09	1,00		
4. Приозерные сосняки	-0,41	0,48	-0,23	1,00	
5. Сухие и свежие боры	0,21	0,53	0,12	0,80	1,00

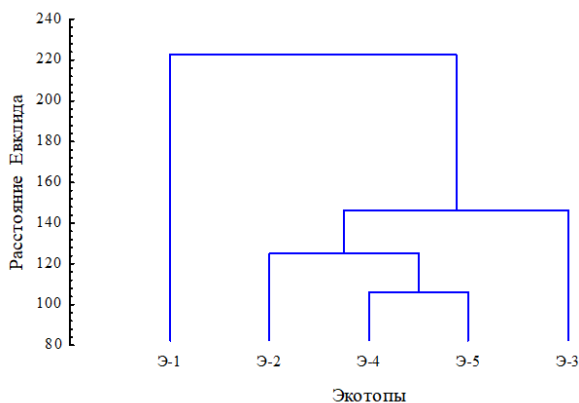


Рис. 6.72. Дендрограмма сходства рядов динамики индексов годовичного прироста деревьев на объектах исследования: шифры экотопов приведены в табл. 6.37

Анализ исходных данных показал, что даже в контрастных по режимам увлажнения экотопах (сухие, свежие и заболоченные бory) отклик деревьев на одни и те же геофизические и космические явления был не всегда разным. Так, к примеру, в ответ на извержения вулканов Лаки (1783-1784), Унзен (1792), Везувий (1793), Витори (1800), Сент-Хеленс (1800), Тугупака (1802), Урзелина (1808), Таал (1808), Путана (1810), Суфриер (1812), Аву (1812), Суваноседзима (1813), Майон (1814), Тамбора (1815) и Раунг (1817), а также землетрясения (1797, 1802, 1806, 1811, 1812, 1814), взрыв сверхновой звезды (1798) и очень интенсивные метеорные дожди (1799, 1803), которые привели к дестабилизации работы климатической системы Земли, сосняки в сухих и свежих борах сильнее снизили годичный прирост, чем на верховых болотах (рис. 6.73). С 1840 по 1861 год прирост деревьев в этих экотопах одновременно увеличивался, а затем вплоть до 1951 года изменения его значений происходили асинхронно. После этого динамика величины индексов прироста деревьев в них до 1990 года вновь стала синхронной. Деревья сосны в пойменных и припойменных древостоях реагировали на изменения условий среды обитания гораздо слабее, чем в предыдущих экотопах. Динамика индексов их прироста была практически синхронной до 1870 года, а также после 1941 года (рис. 6.74). В остальное же время изменения значений показателя происходили асинхронно.

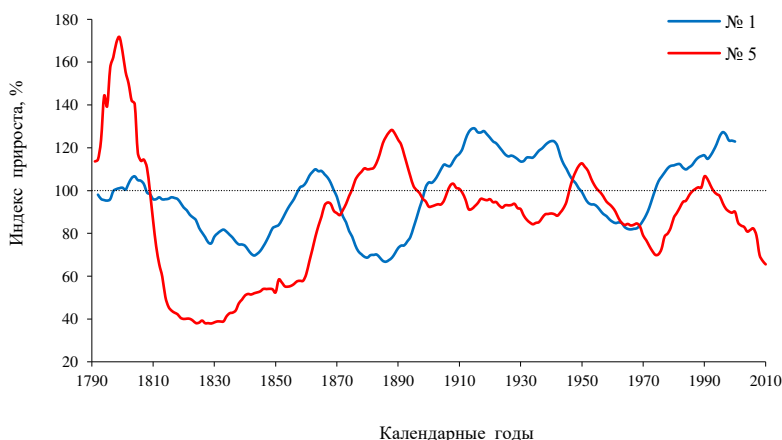


Рис. 6.73. Динамика сглаженных значений индексов годичного прироста деревьев в контрастных по режимам увлажнения экотопах (№ 1 – заболоченные бory, № 5 – сухие и свежие бory)

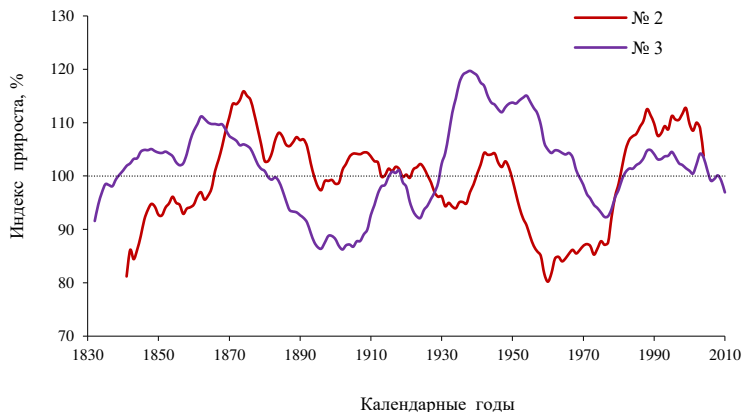


Рис. 6.74. Динамика сглаженных значений индексов годичного прироста деревьев в пойменных (№ 2) и припойменных (№ 3) экотопах

Чем же обусловлены несоответствия в характере изменений индексов прироста деревьев в разных экотопах? Одной из важнейших причин этого являются особенности генотипической и пространственной структуры ценопопуляций, которая определяет характер взаимоотношений между особями, отражающийся в итоге на их росте. Большую роль играет также неравномерность распределения количества осадков, особенно летних, по территории региона.

Еще одной важной причиной различий в характере роста деревьев может являться пространственная неоднородность литосферы, которая представляет собой сложную сеть тектонических разломов, русел рек и ручьев, подземных водотоков, карстовых пустот и различных структурных нарушений, заполненных породами, резко отличающихся от вмещающих их образований. Вся эта сеть объединена, по данным многих исследователей (Воронов, 1968; Кац и др., 1986; Анохин, Одесский, 2001, Анохин, 2006; Тверитинова, 2013; Линеаменты ..., 2014; Анохин, Маслов, 2015), в единую закономерно ориентированную фрактально-волновую систему линеаментов, отражающую деформацию литосферы и текущее напряжение сил в ней. Линеаменты – это границы резкого изменения параметров рельефа, ландшафта, геологической структуры и геофизических полей разного размера, которые выражены как реально существующими геологическими структурами, так и своеобразными «фантомами» (предполагаемыми координационными линиями), не находящими прямого соответствия в геологической среде, которые де-

шифрируются с разной степенью детальности и уверенности на различных картах и фотоизображениях земной поверхности в виде полос.

Система линеаментов оказывает огромное влияние на формирование и развитие наземных и водных сообществ организмов, поскольку приводит к образованиям геохимических аномалий и барьеров, изменениям интенсивности внутреннего теплового потока, а также гравитационных и электромагнитных полей, что четко проявляется при анализе формирования полос облаков на высотных и космических снимках. Выделение по разломам литосферы эндогенных газов (диоксида углерода, аргона, гелия, водорода, метана и других углеводородов, бензопиренов, цианидов, а также летучих соединений серы и тяжелых металлов) приводит к локальному изменению состава воздуха в почве и приземном слое. Над активными разломами, особенно в местах их пересечения, отмечается рост онкологических и психических заболеваний у людей, а также различных уродств у растений. Глубинные разломы, многие из которых являются трансконтинентальными, способны также передавать сейсмические колебания на более значительные расстояния, чем блоки земной коры. Так, например, при румынском землетрясении 1977 года колебания земной коры в Санкт-Петербурге и в Москве достигали трех баллов, в то время как в Будапеште они почти не ощущались, хотя он был в 20 раз ближе к его эпицентру. На территории Москвы в пределах активных разломов ежегодно происходит 10-15 локальных сейсмических проявлений, приводящих к разрушению зданий. За последние 25 лет в результате карстово-суффозионных процессов в северо-западной части Москвы появилось более 40 провальных воронок глубиной от 1,5 до 8 м. Так, в 1969 году на Хорошевском шоссе был полностью разрушен дом, а в апреле 1977 года на проезжей части Новохорошевского проезда возникла воронка, диаметр которой через два месяца достиг 38 м.

Реакции любого организма и экосистемы в целом на изменения факторов среды не могут даже в принципе быть одинаковыми, поскольку все биологические объекты неповторимы, уникальны (Романовский, Щекалев, 2014). Величина отклика деревьев в ответ на одни и те же внешние воздействия может меняться в зависимости от множества обстоятельств: их текущего состояния, интенсивности воздействующих факторов и соотношения между ними. Ряды динамики роста деревьев в каждом из экотопов являются в связи с этим по-своему уникальными, отражая все их индивидуальные особенности, которые должны стать предметом детального изучения. Для выявления же общих причин вариабельности величины годичного прироста деревьев и изменения про-

изводительности древостоев необходимо использовать обобщение большого числа их индивидуальных рядов по каждому из типов лесных биогеоценозов отдельно. Весьма актуально создание банков данных по каждому региону России, которые позволят сохранять и анализировать ценную информацию об изменчивости радиального прироста деревьев, значение которой для биогеоценологии, лесного хозяйства, мониторинга состояния среды и принятия управленческих решений в области природопользования трудно переоценить. Большую научную ценность для получения информации об изменениях условий среды в пределах каждого региона имеют старовозрастные древостои, которые должны быть обязательно изучены и взяты под охрану. На территории Республики Марий Эл такими объектами являются, в частности, большие массивы малонарушенных хозяйственной деятельностью человека верховых болот, где часто можно встретить деревья сосны, возраст которых превышает 300 лет.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что климатические, биоценоотические и антропогенные факторы не объясняют причин изменчивости величины годичного прироста деревьев и производительности древостоев. Во всех экотопах в характере динамики этих показателей, несмотря на имеющиеся различия, довольно четко проявляется влияние извержений вулканов, землетрясений и космических событий, которое, к сожалению, пока еще мало изучено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, подведем итоги исследований. Величина годичного прироста деревьев сосны обыкновенной в высоту и толщину варьирует на территории Республики Марий Эл в очень больших пределах, что свидетельствует об их высокой чувствительности к флуктуациям условий среды и больших адаптационных возможностях. Характер роста деревьев, как и само их появление в ценозах, определяет большой комплекс природных и антропогенных факторов, в том числе и пространственная неоднородность литосферы нашей планеты, однако на ход его большое влияние оказывают вулканические извержения, землетрясения, метеорные дожди, солнечные и космические вспышки, дестабилизирующие состояние атмосферы и магнитного поля Земли. Вклад же метеорологических параметров каждого месяца и сезона года, которые практически не сопряжены друг с другом и изменяются в очень больших пределах без какой-либо четкой периодичности, в колебаниях годичного прироста деревьев проявляется весьма слабо, особенно на среднеувлажненных почвах. Густые древостои реагируют на флуктуации условий среды гораздо сильнее редких, но с возрастом различия постепенно сглаживаются. Пожары, антропогенная деятельность и биотические факторы не искажают общей картины динамики прироста деревьев.

Рост деревьев – сложный самоуправляемый процесс реализации потенциальных возможностей генотипа в сложившейся конкретной обстановке, который происходит на основе сигналов внешней среды. Чередование внешних «толчков» различной мощности, не отличающихся особой регулярностью, формирует во взаимосвязи с внутренними свойствами экосистем сложный волнообразный квазипериодический ход древесного прироста. Кинетические характеристики роста деревьев являются важнейшими показателями состояния их жизнеспособности и степени соответствия экологических условий индивидуальным потребностям организма.

Реакции деревьев в ответ на одни и те же изменения параметров среды не всегда однозначны, в связи с чем несостоятельны попытки реконструкции по данным анализа рядов прироста деревьев динамики климата в прошлом, особенно изменения температуры и количества осадков, т.к. эти ряды несут лишь информацию о том, насколько благоприятными были условия их произрастания в тот или иной период времени, но не отражают действие какого-либо конкретного фактора среды. Только лишь в экстремальных условиях произрастания деревьев,

где лимитирующим может являться лишь один фактор, можно надеяться на получение определенных результатов.

Задача выделения лимитирующего фактора из простого набора параметров условий среды является нетривиальной и во многом зависит от выбора исходной предпосылки для ее решения. Все происходящие события в той или иной мере отражаются на экологической обстановке и, следовательно, на годичном приросте деревьев. Для решения этой задачи нельзя использовать традиционные методы регрессионного анализа, а необходимо опираться на более сложные математические модели. Дело в том, что последствия воздействия возмущающих факторов проявляются в большинстве случаев не сразу, а имеют разное время запаздывания в зависимости от мощности и времени их воздействия относительно друг друга и сезона года, а также от сложившейся климатической обстановки. Кроме того, они взаимно накладываются между собой, образуя в итоге сложную картину динамики роста деревьев, определенное влияние на которую оказывают также особенности генотипа деревьев, по-разному реагирующих на колебания внешней среды. Каждое дерево можно сравнить со струной, издающей в ответ на внешнее воздействие звук определенного тона. Древостой в этом случае будет представлять собой гусли или арфу, а совокупность древостоев – симфонический оркестр, управляемый опытным дирижером. Исследователь должен уметь воспринимать не только звуки струн отдельных инструментов, но и смысл всей симфонии природных стихий.

Для объяснения причин флуктуации годичного прироста деревьев, как и варьирования параметров климата, наилучшим образом подходит концепция, основанная на учете событий, происходящих как на Земле, так и в космосе, особенно серии извержений вулканов, дестабилизирующих состояние климатической системы Земли, приводя в одних ее районах к засухе, а в других – к обильным осадкам или ураганам. Погодным аномалиям, возникающим в результате изменения характера общей циркуляции атмосферы под действием комплекса земных и космических факторов, предшествует, как правило, определенный ход событий, чуткими индикаторами которых являются деревья. Весьма актуальны в связи с этим изучение и охрана в различных экотопах каждого из регионов России старовозрастных древостоев, а также создание банков данных по динамике их радиального прироста, которые позволят сохранять и анализировать ценную научную информацию об изменении условий среды, необходимую для принятия управленческих решений.

Исследования показали, что популяции древесных растений довольно неоднородны по характеру роста слагающих их индивидуумов. Асинхронность ритмики роста деревьев – одно из проявлений феномена биологического разнообразия и необходимое условие устойчивого развития сообщества, позволяющее свести к минимуму вероятность кризисных ситуаций, происходящих в результате взаимного наложения волновых процессов и возникновения биений, которые опасны для любой динамической системы. Гетерогенность популяции нивелирует годичный прирост биомассы в экосистеме и способствует повышению эффективности использования индивидуумами энергетических и материальных ресурсов среды. В свете этого положения не могут вызывать сомнения предложения некоторых исследователей по «улучшению» генетической структуры популяции путем целенаправленного отбора особей, устойчивых к действию какого-либо одного фактора среды. Эти действия, способствующие обеднению генофонда, являются несостоятельными, т.к. рано или поздно приведут к вырождению популяции и ее неминуемой гибели. Селекционный отбор деревьев давно осуществлен природой и продолжает совершенствоваться. В постоянно меняющихся условиях среды ни один генотип не может превосходить другие по приспособленности во всевозможных ситуациях.

Влияние геофизических и космических факторов на характер роста деревьев и производительность древостоев изучено пока еще слабо, хотя роль знаний об этом в решении актуальных задач лесного хозяйства, природопользования и охраны окружающей среды трудно переоценить. Все более очевидной становятся ограниченность существующих методов моделирования роста древостоев (Розенберг, Феклистов, 1982; Смирнова, Чумаченко, 1993; Чернов, Чумаченко, 1993; Усольцев, 2007, 2013; Кузьмичев, 2013; Рогозин, Разин, 2015) и необходимость поиска новых подходов к решению этой проблемы.

Уважаемый читатель! Надеюсь, что, прочтя данную книгу, ты не посововетовал зря потраченное время, а получил массу интересной информации об объектах и предмете исследования, которые с пользой можешь использовать в своей научной деятельности. Как автор я сделал всё возможное для этого. Дело теперь за тобой: думай, твори, дерзай! Успехов тебе на этом нелегком пути!

Список литературы

Абдуллина, Д. С. Дифференциация популяций сосны обыкновенной по фенотипическим признакам на северо-восточном пределе ареала / Д.С. Абдуллина, И.В. Петрова // *Аграрный вестник Урала*. – 2012. – № 9. – С. 34-36.

Абдусаматов, Х. И. Солнце диктует климат Земли / Х.И. Абдусаматов. – СПб.: Логос, 2009. – 197 с.

Абрамов, Д. В. Возможная природа пульсаций гравитационного поля / Д.В. Абрамов, С. Г. Бычков // *Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей*. – Казань: Казанский университет, 2018. С. 16-18.

Абросов, Н. С. Экологические механизмы существования и видовой регуляции / Н. С. Абросов, Б. Г. Ковров, О. А. Черепанов. – Новосибирск: Наука, 1982. – 302 с.

Авакян, С. В. О возможном физическом механизме воздействия солнечной и геомагнитной активности на явления в нижней атмосфере / С. В. Авакян, Н.А. Воронин // *Исследование Земли из космоса*. – 2007. – № 2. – С. 28-33.

Авакян, С. В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы / С.В. Авакян // *Геомагнетизм и аэрономия*. – 2008. – Т. 48, № 4. – С. 1-8.

Авакян, С. В. Проблемы климата как задача солнечно-земной физики / С.В. Авакян // *Солнечно-земная физика*. – 2012. – Вып. 21. – С. 18-27.

Авдюшин, С. И. Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему. Обзор / С. И. Авдюшин, А. Д. Данилов // *Геомагнетизм и аэрономия*. – 2000. – Т. 40, № 5. – С. 3-14.

Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 107 с.

Адаменко, В. Н. Индикация изменений климата. Методы анализа и интерпретации / В. Н. Адаменко, М. Д. Масанова, А. Ф. Четвериков. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 112 с.

Адаменко, М. Ф. Реконструкция динамики термического режима летних месяцев на территории Горного Алтая в XIV-XX вв. / М.Ф. Адаменко // *Дендрохронология и дендроклиматология*. – Новосибирск: Наука, 1986. С. 110-114.

Азниева, Ю. Н. О влиянии условий местопроизрастания на формовое разнообразие сосны обыкновенной / Ю.Н. Азниева // *Лесоведение и лесное хозяйство*. – 1976. – Вып. 11. – С. 29 – 35.

Акасофу, С. И. Солнечно-земная физика. Т. 2. / С. И. Акасофу, С. Чепмен. – М.: Мир, 1975. – 512 с.

Акуленко, Л. Д. Неравномерности вращения Земли / Л. Д. Акуленко, Ю.Г. Марков, В. В. Перепёлкин // *Доклады Академии наук*. – 2007. – Т. 417, № 4. – С. 483-488.

Алексеев, А. С. Математические модели и методы в лесном хозяйстве: учебное пособие / А.С. Алексеев. – Л.: ЛТА, 1988. – 88 с.

Алексеев, А. С. Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения / А.С. Алексеев // *Лесоведение*. – 1993. – № 4. – С. 66-70.

Алексеев, В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев, Л.С. Дочинжер // Лесоведение. – 1981. – № 5. – С. 64-71.

Алексеев, В. А. Некоторые особенности климатических изменений на Земле и возможная их связь с вариациями солнечной активности / В.А. Алексеев // *Астрономический вестник*. – 2007. – Т. 41, № 6. – С. 568-576.

Алексеев, И. А. Лесохозяйственные меры борьбы с корневой губкой / И.А. Алексеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 76 с.

Алисов, Б. П. Климат СССР / Б.П. Алисов. – М.: Высшая школа, 1969. – 104 с.

Альбенский, А. В. Селекция древесных пород и семеноводство / А.В. Альбенский. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1959. – 306 с.

Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России / К.И. Кобак, Н.Ю. Кондрашова, К.М. Лугина и др. // *Метеорология и гидрология*. – 1999. – № 1. – С. 30-38.

Андрианова, О. Р. О связи колебаний некоторых океанографических характеристик с вариациями угловой скорости вращения Земли / О. Р. Андрианова, Р. Р. Белевич // *Метеорология и гидрология*. – 2003. – № 11. – С. 64-71.

Анисимов, О. А. К прогнозу изменения температуры воздуха для первой четверти XXI столетия / О. А. Анисимов, В. Ю. Поляков // *Метеорология и климатология*. – 1999. – № 2. – С. 25-31.

Анохин, В. М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение / В.М. Анохин. – СПб: Недра; 2006. – 161 с.

Анохин, В. М. Характеристики глобальной сети планетарной трещиноватости / В. М. Анохин, И. А. Одесский // *Геотектоника*. – 2001. – № 5. – С. 3-9.

Анохин, В. М. Опыт изучения закономерностей направленности и протяженности линеаментов и разломов в регионах / В. М. Анохин, Л. А. Маслов // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. – 2015. – №1, вып. 25. – С. 231-242.

Антанайтис, В. В. Законы, закономерности роста и строения древостоев / В. В. Антанайтис, А. П. Тябера, Я. А. Шяпьятане. – Каунас: ЛитСХА, 1986. – 157 с.

Антанайтис, В. В. Математические модели текущего прироста некоторых древесных пород / В.В. Антанайтис // *Лесное хозяйство*. – 1971. – № 2. – С. 49-52.

Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 240 с.

Антонов, Ю. В. Возможная природа пульсаций неприливных вариаций силы тяжести / Ю.В. Антонов // *Экологический вестник научных центров ЧЭС*. – 2015. – № 4. – С. 5-13.

Антонов, Ю. В. Природа пульсаций неприливных вариаций силы тяжести / Ю.В. Антонов // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология*. – 2017. – № 3. – С. 101-106.

Антонов, Ю. В. Пульсации неприливных вариаций силы тяжести / Ю.В. Антонов // *ИВУЗ. Геология и разведка*. – 2014. – № 5. – С. 54-57.

Антонов, Ю. В. Пульсации силы тяжести и сейсмического шума на евразийском континенте / Ю.В. Антонов // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология*. – 2018. – № 4. – С. 71-76.

Антонов, Ю. В. Сейсмогравитационные пульсации на евразийском континенте / Ю. В. Антонов, Н. Ю. Антонова // ИВУЗ. Геология и разведка. – 2019. – № 1. – С. 60-66.

Антонов, Ю. В. Сейсмогравитационные пульсации на континентах земного шара / Ю. В. Антонов, И. А. Пономаренко // ИВУЗ. Геология и разведка. – 2019. – № 4. – С. 78-84.

Апасова, Е. Г. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ № 2015621446 / Е.Г. Апасова, Л.К. Клещенко: <http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration>

Ардамацкая, Т. Б. Влияние массовых колоний птиц на растительность и животное население о. Орлова / Т.Б. Ардамацкая // Структура и функционально-биогеоценотическая роль животного населения суши. – М.: Наука, 1967. С. 113–114.

Архангельская, Т. А. Температурный режим комплексного почвенного покрова / Т.А. Архангельская. – М.: ГЕОС, 2012. – 282 с.

Атрощенко, О. А. Система моделирования и прогнозирования роста деревьев (на примере БССР): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / О.А. Атрощенко. – Киев, 1986. – 34 с.

Бабич, Н. А. Влияние осадков и температуры воздуха на прирост культур сосны в высоту / Н.А. Бабич, В.П. Прохоров // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1994. – № 1. – С. 18–23.

Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1993. – 293 с.

Бакаева, М. В. Об экологической роли лишайникового покрова в беломошных борах средней Вычегды / М.В. Бакаева, А.В. Галанин // Экология. – 1985. – № 2. – С. 25-30.

Бакшаева, В. И. К вопросу о явлении диссимметрии у сосны обыкновенной в Карелии / В.И. Бакшаева // Повышение продуктивности хвойных лесов Карелии. – Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1975. – Т. 22, вып. 3. – С. 74-106.

Балыбина, А. С. Дендроиндикация температуры почвы в котловинах байкальского типа / А.С. Балыбина, И.Е. Трофимова // География и природные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 58-65.

Барабанов, В. Ф. Геохимия / В.Ф. Барабанов. – Л.: Недра, 1985. – 423 с.

Барахтенюва, Л.А. Действие сернистого газа на растения / Л.А. Барахтенюва // Газоустойчивость растений – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 186-231.

Баркин, Ю. В. Гравитационные воздействия гелиокосмических факторов на эндогенную активность Земли / Ю. В. Баркин, Р. К. Клиге // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3: Факторы глобальных изменений. – М.: Научный мир, 2012. – С. 46–61.

Барнишкис, Е. К. Выживание деревьев при естественном изреживании в сосновых насаждениях / Е.К. Барнишкис // Лесоведение. – 1972. – № 5. – С. 33-41.

Бедрицкая, Т. В. Испытание климатипов сосны обыкновенной в Архангельской области / Т.В. Бедрицкая, Е.Н. Наквасина, О.А. Гвоздихина // Лесной вестник. – 2000. – № 1. – С. 36-38.

Беклемишев, В. Н. Методология систематики / В.Н. Беклемишев. – М.: КМК Scientific Press Ltd., 1994. – 250 с.

Белецкий, В. В. Очерки о движении космических тел / В.В. Белецкий. – М.: Наука, 1972. – 360 с.

Белецкий, В. В. Резонансные вращения небесных тел / В. В. Белецкий, А.А. Хентов. – Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 1995. – 430 с.

Белкин, В. А. Прогнозирование цен на нефть на основе их средних значений по годам одиннадцатилетнего цикла солнечной активности (1970-2016) / В.А. Белкин // Вестник Челябинского государственного университета. Экономические науки. – 2017. – № 2 (398), вып. 56. – С. 43-51.

Белкин, В. А. Циклы мирового продукта, цен на нефть и магнитных бурь: механизм и статистика сильных связей (1913-2015 гг.) / В.А. Белкин // Челябинский гуманитарий. – 2016. – № 1 (34). – С. 7-23.

Белкин, В. А. Циклы цен на нефть и магнитных бурь: механизм и статистика сильных связей (1861-2015 гг.) / В.А. Белкин // Челябинский гуманитарий. – 2015. – № 3 (32). – С. 17-30.

Белов С. В. Причины изменения климата: человек или геологические процессы? / С. В. Белов, И. С. Ретфельд // Использование и охрана природных ресурсов в России: информ.-аналит. бюлл. – М.: НИИ-Природа, 2004. – № 1. – С. 43-49.

Белов, С. В. Лесоводство / С.В. Белов. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. – 352 с.

Березовская, Ф. С. Моделирование динамики древостоев: эколого-физиологический подход / Ф. С. Березовская, Г. П. Карев, А. З. Швиденко. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1991. – 83 с.

Берлянд, Т. Г. Тепловой баланс атмосферы Северного полушария / Т.Г. Берлянд // А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1956. С. 226–252.

Берри, Б. Л. Периодические колебания индексов прироста лиственницы сибирской в Тазовской лесотундре и их прогноз / Б. Л. Берри, А. А. Либерман, С. Г. Шиятов // Экология. – 1979. – № 6. – С. 22-26.

Бессчѣтнова, Н. Н. Селекционно-генетические аспекты формирования, совершенствования и использования генофонда сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / Н.Н. Бессчѣтнова. – Нижний Новгород, 2016. – 42 с.

Бессчѣтнова, Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфология и физиология хвои плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчѣтнова, В.П. Бессчѣтнов. – Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – 368 с.

Бессчѣтнова, Н. Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Репродуктивный потенциал плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчѣтнова. – Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – 586 с.

Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта – М.: Мир, 1988. – 350 с.

Битвинскас, Т. Т. Дендроклиматические исследования / Т.Т. Битвинскас. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 172 с.

Битков, Л. М. Основы хронолесоводства / Л.М. Битков. – Калуга: Изд-во научной литературы Н.Ф. Бочкаревой, 2007. – 116 с.

Битюков, Н. А. Температурный режим бурых лесных почв под букняками / Н.А. Битюков // Известия Сочинского государственного университета. – 2012. – № 3 (21). – С. 219-223.

Богатырев, Л. Г. Структурно-функциональная организация подстилок в борах Марийского Заволжья / Л.Г. Богатырев, Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Р.Н. Шарфутдинов и др. // Вестник Московского государственного университета. Серия: Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 3-9.

Богатырев, Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах / Л.Г. Богатырев // Почвоведение. – 1996. – № 4. – С. 501-511.

Богачев, А. В. Анализ математической модели роста сосновых насаждений / А.В. Богачев // Лесное хоз-во. – 1990. – № 12. – С. 32-34.

Богачев, А. В. Модель прогноза роста сосновых насаждений / А.В. Богачев // Лесоведение. – 1991. – № 1. – С. 3-11.

Богданова, Д. А. Корневая губка и насекомые-ксилофаги в культурах сосны Верхнего Приобья / Д.А. Богданова // Лесоведение. – 1990. – № 6. – С. 77-82.

Боголепов, М. А. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху / М.А. Боголепов // Землеведение. – 1907. – Кн.2. – С. 58-162.

Божок, А. А. Внутривидовая изменчивость сосны обыкновенной в различных экологических условиях Львовской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01 / А.А. Божок. – Рига, 1979. – 16 с.

Бойченко, А. М. Произрастание сосны на северной границе ареала в Зауралье / А.М. Бойченко // Экология. – 1970. – № 6. – С. 37-45.

Большаков, В. А. Новая концепция орбитальной теории климата / В.А. Большаков. – М.: МГУ, 2003. – 256 с.

Борзенкова, И. И. Вариации климата внетропической зоны северного полушария за последние 1000 лет: анализ данных и возможных причин / И. И. Борзенкова, Е. Л. Жильцова, В. А. Лобанов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 24. – М.: Институт глобального климата и экологии, 2011. – С. 131-152.

Борзенкова, И. И. Вулканические извержения и климат Земли: вулканизм как аналог геоинженерии / И.И. Борзенкова // Исследование возможностей стабилизации климата с помощью новых технологий. – М.: Росгидромет, 2012. С. 122–126.

Борисенков, Е. П. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячелетия / Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 535 с.

Борисенков, Е. П. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы / Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. – М.: Мысль, 1988. – 524 с.

Борисенков, Е. П. Экстремальные природные явления в русских летописях XI–XVII вв. / Е. П. Борисенков, В. М. Пасецкий. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 240 с.

Борисов, А. А. Климаты СССР / А.А. Борисов. – М.: Просвещение, 1967. – 296 с.

Борисова, О.В. Динамика радиального прироста деревьев и древостоев в Новгородской области в условиях аэротехногенного загрязнения / О.В. Борисова, В.Т. Ярмишко, М.А. Ярмишко // *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: материалы всерос. конф.* (Петрозаводск, 22-27 сентября 2008 г.). Ч.5: Геоботаника. – Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. – С. 26-28.

Браславская, Т. Ю. Изучение демографической и пространственной структуры популяций древесных видов в пойме реки Большая Кокшага / Т.Ю. Браславская // *Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*. Вып. 3. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. – С. 38-67.

Бредихин, М. А. Динамическая модель роста древостоя / М.А. Бредихин // *Математическое моделирование в биогеоценологии*. – Петрозаводск, 1985. – С. 36-37.

Бреслина, И. П. Развитие растительности под влиянием жизнедеятельности колониальных птиц / И. П. Бреслина, В. Н. Карпович // *Ботанический журнал*. – 1969. – № 5. – С. 690-696.

Бриллинджер, Д. Временные ряды. Обработка данных и теория / Д. Бриллинджер. – М.: Мир, 1980. – 536 с.

Бритков, В. Б. Системный анализ проблем глобального климата / В.Б. Бритков, Л. В. Езерова, Р. А. Перелёт // *Общественные науки и современность*. – 2014. – № 2. – С. 165-176.

Будыко, М. И. Аэрозольные климатические катастрофы / М.И. Будыко // *Природа*. – 1985. – № 6. – С. 30-38.

Будыко, М. И. Влияние астрономических факторов на четвертичные оледенения / М. И. Будыко, М. А. Васищева // *Метеорология и гидрология*. – 1971. – № 6. – С. 37-47.

Будыко, М. И. Влияние вулканических извержений на приходящую к поверхности Земли солнечную радиацию / М. И. Будыко, З. И. Пивоварова // *Метеорология и гидрология*. – 1967. – № 10. – С. 3-7.

Будыко, М. И. Глобальные климатические катастрофы / М. И. Будыко, Г.С. Голицын, Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 158 с.

Будыко, М. И. Изменение климата / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.

Будыко, М. И. Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1980 – 351 с.

Будыко, М. И. Климат и жизнь / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 472 с.

Будыко, М. И. Современные изменения климата / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 360 с.

Бузыкин, А. И. Анализ структуры древесных ценозов / А.И. Бузыкин, В.Л. Гавриков, О.П. Секретенко, Р.Г. Хлебопос. – Новосибирск: Наука, 1985. – 95 с.

Бузыкин, А. И. Формирование и смена поколений хвойных / А. И. Бузыкин, Р. Г. Хлебопос // *Пространственно-временная структура лесных биогеоценозов*. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 3-13.

Буланже, Ю. Д. Некоторые результаты изучения непривлиных измерений силы тяжести / Ю.Д. Буланже // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 256, № 6. – С. 1330–1331.

Бутаев, В. П. Морфологическое разнообразие шишек сосны обыкновенной в Якутии / В.П. Бутаев // Лесное хозяйство. – 1976. – № 4. – С. 60–61.

Бюсген, М. Стреление и жизнь наших лесных деревьев / М. Бюсген. – М.-Л: Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.

Вальтер, Г. Растительность земного шара. Экофизиологическая характеристика. Т. 2. Леса умеренной зоны / Г. Вальтер. – М.: Прогресс, 1974. – 423 с.

Вальтер, Р. Современные теории и уравнения роста / Р. Вальтер, И. Лампрехт // Термодинамика биологических процессов. – М.: Наука, 1976. – С. 98–112.

Ванюшин, Б. Ф. Материализация эпигенетики, или Небольшие изменения с большими последствиями / Б.В. Ванюшин // Химия и жизнь. XXI век. – 2004. – № 2. – С. 32–37.

Василевская, Л. С. Смолопродуктивность деревьев сосны, различающихся по морфологическим признакам / Л.С. Василевская // Сб. науч. работ Ин-та лесного хоз-ва АСХН БССР. Вып. 13. – Минск, 1960. – С. 111–115.

Васильев, А. Г. Эпигенетические основы фенетики: на пути к эволюционной меронимии / А.Г. Васильев. – Екатеринбург: Академкнига, 2005. – 639 с.

Васильев, М. С. Временная изменчивость приземной температуры воздуха в Якутии во время крупных Форбуш-понижений / М. С. Васильев, С.В. Николашкин, Р. Р. Каримов // Вестник Северо-Восточного федерального университета. – 2014. – Т. 11, № 6. – С. 19–29.

Василяускас, А. П. Корневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов / А.П. Василяускас. – Вильнюс, 1989. – 175 с.

Веретененко, С. В. Эффекты Форбуш-понижений галактических космических лучей в вариациях общей облачности / С.В. Веретененко, М.И. Пудовкин // Геомагнетизм и аэрономия. – 1994. – Т. 34, № 4. – С. 38–44.

Верзунов, А. И. Влияние почвенно-грунтовых условий на формирование корневых систем сосны и лиственницы в степных борах Казахстана / А.И. Верзунов // Экология. – 1986. – № 5. – С. 69–71.

Верхунов, П. М. Биотехнический принцип в лесной таксации / П. М. Верхунов, П. М. Мазуркин, В. Л. Черных // Известия национальной академии наук и искусств Чувашской Республики. Естественные науки. – 1996. – № 3. – С. 94–99.

Верхунов, П. М. Закономерности строения разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 255 с.

Верхунов, П. М. Прирост запаса разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. – Новосибирск: Наука, 1979. – 248 с.

Взнуздаев, Н. А. Температурный режим серых лесных почв предгорий Северо-Западного Кавказа / Н.А. Взнуздаев // Почвоведение. – 1967. – № 4. – С. 60–65.

Видякин, А. И. Выделение фенов окраски семян сосны обыкновенной / А.И. Видякин // Лесоведение. – 2003. – № 2. – С. 69–73.

Видякин, А. И. Генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по росту семенного потомства в испытательных культурах / А.И. Видякин // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 8. – С. 58–60.

Видякин, А. И. Изменчивость формы апофизов шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части России / А.И. Видякин // Экология. – 1995. – № 5. – С. 356-362.

Видякин, А. И. Изменчивость формы шишек в популяциях сосны обыкновенной на востоке европейской части СССР / А.И. Видякин // Лесоведение. – 1991. – № 3. – С. 45-52.

Видякин, А. И. Применение результатов феногеографических исследований в практике лесного хозяйства России / А.И. Видякин // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 4. – С. 29–34.

Видякин, А. И. Фенетика, популяционная структура и сохранение генетического фонда сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / А.И. Видякин // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV, № 2-3. – С. 159-166.

Видякин, А. И. Фены лесных древесных растений: выделение, масштабирование и использование в популяционных исследованиях (на примере *Pinus sylvestris* L.) / А.И. Видякин // Экология. – 2001. – № 3. – С. 197-202.

Викулин, А. В. О геодинимическом детекторе гравитационных волн / А.В. Викулин // Пространство и Время. – 2014. – № 1 (15). – С. 196-207.

Викулин, А. В. Сейсмичность и вращение Земли / А.В. Викулин // Вычислительные технологии. Новосибирск: ИВЦ СО РАН, 1992. – Т. 1, № 3. – С.124-130.

Вильсон, Я. Р. Изменение во вращении Земли относительно барицентра и климатический эффект / Я.Р. Вильсон // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3: Факторы глобальных изменений. – М.: Научный мир, 2012. – С. 78-102.

Витинский, Ю. И. Солнечная активность / Ю.И. Витинский. – М.: Наука, 1983. – 192 с.

Витинский, Ю. И. Солнце и атмосфера Земли / Ю.И. Витинский, Ю.А. Оль, Б. И. Сазонов. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 351 с.

Владимирский, Б. М. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу / Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц. – М.: МНЭПУ, 2000. – 374 с.

Владимирский, Б. М. Космическая погода и наша жизнь / Б.М. Владимирский, Н.А. Темурьянц, В. С. Мартынюк. – Фрязино: Век 2, 2004. – 224 с.

Влияние антропогенных выбросов CO₂ на климат: нерешенные проблемы / В. Сун, С. Балюнас, К.С. Демирчан и др. // Изв. РГО. – 2001. – Т. 133, вып. 2. – С. 1-19.

Влияние вулканических извержений на хвойные леса Беларуси / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович // Лесное и охотничье хозяйство – 2006. – № 2. – С. 27-31 (Беларусь).

Влияние начальной густоты и интенсивности изреживания древостоя в культурах сосны на прирост и плотность древесины / Ю.П. Демаков, И.П. Демитрова, Т. В. Нуреева, Т. Ю. Симатова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2019. – № 2 (42). – С. 26-40.

Внучков, В. Т. Горизонтальная структура древостоев сосны Казахского мелкосопочника / В.Т. Внучков // Лесоведение. – 1976. – № 5. – С. 56-62.

Воейков, А. И. Климаты земного шара, в особенности России // А.И. Воейков. Избр. соч. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. – Т. 1. – С. 163-671.

Воейков, А. И. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири / А.И. Воейков // Метеорологический вестник. – 1901. – № 3. – С. 16-27.

Воздействие завода силикатного кирпича на состояние и структуру соснового биогеоценоза / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова, Е.А. Гончаров, Г.А. Богданов и др. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – 192 с.

Возовик, Ю. И. О повторяемости событий в процессе развития ландшафтов во времени / Ю.И. Возовик // Ритмы и цикличность в природе. Вопросы географии. Вып. 79. – М.: Мысль, 1970. – С. 3-14.

Волков, Н. Н. Достоверность визуальной диагностики состояния и устойчивости сосны в очагах корневой губки / Н.Н. Волков // Экология и защита леса. Патология леса и охрана природы: межвуз. сб. науч. трудов. – Л.: ЛТА, 1983. – С. 83-87.

Вомперский, С. Э. Связь площади поперечного сечения заболони с массой хвои сосны обыкновенной / С.Э. Вомперский, А.И. Иванов // Лесоведение. – 1984. – № 3. – С. 60-65.

Воронов, П. С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли / П.С. Воронов. – Л.: Наука, 1968. – 122 с.

Воронцов, А. И. Биологические основы защиты леса / А.И. Воронцов. – М.: Высшая школа, 1963. – 324 с.

Воронцов, А. И. Патология леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с.

Воронцова, Л. И. Мультивариантность развития особей в течение онтогенеза и её значение в регуляции численности и состава ценопопуляций растений / Л.И. Воронцова, Л. Б. Заугольнова // Журнал общей биологии. – 1978. – Т. 39, № 4. – С. 555-562.

Воронцов-Вельяминов, Б. А. Очерки о Вселенной / Б.А. Воронцов-Вельяминов. – М.: Наука, 1976. – 720 с.

Воропанов П. В. Определение текущего древесного прироста. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 134 с.

Воропанов, П. В. Относительный прирост как показатель взаимоотношения дерева с окружающей внешней средой / П.В. Воропанов // Тр. Брянского лесохозяйственного ин-та. – 1956. – Т. 7. – С. 49-58.

Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / под ред. О.В. Смирновой. – М.: Наука, 2004. – Кн. 2. – 575 с.

Втюрина, Т. П. Изменение химического состава почвы в колониях грачей и поливидовых ночевок врановых / Т.П. Втюрина // Экология врановых птиц в антропогенных ландшафтах. – Саранск: Мордовский государственный педагогический институт, 2002. – С. 11-19.

Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли / М.Л. Асатуров, М.И. Будыко, К.Я. Винников, П.Я. Гройсман и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 256 с.

Высоцкий, А. А. Корневая губка в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.): проблемы и пути решения / А.А. Высоцкий, О.М. Корчагин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – Вып. 224. – С. 176-192.

Габдрахимов, К. М. Роль лесной подстилки в повышении плодородия почв / К.М. Габдрахимов // Проблемы использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов. Кн. 1. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1989. – С. 38-39.

Гаврицкова, Н. Н. Фитопатология / Н.Н. Гаврицкова. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 236 с.

Галазий, Г. И. Динамика роста древесных пород на берегах Байкала в связи с циклическими изменениями уровня воды в озере / Г.И. Галазий // Геоботанические исследования на Байкале. – М.: Наука, 1967. – С. 44-301.

Галдина, Т. Е. Внутривидовое разнообразие генеративных органов сосны обыкновенной в географических культурах центральной лесостепи / Т.Е. Галдина, К.С. Ситников, М.О. Токорева // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=5689> (дата обращения: 05.01.2021).

Галенко, Э. П. Формирование теплового режима почв хвойных экосистем бореальной зоны в зависимости от лесообразующей породы и типа леса / Э.П. Галенко // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2013. – Вып. 1 (13). – С. 32-37.

Галицкий, В. В. О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе // Моделирование биогеоценологических процессов / В.В. Галицкий. – М.: Наука, 1981. – С. 104-118.

Галицкий, В. В. О моделировании роста растений / В. В. Галицкий, А.С. Комаров // Изв. АН СССР. Сер. биол. – 1979. – № 5. – С. 714-723.

Гарагаш, И. А. Деформационные тектонические волны как возможный триггерный механизм активизации эмиссии метана в Арктике / И.А. Гарагаш, Л.И. Лобковский // Арктика: экология и экономика. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 42-502.

Гарбар, Д. И. Две концепции ротационного происхождения регматической сети / Д.И. Гарбар // Геотектоника. – 1987. – № 1. – С. 107-108.

Гедеонов, А. Д. Изменения температуры воздуха на северном полушарии за 90 лет / А.Д. Гедеонов. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 146 с.

Генетическая изменчивость и дифференциация суходольной и болотной ценопопуляций сосны обыкновенной в Республике Марий Эл / О.В. Шейкина, Ю.П. Демаков, Ю.Ф. Гладков, О.В. Унженина // Науч. журн. Кубанского аграрного ун-та. – 2013. – № 94 (10). – С. 1-12. – URL: <http://kubagro.ru/201/10/pdf/54.pdf>

Геофизические последствия гравитационного воздействия на Землю / Г.Я. Смольков, А.Д. Базаржапов, В.Ф. Петрухин, В.Л. Щепкина // Солнечно-земная физика. – 2013. – Вып. 23. – С. 129-135.

Герман, Д. Р. Солнце, погода, климат / Д.Р. Герман, Р.А. Голдберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 220 с.

Глебов, Ф. З. Влияние климата на динамику радиального прироста в двух типах кедрового леса / Ф. З. Глебов, В. П. Черкашин, Г. Н. Мацулева // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 94-102.

Голиков, А. М. Влияние экологических факторов на наследственную неравноценность диссимметричных форм плюсовых деревьев сосны обыкновенной / А.М. Голиков // Тр. СПБНИИЛХ. Вып. 2 (12). – СПб., 2004. – С. 117-131.

Голиков, А. М. Формы сосны обыкновенной и их селекционное значение в условиях Псковской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01 / А.М. Голиков. – Свердловск, 1985. – 18 с.

Голиков, А. М. Эколого-диссимметричный и изоферментный анализ структуры модельных популяций сосны обыкновенной / А.М. Голиков // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С.46-51.

Голиков, А. М. Эколого-диссимметрический подход в генетике и селекции видов хвойных / А.М. Голиков. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 162 с.

Голубовский, М. Д. Век генетики: эволюция идей и понятий / М.Д. Голубовский. – СПб.: Борей Арт, 2000. – 262 с.

Гордина, Н.П. Пространственная структура и продуктивность сосняков нижнего Енисея / Н.П. Гордина. – Красноярск: ИЛиД, 1985. – 126 с.

Горшенин, Н. М. Закономерности внутривидовых взаимосвязей в чистых молодняках сосны, ели и пихты / Н.М. Горшенин // Ботанический журнал. – 1956. – № 2. – С. 221-229.

Горшков, В. Л. Исследование межгодовых вариаций скорости вращения Земли / В.Л. Горшков // Астрономический вестник. – 2010. – Т. 44, № 6. – С. 519-529.

Горькавый, Н. Н. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли / Н.Н. Горькавый, Ю.А. Трапезников, А. М. Фридман // Доклады АН. – 1994. – Т. 338, № 4. – С. 525-527.

Гофман, П. Б. Количественные закономерности роста животных / П.Г. Гофман // Успехи современной биологии. – 1938. – Т. 9, вып. 1. – С. 39-67.

Гофман-Кадошников, П. Б. Молекулярно-генетическая теория программирования роста и ее значение как метода исследования проблем роста / П.Б. Гофман-Кадошников // Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – С. 189-202.

Грабарник, П. А. Анализ горизонтальной структуры древостоя: модельный подход / П.А. Грабарник // Лесоведение. – 2010. – № 2. – С. 77-85.

Грейбилл, Д. А. Дендрохронологическое изучение загрязнений воздушной среды в хвойных лесах западных районов США / Д.А. Грейбилл // Лесоведение. – 1991. – № 2. – С. 3-15.

Григорьев, А. И. Индикация состояния окружающей среды / А.И. Григорьев. – Омск: Ин-т предпринимательства и права, 2004. – 132 с.

Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.

Гроздов, Б. В. Воротничковая сосна / Б.В. Гроздов // Лесное хозяйство. – 1958. – № 9. – С. 76.

Громцев, А. И. Пожарный режим в спонтанных лесах ландшафтов северо-запада тайги / А.И. Громцев // Экология. – 1993. – № 3. – С. 22-26.

Груза, Г. В. Изменение климатических условий европейской части России / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // Влияние изменения климата на экосистемы. – М.: Российский университет, 2001. – Ч. 1. – С. 9-16.

Гудериан, Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан. – М.: Мир, 1979. – 200 с.

Гутман, А. Л. Базисный возраст и закономерности роста древостоев / А. Л. Гутман, В. В. Успенский // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1991. – № 2. – С. 6-10.

Гутман, А. Л. Модель роста древостоев и ее применение для выравнивания таксационных показателей / А. Л. Гутман, М. А. Гутман // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1986. – № 5. – С. 17-21.

Гущенко, И. И. Извержения вулканов мира / И. И. Гущенко. – М.: Наука, 1979. – 475 с.

Дворецкий, М. Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя / М. Л. Дворецкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 126 с.

Демаков, Ю. П. Влияние азального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1. – С. 66-86.

Демаков, Ю. П. Влияние исходной густоты культур сосны на дифференциацию деревьев и динамику их радиального прироста / Ю. П. Демаков, А. В. Иванов, А. В. Ельмекеева // Современные проблемы учета и рационального использования лесных ресурсов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – С. 34-36.

Демаков, Ю. П. Влияние погодных аномалий 1978 и 1980 годов на состояние древостоя в сосняках сфагновых / Ю. П. Демаков // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 1. – Йошкар-Ола, 2005. С. 151-167.

Демаков, Ю. П. Влияние пылевых выбросов завода силикатного кирпича на годичный прирост деревьев сосны / Ю. П. Демаков, М. И. Майшанова // Экопотенциал. – 2015. – № 2 (10). – С. 25-32.

Демаков, Ю. П. Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов / Ю. П. Демаков // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды. – М.: МГУЛ, 2001. – С. 257-263.

Демаков, Ю. П. Возрастная структура и особенности динамики радиального прироста приозерных сосняков сфагновых заповедника «Большая Кокшага» / Ю. П. Демаков, А. В. Полевщиков. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1997. – 31 с. – (Рукопись деп. в ВИНТИ 28.02.97, № 635-В97).

Демаков, Ю. П. Групповая и индивидуальная изменчивость годичного прироста деревьев по высоте в культурах сосны Марийского Заволжья / Ю. П. Демаков, Т. В. Нуреева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2019. – № 3 (43). – С. 25-45.

Демаков, Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.

Демаков, Ю. П. Динамика радиального прироста деревьев в сосняках лишайниково-мшистых заповедника «Большая Кокшага» / Ю. П. Демаков // Науч-

ные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – С. 143-162.

Демаков, Ю. П. Закономерности динамики прироста деревьев сосны в различных типах леса заповедника / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, М.Г. Сафин // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 7. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. – С. 101-138.

Демаков, Ю. П. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной / Ю.П. Демаков, Т.В. Нуреева // Лесоведение. – 2019. – № 4. – С. 274-285.

Демаков, Ю. П. Закономерности радиального прироста деревьев в приозерных биотопах Национального парка «Марий Чодра» / Ю.П. Демаков, Н.В. Андреев // Эко-потенциал. – 2014. – № 3 (7). – С. 48-58.

Демаков, Ю. П. Закономерности роста деревьев разных поколений в сосняках заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков, Д.А. Тишин, П.Ю. Искандиров // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 9. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. – С. 167-193.

Демаков, Ю. П. Использование тканевых повязок для оценки аэральных поступлений зольных элементов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 48-55.

Демаков, Ю. П. Итоги многолетних наблюдений за дифференциацией деревьев на стационарных объектах ТатЛЮС в сосняках Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, И.А. Козлова // Проблемы использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов Волжско-Камского региона. – Казань: ТатЛЮС, 2004. – С. 109-115.

Демаков, Ю. П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, поврежденных пожарами / Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола, МарГТУ, 2003. – 136 с.

Демаков, Ю. П. Особенности радиального прироста деревьев в климаксовых сосняках сфагновых Марийского Полесья / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, Д.В. Тишин // Дендрозкология и лесоведение. – Красноярск: ИЛИД СО РАН, 2007. – С. 40-42.

Демаков, Ю. П. Особенности роста деревьев сосны и ели в смешанных естественных древостоях Ботанического сада МарГТУ / Ю.П. Демаков, Е.А. Медведкова // Интродукция растений: теоретические, методические и прикладные проблемы. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 156-165.

Демаков, Ю. П. Производительность хвой и камбия среднего дерева в культурах сосны разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т. В.Нуреева // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: международный сборник научных статей / отв. ред. проф. Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 75-81. – URL: <https://inter.volgatech.net/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/forest-ecosystems-in-a-changing-climate/>

Демаков, Ю. П. Пространственное изменение температуры почвы в суходольных и пойменных биогеоценозах / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные

труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 39-47.

Демаков, Ю. П. Пространственное распределение и взаимовлияние деревьев в чистых сосновых древостоях / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, И.Н. Нехаев // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – С. 93-102. – URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html>

Демаков, Ю. П. Результаты многолетних опытов по созданию и выращиванию культур сосны обыкновенной в Республике Марий Эл – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. – 242 с.

Демаков, Ю. П. Роль лесной подстилки в борах Марийского Заволжья и вариабельность ее параметров / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Р.Н. Шарафутдинов // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 15-43.

Демаков, Ю. П. Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, С. М. Швецов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. – 276 с.

Демаков, Ю. П. Состояние пойменных насаждений Марий Эл и биологическая устойчивость слагающих их пород / Ю.П. Демаков, А.Ф. Агафонов, Е.К. Кудрявцев, А.В. Иванов // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. – М.: ВНИИЛМ, 1992. – С. 58-72.

Демаков, Ю. П. Структура и закономерности развития древостоев в пойменных лесах Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 6. – С. 111-125.

Демаков, Ю. П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – 432 с.

Демаков, Ю. П. Факторы динамики годичного прироста в высоту сосновых древостоев Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.В. Иванов, М.Г. Сафин // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – С. 66-76.

Демаков, Ю. П. Характер освоения деревьями жизненного пространства в пойменных биогеоценозах / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, И.Н. Нехаев // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 6. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – С. 163-184.

Демитрова, И. П. Влияние гелиофизических, климатических и биологических факторов на радиальный прирост ели в условиях Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук / И.П. Демитрова. – Казань, 2000. – 22 с.

Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях / под ред. В.А. Липаткина, Д.Е. Румянцева. – М.: МГУЛ, 2007. – 137 с.

Денисов, А. К. Лесные пожары в лесном Среднем Заволжье в 1921 и 1972 гг. и их уроки / А.К. Денисов // Горение и пожары в лесу: материалы I Всесоюз.

науч.-техн. совещ. Ч. III: Лесные пожары и их последствия. – Красноярск: ИЛиД, 1979. – С. 16-26.

Денисов, А. К. Пойменные дубравы лесной зоны / А.К. Денисов. – М.: Гослесбумиздат, 1954. – 84 с.

Десяткин, Р. В. Температурный режим мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии / Р.В. Десяткин, А.Р. Десяткин, П.П. Федоров // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI, № 2. – С. 70-78.

Джансеитов, К. К. Конкуренция и периодичность процесса естественного изреживания леса / К. К. Джансеитов, В. В. Кузьмичев, Ю. В. Кибардин // Лесоведение. – 1976. – № 4. – С. 3-8.

Дзюба, А. В. Механизм формирования многолетненаправленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях / А.В. Дзюба, Г.Н. Панин // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 5. – С. 5-27.

Динамика Кр-индекса геомагнитной активности для семи солнечных циклов (в период 1932-2014 гг.). Сезонные вариации / И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.В. Кожухов, Ю.С. Павлов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – Т. 167, № 6. – С. 48-56.

Динамика солнечной и геомагнитной активности. I. Источники геомагнитной активности, корональная массэжекция, высокоскоростные потоки солнечного ветра / И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.В. Кожухов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – Т. 170, № 3. – С. 13-27.

Динамика солнечной и геомагнитной активности. II. Периодические вариации солнечной и геомагнитной активности / И.П. Безродных, Е.И. Морозова, А.А. Петрукович, М.В. Кожухов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – М.: Корпорация «ВНИИЭМ», 2019. – Т. 171, № 4. – С. 24-38.

Дирксен, О. В. Хронология, динамика формирования и морфология эруптивных центров голоценового этапа ареального вулканизма бассейна р. Авача (Камчатка, Россия) / О.В. Дирксен, И. В. Мелекесцев // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 1. – С. 3-19.

Дмитриев, А. А. О влиянии некоторых метеорных потоков на осадки Европейской территории СССР / А.А. Дмитриев, Г.И. Кузменко // Тр. Университета Дружбы Народов им. П. Лумумбы. – 1965. – Т. 12, вып. 2: Физика. – С. 186-204.

Долгова, Е. А. Связь с засушливостью ширины кольца ранней и поздней древесины и оптической плотности колец сосны (на примере Калужской области) / Е.А. Долгова // Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. – СПб.: Нестор-История, 2017. – С. 208-222.

Долголиков, В. И. Встречаемость и продуктивность различных форм сосны и ели в Ленинградской области / В.И. Долголиков, Р.Ф. Осьминина // Восстановление леса на северо-западе РСФСР. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1978. – С. 111-116.

Доманский, А. В. Кинематика и сейсмичность Земли / А.В. Доманский, Б.В. Левин. – Владивосток: Дальнаука, 2017. – 75 с.

Драгавцев, В. А. К проблеме онтогенетической изменчивости генетико-статистических параметров в растительных популяциях / В.А. Драгавцев, Н.В. Утелишева // Генетика. – 1975. – Т. 11, № 11. – С. 128-140.

Драгавцев, В. А. Новый метод эколого-генетического анализа полигенных количественных признаков растений / В.А. Драгавцев. – СПб: ВИР, 2005. – 51 с.

Драгавцев, В. А. О распределении генетических отклонений статистических элементарных признаков в растительных популяциях / В.А. Драгавцев, В.Н. Нечипоренко // Генетика. – 1972. – Т. 8, № 6. – С. 124-147.

Драгавцев, В. А. Уроки эволюции генетики растений / В.А. Драгавцев // Биосфера. – 2012. – Т. 4, № 3. – С. 251-262.

Драгавцев, В. А. Эколого-генетическая организация полигенных признаков растений и теория селекционных индексов / В.А. Драгавцев // Молекулярная и прикладная генетика. – 2009. – Т. 9. – С. 7-13.

Драгавцев, В. А. Эколого-генетический анализ линейного прироста сосны обыкновенной в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. / В.А. Драгавцев, Л.А. Лаврова, Л.Г. Плеханова // Генетика. – 1976. – Т. 12, № 1. – С. 127-138.

Драгавцев, В. А. Экспрессная оценка адаптивных приростов отдельных моноподиальных хвойных деревьев в естественных популяциях / В. А. Драгавцев // Принципы и способы сохранения биологического разнообразия. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2019. – С. 5-8.

Дракин, В. Н. Новая формула хода роста древостоев по высоте и диаметру и ее применение к исследованию зависимости между высотой и диаметром / В.Н. Дракин, Д.И. Вуевский // Записки Белорус. лесотехн. ин-та. – Минск, 1940. – С. 3-37.

Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

Дроздов, О. В. Влагооборот в атмосфере / О.В. Дроздов, А.С. Григорьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 316 с.

Дроздов, О. В. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР / / О.В. Дроздов, А.С. Григорьева. – Л.: Гидрометеиздат. 1971. – 316 с.

Дружинин, И. П. Переломы хода природных процессов на Земле и резкие изменения солнечной активности / И.П. Дружинин // Ритмы и цикличность в природе. Вопросы географии. Вып. 79. – М.: Мысль, 1970. – С. 15-50.

Дударев, А. Д. Итоги 30-летних лесоводственно-таксационных наблюдений на постоянных пробных площадях в Брянском опытном лесничестве / А.Д. Дударев // Науч. тр. Воронежского ЛТИ. – Воронеж, 1956. – Т. XV. – С. 121-128.

Дьяков, А. Б. Конкурентоспособность растений в связи с селекцией. Новый принцип анализа дисперсии продуктивности / А.Б. Дьяков, В.А. Драгавцев, А.Г. Бехтер // Теория отбора в популяциях растений. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 237-251.

Дьяконов, К. Н. Астрогеография природных аномалий / К.Н. Дьяконов, А.Ю. Ретеюм // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2016. – № 6. – С. 108–115. – DOI:10.15356/0373-2444-2016-6-108-115

Дьяконов, К. Н. Геофизические факторы динамики радиального прироста деревьев в ландшафтах Западно-Сибирской равнины и Приэльбрусья / К.Н. Дьяконов, Ю.Н. Бочкарев // Вестник Московского ун-та. Сер. 5: География. – 2010. – № 4. – С. 3-9.

Дьяконов, К. Н. Земной отклик на движение внешних планет по данным дендроиндикации / К.Н. Дьяконов, А.Ю. Ретеюм // Изв. Русского географического общества. – 2013. – Т. 145, № 5. – С. 10-19.

Егоров, М. Н. Фенотипическая структура естественного древостоя сосны обыкновенной в Центральном Черноземье (Усманский бор) / М.Н. Егоров // ИВУЗ. Лесной журнал. – 2006. – № 4. – С. 30-36.

Елисеев, А. В. Влияние вулканической активности на изменение климата нескольких веков: оценки с климатической моделью промежуточной сложности / А. В. Елисеев, И. И. Мохов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 44, № 6. – С. 723-736.

Ермаков, В. Е. Детерминированная модель чистого соснового древостоя / В.Е. Ермаков, В.Д. Севастьянов // ИВУЗ: Лесной журнал – 1978. – № 6. – С. 11-14.

Ермаков, В. И. Влияние космических лучей и космической пыли на атмосферу и климат Земли / В.И. Ермаков, В.П. Охлопков, Ю.И. Стожков // Известия РАН. Сер. Физическая. – 2009. – Т. 73, № 3. – С. 434-436.

Ефимов, Ю. П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны обыкновенной / Ю.П. Ефимов. – Воронеж: Истоки, 2010. – 253 с.

Ефимова, Н. А. Зависимость изменения прямой солнечной радиации от вулканической деятельности / Н.А. Ефимова // Труды ГГТИ. – 1979. – Вып. 257. – С. 24–33.

Жеребцов, Г. А. Основные физические процессы в атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX веке, их связь с солнечной активностью / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых // Солнечно-земная физика. – 2011. – Вып. 18. – С. 40-50.

Жилкин, Б. Д. Классификация деревьев по продуктивности / Б.Д. Жилкин. – М.: Лесная пром-сть, 1965. – 109 с.

Жирмунский, А. В. Критические уровни в развитии природных систем / А.В. Жирмунский, В.И. Кузьмин. – Л.: Наука, 1990. – 223 с.

Завадский, К. М. Вид и видообразование / К.М. Завадский. – Л.: Наука, 1968. – 404 с.

Загреев, В. В. Древесный отпад: величина, товарная структура, использование / В.В. Загреев, С.Г. Синицын // Лесное хозяйство. – 1988. – № 11. – С. 33-37.

Зайцев, Г. Н. Математический анализ биологических данных / Г.Н. Зайцев. – М.: Высшая школа, 1991. – 182 с.

Закономерности климатических изменений в XX веке и основные физические процессы, ответственные за эти изменения / Г.А. Жеребцов, В.А. Коваленко, С.И. Молодых, О.А. Рубцова // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 87-108.

Захаренко, К. А. О влиянии колониального поселения озерных чаек на особенности химического состава почв в условиях Владимирского ополья /

К.А. Захаренко, В. В. Романов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6 (110). – С. 147-152.

Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

Звягинцев, Д. Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: Наука, 1986. – 256 с.

Зейде, Б. Б. О математической природе процесса старения деревьев / Б.Б. Зейде // Дендроклиматохронология и радиоуглерод. – Каунас: АН Литовской ССР, 1972. – С. 169-174.

Зейде, Б. Б. Уравнения роста деревьев / Б.Б. Зейде // Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – С. 82-86.

Золотухин, А. И. Пойменные леса Прихоперья: состояние, эколого-ценотическая структура, биоразнообразие / А.И. Золотухин, А.А. Овчаренко. – Балашов: Изд-во «Николаев», 2007. – 152 с.

Зотин, А. И. Количественные теории роста (история, современное состояние и перспективы) / А.И. Зотин // Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – С. 267-272.

Зотин, А. И. Феноменологическая теория развития, роста и старения организмов / А. И. Зотин, Р. С. Зотина. – М.: Наука, 1993. – 240 с.

Зотина, Р. С. Объединенные уравнения роста / Р.С. Зотина, А.И. Зотин // Журнал общей биологии – 1973. – Т. 34, вып. 4. – С. 606-616.

Зубаков, В. А. Глобальные климатические события плейстоцена / В.А. Зубаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 287 с.

Зуев, В. В. Глобальный круговорот углерода в период усиления УФ-В радиации при вулканогенных возмущениях озоносферы / В.В. Зуев // Journ. of Siberian Federal University. Biology 4. – 2008. – № 1. – Рр. 358-369.

Зуев, В. В. Исследования озоносферы методами дендрохронологии / В.В. Зуев, С.Л. Бондаренко. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2007. – 160 с.

Иваненко, Д. Д. Деформация Земли и современная теория гравитации / Д.Д. Иваненко, Б. Н. Фролов // Проблемы расширения и пульсации Земли. – М.: Наука, 1984. – С. 93-97.

Иванов, А. И. Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной / А.И. Иванов, А.И. Дубинин // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С. 28-37.

Иванов, А. М. Изучение морфологической изменчивости шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Костромской области / А.М. Иванов // Лесной вестник. – 2011. – № 4. – С. 192-195.

Ивлев, Л. С. Гетерогенные процессы роста аэрозолей верхней тропосферы и стратосферы / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2015. – № 577. – С. 65-105.

Ивлев, Л. С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 1999. – 193 с.

Изменение глобального климата. Роль антропогенных воздействий / Ю.А. Израэль, Г.В. Груза, В.М. Катцов, В.П. Мелешко // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 5. – С. 5-21.

Изменения климата на западе европейской части России в позднем голоцене / В.В. Клименко, В. А. Климанов, А. А. Сирин, А. М. Слепцов // Доклады РАН. – 2001. Т. 376, № 5. – С. 679–683.

Изменчивость осадков, температуры и солнечная активность / А.А. Дмитриев, Ю.А. Скляров, А.В. Шабельников и др. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1990. – 112 с.

Израэль, Ю. А. Роль стратосферного аэрозоля в сохранении современного климата / Ю.А. Израэль, И.И. Борзенкова, Д.А. Северов // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 1. – С. 5–14.

Иноземцев, А. А. Роль насекомоядных птиц в лесных биогеоценозах / А.А. Иноземцев. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 264 с.

Инсаров, Г. Э. Ступенчатая модель роста и развития организмов / Г.Э. Инсаров // Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – С. 114-121.

Ипатов, В. С. Дифференциация древостоя / В.С. Ипатов // Вестник ЛГУ. Биология. – 1968. – Вып. 4, № 31. – С. 59-68.

Ирошников, А. И. Географические культуры хвойных в южной Сибири / А.И. Ирошников // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 4-110.

Ирошников, А. И. О генотипическом составе популяций сосны обыкновенной в юго-восточной части ее ареала / А.И. Ирошников // Селекция хвойных пород Сибири. – Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. – С. 76-95.

Исаев, А. В. Развитие фитоценозов в пойме среднего течения реки Большая Кокшага / А.В. Исаев, Ю.П. Демаков // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – С. 311-339.

Исаев, А. В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага»): монография / А.В. Исаев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. – 240 с.

Казимиров, Н. И. Экологическая продуктивность сосновых лесов: математическая модель / Н.И. Казимиров. – Петрозаводск, 1995. – 132 с.

Кайбияйнен, Л. К. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. I. Пути движения влаги в ксилеме / Л.К. Кайбияйнен, П. Хари // Лесоведение. – 1985. – № 5. – С. 23-28.

Канатьев, А. Г. Воздействие солнечных и межпланетных факторов на климат Севера России / А.Г. Канатьев, Е.А. Касаткина, О.И. Шумилов // Труды Кольского научного центра РАН. Гелиогеофизика. – 2016. – Т. 4, № 2. – С. 45-54.

Кан-Ихи-Сакай. Конкурентоспособность растений, ее наследуемость и некоторые связанные с ней проблемы / Кан-Ихи-Сакай // Механизмы биологической конкуренции. – М.: Мир, 1964. – С. 309-331.

Карев, Г. П. Математические модели изреживания древостоев / Г.П. Карев, Ю.И. Скоморовский // Лесоведение. – 1997. – № 4. – С. 14-20.

Карев, Г. П. Модель роста однопородных древостоев / Г.П. Карев, Ю.И. Скоморовский // Лесоведение. – 1998. – № 6. – С. 71-79.

Карев, Г. П. Структурные модели и динамика древесных популяций: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Г.П. Карев. – Красноярск, 1994. – 54 с.

Карманова, И. В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений / И.В. Карманова. – М.: Наука, 1976. – 223 с.

Карпавичюс, И. А. Связь изменчивости радиального прироста сосны обыкновенной с морфологическими признаками / И.А. Карпавичюс // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 86-90.

Карпачевский, Л. О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе / Л.О. Карпачевский. – М.: МГУ, 1977. – 312 с.

Кац, Я. Г. Основы линейной тектоники / Я.Г. Кац, А.И. Полетаев, Э.Ф. Румянцева. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

Кивисте, А. К. Функции роста леса / А.К. Кивисте. – Тарту: Эстонская сельскохозяйственная академия, 1988. – 171 с.

Кисилев, В. В. Неравномерность суточного вращения Земли / В.В. Кисилев. – Новосибирск: Наука, 1980. – 158 с.

Кишенков, Ф. В. Моделирование роста и производительности высокопродуктивных сосняков Брянского массива / Ф.В. Кишенков, И.С. Глушенков // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1983. – № 3. – С. 26-30.

Клинецов, А. П. Температурный режим почвы каменно-березовых лесов Центрального Сахалина / А.П. Клинецов // Лесоведение. – 1988. – № 6. – С. 11-17.

Ключюс, А. Метод выделения гомогенных групп деревьев для изучения и прогноза вероятности их отпада / А. Ключюс // Мониторинг лесных экосистем. – Каунас: ЛитСХА, 1986. – С. 325-327.

Коваленко, В. А. Солнечный ветер / В.А. Коваленко. – М: Наука, 1983. – 272 с.

Козлов В. И. Аритмия Солнца ... или «фазовая катастрофа»? / В.И. Козлов // Наука и техника в Якутии. – 2018. – № 2 (35). – С. 56-62.

Козлов, В. И. Грядет ли сбой 11-летнего солнечного цикла / В.И. Козлов // Наука и техника в Якутии. – 2006. – №1 (10). – С. 11-14.

Козубов, Г. М. Внутривидовое разнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Карелии и на Кольском полуострове: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Г.М. Козубов. – Л.: ЛГУ, 1962. – 20 с.

Козубов, Г. М. О краснопыльниковой форме сосны обыкновенной / Г.М. Козубов // Ботанический журнал. – 1962. – Т. 47, № 2. – С. 276-283.

Кокоуров, В. Д. Особенности солнечно-земных связей в 1900–2000 гг. / В.Д. Кокоуров // Солнечно-земная физика. – 2005. – Вып. 7. – С. 76-82.

Колесников, Б. П. Обыкновенная сосна (*Pinus sylvestris* L.) на юго-восточной границе своего ареала / Б.П. Колесников // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1945. – Т. 50, № 5-6. – С. 112-125.

Колобов, Н. В. Климат Среднего Поволжья / Н.В. Колобов. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1968. – 252 с.

Комин, Г. Е. Изменение рангов деревьев по диаметру в древостое / Г.Е. Комин // Труды ин-та экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – Екатеринбург: УФ АН СССР, 1970. – Вып. 67. – С. 252-262.

Комин, Г. Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов / Г.Е. Комин // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 3-11.

Комин, Г. Е. Цикл Брикнера в динамике прироста деревьев / Г.Е. Комин // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 21-27.

Комин, Г. Е. Цикличность в динамике прироста деревьев и древостоев сосны таежной зоны Западной Сибири / Г.Е. Комин // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. – 1970. – Вып. 3, № 15. – С. 36-44.

Кондратьев, К. Я. Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.В. Поздняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 224 с.

Кондратьев, К. Я. Глобальный климат и его изменения / К.Я. Кондратьев. – Л.: Наука, 1987. – 232 с.

Кондратьев, К. Я. Свойства, процессы образования и последствия воздействий атмосферного аэрозоля: от нано- до глобальных масштабов / К.Я. Кондратьев, Л.С. Ивлев, В.Ф. Крапивин. – СПб.: ВВМ, 2007. – 858 с.

Кондратьев, К. Я. Солнечная активность и климат / К.Я. Кондратьев, Г.А. Никольский // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 243, № 3. – С. 607-610.

Кондратьев, К. Я. Стратосфера и климат // Итоги науки и техники. Сер.: Метеорология и климатология. Т. 6. / К.Я. Кондратьев. – М.: ВИНТИ, 1981. – 222 с.

Коновалов, Н. А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Н.А. Коновалов, Е.А. Пугач. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 168 с.

Кононенко, А. В. Гидротермический режим таежных и притундровых почв европейского Северо-Востока / А.В. Кононенко. – Л.: Наука, 1986. – 144 с.

Коноплев, В. А. Нелинейное феноменологическое уравнение роста, основанное на стохастических представлениях / В.А. Коноплев, А. И. Зотин // Количественные аспекты роста организмов. – М.: Наука, 1975. – С. 233-235.

Конюхов, Н. И. Космические энергии и человечество: графики для размышлений / Н.И. Конюхов. – М.: Бирюч, Научный центр «Бэмком», 2017. – 508 с.

Корзухин, М. Д. Синэкология леса / М.Д. Корзухин, Ф.Н. Семевский. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 192 с.

Костин, С. И. Засухи на Русской равнине за последнее тысячелетие / С.И. Костин // Труды ВГО. – 1975. – Вып. 330. – С. 69-79.

Костин, С. И. Колебания климата в центральной лесостепи Русской равнины / С.И. Костин // Науч. зап. Воронежского лесотехнического института. – Воронеж: ВЛТИ, 1960. – Т. 21. – С. 62-70.

Костин, С. И. Циклы солнечной активности и их влияние на прирост деревьев / С.И. Костин // Журнал общей биологии. – 1974. – Т. 35, вып.2. – С. 270-275.

Кострикин, В. А. Возможности использования дендрохронологических методов при изучении внутривидовой изменчивости древесных растений / В.А. Кострикин, В. Т. Рыжкова // Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 2002. – С. 99-107.

Котляков, В. М. Глобальные изменения климата: антропогенное влияние или естественные вариации? / В.М. Котляков // Экология и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 44-47.

Котляков, В. М. Гляциология Антарктиды. Книга 1 / В.М. Котляков. – М.: Наука, 2000. – 431 с.

Котов, В. А. О возможной космической природе 11-летнего солнечного цикла / В.А. Котов, Ф.М. Саншез, К. Бизуар // Изв. Крымской астрофизической обсерватории. – 2012. – Т. 108, № 1. – С. 57-70.

Котов, М. М. Засухоустойчивость и быстрота роста сосны в Среднем Поволжье / М.М. Котов // Лесное хозяйство. – 1981. – № 2. – С. 46-49.

Котов, М. М. Изменчивость сосны обыкновенной по адаптивным признакам в связи с условиями произрастания / М.М. Котов // Лесоведение. – 1997. – № 3. – С. 55-60.

Котов, М. М. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сосны обыкновенной / М.М. Котов, Л.А. Забиякина, Г.И. Полушина // Изв. АН СССР. Серия Биологическая. – 1981. – № 2. – С. 266-275.

Кофман, Г. Б. Рост и форма деревьев / Г.Б. Кофман. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.

Крафт, Г. В. Подлинное и обстоятельное описание построенного в Санкт-Петербурге в 1740 г. Ледяного дома и всех, находившихся в нем, домовых вещей и уборов, с приложенными при том гридированными фигурами, также и о бывшей во всей Европе жестокой стуже, сочиненное для охотников до натуральной науки / Г.В. Крафт. – СПб., 1741. – URL: http://memoirs.ru/texts/Kraft_1741.htm

Кремер, А. М. Неоднородности почвенного покрова как самоорганизующейся системы / А.М. Кремер // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – М.: Наука, 1970. – С. 68-80.

Кривенко, В. Г. Концепция природной циклики и некоторые задачи хозяйственных стратегий России / В.Г. Кривенко // Аграрная Россия. – 2005. – № 6. – С. 41-47.

Криволуцкий, А. А. Воздействие космических энергичных частиц на атмосферу Земли (обзор) / А. А. Криволуцкий, А. И. Репнев // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2012. – Т. 52, № 6. – С. 723-754.

Кропоткин, П. Н. Вариации угловой скорости вращения Земли, колебания полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами / П.Н. Кропоткин, Ю. А. Трапезников // Известия АН СССР. Сер.: Геология – 1963. – № 14. – С. 32-50.

Крымский, Г. Ф. Космические лучи и погода / Г.Ф. Крымский // Наука и техника в Якутии. – 2005. – № 1 (8). – С. 3-6.

Кудрявцев, И. В. Вариация прозрачности атмосферы под действием галактических космических лучей как возможная причина их влияния на формирование облачности / И.В. Кудрявцев, Х. Юнгнер // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2011. – Т. 51, № 5. – С. 668-676.

Кудрявцев, И. В. К вопросу о связи аномалий облачного покрова Земли на различных высотах и вариаций интенсивности космических лучей / И.В. Кудрявцев, Х. Юнгнер // Солнечно-земная физика. – 2008. – Т. 2, вып. 12. – С. 301-304.

Кузьмина, Н. А. Дифференциации сосны обыкновенной по росту и выживаемости в географических культурах Приангарья / Н. А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин, Л. И. Милютин // Хвойные бореальной зоны. – 2004. – Т. XXI, № 2. – С. 48-56.

Кузьмина, Н. А. Изменчивость генеративных органов сосны обыкновенной в Приангарье / Н.А. Кузьмина // Селекция хвойных пород Сибири. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1978. – С. 96-120.

Кузьмина, Н. А. Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском Приангарье / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. XXVI, № 1-2. – С. 115-118.

Кузьмина, Н. А. Селекция сосны обыкновенной по устойчивости к грибным патогенам в географических культурах / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Т. XXV, № 1. – С. 76-81.

Кузьмина, Н. А. Устойчивость сосны обыкновенной разного происхождения к грибным патогенам в географических культурах Приангарья / Н.А. Кузьмина, С.Р. Кузьмин // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIII, № 4-5. – С. 454-461.

Кузьмичев, В. В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 208 с.

Кузьмичев, В. В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.

Кулагин, Ю. З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 124 с.

Кулаков, Д. В. Влияние птиц на среду обитания / Д.В. Кулаков, А. В. Крылов // Природа. – 2018. – № 5 (1233). – С. 22-31.

Кулькова, Л. В. Сезонная динамика температуры почв лесных и открытых биотопов заповедника «Басеги» / Л.В. Кулькова, Н.Г. Шавалиева // Вестник Пермского университета. – 2011. – Вып. 3-4. – С. 45-49.

Курдиани, С. З. Деление *Pinus sylvestris* на расы / С.З. Курдиани // Лесопромышленный вестник. – 1908. – № 26. – С. 237-240.

Курнаев, С. Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1973. – 201 с.

Кутявин, И. Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность / И.Н. Кутявин. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – 176 с.

Кучеров, С. Е. Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината / С.Е. Кучеров, А.А. Мулдашев // Лесоведение. – 2003. – № 2. – С. 43-49.

Лазарев, П. П. Современные проблемы биофизики / П.П. Лазарев. – М.-Л.: АН СССР, 1945. – 428 с.

Лайранд, Н. И. Некоторые аспекты воздействия цементной пыли на древесные растения / Н.И. Лайранд // Охрана окружающей среды от загрязнения промышленными выбросами в ЦБП. – Л., 1978. – С. 210-215.

Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

- Лархер В.* Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 284 с.
- Лебединец, В. Н.* Модель аэрозольной составляющей термосферы и экзосферы / В.Н. Лебединец // Труды Ин-та экспериментальной метеорологии. – 1976. – Вып. 4 (61). – С. 46-84.
- Леви, Г. К.* Малый ледниковый период. Часть 3: Природно-климатические, геоэкологические и социально-экономические аспекты / Г.К. Леви // Изв. Иркутского государственного университета. Сер.: Геоархеология. Этнология. Антропология. – 2014. – Т. 10. – С. 2-26.
- Левин, Б. В.* Динамика сейсмической активности Земли за 120 лет / Б.В. Левин, Е. В. Сасорова // Доклады АН. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 82-87.
- Левин, Б. В.* О влиянии скорости вращения Земли на глобальную сейсмичность (по материалам наблюдений с 1720 по 2016 г.) / Б.В. Левин, Е. В. Сасорова // Геосистемы переходных зон. – 2017. – № 3 (3). – С. 3-20.
- Левин, Б. В.* О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности / Б.В. Левин, Е. В. Сасорова // Доклады АН. – 2015. – Т. 464, № 3. – С. 351-355.
- Леонов, Е. А.* Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз / Е.А. Леонов. – СПб.: Алетея, Наука, 2010. – 352 с.
- Леопольд, А. К.* Рост и развитие растений / А.К. Леопольд. – М.: Мир, 1968. – 494 с.
- Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука / П. Лескинен, М. Линднер, П.Й. Веркерк, Г.Я. Набуурс, Ван Брусселен и др. – Европейский институт леса, 2020. – 140 с. – URL: <https://doi.org/10.36333/wsctu11>
- Лигачев, И. Н.* Изменчивость морфологических признаков и биоэкологических свойств сосны обыкновенной в Бурятской АССР / И.Н. Лигачев // Леса и лесное хозяйство Бурятской АССР: Труды Ин-та леса и древесины. Т. 54. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 187-222.
- Линеаменты, планетарная трещиноватость и регматическая сеть: суть явлений и терминология / Н. В. Короновский, Г. В. Брянцева, М. А. Гончаров, А. А. Наймарк, А. В. Копаев // Геотектоника. – 2014. – № 2. – С. 75-88.
- Листов, А. А.* Динамика годовичного линейного прироста побегов и хвои у подростка сосны в лишайниковых борах Печерского Заполярья / А.А. Листов // Лесоведение. – 1979. – № 2. – С. 23-33.
- Литвак, П. В.* Многолетние наблюдения за температурой почвы в сосновых насаждениях Полесья УССР / П.В. Литвак // Лесоведение. – 1970. – № 6. – С. 63-69.
- Лобковский, Л. И.* Возможный сейсмогенно-триггерный механизм резкой активизации эмиссии метана и потепления климата в Арктике / Л.И. Лобковский // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 3 (39). – С. 62-72.
- Лобковский, Л. И.* Сейсмогенно-триггерная гипотеза усиления эмиссии метана и изменения климата в Арктике / Л.И. Лобковский // Земля и Вселенная. – 2020. – № 6. – С. 27-36.
- Лобковский, Л. И.* Сейсмогенно-триггерный механизм активизации эмиссии метана в Арктике как возможный фактор потепления климата / Л.И. Лобковский // Арктические ведомости. – 2020. – № 2 (30). – С. 28-35.

Ловелиус, Н. В. Изменчивость прироста деревьев (дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий) / Н.В. Ловелиус. – Л.: Наука, 1979. – 230 с.

Ловелиус, Н. В. Новейшая смена солнечно-планетных циклов по данным с Таймырского Севера / Н.В. Ловелиус, А.Ю. Ретеюм // Общество. Среда. Развитие. – 2017. – № 3 (44). – С. 79-85.

Ловелиус, Н. В. Отклик Арктики на вспышки сверхновых звезд / Н.В. Ловелиус, А.Ю. Ретеюм // Общество. Среда. Развитие. – 2019. – № 1. – С. 97-100.

Ловелиус, Н. В. Циклы солнечной системы в Арктике / Н.В. Ловелиус, А.Ю. Ретеюм // Общество. Среда. Развитие. – 2018. – № 1. – С. 128-130.

Логинов, В. Ф. Вулканические извержения и климат / В.Ф. Логинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 64 с.

Логинов, В. Ф. Изменчивость прямой солнечной радиации и температуры в Северном полушарии в связи с вулканическими извержениями / В.Ф. Логинов, З.И. Пивоварова, Е.Г. Кравчук // Изв. ВГО. – 1983. – Вып. 5. – С. 401-411.

Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: Наука и техника, 1992. – 319 с.

Логинов, В. Ф. Связь вулканических извержений с изменением климата / В.Ф. Логинов, Е.Г. Кравчук // Дендрология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 122-126.

Лунгерсгаузен, Г. Ф. О периодичности геологических явлений и изменении климатов прошлых геологических эпох / Г.Ф. Лунгерсгаузен // Проблемы планетарной геологии. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 7-49.

Лысенков, Е. В. Среодообразующая роль врановых в антропогенных ландшафтах / Е.В. Лысенков // Русский орнитологический журн. – 2016. – Т. 25, № 1371. – С. 4643-4647.

Ляпунов, А. А. О математическом моделировании в проблеме «Человек и биосфера» / А.А. Ляпунов // Моделирование биогеоценотических процессов. – М.: Наука, 1981. – С. 5-29.

Мазепа, В. С. Использование спектрального представления и линейной фильтрации стационарных последовательностей при анализе цикличности в дендрохронологических рядах / В.С. Мазепа // Дендрохронология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 49-68.

Мазуркин, П. М. Биотехническое проектирование (справочно-методическое пособие) / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола, 1994. – 348 с.

Макарычев, С. В. Сезонная динамика запасов тепла в дерново-подзолистых почвах ленточных боров / С.В. Макарычев, В.И. Пастухов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (102). – С. 24-27.

Макарычев, С. В. Формирование гидротермического режима почвы под древесными породами в условиях дендрария / С.В. Макарычев, Л.В. Лебедева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5 (139). – С. 44-49.

Максимов, А. А. Исследование смен фаз увлажненности территории лесостепной зоны Западной Сибири в 11-летних циклах / А.А. Максимов // Природ-

ные циклы Барабы и их хозяйственное значение. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 6-24.

Максимов, А. А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз / А.А. Максимов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 250 с.

Максимов, А. А. Структура и динамика биоценозов речных долин / А.А. Максимов. – Новосибирск: Наука, 1974. – 260 с.

Максимов, А. А. Циклические процессы в сообществах животных (биоритмы, сукцессии) / А.А. Максимов, Л.Н. Ердаков. – Новосибирск: Наука, 1985. – 237 с.

Максимов, В. М. Изменчивость сосны обыкновенной по биосинтезу монотерпенов в условиях Центральной лесостепи / В.М. Максимов. – Воронеж: ВГЛТА, 2001. – 150 с.

Максимов, В. М. К фенотипическому анализу структуры популяций сосны обыкновенной в ЦЧО по составу эфирных масел / В.М. Максимов, И.В. Кошовский // Фенетика природных популяций. – М., 1990. – С. 175-176.

Максимов, В. М. Популяционная структура *Pinus sylvestris* L. (Pinaceae) по составу монотерпенов в Среднерусской лесостепи: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / В.М. Максимов. – Воронеж, 2004. – 47 с.

Максимов, С. А. Количественное определение селекционной ценности климатипов сосны обыкновенной на примере географических культур Казахстана / С.А. Максимов, В. Н. Марущак // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 9 (75). – С. 120-125.

Мамаев, С. А. Закономерности внутривидовой изменчивости семейства Pinaceae на Урале: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / С.А. Мамаев. – Свердловск, 1970. – 56 с.

Мамаев, С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С.А. Мамаев, П.Л. Горчаковский. – М.: Наука, 1972. – 284 с.

Мамаев, С. А. Формы внутривидовой изменчивости растений / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1972. – 283 с.

Манк, У. Вращение Земли / У. Манк, Г. Макдональд. – М.: Мир, 1964. – 384 с.

Манцевич, Е. Д. К вопросу о почвенных экотипах сосны обыкновенной / Е.Д. Манцевич, А.П. Мухуров // Лесоведение и лесное хозяйство. – Минск: Вышэйшая школа, 1970. – Вып. 3. – С. 94-100.

Манько, Ю. И. Влияние вулканизма на растительность / Ю.И. Манько, А.Н. Сидельников. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. – 161 с.

Мартынов, А. Н. Влияние метеорологических факторов на годичный прирост по высоте ели и сосны в Ленинградской области / А.Н. Мартынов // Экология. – 1978. – № 6. – С. 74-76.

Мартынов, Д. Я. Курс общей астрофизики / Д.Я. Мартынов. – М.: Наука, 1998. – 640 с.

Мартынюк, А. А. Влияние промышленных выбросов на рост и производительность сосновых древостоев / А.А. Мартынюк, Н.И. Данилов // Лесное хозяйство. – 1989. – № 4. – С. 17-19.

Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А.А. Мартынюк. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 160 с.

Мархинин, Е. К. О количестве ювенильной воды, участвующей в вулканических взрывах / Е.К. Мархинин // Доклады АН СССР. – 1958. – Т. 119, № 3. – С. 537-539.

Маслаков, Е. Л. Внутривидовая изменчивость по хемотипическим признакам и популяционная структура сосны обыкновенной в Ленинградской области / Е.Л. Маслаков // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. – Тула: Гриф и К°, 2001. – С. 150-152.

Маслаков, Е. Л. Формы сосны и их хозяйственное значение / Е.Л. Маслаков, А.М. Голиков, А.И. Толстопятенко. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – 35 с.

Матвеев, С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи: монография / С.М. Матвеев. – Воронеж: ВГУ, 2003. – 272 с.

Матвеев, С. М. Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов / С.М. Матвеев, В.В. Чеботарев // Лесной журнал. – 2002. – № 2. – С. 36-41.

Махатков, И. Д. Фенетическая структура популяций сосны на суходолах и болотах Западной Сибири / И.Д. Махатков, В.В. Тараканов, В.М. Тюпина // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – Т. XXIV, № 2. – С. 248-250.

Медников, Б. М. Дарвинизм в XX веке / Б.М. Медников. – М.: Советская Россия, 1975. – 224 с.

Медников, Б. М. Размышления об эволюции / Б.М. Медников // Наука и жизнь. – 1987. – № 9. – С. 90-97.

Мелехов, И. С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1948. – 126 с.

Мерсер, Д. Аналитические методы исследования периодических процессов, замаскированных случайными флуктуациями / Д. Мерсер // Биологические часы. – М.: Мир, 1964. С. 126-152.

Миланкович, М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата / М. Миланкович. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 208 с.

Мильков, Ф. Н. Природные зоны СССР / Ф.Н. Мильков. – М.: Мысль, 1964. – 325 с.

Милютин, Л. И. Сосна степных и лесостепных боров Сибири / Л.И. Милютин, Т.Н. Новикова, В.В. Тараканов, И.В. Тихонова. – Новосибирск: Гео, 2013. – 128 с.

Минин, А. А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения / А.А. Минин. – М.: Изд-во ABF, 2000. – 160 с.

Мирвис, В. М. Закономерности изменения режима температуры воздуха на территории России в последнее столетие / В.М. Мирвис // Изменения климата и их последствий. – СПб.: Наука, 2002. – С. 105-116.

Миркин, Б. М. Закономерности развития растительности речных пойм / Б.М. Миркин. – М.: Наука, 1974. – 174 с.

Мирошниченко, Л. И. Солнечная активность и Земля / Л.И. Мирошниченко. – М.: Наука, 1981. – 143 с.

Мишуков, Н. П. Изменчивость сосны обыкновенной в Приобских борах Новосибирской области и ее значение для лесного семеноводства: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.03.01 / Н.П. Мишуков. – Свердловск, 1966. – 26 с.

Молчанов, А. А. Влияние пожаров на древостой / А.А. Молчанов // Труды Ин-та леса АН СССР. – М.: АН СССР, 1954. – Т. 16. – С. 314-335.

Молчанов, А. А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах / А.А. Молчанов. – М.: АН СССР, 1952. – 487 с.

Молчанов, А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1976. – 168 с.

Молчанов, А. А. Лес и климат / А.А. Молчанов. – М.: АН СССР, 1961. – 247 с.

Молчанов, А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1971. – 257 с.

Молчанов, А. А. Сосновый лес и влага / А.А. Молчанов. – М.: АН СССР, 1953. – 140 с.

Молчанов, А. М. О резонансной структуре Солнечной системы / А.М. Молчанов // Пространство и время. – 2013. – № 1 (11). – С. 34-48.

Монин, А. С. Введение в теорию климата / А.С. Монин. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.

Монин, А. С. Климат как проблема физики / А.С. Монин, Ю. А. Шишков // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, № 4. – С. 419-445.

Монин, А. С. Колебания климата по данным наблюдений. Тройной солнечный и другие циклы / А.С. Монин, Д.М. Сонечкин. – М.: Наука, 2005. – 191 с.

Морозов, Г. Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – Изд. 7-е – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 455 с.

Муравьев, Я. Д. Вулканические извержения и климат / Я.Д. Муравьев // Вестник ДВО РАН. – 2007. – № 2. – С. 71-82.

Мурахтанов, Е. С. Прогнозирование роста и производительности древостоев / Е.С. Мурахтанов, Ф.В. Кишенков, М.Н. Неруш // Научно-исследовательские работы за 1981-1985 гг. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – С. 25-30.

Мушкетов, И. В. Каталог землетрясений Российской империи / И.В. Мушкетов, А.П. Орлов. – СПб.: Типография Императорской академии наук, 1893. – 582 с.

Наурзбаев, М. М. История климата позднего голоцена на востоке Таймыра по данным сверхдлительной древесно-кольцевой хронологии / М.М. Наурзбаев, О.В. Сидорова, Е.А. Ваганов // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2001. – № 3. – С. 17-25.

Научно-прикладной справочник по климату. – Л.: Гидрометеиздат, 1992.

Негруцкий, Н. Ф. Корневая губка / Н.Ф. Негруцкий. – М.: Агропромиздат, 1986. – 196 с.

Недосекин, А. А. Изменение химического состава почвы под влиянием колонии серых цапель / А.А. Недосекин // Актуальные проблемы экологии и природопользования. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – Вып. 3. – С. 90-93.

Недосекин, А. А. Изменения в распределении растительного покрова под гнездами в колонии серых цапель в Тульских засеках / А.А. Недосекин // Акту-

альные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии. – Казань: Изд-во Казанского университета. 2001. – С. 467-468.

Недосекин, А. А. Колония серых цапель как фактор, локально влияющий на химический состав почвы / А.А. Недосекин // Научные труды МПГУ. Серия: Естественные науки. – М.: Прометей. 2003. – С. 319-322.

Некоторые направления и результаты дендроиндикации состояния лесных экосистем в Центральной лесостепи / С.М. Матвеев, В.И. Таранков, В.В. Акулов, Е.Е. Мельников // Лесной вестник. – 2009. – № 1. – С. 45-50.

Некрасова, Т. П. О значении желтой и розовой окраски мужских шишек у видов *Pinus* / Т.П. Некрасова // Ботанический журнал. – 1959. – Т. 44, № 7. – С. 975-978.

Неравномерности вращения Земли и прогноз глобальной составляющей момента импульса атмосферы / Л.Д. Акуленко, Ю.Г. Марков, В.В. Перепёлкин, И.В. Скоробогатых // Доклады АН. – 2010. – Т. 432, № 1. – С. 35-40.

Нестеров, В. Г. Вопросы современного лесоводства / В.Г. Нестеров. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 384 с.

Нестеров, В. Г. Лесоводство / В.Г. Нестеров. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 464 с.

Николаевский, В. С. Лес и промышленные выбросы / В.С. Николаевский // Лесное хозяйство. – 1987. – № 10. – С. 63-65.

Никулин, И. Ф. Влияют ли планеты на солнечную активность? / И.Ф. Никулин. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2009. – С. 271-274.

Нильсон, А. Отражение изменения окружающей среды в моделях хода роста леса, составленных разными методами / А. Нильсон, А. Кивисте // Мониторинг лесных экосистем. – Каунас, 1986. – С. 336-337.

Новейший и современный вулканизм на территории России / под ред. Н.П. Лаверова – М.: Наука, 2005. – 604 с.

Новиков, И. Д. Эволюция Вселенной / И.Д. Новиков. – М.: Наука, 1983. – 184 с.

Новикова, Т. Н. Анализ потомства цветосеменных форм сосны обыкновенной / Т.Н. Новикова // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 36-42.

Новикова, Т. Н. Сибирские климатипы сосны в географических культурах Западного Забайкалья: дифференциация по росту и цвету микростробилов / Т.Н. Новикова // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – № 1-2. – С. 140-144.

Новикова, Т. Н. Формовое разнообразие сосны обыкновенной на юге Сибири (на примере популяций из трех разных лесорастительных зон) / Т.Н. Новикова, Д. И. Назимова // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – № 2-3. – С. 260-266.

О природе корреляции между интенсивностью космических лучей и облачностью / А. Вольфендейл, Д. Дялаи, А. Д. Ерлыкин, К. Кудела, Т. Слоан // Известия РАН. Сер. Физическая – 2009. – Т. 73, № 3. – С. 408-411.

О роли сейсмичности и вулканизма в парадоксах современного климата / Д.Г. Осика, М.Г. Алишаев, Н.Л. Пономарева, А.Ю. Отинова // Вестник Дагестанского научного центра. – 2011. – № 43. – С. 27-32.

О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения / А. М. Фридман, А. В. Клименко, Е. В. Поляченко, М. В. Фридман // Вулканология и сейсмология. – 2005. – № 1. – С. 67-74.

Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке / Г.В. Груза, М.Ю. Бардин, Э.Я. Ранькова и др. // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. – М.: Наука, 2001. – С. 18-39.

Обридко, В. Н. Некоторые аномалии эволюции глобальных и крупномасштабных магнитных полей на Солнце как предвестники нескольких предстоящих невысоких циклов / В.Н. Обридко, Б.Д. Шельтинг // Письма в Астрономический журнал. – 2009. – Т. 35, № 4. – С. 279-285.

Обридко, В. Н. Солнечная активность, цикличность и методы прогноза / В.Н. Обридко, Ю.А. Наговицын. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. – 466 с.

Обридко, В. Н. Циклы солнечной активности и особенности 23-го цикла / В.Н. Обридко // Земля и Вселенная. – 2011. – № 1. – С. 5-17.

Огурцов, М. Г. О возможном влиянии на климат Земли потоков межпланетной и межзвездной пыли / М.Г. Огурцов, О.М. Распопов // Геомагнетизм и аэрономия. – 2011. – Т. 51, № 2. – С. 278-286.

Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.

Оленин, С. М. Вековая цикличность в динамике прироста сосняка заболоченного за 400 лет / С.М. Оленин // Экология. – 1974. – № 2. – С. 90-92.

Оленин, С. М. Радиальный прирост сосны в сфагновых сосняках в связи с вековыми солнечными циклами / С.М. Оленин // Лесоведение. – 1976. – № 2. – С. 35-41.

Ольгин, О. Левые сосны предпочтительнее / О. Ольгин // Химия и жизнь. – 1981. – № 2. – С. 94.

Орлов, А. Я. Температура почвы и производительность почвы / А.Я. Орлов // Доклады АН СССР. – 1953. – Т. 12, № 4. – С. 957-960.

Осика, Д. Г. О природе глобального потепления и естественных причинах формирования климатических аномалий и катастроф / Д.Г. Осика, А.Ю. Отинова, Н.Л. Пономарёв // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 19, № 4 (57). – С. 104-112.

Особенности генеративной сферы сосны обыкновенной болотных и суходольных популяций / Т.С. Седельникова, А.В. Пименов, С.П. Ефремов, Е.Н. Муратова // Лесоведение. – 2007. – № 4. – С. 44-50.

Охлопков, В. П. О связи циклов солнечной активности с конфигурациями планет / В.П. Охлопков // Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Том 77, № 5. – С. 667–669.

Охлопков, В. П. Циклы солнечной активности и конфигурации планет / В.П. Охлопков // Вестник МГУ. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 2012 – № 4. – С. 56-61.

Параев, В. В. Природно-климатические аномалии – современный этап фанерозойской истории Земли / В.В. Параев, Э.А. Еганов // Уральский геологический журнал. – 2015. – № 6 (108). – С. 3-18.

Парийский, Н. Н. О нерегулярных изменениях скорости вращения Земли и возможной связи их с деформациями Земли и изменениями силы тяжести / Н.Н. Парийский // Проблемы расширения и пульсации Земли. – М.: Наука, 1984. – С. 84–93.

Педь, Д. А. О показателях засухи и избыточного увлажнения / Д.А. Педь // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып. 156. – С. 19-39.

Переведенцев, Ю. П. Пространственно-временные изменения атмосферного давления на территории Приволжского федерального округа за последние десятилетия / Ю.П. Переведенцев, Т. Р. Аухадеев // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2013. – Вып. 4. – С. 112-122.

Петров, С. А. Изменчивость древесных пород в островных борах Казахского мелкосопочника / С.А. Петров // Ботанический журн. – 1964. – Т. 49, № 12. – С. 1789-1792.

Петрова, И. В. Изоляция и дифференциация популяций сосны обыкновенной / И.В. Петрова, С.Н. Санников. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 160 с.

Петрушенко, Л. А. Принцип обратной связи / Л.А. Петрушенко. – М.: Мысль, 1967. – 276 с.

Петрянов-Соколов, И. В. Аэрозоли / И.В. Петрянов-Соколов, А. Г. Сутугин. – М.: Наука, 1989. – 142 с.

Пименов, А. В. Биоразнообразие сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в контрастных экотопах юга Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.В. Пименов. – Томск, 2016. – 41 с.

Пименов, А. В. Качественная оценка формового разнообразия сосны обыкновенной в лесоболотных комплексах Западной Сибири / А. В. Пименов, Т.С. Седельникова // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – № 1-2. – С. 157-161.

Пинаевская, Е. А. Закономерности роста морфологических форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) в стрессовых условиях северной тайги (на примере бассейна Северной Двины): дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Е.А. Пинаевская. – Архангельск, 2018. – 218 с.

Пинаевская, Е. А. Закономерности роста форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) с разной формой апофиза семенных чешуй на северной границе ареала Европейской части России / Е.А. Пинаевская, С.Н. Тарханов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18, № 2 (2). – С. 483-487.

Пинаевская, Е. А. Изменчивость радиального прироста форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) с разным типом апофиза семенных чешуй / Е.А. Пинаевская, С.Н. Тарханов // Лесной вестник. – 2016. – № 2. – С. 53-59.

Писанко, Ю. В. Солнечный ветер / Ю.В. Писанко. – М.: Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова, 2011. – 135 с.

Писарчук, Н. М. Влияние климатических изменений на лесные экосистемы и процессы заболачивания в Центральном-Лесном заповеднике / Н.М. Писарчук, Е.Ю. Новенко, Д.Н. Козлов, П.М. Шилов // Вестник Московского ун-та. Сер. 5: География. – 2016. – № 4. – С. 73-82.

Побединский, А. В. Сосна / А.В. Побединский. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 125 с.

Полетаев, И. А. О математических моделях элементарных процессов в биогеоценозах / И.А. Полетаев // Проблемы кибернетики. – М., 1966. – Вып. 16. – С. 171-190.

Полетаев, И. А. О моделях роста высшего растения с лимитирующими факторами / И.А. Полетаев // Журнал общей биологии. – 1979. – Т. 40, № 11. – С. 58-67.

Полушкин, Ю. В. Изменчивость радиального прироста древостоев как источник информации для прогнозирования динамики экосистем / Ю.В. Полушкин // Проблемы прогностических исследований природных явлений. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 154-167.

Пономарева, О. В. Роль планет и планетных групп в активности Солнца / О.В. Пономарева // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмологической опасности Дальнего Востока России: тр. региональной науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. – Т. 2. – С. 212-216.

Популяционная изменчивость шишек и семян сосны обыкновенной по феноам окраски и признакам-индексам на юге Сибири / И.В. Тихонова, В.В. Тараканов, Н. А. Тихонова, А.П. Барченков, А.К. Экарт // Сибирский экологический журнал. – 2014. – № 1. – С. 79-86.

Последствия мощных вулканических извержений по дендрохронологическим данным / Е. А. Касаткина, О. И. Шумилов, М. Тимонен, А. Г. Канатьев // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 49, № 4. – С. 469-476.

Потенциал оптической плотности древесины в дендроклиматологии / Д.В. Овчинников, А.Д. Ерёмина, С.Д. Овчинников, Ю.В. Кладько // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования. – Красноярск: КГУ, 2018. – Вып. 13. – С. 66-68.

Правдин, Л. Ф. Половой диморфизм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Л.Ф. Правдин // Труды Института леса АН СССР. – 1950. – Т. 3. – С. 190-201.

Правдин, Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 192 с.

Проблемы экологии растительных сообществ Севера / отв. ред. В.Т. Ярмишко. – СПб: ВВМ, 2005. – 450 с.

Прокофьев, О. М. Многолетняя изменчивость атмосферного давления антарктического полуострова / О.М. Прокофьев, О.И. Шаменкова // Символ науки. – 2015. – № 8. – С. 316-320.

Проскуряков, М. А. Проблема хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем: сообщение 1 / М.А. Проскуряков // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 2. – С. 71-84.

Проскуряков, М. А. Проблема хронобиологической цикличности движения свойств лесных экосистем: сообщение 2 / М.А. Проскуряков // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 6. – С. 70-85.

Путенихин, В. П. Популяционная структура и сохранение генофонда хвойных видов на Урале: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.01 / В.П. Путенихин. – Красноярск, 2000. – 48 с.

Пушков, Н. В. Вспышки на Солнце и геофизические последствия / Н.В. Пушков // Земля и Вселенная. – 1974. – № 4. – С. 8.

Раевский, Б. В. Методика селекционно-генетической оценки клонов сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях / Б.В. Раевский, М.Л. Щурова // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 5. – С. 91-98.

Распопов, О. М. Солнечная активность и космические лучи: влияние на облачность и процессы в нижней атмосфере (памяти и к 75-летию М.И. Пудовкина) / О.М. Распопов, С.В. Веретененко // Геомагнетизм и аэрономия. – 2009. – Т. 49, № 2. – С. 147-155.

Раст, Х. Вулканы и вулканизм / Х. Раст. – М.: Мир, 1982. – 344 с.

Растворова, О. Г. Влияние позвоночных на почву в лесостепной дубраве / О.Г. Растворова // Комплексные исследования биогеоценозов лесостепных дубрав. – Л.: Наука, 1986. – С. 169-179.

Рахилин, В. К. О средообразующей роли птиц фауны СССР / В.К. Рахилин // Средообразующая деятельность животных. – М.: Наука, 1970. – С. 15-18.

Рачко, П. И. Имитационная модель динамики роста дерева как элемента лесного биогеоценоза / П.И. Рачко // Вопросы кибернетики. – 1979. – № 52. – С. 73-111.

Реймерс, Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. – М.: Россия Молодая, 1994. – 367 с.

Реконструкция динамики активности действующих вулканов за последние 10 000 лет как ключ к долгосрочному прогнозу вулканических извержений / И.В. Мелекесцев, Л.И. Базанова, О.В. Дирксен, В.В. Пономарева, О.А. Брайцева // Информационный бюллетень РФФИ. Науки о Земле. – 1999. – № 7. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=750141> (дата обращения 30.11.2022)

Ретеюм, А. Ю. Дендрохронология больших циклов Солнечной системы / А.Ю. Ретеюм // Лесной вестник. – 2014. – Т. 18, № 5. – С. 125-133.

Ретеюм, А. Ю. Зависимость атмосферных осадков от метеорных потоков / А.Ю. Ретеюм, Т.М. Россинская // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4. – С. 7-12.

Риклефс, Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 424 с.

Рогожин, Ю. А. Вековые циклы сейсмичности Земли и безопасность АЭС / Ю.А. Рогожин, И.П. Шестопалов // Атомная стратегия. – 2007. – № 29. – С. 18-19.

Рогозин, М. В. О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы / М.В. Рогозин, А.М. Голиков, Г.С. Разин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 3 (23). – С. 5-17.

Рогозин, М. В. Программа селекции хвойных в лесосеменном районе / М.В. Рогозин // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 5. – С. 99-106.

Рогозин, М. В. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы / М.В. Рогозин, Г. С. Разин. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с.

Рогозин, М. В. Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания: монография / М.В. Рогозин. – Пермь: ПГНИ, 2013. – 200 с.

Розанов, М. И. Кривые роста деревьев как источник информации о некоторых гелиофизических и геофизических процессах / М.И. Розанов // Солнце, электричество, жизнь. – М.: МГУ, 1972. – С. 44-48.

Розенберг, Г. С. Прогнозирование годичного прироста древесных растений методами самоорганизации / Г.С. Розенберг, П.А. Феклистов // Экология. – 1982. – № 4. – С. 43-51.

Ролдугин, В. К. Изменение прозрачности атмосферы под действием солнечных космических лучей / В.К. Ролдугин, Э.В. Вашенюк // Геомагнетизм и аэрономия. – 1994. – Т. 34, № 12. – С. 155-157.

Романовский, М. Г. Полиморфизм древесных растений по количественным признакам / М.Г. Романовский. – М.: Наука, 1994. – 96 с.

Романовский, М. Г. Продукционный бюджет кроны дерева: гиганты и карлики в древостое / М.Г. Романовский, Р.В. Щёкалев // Лесоведение. – 2016. – № 6. – С. 438-444.

Романовский, М. Г. Система вида у древесных растений / М.Г. Романовский, Р.В. Щёкалев. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 212 с.

Роне, В. М. Генетический анализ лесных популяций / В.М. Роне. – М.: Наука, 1980. – 160 с.

Рост растений. Первичные механизмы: сб. ст. / под общ. ред. В.И. Кефели. – М.: Наука, 1978. – 288 с.

Ростовцев, С. А. Всхожесть семян сосны разного географического происхождения / С.А. Ростовцев, Б.В. Березин // Лесное хозяйство. – 1980. – № 3. – С. 37-40.

Рубцов, В. И. К вопросу о влиянии осадков и температуры воздуха на прирост сосны / В.И. Рубцов, А.М. Ильин // Научные записки Воронежского ЛТИ. – Воронеж, 1956. – Т. XV. – С. 57-62.

Рудник, В. А. Влияние зон геологической неоднородности земли на среду обитания / В.А. Рудник // Вестник РАН. – 1996. – Т. 66, № 8. – С. 713-719.

Румянцев, Д. Е. Анализ динамики радиального прироста в 445-летней древесно-кольцевой хронологии сосны из Прибайкальского национального парка / Д.Е. Румянцев, А. В. Черакшев // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. – 2018. – № 1. – С. 41–49. – URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

Румянцев, Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии / Д.Е. Румянцев. – М.: МГУЛ, 2010. – 109 с.

Русяцкас, Ю. Ю. Динамика радиального прироста сосны в связи с дифференциацией деревьев / Ю.Ю. Русяцкас // Закономерности роста и производительности древостоев. – Каунас: Литовский НИИ лесного хозяйства, 1985. – С. 91–92.

Сабиров, Р. Н. Дендроклиматический анализ радиального прироста лесообразующих хвойных видов Южного Приморья / Р.Н. Сабиров // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 102-108.

Санников, С. Н. Возрастная биология сосны обыкновенной в Зауралье / С.Н. Санников // Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Вып. 101. – Свердловск, 1976. – С. 124-165.

Санников, С. Н. Дифференциация популяций сосны обыкновенной / С.Н. Санников, И.В. Петрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 248 с.

Санников, С. Н. Изоляция и типы границ популяций у сосны обыкновенной / С.Н. Санников // Экология. – 1993. – № 1. – С. 4-17.

Санников, С. Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье / С.Н. Санников // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. – С. 236-277.

Санников, С. Н. Очерки по теории лесной популяционной биологии / С.Н. Санников, Н.С. Санникова, И.В. Петрова. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. – 270 с.

Санников, С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной / С.Н. Санников. – М.: Наука, 1992. – 264 с.

Сапанов, М. К. Влияние погодных условий на радиальный прирост дуба в полупустыне северного Прикаспия / М.К. Сапанов // Лесоведение. – 1984. – № 2. – С. 59-64.

Сасорова, Е. В. О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности. Вступление Земли в новую фазу уменьшения угловой скорости вращения / Е.В. Сасорова, Б.В. Левин // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2017. – № 4 (20). – С. 91-100.

Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвои / Л.К. Кайбияйнен, П. Хари, Т.А. Сазонова, А. Мякеля // Лесоведение. – 1986. – № 1. – С. 31-37.

Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н.Н. Свалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 216 с.

Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии / Ю.М. Свирижев. – М.: Наука, 1987. – 368 с.

Свирижев, Ю. М. Математическое моделирование биологических систем / Ю.М. Свирижев, Е.Я. Елизаров // Проблемы космической биологии. – М.: Наука, 1972. – Т. 20. – С. 3-160.

Свирижев, Ю. М. Устойчивость биологических сообществ / Ю. М. Свирижев, Д.О. Логофет. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

Севастьянов, В. Д. Некоторые теоретические аспекты биофизики чистых древостоев // Лесоведение и лесное хозяйство / В.Д. Севастьянов. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – Вып.15. – С. 57-61.

Северцов, А. С. Значение позвоночных в структуре и функционировании экосистем / А.С. Северцов // Зоологический журнал. – 2012. – Т. 91, № 9. – С. 1085–1094.

Селянинов, Г. Т. Происхождение и динамика засух / Г.Т. Селянинов // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. – Л.: Гидрометеопиздат, 1958. – С. 5-30.

Семаго, Л. Л. К вопросу о средообразующей деятельности колониальных и стайных птиц / Л.Л. Семаго // Проблемы изучения и охраны ландшафтов. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1975. – С. 45-47.

Семенкова, И. Г. Фитопатология / И.Г. Семенкова, Э.С. Соколова. – М.: Академия, 2003. – 480 с.

Семечкин, И. В. Основные методологические вопросы исследования динамики древостоев / И.В. Семечкин // Методологические вопросы лесоведения. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 105-123.

Сеннов, С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях / С.Н. Сеннов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 1993. – № 11. – С. 160-172.

Серебренников, М. Г. Выявление скрытых периодичностей / М.Г. Серебренников, А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1965. – 244 с.

Сидоренков, Н. С. Причины аномально жаркого лета 2010 года на европейской территории России / Н.С. Сидоренков, К.А. Сумерова // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 346. – С. 191-205.

Сидоренков, Н. С. Атмосферные процессы и вращение Земли / Н.С. Сидоренков. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 366 с.

Сидоренков, Н. С. Лунно-солнечные приливы и атмосферные процессы / Н.С. Сидоренков // Природа. – 2008. – № 2. – С. 23-31.

Сидоренков, Н. С. Небесно-механические причины изменения погоды и климата / Н.С. Сидоренков // Геофизические процессы и биосфера. – 2015. – Т. 14, № 3. – С. 5-26.

Сидоренков, Н. С. Нестабильность вращения Земли / Н.С. Сидоренков // Вестник Российской академии наук. – 2004. – Т. 74, № 8. – С. 701-715.

Сидоренков, Н. С. Синхронизация вариаций атмосферной циркуляции колебаниями лунно-солнечных приливов и подбор аналогов для долгосрочных прогнозов погоды / Н.С. Сидоренков, К.А. Сумерова // Труды Гидрометцентра России. – 2010. – Вып. 344. – С. 238-251.

Сидоренков, Н. С. Физика неустойчивостей вращения Земли / Н.С. Сидоренков. – М.: Физматлит, 2002. – 384 с.

Сидоренков, Н.С. Приливы дирижируют погодой // Н.С. Сидоренков // Земля и Вселенная. – 2003. – № 5. – С. 3-9.

Сидорова, О. В. Отклик древесно-кольцевых хронологий севера Евразии на мощные вулканические извержения / О.В. Сидорова, М.М. Наурзбаев, Е.А. Ваганов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. – Т. 20. – С. 59-72.

Синская, Е. Н. Динамика вида / Е.Н. Синская. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1948. – 527 с.

Синская, Е. Н. Проблема популяций у высших растений / Е.Н. Синская // Успехи современной биологии. – 1939. – Т. 10, вып. 3. – С. 446-470.

Синская, Е. Н. Проблемы популяций у высших растений. О категориях и закономерностях изменчивости в популяциях высших растений / Е.Н. Синская. – Л.: Сельхозиздат, 1963. – 124 с.

Синская, Е. Н. Учение об экотипах в свете филогенеза высших растений / Е.Н. Синская // Успехи современной биологии. – 1938. – Т. 9, вып. 1. – С. 1-15.

Синькевич, С. М. Лесоводственная эффективность чересполосно-постепенной рубки в сосняке среднетаежной подзоны Карелии / С.М. Синкевич // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 2. – С. 21-28.

Слуцкий, Е. Е. Сложение случайных величин как источник циклических процессов / Е.Е. Слуцкий // Вопросы конъюнктуры. – 1927. – Т. 3, вып. 1. – С. 34-64.

Сляднев, А. П. Засухи на юго-востоке Западной Сибири, их признаки и повторяемость // География Западной Сибири: ученые Записки Новосибирского государственного педагогического университета. Вып. 21 / А.П. Сляднев. – Новосибирск, 1965. – С. 123-145.

Смирнов, В. Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1968. – 531 с.

Смирнова, О. В. Основные понятия популяционной организации лесных ценозов, используемые в моделировании / О.В. Смирнова, С.И. Чумаченко // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. – М.: МГУЛ, 1993. – Вып. 248. – С. 110-135.

Смирязев, А. В. Генетика популяций и количественные признаки / А.В. Смирязев, А.В. Кильчевский. – М.: Колос-С, 2007. – 270 с.

Смирязев, А. В. Влияние корреляции приспособленности генотипов на жизнеспособность популяции / А.В. Смирязев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – Вып. 2. – С. 22-32.

Смолянинов, И. И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов / И.И. Смолянинов. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 192 с.

Соков, М. К. Динамика сокращения прироста у хвойных деревьев под влиянием промышленных выбросов алюминиевых заводов / М.К. Соков, А.С. Рожков // Влияние антропогенных и природных факторов на хвойные деревья. – Иркутск, 1975. С. 9-60.

Солнечная активность и геомагнитные возмущения / В.Н. Обридко, Х.Д. Канониди, Т.А. Митрофанова, Б.Д. Шельтинг // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2013. – Т. 53, № 2. – С. 157–166.

Солнечная активность и её земные проявления / М.С. Эйгенсон, М.И. Гневышев, А.И. Оль, Б.М. Рубашев. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 286 с.

Сорохтин, О. Г. Жизнь Земли / О.Г. Сорохтин. – М.: Институт компьютерных исследований, 2007. – 452 с.

Сорохтин, О. Г. Парниковый эффект: миф или реальность? / О.Г. Сорохтин // Вестник РАЕН. – 2001. – № 1. – С. 8-21.

Сосна степных и лесостепных боров Сибири / Л.И. Милютин, Т.Н. Новикова, В.В.Тараканов, И.В. Тихонова. – Новосибирск: Гео, 2013. – 127 с.

Спорышев, П. В. Причины наблюдаемых изменений климата / П.В. Спорышев, В.М. Катцов, В.П. Мелешко, Г.В. Алексеев, И.Л. Кароль, В.М. Мирвис // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Войекова. – 2014. – Вып. 574. – С. 39-124.

Стравинскене, В. П. Изменение радиального прироста деревьев в зоне действия промышленного загрязнения / В. П. Стравинскене // Лесное хозяйство. – 1987. – № 5. – С. 34-36.

Структурно-функциональная организация подстилок в борах Марийского Заволжья / Л.Г. Богатырев, Ю.П. Демаков, А.В. Исаев и др. // Вестник Москов-

ского государственного университета. Серия: Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 3-9.

Сукачев, В. Н. Основы лесной биогеоценологии / В.Н. Сукачев. – М.: Наука, 1964. – 574 с.

Сукачев, В. Н. Растительные сообщества (введение в фитоценологию) / В.Н. Сукачев. – Л.-М.: Книга, 1928. – 232 с.

Сухарев, В. А. Все катастрофы Земли / В.А. Сухарев. – Одесса: ЭНИО, 2004. – 336 с.

Сухарев, В. А. Миром правит закон космических резонансов / В.А. Сухарев. – М.: Амрита-Русь, 2012. – 288 с.

Тарakanов, В. В. Структура изменчивости, селекция и семеноводство сосны обыкновенной в Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / В.В. Тараканов. – Красноярск, 2003. – 44 с.

Тараненко, Л. И. Влияние колониального гнездования грачей на окружающую среду / Л.И. Тараненко // Роль животных в функционировании экосистем. – М.: Наука. 1975. – С. 104-106.

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

Тарко, А. М. Парниковый эффект и климат / А.М. Тарко // Экология и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 48-51.

Тарханов, С. Н. Радиальный прирост желтопыльничковой и краснопыльничковой форм сосны (*Pinus sylvestris* L.) в условиях избыточного увлажнения почв северной тайги / С.Н. Тарханов, Е.А. Пинаевская // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т. 17, № 6. – С. 253-257.

Тарханов, С. Н. Формовое разнообразие *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в бассейне Северной Двины / С.Н. Тарханов, С.Ю. Бирюков // Растительные ресурсы. – 2013. – Вып. 4. – С. 481-489.

Тарханов, С. Н. Формовое разнообразие хвойных на европейском севере России / С.Н. Тарханов, В.В. Коровин, Р. В. Щёкалев // Лесной Вестник. – 2006. – № 5. – С. 89-95.

Тверитинова, Т. Ю. Линеаменты как отражение структурного каркаса литосферы (линеаменты – разломы или фантомы?) / Т. Ю. Тверитинова // Пространство и время (электронное научное издание). – 2013. – Т. 4, вып. 1. – 12 с.

Тенденции изменений озонового слоя по наблюдениям с помощью спутниковой аппаратуры TOMS и наземной озонометрической сети / А.А. Черников, Ю.А. Борисов, В.В. Зуев и др. // Исследование Земли из космоса. – 2000. – № 6. – С. 23-32.

Теоретические и экспериментальные основы стабилизации современного климата путем создания аэрозольных образований в нижней стратосфере / Изразль Ю.А., Борзенкова И.И., Гулевский Г.А. и др. – М.: ИГКЭ, 2019. – 287 с.

Терсков, И. А. Рост одновозрастных древостоев / И.А. Терсков, М.И. Терскова. – Новосибирск: Наука, 1980. – 208 с.

Тимофеев, В. П. Лесоводство / В.П. Тимофеев, Н.В. Дылис. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1953. – 551 с.

Титов, Ю. В. Эффект группы у растений / Ю.В. Титов – Л.: Наука, 1978. – 151 с.

Тихонова, И. В. Изменчивость годичных колец у разных половых типов деревьев сосны обыкновенной на юге средней Сибири / И.В. Тихонова // Лесоведение. – 2007. – № 3. – С. 40-45.

Тихонова, И. В. Карликовые сосны Ширинской лесостепи / И.В. Тихонова // Лесоведение. – 2013. – № 2. – С. 22-30.

Ткаченко, М. Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 600 с.

Тобратов, С. А. Природная цикличность в процессах эксплозивного вулканизма / С.А. Тобратов, О.С. Железнова, А.В. Водорезов // Вестник Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина. – 2022. – № 1 (74). – С. 138–169.

Токарев, В. М. Многолетние колебания гидротермического режима Барабы / В.М. Токарев // Природные циклы Барабы и их хозяйственное значение. – Новосибирск: Наука, 1982. С. 24-33.

Толпышева, Т. Ю. О механизмах воздействия напочвенного лишайникового покрова на возобновление сосны / Т.Ю. Толпышева, Т.В. Малышева // Лесное хозяйство. – 1988. – № 11. – С. 18-20.

Тольский, А. П. К вопросу о влиянии метеорологических условий на развитие сосны в Бузулукском бору / А.П. Тольский // Труды по лесному опытному делу в России. – СПб., 1913. – Вып. 17. – 107 с.

Тренин, В. В. О лесоводственной ценности некоторых форм сосны обыкновенной / В.В. Тренин // Научные основы селекции древесных растений Севера. – Петрозаводск, 1998. – С. 51-57.

Трифонов, В. Г. Динамика Земли и развитие общества / В.Г. Трифонов, А.С. Караханян // Труды Геологического института РАН. Вып. 585. – М.: ОГИ, 2008. – 436 с.

Тронин, А. А. Каталог термальных и атмосферных явлений при землетрясениях / А.А. Тронин. – СПб.: Стратегия будущего, 2011. – 260 с.

Турманина, В. И. Влияние на растительность внутривековых ритмов увлаженности / В.И. Турманина // Ритмы и цикличность в природе. Вопросы географии. Вып. 79. – М.: Мысль, 1970. – С. 168-181.

Тябера, А. П. Вопросы территориального размещения деревьев в сосновых древостоях / А.П. Тябера // ИВУЗ: Лесной журнал. – 1980. – № 5. – С. 5-8.

Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и её приложения / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УРО РАН, 2007. – 637 с.

Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения. Исследование системы связей и закономерностей / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, И.Е. Бергман. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 366 с.

Усольцев, В. А. Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты / В.А. Усольцев // Лесоведение. – 1985. – № 2. – С. 62-72.

Усольцев, В. А. Продукционные показатели и конкурентные отношения деревьев. Исследование зависимостей / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 553 с.

Уткин, В. И. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности планеты / В.И. Уткин, А.К. Юрков, И. А. Цурко // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – № 1. – С. 3-13.

Уткин, В. И. О связи неравномерности вращения и сейсмичности Земли / В.И. Уткин, И. А. Цурко // Уральский геофизический вестник. – 2010. – № 2 (17). – С. 53-60.

Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Федоров, В. М. Астрономическая теория климата: вопросы модернизации и развития / В.М. Федоров // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 64. – С. 435-465. – DOI: 10.33933/2713-3001-2021-64-435-465

Федоров, В. М. Инсоляция Земли и современные изменения климата / В.М. Федоров. – М.: Физматлит, 2018. – 232 с.

Федоров, В. М. Малый ледниковый период в жизни Земли и его возможные причины / В.М. Федоров, Д.М. Фролов // Жизнь Земли. – 2020. – Т. 42, № 1. – С. 4-12.

Федоров, В. М. Многомерный анализ и хронологическая структура геодинамической активности Земли / В.М. Федоров // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. – 2007. – № 4. – С. 24-31.

Федоров, В. М. Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху / В.М. Федоров // Геофизические процессы и биосфера. – 2015. – Т. 14, № 1. – С. 5-22.

Федоров, В. М. Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками ее орбитального движения / В.М. Федоров // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 5. – С. 65-67.

Федоров, Н. И. Лесная фитопатология / Н.И. Федоров. – Минск: БГТУ, 2004. – 462 с.

Физико-географическое районирование СССР: Характеристика региональных единиц / под ред. Н.А. Гвоздецкого. – М.: МГУ, 1968. – 576 с.

Фильрозе, Е. М. Динамика роста деревьев и некоторые приемы ее математического описания / Е.М. Фильрозе, Т.М. Шмелькова // Экология. – 1971 – № 2. – С. 15-26.

Фильрозе, Е. М. К методике исследования динамики роста деревьев и насаждений / Е.М. Фильрозе // Лесоведение. – 1967. – № 2. – С. 74-79.

Фрей, Т. Рост как информационный процесс / Т. Фрей // Проблемы современной экологии. – Тарту, 1978. – С. 58-59.

Хаин, В. Е.. Пространственно-временные закономерности сейсмической и вулканической активности / В.Е. Хаин, Э.Н.. Халилов. – Burgas, SWB, 2008. – 304 с.

Хаин, В. Е.. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа / В.Е. Хаин, Э.Н. Халилов. – М.: Научный мир, 2009. – 520 с.

Ханин, М. А. Математическая модель роста, основанная на эволюционном экстремальном принципе / М.А. Ханин, Н.Л. Дорфман // ДАН СССР. – 1973. – Т. 212, вып. 3. – С. 743-747.

Характер изменения параметров микроклимата почв в лесных биогеоценозах Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, С.Н. Бродников, В.Г. Краснов // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы междунар. конф. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. – С. 34-43.

Хари, П. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. П. Активная ксилема / П.Хари, Л.К. Кайбияйнен, Сазонова, А. Мякеля // Лесоведение. – 1985. – № 5. – С. 74-76.

Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович. – Минск: Право и экономика, 2010. – 202 с.

Хемминг, Р. В. Цифровые фильтры / Р.Г. Хемминг. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с.

Хильми, Г. Ф. Биогеофизическая теория и прогноз самоизреживания леса / Г.Ф. Хильми. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 86 с.

Хильми, Г. Ф. Теоретическая биогеофизика леса / Г.Ф. Хильми. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 206 с.

Хохрин, А. В. Внутривидовая диссимметрическая изменчивость древесных растений в связи с их экологией: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / А.В. Хохрин. – Свердловск, 1977. – 48 с.

Хохрин, А. В. Диссимметрическая изменчивость в стереобиологии сосны обыкновенной / А.В. Хохрин // Экология. – 1981. – № 3. – С. 58-65.

Хохрин, А. В. Методика отбора правых и левых форм сосны обыкновенной и других пород / А.В. Хохрин // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 5. – Свердловск, 1970. – С. 110-114.

Хргиан, А. Х. Физика атмосферы / А.Х. Хргиан. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 328 с.

Цветков, В. Ф. Лес в условиях азотехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2003. – 354 с.

Цветков, В. Ф. Лесовозобновление: природа, закономерности, оценка, прогноз / В.Ф. Цветков. – Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2008. – 280 с.

Цветков, В. Ф. Рост сосновых древостоев в условиях азотехногенного загрязнения на Кольском полуострове / В.Ф. Цветков // Лесное хозяйство. – 1991. – № 5. – С. 20-22.

Цветков, В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них / В.Ф. Цветков. – Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2002. – 380 с.

Цельникер, Ю. Л. К вопросу о физиологических причинах ритмичности роста у деревьев / Ю.Л. Цельникер // Ботанический журнал. – 1950. – Т. 35, № 5. – С. 445-460.

Цесевич, В. П. Что и как наблюдать на небе / В.П. Цесевич. – М.: Наука, 1984. – 304 с.

Черепашук, А. М. Вселенная, жизнь, черные дыры / А.М. Черепашук, А.Д. Чернин. – Фрязино: Век-2, 2003. – 320 с.

Черепнин, В. Л. Географическая изменчивость качества семян сосны обыкновенной в Западной Сибири и Казахстане / В.Л. Черепнин // Селекция хвойных пород Сибири. – Красноярск, 1978. – С. 121-133.

Черненкова, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненкова. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

Черненкова, Т.В. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» / Т.В. Черненкова, Е.В. Басова, Ю.Н. Бочкарев, М.Ю. Пузаченко // Лесоведение. – 2009. – № 6. – С. 32-45.

Черненкова, Т.В. Рост сосны обыкновенной в окрестностях металлургического комбината «Североникель» / Т.В. Черненкова, А.В. Макаров // Лесоведение. – 1997. – № 5. – С. 72-76.

Чернов, Н. И. Краткий обзор моделей развития лесных ценозов / Н.И. Чернов, С.И. Чумаченко // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. – М.: МГУЛ, 1993. – С. 135-147.

Черных, В. Л. Автоматизированные системы в лесном хозяйстве: учебное пособие / В.Л. Черных. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1995. – 134 с.

Черных, В. Л. Модель хода роста и возраст рубки осиновых древостоев в условиях свежей сурамени Республики Марий Эл / В.Л. Черных, В.М. Грачев // Лесное хозяйство Поволжья: межвуз. сб. науч. работ. – Саратов: СХА, 1996. – Вып. 2. – С. 57-63.

Чершкене И. Корреляция ширины годовичных колец ели и климатических факторов в Западной Литве / И. Чершкене // Дендроклиматохронология и радиоуглерод: материалы второго Всесоюзного совещания – Каунас, 1972. – С. 49-54.

Четвериков, С. С. Волны жизни (из лепидоптерологических наблюдений за лето 1903 г.) / С.С. Четвериков // Дневник Зоологического отделения Императорского об-ва любителей естествознания, антропологии и этнографии. – 1905. – Т. III, № 6. – С. 1-5.

Чижевский, А. Л. Земля в объятиях Солнца / А.Л. Чижевский. – М.: ЭКСМО, 2004. – 928 с.

Чугай, С. Роль колоний серой цапли в функционировании экосистем пойменных черноольшанников / С. Чугай // Птицы бассейна Северского Донца. – Донецк: ДГУ, 1993. С. 50-52.

Шараф, Ш. Г. Вековые изменения орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата / Ш.Г. Шараф, Н. А. Будникова // Труды Ин-та теоретической астрономии АН СССР, 1969. – Вып. 14. – С. 48-84.

Шараф, Ш. Г. Колебания солнечного облучения Земли, вызванные вековыми изменениями элементов земной орбиты / Ш.Г. Шараф, Н. А. Будникова // Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 182, № 2. – С. 291-293.

Шараф, Ш. Г. О вековых изменениях элементов орбиты Земли, влияющих на климаты геологического прошлого / Ш.Г. Шараф, Н. А. Будникова // Бюллетень

Института теоретической астрономии АН СССР. – 1967. – Т. 11, № 4 (127). – С. 231–261.

Шаталов, В. Г. Пойменные леса / В.Г. Шаталов, И.В. Трещевский, И.В. Якимов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 160 с.

Шевырев, И. Я. Опустошительное размножение короедов в Средней России с 1882 по 1894 г. и попытки борьбы с ними / И.Я. Шевырев // Сельское хозяйство и лесоводство. – 1896. – Т. 183, № 10. – С. 523–545.

Шейкина, О. В. Генетическое разнообразие и дифференциация ценопопуляций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), сформированных в болотных и суходольных экотопах / О.В. Шейкина, Ю.Ф. Гладков // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2020. – № 50. – С. 101–118.

Шейкина, О. В. Селекционно-генетическая оценка плюсового генофонда сосны обыкновенной Чувашской Республики: дис. ... канд. с.-х. наук / О.В. Шейкина. – Йошкар-Ола, 2004. – 203 с.

Шелухо, В. П. Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.П. Шелухо. – Брянск: БГИТА, 2003. – 34 с.

Шиятов, С. Г. Дендрохронология, ее принципы и методы / С.Г. Шиятов // Записки Всесоюзного ботанического общества. Вып. 6: Проблемы ботаники на Урале. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – С. 53–81.

Шиятов, С. Г. Итоги дендрохронологических исследований в восточных районах страны за 1968–1982 гг. и перспективы их развития / С.Г. Шиятов, Г.Е. Комин // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 134–160.

Шиятов, С. Г. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской / С.Г. Шиятов, Р.М. Хантемиров, Л.А. Горланова // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2002. – № 9. – С. 2–5.

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.

Шкловский, И. С. Вселенная. Жизнь. Разум / И.С. Шкловский. – М.: Наука, 1976. – 368 с.

Шмальгаузен, И. И. О закономерностях роста у животных / И.И. Шмальгаузен // Природа. – 1928. – № 9. – С. 815–838.

Шмальгаузен, И. И. Определение основных понятий и методика исследования роста / И.И. Шмальгаузен // Рост животных. – М.-Л.: Гос. изд-во биологической и медицинской литературы, 1935. – С. 8–60.

Шмальгаузен, И. И. Рост и дифференцировка: избранные труды: в 2 т. / И.И. Шмальгаузен. – Киев: Наукова думка, 1984. – Т. 1. – 176 с; Т. 2. – 168 с.

Шнейдер, С. Значение изменений потока солнечного излучения для Земли. Тропосфера / С. Шнейдер // Поток энергии Солнца и его изменения / ред. О. Уайт. – М.: Мир, 1980. – С. 26–29.

Шнитников, А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности / А.В. Шнитников. – Л.: Наука, 1969. – 244 с.

Шнитников, А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата / А.В. Шнитников // Труды Лаборатории озераведения. – М.: АН СССР, 1950. – Т. 1. – 129 с.

Шнитников, А. В. Из голоценовой истории озер Евразии / А.В. Шнитников // Ритмы и цикличность в природе. Вопросы географии. Вып. 79. – М.: Мысль, 1970. – С. 51-67.

Шнитников, А. В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария: Записки географического общества СССР / А.В. Шнитников. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – Т. 16. – 336 с.

Шолохов, А. Г. От закономерностей к закону роста леса / А.Г. Шолохов. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2000. – 183 с.

Шульга, В. В. Внутривидовая изменчивость сосны обыкновенной на юге ее ареала (в Казахстане) / В.В. Шульга // Леса и древесные породы Северного Казахстана. – Л.: Наука, 1974. – С. 66-71.

Шульгин, А. М. Климат почвы и его регулирование / А.М. Шульгин. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 341 с.

Щёкалев, Р. В. Динамика радиального прироста ствола у деревьев сосны с различной шириной кроны в дельте Северной Двины / Р.В. Щёкалев, С.Н. Тарханов // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 5. – Брянск: БГИТА, 2002. – С. 52-55.

Щёкалев, Р. В. Изменчивость прироста и качества древесины сосны обыкновенной в естественных насаждениях Северо-Двинского бассейна в условиях аэротехногенного воздействия: автореф. дис... канд. биол. наук / Р.В. Щёкалев. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2004. – 21 с.

Щёкалев, Р. В. Радиальный прирост сосны обыкновенной при аэротехногенном загрязнении в бассейне Северной Двины / Р.В., Щёкалев, С.Н. Тарханов // Лесоведение. – 2007. – № 2 – С.45-50.

Эйгенсон, М. С. Солнце, погода и климат / М.С. Эйгенсон. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 276 с.

Эйтинген, Г. Р. Избранные труды / Г.Р. Эйтинген. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 500 с.

Экологические системы. Адаптивная оценка и управление / под ред. К.С. Холинга. – М.: Мир, 1981. – 398 с.

Эпигенетика / С.М. Закиян, В.В. Власов, Е.В. Дементьева – Новосибирск: ИЦиГ СО РАН. 2012. – 592 с.

Эпигенетика растений: сб. науч. трудов / сост. С.И. Малецкий и Е.В. Левитес. – Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2005. – 374 с.

Эпигенетические закономерности систем изменчивости (на примере *Agropyron cristatum* (L.) Beauv.) / С.И. Неуймин, С.А. Шавнин, А.И. Монтиле, А.А. Монтиле // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 1-7. – С. 1527-1532.

Юдицкий, Я. А. Моделирование закономерностей роста древостоев как основа обновления лесотаксационной информации: автореф. ... канд. с.-х. наук / Я.А. Юдицкий. – Киев, 1982. – 20 с.

Юкнис, Р. А. Выявление антропогенно обусловленных изменений продуктивности лесных насаждений на основе анализа временных рядов годичного прироста деревьев / Р.А. Юкнис, Д.А. Шипените, А. И. Жиливичус // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 8. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 145-157.

Юнге, Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Х. Юнге. – М.: Мир, 1965. – 424 с.

Яковлева, Л. В. Принципы и методы метамерной оценки генотипических параметров изменчивости годичных приростов хвойных в селекции на быстроту роста / Л.В. Яковлева // Генетика. – 1992. – Т. 28, № 10. – С. 162-168.

Яковлева, Л. В. Эколого-генетический анализ линейного прироста хвойных при отборе на быстроту роста / Л.В. Яковлева // Лесоведение. – 1981. – № 3. – С. 85-90.

Ярмишко, В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб: НИИ химии СПбГУ, 1997. – 210 с.

Ясаманов, Н. А. Современный климат и парниковый эффект / Н.А. Ясаманов // Известия РАЕН. Секция наук о Земле. – 2003. – № 10. – С. 98-116.

970-year-long summer temperature reconstruction from Rogen, west-central Sweden, based on blue intensity from tree rings / M. Fuentes, R. Salo, J. Björklund, K. Seftigen, P. Zhang, B. Gunnarson, J.-C. Aravena, H.A. Linderholm // The Holocene. – 2017. – Vol. 28, iss. 2. – Pp. 254-266.

A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates / G. Bond, W. Showers, M. Cheseby, R. Lotti, P. Almasi // Science. – 1997. – Vol. 278 (5341). – Pp. 1257-1266.

A two dimensional model of sulfur species and aerosols / D. R. Weisenstein, G.K. Yue, M.K. Ko, N.-D. Sze, J.M. Rodriguez, C.J. Scott // Journ. Geophys. Res. – 1997. – Vol. 102. – Pp. 13019-13033.

Abbot, C. G. Weather and solar variation / C. G. Abbot // J. Solar Energy Sci. and Eng. – 1957. – Vol. 1. – Pp. 3-5.

Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks / G.H. Miller, G. Aslaug, Z. Yafang, L.J. Darren, O-B.L. Bette et al. // Geophysical Res. Let. – 2012. – Vol. 39 (2). – DOI:10.1029/2011GL050168.

Atmospheric volcanic loading derived from bipolar ice cores accounting for the spatial distribution of volcanic deposition / C. Gao, L. Oman, A. Robock, G.L. Stenchikov // Journ. of Geophys. Res. – 2007. – Vol. 112. – D 09109. – DOI: 10.1029/ 2006JD007461

Backman, G. Wachstumsverlauf und Wachstumfunktionen / G. Backman // Scand. arch. physiol. – 1932. – Vol. 64, No. 1-3. – Pp. 127-170.

Bagby, D. P. Further Evidence of Tidal Influence on Earthquake Incidence / D.P. Bagby // Moon. – 1973. – Vol. 6, No. 3-4. – Pp. 398-404.

Baillie, M. G. L. Tree ring effects and ice core acidities clarify the volcanic record of the first millennium / M. G. L. Baillie, J. McAneney // *Climate of the Past*. – 2015. – Vol. 11. – Pp. 105-114.

Berger A. Long-term variation insolation and quaternary climatic change // *J. Atmos. Sci.* – 1978. – Vol. 35. – Pp. 2362-2367.

Baldwin, J. P. Competition for plant nutrients in soil: a theoretical approach / J. P. Baldwin // *J. Agric. Sci.* – 1976. – Vol. 87. – Pp. 341-356.

Berger, A. Milankovitch theory and climate / A. Berger // *Rev. of Geoph.* – 1988. – Vol. 26. – Pp. 624-657.

Berger, A. Insolation values for the climate of the last 10 million years? / A. Berger, M. F. Loutre // *Quatern. Sci. Rev.* – 1991. – Vol. 10. – Pp. 297-317.

Bertalanffy, L. von. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II.) / L. von Bertalanffy // *Human Biol.* – 1938. – Vol. 10, No. 2. – Pp. 181-213.

Bertalanffy, L. von. Principles and theory of growth / L. von Bertalanffy // *Fundamental aspects of normal and malignant growth*. – Amsterdam: Elsevier, 1960. – Pp. 137-259.

Bertalanffy, L. von. Quantitative laws in metabolism and growth / L. von Bertalanffy // *Quart. Rev. Biol.* – 1957. – Vol. 32, No. 3. – Pp. 217-231.

Bertalanffy, L. von. Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. 1. Allgemeine Grundlagen der Theorie; Mathematische und physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums bei Wassertieren / L. von Bertalanffy // *Wilhelm Roux' Arch.* – 1934. – Bd. 131, № 4. – Ss. 613-653.

Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with earlywood information / J.A. Björklund, B.E. Gunnarson, K. Seftigen, J. Esper, H.W. Linderholm // *Clim. Past*. – 2014. – Vol. 10. – Pp. 877-885.

Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland / M. Rydval, L.A. Larsson, L. McGlynn, B.E. Gunnarson, N.J. Loader, G.H. Young, R. Wilson // *Dendrochronologia*. – 2014. – Vol. 32. – Pp. 191-204.

Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree rings: A manual for a new palaeoclimate proxy / R. Campbell, D. McCarroll, I. Robertson, N.J. Loader, H. Grudd, B. Gunnarson // *Tree-ring Res.* – 2011. – Vol. 67. – Pp. 127-134.

Blue reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude tree rings / D. McCarroll, E. Pettigrew, A. Luckman, F. Guibal, J.-L. Edouard // *Arct. Antarct. Alp. Res.* – 2002. – Vol. 34 (4). – Pp. 450-453.

Bowen, E. G. The influence of meteoritic dust on rainfall / E.G. Bowen // *Australian J. Phys. Short Comm.* – 1953. – Vol. 6, No. 4. – Pp. 490-497. DOI: 10.1071/PH530490

Brody, S. Bioenergetics and growth / S. Brody. – N.-Y.: Reinhold, 1945. – 475 p.

Brückner, E. Klima-Schwankungen Seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit / Von Dr. Eduard Brückner. – Wien; Olmütz: E. Hölzel, 1890. – 324 s. – (Geographische Abhandlungen. Bd. 4. H. 2).

Charvatova, I. Long-term predictive assessments of solar and geomagnetic activities made on the basis of the close similarity between the solar inertial motions in the

intervals 1840-1905 and 1980-2045 / I. Charvatova // *New Astronomy*. – 2009. – No. 14. – Pp. 25-30.

Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica / J. Petit, J. Jozel, D. Raynaud et al. // *Nature*. – 1999. – Vol. 399, 3 June. – Pp. 429-436.

Climate response to the Samalas volcanic eruption in 1257 revealed by proxy records / S. Guillet, C. Corona, M. Stoffel et al. // *Nature Geoscience*. – 2017. – Vol. 10. – Pp. 123-128.

Cliver, E. W. The semiannual variation of geomagnetic activity: phases and profiles for 130 years of aa data / E.W. Cliver, Y. Kamide, A.G. Ling // *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*. – 2002. – Vol. 64, iss. 1. – Pp. 47.

Cold decade (AD 1810-1819) caused by Tambora (1815) and another (1809) stratospheric volcanic eruption / J. Cole-Dai, G. Zielinski, B. Vinther et al. // *Geophys. Res. Lett.* – 2009. – Vol. 36. – L22703. – DOI: 10.1029/2009GL040882.

Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD / U. Büntgen, V.S. Myglan, F.C. Ljungqvist et al. // *Nature Geoscience*. – 2016. – URL: www.nature.com/naturegeo-science. – DOI: 10.1038/NNGEO2652.

Crowley, T. J. Causes of climate change over the past 1000 years / T.J. Crowley // *Science*. – 2000. – Vol. 289. – Pp. 270-277.

Crutzen, P. J. Albedo enhancement by stratospheric sulfur injection: a contribution to resolve a policy dilemma? / P.J. Crutzen // *Climate Change*. – 2006. – Vol. 77. – Pp. 211-219.

D'Arrigo, R. Dendroclimatological evidence for major volcanic events of the past two millennia / R. D'Arrigo, G. Jacoby // *Volcanism and the Earth's Atmosphere*. Robock and Oppenheimer (eds.) *Geophys. monograph*. Vol. 139. – Amer. Geophys. Union, Washington, DC. 2003. – Pp. 255-261.

D'Arrigo, R. On the long-term context for late twentieth century warming / R. D'Arrigo, R. Wilson, G. Jacoby // *Journ. of Geophys. Res. Atmosphere*. – 2006. – Vol. 111, ND3. – D03103. – DOI: 10.29/2005JD006352.

D'Arrigo, R. Volcanic cooling signal in tree temperature records for the past millennium / R. D'Arrigo, R. Wilson // *Journ. of Geophys. Res.* – 2013. – Vol. 118. – Pp. 9000-9010.

De Silva, S. Global influence of the AD 1600 eruption of Huaynapurina, Peru / S. De Silva, G. A. Zielinski // *Nature*. – 1998. – Vol. 393, 4 June. – Pp. 455-458.

Decadal variations in surface solar irradiance as observed in a globally remote network / E.G. Dutton, D.W. Nelson, R.S. Stone et al. // *Journ. of Geophys. Res.* – 2006. – Vol. 111. – D19101. – DOI: 10.1029/2005JD006901.

Dolgova, E. June–September temperature reconstruction in the Northern Caucasus based on blue intensity data / E. Dolgova // *Dendrochronologia*. – 2016. – Vol. 39. – Pp. 17-23.

Douglass, A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of tree in relation to climate and solar activity / A. E. Douglass. – Washington: Carnegie Inst., 1919, 1928, 1936. – Vol. 1-3. – 564 p. <https://archive.org/details/climaticcyclestr131doug>

Dudok de Wit, T. Solar forcing of the terrestrial atmosphere / T. Dudok de Wit, J. Watermann // *Geosci.* – 2010. – Vol. 342. – Pp. 259-272.

Dumont, S. On the Link Between Global Volcanic Activity and Global Mean Sea Level / S. Dumont, S. Petrosino, M. C. Neves // *Earth Sci.* – Sec: Volcanology – 08 June 2022. – URL: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.845511>

Effects of meteoric debris on stratospheric aerosol and gasses / R.P. Turco, O.B. Toon, P. Hamill, R.C. Whitten // *Journ. Geophys. Res.* – 1981. – Vol. 86, C 2. – P. 1113-1128.

Fairbridge, R. W. Prolonged Minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion / R. W. Fairbridge, J. Shirley // *Solar Physics.* – 1987. – Vol. 110. – Pp. 191-220.

Fedorov, V. M. Interannual variability of the Solar constant / V.M. Fedorov // *Solar System Res.* – 2012. – Vol. 46, No. 2. – P. 170-176.

Fedorov, V. M. Interannual variations in the duration of the tropical year / V.M. Fedorov // *Dokl. Earth Sci.* – 2013. – Vol. 451, Pt. 1. – P. 750-753.

Fedorov, V. M. Periodic perturbations and small variations of the Solar climate of the Earth / V.M. Fedorov // *Dokl. Earth Sci.* – 2014. – Vol. 457, pt. 1. – Pp. 868-871.

Feynman, J. Geomagnetic and solar wind cycles, 1900–1975 / J. Feynman // *Journ. Geophys. Res.* – 1982. – Vol. 87. – Pp. 6153.

Fritts, H. C. An approach to dendroclimatology: screening by means of multiple regression techniques / H. C. Fritts // *Journ. Geophys. Res.* – 1962. – Vol. 67, No. 4. – Pp. 1413-1420.

Fritts, H. C. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. A diagnostic analysis / H. C. Fritts. – Tucson; London: Arisona Univ. Press, 1991. – 286 p.

Fritts, H. C. Tree-ring and climate / H. C. Fritts. – London; New York; San Francisco: Acad. Press, 1976. – 567 p.

Gao, C. Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: An improved ice-core-based index for climate models / C. Gao, A. Robock, C. Ammann // *Journ. of Geophys. Res.* – 2008. – Vol. 113. – D 23. – DOI: 10.1029/2008JD010239.

Gao, C. Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: an improved ice-core-based index for climate models: a dissertation submitted to the Graduate School / C. Gao. – New Brunswick, Rutgers, the State University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey, 2008. – 138 p.

Gervais, B.R. Tree-ring and summer temperature response to volcanic aerosol forcing at the northern tree-line, Kola Peninsula, Russia / B.R. Gervais, G.M. MacDonald // *The Holocene.* – 2001. – Vol. 11. – Pp. 499-505.

Gewehr, S. Soil characteristics mediate the distribution and response of boreal trees to climatic variability / S. Gewehr, I. Drobyshev, F. Berninger, Y. Bergeron // *Canadian Journal of Forest Research.* – 2014. – Vol. 44 (5). – Pp. 487-498.

Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval climate anomaly / M. E. Mann, Z. Zhang, S. Rutherford et al. // *Science.* – 2009. – Vol. 326. – Pp. 1256-1260.

Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval climate anomaly / M.E. Mann, Z. Zhang, S. Rutherford et al. // *Science.* – 2009. – Vol. 326. – Pp. 1256-1260.

Global tracking of the SO₂ clouds from the June 1991 Mount Pinatubo eruptions / G.J.S. Bluth, S.D. Doiron, S.C. Schnetzler, A.J. Krueger, I.S. Walter // *Geophys. Res. Lett.* – 1992. – Vol. 19. – Pp. 151-154.

Grove, J. M. The little ice age / J. M. Grove. – Methuen, London, New York, 1988. – 498 p.

Grubb, P. J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? / P. J. Grubb // *Phytocoenologia*. – 1994. – Vol. 24. – Pp. 495-505.

Harper, J. L. The effects of neighbors / J. L. Harper // *Population Biology of Plants*. – London: Academic Press, 1977. – Pp. 151-347.

Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control / edited by S. Woodward et al. – CAB International, Wallingford, 1998. – 590 p.

Hunten, D. M. Residence times of aerosols and gases in the stratosphere / D. M. Hunten // *Geophys. Res. Lett.* – 1975. – Vol. 2, No. 1. – Pp. 26-27.

Hunten, D. M. Smoke and dust particles of meteoric origin in mesosphere and stratosphere / D.M. Hunten, R.P. Turco, O.B. Toon // *Journ. Atmospheric Sci.* – 1980. – Vol. 37, No. 6. – Pp. 1342-1357.

Inferring the global cosmic dust influx to the Earth's atmosphere from lidar observations of the vertical flux of mesospheric particles / C. S. Gardner, A. Z. Liu, D. R. Marsh, W. Feng, J. M. Plane // *J. Geophysics Res.: Space Physics*. – 2014. – Vol. 119. – Pp. 7870-7879.

Ion balance equation in the atmosphere / V.I. Ermakov, G.A. Bazilevskaya, P.E. Pokrevsky, Y.I. Stozhkov // *Journ. Geophys. Res.* – 1997. – Vol. 102, No. D19. – Pp. 23413–23420.

IPCC: Climate change 2001: The Scientific basis: Contribution of working group to the third assessment report of the Intergovernmental panel of Climate Change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. // Cambridge University Press. – Cambridge, United Kingdom; New York, USA, 2001. – 881 p.

Jones, C. G. Organisms as ecosystem engineers / C. G. Jones, J. H. Lawton, M. Shachak // *Oikos*. – 1994. – Vol. 69. – Pp. 373-386.

Jones, P. D. Climate over past millennia / P. D. Jones, M. E. Mann // *Rev. of Geophysics*. – 2004. – Vol. 42, No. 2. – RG2002. – DOI: 10.1029/2003RG000143.

Jones, P. D. Sun's Motion and Sunspots / P. D. Jones // *Astronomical Journal*. – 1965. – Vol. 70, No. 3. – Pp. 193-200.

Joselyn, J. A. Geomagnetic activity forecasting: The state of the art / J.A. Joselyn // *Reviews of Geophysics*. – 1995. – Vol. 33, iss. 3. – Pp. 383.

Kadmon, R. Plant competition along soil moisture gradients: a field experiment with the desert annual *Stipa capensis* / R. Kadmon // *Journal Ecology*. – 1995. – Vol. 83. – Pp. 253-262.

Keddy, P. A. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities / P. A. Keddy; J. B. Grace and D. Tilman [eds.]. // *Perspectives on Plant Competition*. – Academic Press, San Diego, CA, 1990. – Pp. 266-290.

Kerr, R. A. Is a thinning haze unveiling the real global warming? / R.A. Kerr // *Science*. – 2007. – Vol. 315. – Pp. 1480.

Kishcha, P. V. Long-term variations of the solar-geomagnetic correlation, total solar irradiance, and northern hemispheric temperature (1868–1997) / P.V. Kishcha, I.V. Dmitrieva, V.N. Obridko // *Journ. Atmos. Sol-Terr. Phys.* – 1999. – Vol. 61. – Pp. 799.

Koslowski, G. Reconstruction of the winter severity since 1701 in the Western Baltic / G. Koslowski, R. Glaser // *Climatic Change.* – 1995. – No. 31 (1). – Pp. 79–98.

Krüger, F. Probleme der mathematischen Darstellung des Fischwachstums / F. Krüger // *Ber. Deutsch. wiss. Kommiss. Meeresforsch.* – 1970. – Bd. 21, N 1-4. – Ss. 224-233.

Krakauer, N. Y. Do volcanic eruptions enhance or diminish net primary production? / N. Y. Krakauer, J. Randerson // *Glob. Biogeochem. Cycles.* – 2003. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 1118.

La Marche, V. C. Ir. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions / V.C.Ir. La Marche, K. K. Hirschboeck // *Nature.* – 1984. – Vol. 307, No. 5947. – Pp. 121-126.

Ladurie, E. R. Times of Feast, Times of Famine. A History of Climate since the Year 1000 / E. R. Ladurie. – N.Y.: Doubleday, Garden City, 1971. – 426 p.

Lafleur, B. Response of northeastern North American forests to climate change: Will soil conditions constrain tree species migration? / B. Lafleur, D. Paré, A.D. Munson, Y. Bergeron // *Environmental Reviews.* – 2010. – Vol. 1. – Pp. 279-289.

Lamb, A. H. Update of the chronology of assessments of the volcanic dust veil index / A.H. Lamb // *Clim. Monit.* – 1983. – No. 12. – Pp. 79-90.

Lamb, A. H. Volcanic dust in the atmosphere / A.H. Lamb // *Phil. Trans. Roy. Soc.* – 1970. – Vol. 266. – Pp. 425-533.

Lamb, H. H. The cold Little Ice Age climate of about 1550 to 1800. Climate: present, past and future / A.H. Lamb. – London: Methuen, 1972. – 107 p.

Landscheidt, T. Extrema in Sunspot Cycle Linked To Sun's Motion / T. Landscheidt // *Solar Physics.* – 1999. – No. 189 (2). – Pp. 415-426.

Landscheidt, T. Sun-Earth-Man: A Mesh of Cosmic Oscillations – How Planets Regulate Solar Eruptions, Geomagnetic Storms, Conditions of Life and Economic Cycles / T. Landscheidt. – London: Urania, 1987. – 112 p.

Laskar, J. Secular evolution of the Solar system over 10 million years / J. Laskar // *Astron. Astrophys.* – 1988. – Vol. 198. – Pp. 341-362.

Ledermann, T. Effects of competitor spacing in individual-tree indices of competition / T. Ledermann, A.R. Stage // *Can. J. For. Res.*, – 2001. – Vol. 31. – P. 2143-2150.

Levin, B. Zonal concentration of some geophysical process intensity caused by tides and variations in the Earth's rotation velocity / B. Levin, A. Domanski, E. Satorova // *Adv. Geosci.* – 2014. – Vol. 35. – Pp. 137-144.

Linkages Between Solar Activity, Climate Predictability and Water Resource Development / W.J.R. Alexander, F. Bailey, D. B. Bredenkamp, A. van der Merwe, N. Willemse // *Journ. of the South African Institution of Civil Engineering.* – 2007. – Vol. 49, N 2. – Pp. 32-44.

Lockwood, M. A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the last 100 years / M. Lockwood, R. Stamper, M. N. Wild // *Nature.* – 1999. – Vol. 399. – Pp. 437.

Loveliuss, N. V. Dendroindication of natural processes and anthropogenic influences / N. V. Loveliuss. –St.-Peterburg: World and Family-95, 1997. – 320 p.

Mabvurira, D. Individual-tree growth and mortality models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe / D. Mabvurira, J. Miina // Forest Ecology and Management. – 2002. – Vol. 161. – P. 231-245.

Marsh, N. Solar influence on earth's climate / N. Marsh, H. Svensmark // Space Sci. Rev. – 2003. – Vol. 107. – Pp. 317-325.

Marsh, N. Cosmic rays, clouds and climate / N. Marsh, H. Svensmark // Space Sci. Rev. – 2000. – Vol. 94. – Pp. 215-230.

Matthews, J. A. The 'little ice age': Re-evaluation of an evolving concept / J.A. Matthews, K.R. Briffa // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. – 2005. – Vol. 87. – Pp. 17-36. DOI:10.1111/j.0435-3676.2005.00242

Matvejev, S. M. Dendrochronological studies of technogenic changes in pine forests of the Voronezh region / S.M. Matvejev // Scientia agriculturae Bohemica. – 1998. – No. 29. – Pp. 65-73.

McCormick, M. P. Atmospheric effect of the Mt. Pinatubo eruption / M.P. McCormick, L.W. Thomason, C.R. Trepte // Nature. – 1995. – Vol. 373. – Pp. 399-404.

Medawar, P. B. The growth, energy and ageing of the chickens heart / P. B Medawar // Proc. Roy. Soc. Bull. – 1940. – Vol. 129, No. 856. – Pp. 332-355.

Mellander, P. E. Climate change impact on snow and soil temperature in boreal Scots pine stands / P.E. Mellander, M.O. Löfvenius, H. Laudon // Climatic Change. – 2007. – Vol. 85, iss. 1-2. – Pp. 179-193.

Milankovitch, M. Theorie Mathematique des Phenomenes Thermiques produits par la Radiation Solaire / M. Milankovitch. – Paris: Gauthier-Villars et Cie, 1920. –339 p.

Minot, Ch. S. The Problem of age, growth and death / Ch.S. Minot // Popul. Sci. Monthly. – 1907. – Vol. 71. – Pp. 481-523.

Mitchell, J. M. A preliminary evaluation of atmospheric pollution as a cause of the global temperature fl uctuation of the past century / J.M. Mitchell // Global Effects of Environmental Pollution / eds S.F. Singer, D. Reidel. – 1970. – Pp. 139-155.

Neher, H. V. Cosmic-Ray at latitudes and altitudes covering four solar maxima / H.V. Neher // Journ. Geophys. Res. – 1971. – Vol. 76. – Pp. 1637-1657.

Northern European summer temperature variations over the Common Era from integrated tree-ring density records / J. Esper, E. D  thorn, P.J. Krusic, M. Timonen, U. Büntgen // Journ. of Quaternary Science. – 2014. – Vol. 29. – Pp. 487-494.

Northtrn hemisphere annual temperatures from low-and high-resolution proxy data over the last 2000 years / A. Moberg, D.M. Sonechkin, K. Holmgren, N.M. Datsenko, W. Karlen // Nature. – 2005. – Vol. 433, No. 7026. – Pp. 613-617.

Observations of a stratospheric aerosol veil from a tropical volcanic eruption in December 1808: is this the Unknown ~1809 eruption? / A. Guevara, C.A. Williams, E. Hendy, A.C. Rust, K.V. Cashman // Climate of the Past. – 2014. – Vol. 10, No. 5. – Pp. 1707-1722.

Operative center of the geophysical prognosis in IZMIRAN / A.V. Belov, S.P. Gaidash, K.D Kanonidi et al. // Ann. Geophys. – 2005. – Vol. 23. – P. 3163.

Oppenheimer, C. Ice core palaeoclimatic evidence for the timing and nature of the great mid-13th century volcanic eruption / C. Oppenheimer // *Journ. Climatol.* – 2003. – Vol. 23. – Pp. 417-426.

Oswalt, W. H. Volcanic activity and Alaskan spruce growth in A. D. 1783 / W.H. Oswalt // *Science.* – 1957. – Vol. 126, No. 3279. – Pp. 928-929.

Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene / G. Bond, B. Kromer, J. Beer, R. Muscheler, M.N. Evans et al. // *Science.* – 2001. – Vol. 294 (5549). – Pp. 2130-2136.

Peschel, W. Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgestze von Baum und Bestund und die Ergebnisse ihrer Anwendung / W. Peschel // *Tharandter Forstl. Jahrb. Berlin.* – 1938. – Bd. 89. – Ss. 169-247.

Pfister, C. Winter Severity in Europe: The Fourteenth Century / C. Pfister, G. Schwarz-Zanetti, M. Wegmann // *Climatic Change.* – 1996. – No. 34 (1). – Pp. 91-108.

Pinker, R. T. Do satellites detect trends in surface solar radiation? / R.T. Pinker, B. Zhang, E.G. Dutton // *Science.* – 2005. – Vol. 308, No. 5723. – Pp. 850-854.

Plant Epigenetics / ed. Peter Meyer. – University of Leeds: UK, 2005. – 320 p.

Pyle, D. M. Sulphur emission to the stratosphere from explosive volcanic eruption / D.M. Pyle, P. D. Beattie, G. J. S. Bluth // *Bull. Volcanol.* – 1996. – Vol. 57. – Pp. 663-671.

Rao, J. New return of the Leonids meteors / Joe Rao // *Sky and Telescope.* – 1998. – Vol. 96, No. 5. – Pp. 38-44.

Recent acceleration of the North magnetic pole linked to magnetic jerks / L.R. Newitt, M. Mandea, L.A. Meke, J.J. Orgeval // *EOS Transaction American Geophysical Union.* – 2002. – Vol. 83, No. 35. – Pp. 387-389.

Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance / W.B. White, J. Lean, D.R. Cayan, M.D. Dettinger // *Journ. Geophys. Res. Oceans.* – 1997. – Vol. 102, C2. – Pp. 3255-3266.

Robock, A. Ice cores as an index of global volcanism from 1850 to the present / A. Robock, M.P. Free // *Rev. Geophys.* – 1995. – Vol. 100, No. D6. – Pp. 11549-11567

Robock, A. The volcanic record in ice cores for the past 2000 years / A. Robock, M. P. Free // *NATO ASI Series.* – 1996. – Vol. 141. – Pp. 533-546.

Robock, A. Volcanic eruptions and climate / A. Robock // *Rev. Geophys.* – 2000. – Vol. 38. – Pp. 191-219.

Russell, C. T. Semiannual variation of geomagnetic activity / C.T. Russell, R.L. McPherron // *Rev. Geophys.* – 1973. – Vol. 78. – Pp. 92.

Sachs, J. Zehrbuch der Botanik / J. Sachs. – Leipzig, 1873. – 928 s.

Salzer, M. W. Bristlecone pine tree rings and volcanic eruptions over the last 5000 yr / M.W. Salzer, M.K. Hughes // *Quater. Res.* – 2007. – Vol. 67. – Pp. 57-68.

Satellite limb-scanning thermal infrared observation of the El Chichon stratospheric aerosol: First results / G. E. Thomas, B. M. Jakosky, R.A. West, R.W. Sanders // *Geophys. Res. Lett.* – 1983. – Vol. 10, No. 11. – Pp. 997-1000.

Schmincke, H.-U. Volcanism / H.-U. Schmincke. – Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2004. – 324 p.

Schulman, E. Dendroclimatic changes in semiarid America / E. Schulman. – Tucson-Arizona: University of Arizona Press, 1956. – 142 p.

Scuderi, L. A. Tree-ring evidence for climatically effective volcanic eruptions / L.A. Scuderi // *Quater. Res.* – 1990. – Vol. 34. – Pp. 67-85.

Sidorenkov, N. S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes / N.S. Sidorenkov. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 2009. – 305 p.

Source of the great AD 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani volcanic complex, Indonesia / F. Lavigne, J.-P. Degeai, J. Komarowski et al. // *Proc. of the Nat. Acad. of Sci. of the United States of America (PNAS)*. – 2013. – Vol. 10, No. 42. – Pp. 16742-16747.

Spatial-temporal variability in volcanic sulphate deposition over the past 2 key in snow pits and fir cores from Amundsenisen, Antarctica / F. Traufetter, H. Oerten, H. Fischer, R. Weller, H. Miller // *Journ. of Glaciology*. – 2004. – Vol. 50, No. 168. – Pp. 137-146.

Stadt, K. J. Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in mature boreal mixed forests / K. J. Stadt, C. Huston, K.D. Coates, Z. Feng, M.R.T. Dale, V.J. Lieffers // *Ann. For. Sci.* – 2007. – Vol. 64. – Pp. 477-490.

Stanhill, G. A perspective on global warming, dimming and brightening / G. Stanhill // *EOS Trans. AGU*. – 2007. – Vol. 88, No. 5. – Pp. 58.

Stoiber, R. F. Annual contribution of sulphur dioxide to the atmosphere by volcanoes / R.F. Stoiber, S.N. Williams, B. Hulbert // *Journ. Volcanol. and Geotherm. Res.* – 1987. – Vol. 33. – Pp. 1-8.

Stothers, R. B. Climatic and demographic consequences of the massive volcanic eruption of 1258 / R.B. Stothers // *Climatic Change*. – 2000. – Vol. 45. – Pp. 361-374.

Stothers, R. B. The great dry fog of 1783 / R.B. Stothers // *Climatic Change*. – 1996. – Vol. 32. – Pp. 79-89.

Stothers, R. B. The great Tambora eruption in 1815 and its aftermath / R.B. Stothers // *Science*. – 1984. – Vol. 224. – Pp. 1191-1198.

Stratospheric loading of sulfur from explosive volcanic eruptions / C.J.S. Bluth, W. Rose, I.E. Sprod, A.J. Krueger // *Journ. of Geol.* – 1997. – Vol. 105. – Pp. 671-683.

Studhalter, R. A. Tree growth. Some historical chapters in the study of diameter growth / R.A. Studhalter, W.S. Glock, S. R. Agerter // *Bot. Rev.* – 1963. – Vol. 29, No. 3. – Pp. 245-365.

Sulfur and halogen chemistry of stratosphere and of volcanic eruption plumes / A.L. Lazrus, R.D. Cadle, B.W. Gandrud et al. // *Journ. of Geophys. Res.* – 1979. – Vol. 84, No. 12. – Pp. 7869-7875.

Synchronous deposition of volcanic ash and sulfate aerosols over Greenland in 1783 from Laki eruption (Iceland) / L. Wei, E. Mosley-Thompson, P. Gabrielli, L. Thompson, C. Barbante // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – Vol. 35. – L16501. – DOI: 10.1029/2008GL0035117.

Taylor, C. C. Growth equations with metabolic parameters / C.C. Taylor // *Journ. Conseil*. – 1962. – Vol. 27, No. 3. – Pp. 270-286.

The 1452 or 1453 A.D. Kuwae eruption signal derived from multiple ice core records: Greatest volcanic sulfate event of the past 700 years // C. Gao, A. Robock, S. Self

et al. // *Journ. of Geophys. Res.* – 2006. – Vol. 111. – D12107. – DOI: 10.1029/2005JD006710.

The atmosphere impact of the 1991 Mount Pinatubo eruption / S. Self., J.-X. Zhao, R. Holasek, R. Torres, A.J. King // *Fire and mud: Eruption and lahars of Mt. Pinatubo.* – Quezon City and Univ. of Wash. Press, Seattle, 1996. – 126 p.

The Extratropical Northern 12. Hemisphere Temperature Reconstruction during the Last Millennium Based on a Novel Method / P. Xing, X. Chen, Y. Luo, S. Nie, Z. Zhao, J. Huang et al. // *PLoS ONE.* – 2016. – No. 11(1): e0146776. – DOI: 10.1371/journal.pone.0146776

The Little Ice Age in Iberian mountains / Oliva M., Ruiz-Fernandez J., Barriendos M., Benito G., Guadrat J.M., Dominguez-Castro F., Garcia-Ruiz J.M. et al. // *Earth-Science Reviews.* – 2017. – Vol. 177. – DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.010.

Thomason, L. W. The assessment of stratospheric aerosol properties (ASAR): Stratospheric Processes and their Role in Climate / L.W. Thomason, T. Peter – WMO/TD. – 2006. – No. 1295. – 321 p.

Thordarson, T. Atmospheric and environmental effects of 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment / T. Thordarson, S. Self // *Journ. Geophys. Res.* – 2003. – Vol. 108. – Pp. 4011-4019.

Trends in recent temperature and radial tree growth spanning 2000 years across northwest Eurasia / K.R. Briffa, V.V. Shishov, T.M. Melvin et al. // *Phil. Trans. R. Soc.* – July 2008. – Vol. 363, No. 1501. – Pp. 2269-2282.

Ursin, E. A mathematical model of some aspects of fish growth, respiration and mortality / E. Ursin // *Journ. Fish. Res. Board Canada.* – 1967. – Vol. 24, No. 11. – Pp. 2355-2453.

Using adjusted Blue Intensity data to attain high quality summer temperature information: A case study from Central Scandinavia / J. Björklund, B.E Gunnarson, K. Seftigen, P. Zhang, M. Fuentes // *The Holocene.* – 2015. – Vol. 25. – Pp. 547-556.

Vennerstrom, S. Long-term and solar cycle variation of the ring current / S. Vennerstrom, E. Friis-Christensen // *Journ. Geophys. Res.* – 1996. – Vol. 101. – P. 24727.

Vernekar, A. Long-period global variations of incoming solar radiation / A. Vernekar // *Meteorol. Monographs. Amer. Meteorol. Soc.* – 1972. – Vol. 12, N 34. – 128 p.

Volcan El Chichon. Mexico: Pre-1982. S-rich eruptive activity / W. I. Rose, Th. J. Bornhorst, S.P. Halson et al. // *Journ. Volcanol. end Geotherm. Res.* – 1984. – Vol. 23, No. 1-2. – Pp. 1-8.

Volcanism and the Little Ice Age / T.J. Crowley, G. Zielinski, B. Vinther et al. // *Pages Newsletter.* – 2008. – Vol. 16. – Pp. 22-23.

Wang, Y.-M. Meridional Flow and the Solar Cycle Variation of the Sun's Open Magnetic Flux / Y.-M. Wang, Jr. N. R. Sheeley, J. Lean // *Astrophys. Journ.* – 2002. – Vol. 580. – Pp. 1188.

Wang, Y.-M. The long-term variation of the Sun's open magnetic flux / Y.-M. Wang, J. Lean, Jr. N. R. Sheeley // *Geophys. Res. Lett.* – 2000. – Vol. 27, iss. 4. – Pp. 505.

Wedin, D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition / D. Wedin, D. Tilman // *Ecol. Monogr.* – 1993. – Vol. 63. – Pp. 199-229.

Wild, M. Impact of global dimming and brightening on global warming / M. Wild, A. Ohmura, K. Makowski // *Geophys. Res. Lett.* – 2007. – Vol. 34. L04702. – DOI: 10.1029/2006GLO28031.

Wilson, B. J. Shoot competition and root competition / B. J. Wilson // *Journal Appl. Ecol.* – 1988. – Vol. 25. – Pp. 279-296.

Winter air temperature variations in western Europe during the Early and High Middle Ages (AD 750–1300) / C. Pfister, J. Luterbacher, G. Schwarz-Zanetti, M. Wegmann // *The Holocene.* – 1998. – No. 8 (5). – Pp. 535-552.

Wright, J. P. Predicting effects of ecosystem engineers on patch-scale species richness from primary productivity / J.P. Wright, C.G. Jones // *Ecology.* – 2004. – Vol. 85(8). – Pp. 2071-2081.

Yang, F. the surface and atmosphere temperature changes following the 1991 Pinatubo volcanic eruption: AGCM study / F. Yang, M. Schlesinger // *Journ. of Geophys. Res.* – 2002. – Vol. 107. – DOI: 10.1029/2001JD000373

Zielinski, G. A. Use of paleo-records in determining variability within the volcanism-climate system / G.A. Zielinski // *Quatern. Sci. Rev.* – 2000. – Vol. 19. – Pp. 417-438.

Научное издание

ДЕМАКОВ Юрий Петрович

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ
НА РОСТ ДЕРЕВЬЕВ В СОСНЯКАХ
РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Монография

Редакторы

Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская

Компьютерная верстка

Ю. П. Демакова, Е. А. Головиной

Дизайн обложки

Ю. П. Демакова

Подписано в печать 04.09.2023. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная

Усл. п.л. 27,9. Тираж 300 экз. Заказ № _____

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Вертикаль»
424060 Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Мира, д. 21