



Е. В. Матюшевская

ФАКТОРЫ
ИЗМЕНЧИВОСТИ
РАДИАЛЬНОГО
ПРИРОСТА
ДЕРЕВЬЕВ

МИНСК
БГУ
2017

УДК 630*17:582.475(476)+630.18:630*56(476)

Матюшевская, Е. В. Факторы изменчивости радиального прироста деревьев / Е. В. Матюшевская ; под общ. ред. В. Н. Киселева. — Минск : БГУ, 2017. — 231 с. — ISBN 978-985-566-440-7.

Рассматриваются результаты исследований изменчивости радиального прироста ели и сосны под влиянием естественных и антропогенных факторов на территории Беларуси. Объект изучения — современные поколения ели и сосны в условиях техногенного загрязнения воздушной среды в г. Минске и г. Могилеве, «островные» ельники, сосняки и верховые болота в Белорусском Полесье, предмет — их радиальный прирост. Выявлены реакции ели и сосны на изменчивость погодно-климатических факторов при техногенном загрязнении воздушной среды в этих городах и после водно-земельной мелиорации на юге Беларуси, их отношения с фотосинтетически активной радиацией, температурой воздуха и осадками с учетом эдафических условий произрастания.

Ил. 45. Табл. 70. Библиогр. 149 назв.

Под общей редакцией **В. Н. Киселева**

*Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Белорусского государственного университета*

Рецензенты:

доктор географических наук *Т. И. Кухарчик*;
доктор геолого-минералогических наук *М. Г. Ясовеев*

ISBN 978-985-566-440-7

© Матюшевская Е. В., 2017
© БГУ, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозы о состоянии среды проживания человечества, особенно негативные, постепенно сбываются: экологические беды и катастрофы происходят по вине человека. Однако их энергетическое обеспечение по-прежнему будет принадлежать солнцу, только перераспределится его энергия в биосфере или произойдет накопление в результате антропогенного усиления «парникового эффекта», хотя строгого научного доказательства такого усиления нет.

Беларусь – лесная страна, и исследование экологической роли лесов в природе выходит за рамки отраслевых интересов. Важно понять механизм взаимодействия лесных экосистем с постоянно меняющимися экологическими факторами как естественного, так и антропогенного происхождения. В таких исследованиях должны учитываться временной и территориальный аспекты, чтобы ответить на вопросы: что, когда, где и по какой причине происходит в лесном покрове.

В последние десятилетия увеличилось количество погодно-климатических аномалий, влияние которых на лесные ландшафты слабо изучено. Новые данные по этой проблеме крайне необходимы для познания причин деградации лесов и прогнозирования кризисных явлений в окружающей среде. Накопилось много вопросов, связанных с современным состоянием и перспективой развития природы под влиянием разнообразных факторов.

Некоторые явления в природной среде, естественные или возникшие в результате антропогенного воздействия на нее, не получили пока аргументированного объяснения. Познание может быть неопределенно долгим, но масштабы использования природных (лесных) ресурсов

обогнали их изученность. Необходимо сократить этот разрыв. По мере старения и вырубки современных поколений лесных пород заключенная в них дендрохронологическая и дендроклиматическая информация для принятия перспективных решений в области природопользования будет безвозвратно потеряна.

После мелиоративного освоения Белорусского Полесья в середине 1980-х гг. прошло около 30 лет. Сложилась определенная экологическая реальность, в которой продолжает развиваться природная среда региона. Изменение климата Белорусского Полесья представляет несомненный интерес, так как этот болотно-лесной регион в течение более чем двухвекового периода подвергался крупномасштабной водно-земельной (осушительной) мелиорации, сопровождающейся не менее масштабной вырубкой лесов и обеспечивающей интенсификацию сельскохозяйственного использования освоенных болот и заболоченных земель.

Климатические условия этого региона отражают общую тенденцию фиксируемой изменчивости зонального климата и климатической системы планеты в ее единстве. Из-за крупномасштабной водно-земельной мелиорации возникла вероятность изменения климата юга Беларуси по причине возможного влияния на него этого антропогенного фактора. Сегодня природопользование на территории Белорусского Полесья осуществляется в условиях состояния среды, порожденных мелиоративным освоением болот и заболоченных земель, создав новые проблемы в использовании, воспроизводстве и охране растительных и земельных ресурсов.

Изменение климата имеет региональные проявления. Солнечной радиации – важнейшему климатообразующему фактору – в этом аспекте практически не уделялось внимания. Региональный анализ изменчивости фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) отсутствует, несмотря на ее неоспоримое значение для фотосинтеза, определяющего первичную продуктивность естественного растительного покрова и урожайность агрофитоценозов. Привлечение ФАР необходимо для решения возникающих задач в области использования, воспроизводства и охраны биологических ресурсов в различных природных регионах Беларуси.

Широко распространено мнение, что потепление климата вызвало ухудшение состояния ели и усыхание ее древостоя в Евразийской зоне

темнохвойных лесов. Однако это потепление не всегда приводит к ухудшению условий произрастания насаждений, в некоторых регионах возможно их улучшение, но в огромном объеме публикаций на «еловую тему» внушающая оптимизм информация отсутствует.

Воздействие региональных и локальных условий в таком случае накладывается на синхронизирующий фактор, усиливая или ослабляя его. В дендроклиматологии за экологические условия, наиболее влияющие на стволовую продуктивность древостоя, приняты температура воздуха и атмосферные осадки, попытки же привлечь к исследованиям важнейший фактор – солнечную радиацию – практически отсутствуют. При этом необходимо выявить значение общепланетарных геофизических процессов (вулканических извержений) на состояние и продуктивность основных пород-лесообразователей как фона изменчивости этих показателей под воздействием региональных климатических и антропогенных факторов. Структура исследования должна отражать географический подход к его выполнению.

Цель исследования – определение связи радиального прироста хвойных лесообразующих пород (ели и сосны) с погодно-климатическими (солнечной радиацией, температурой воздуха и осадками) и основными антропогенными факторами (техногенным загрязнением воздушной среды и водно-земельной мелиорацией) в условиях изменяющегося климата Беларуси. Основные задачи – получение кольцевых хронологий названных древесных пород при полевых исследованиях, их статистическая обработка, дендроклиматический и экологический анализы, определение количественных показателей связи годичного прироста древесины с факторами среды, сравнительный анализ полученных результатов в различных лесорастительных условиях.

Результаты научных исследований о влиянии антропогенных факторов на лесную растительность противоречивы. Погодно-климатическими условиями невозможно объяснить одновременное наступление периодов максимальной стволовой продуктивности и угнетения древостоя независимо от его возраста. Геофизические факторы (вулканические извержения, замутненность атмосферы, яркость солнечного диска и др.) и их влияние на цикличность первичной продуктивности леса еще недостаточно исследованы.

Белорусские леса, несомненно, интересны для проведения подобных исследований. Не менее актуальным представлялось получение и

сохранение дендроклиматической информации о стоянии лесов, заключенной в годичных кольцах, на территории Беларуси в XIX, XX и начале XXI в. Из-за вырубki или естественной гибели великовозрастных насаждений и отдельных деревьев, малосохранившихся в лесном фонде республики, эта информация будет утрачена. Значение же ее в перспективе для лесного хозяйства трудно переоценить.

В экспедиционных исследованиях участвовали соавторы совместных публикаций П. А. Митрахович и А. Е. Яротов. Автор выражает признательность им, научному руководителю профессору В. Н. Киселеву за ценные советы при работе над монографией, рецензентам Т. И. Кухарчик и М. Г. Ясовееву за замечания при подготовке рукописи к изданию.

Глава 1

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современные динамичные климатические реалии Беларуси, на фоне периодических изменений климата в Северном полушарии, отражаются на состоянии природной среды, прежде всего на устойчивости лесов. Устойчивость лесов – это и сохранение ими способности реагировать на погодичную изменчивость погодно-климатических факторов, реализуя свой биопродукционный потенциал в нарастании стволовой массы (радиального прироста), и антропогенные факторы: техногенное загрязнение и осушительная мелиорация (особенно на Полесье).

Потеря устойчивости лесов при нестабильной экологической ситуации может выразиться в снижении погодичной изменчивости радиального прироста под влиянием погодно-климатических факторов вплоть до постоянного его угнетения. Возникшая проблема устойчивости белорусских лесов в условиях антропогенного воздействия (осушительная мелиорация и техногенное загрязнение) может стать еще более острой. Их состояние – часть ситуации деградации и отмирания лесов в Северном полушарии в целом, занимающей заметное место в перечне экологических проблем планетарного масштаба начиная с 1980-х гг. [1]. До настоящего времени нет единого понимания этой деградации. Отсюда вытекает чрезвычайно важная задача – выяснение причин данного явления и прогноз его развития на региональном уровне.

Усыхание лесов – грандиозный своеобразный эксперимент, который ставит природа со сложными причинно-следственными связями естественного и антропогенного происхождения как тревожный симп-

том изменения биосферы в неблагоприятную для человечества сторону. Выявление всех факторов, причастных к их гибели, и получение новых данных следует рассматривать как крайне необходимый этап в познании этого феномена. О причинах деградации лесов в Евразии и Северной Америке выдвинуто более 170 рабочих гипотез, но ни одна из них не получила всеобщего признания [1]. Согласно большинству гипотез леса в Европе должны погибнуть, но отчасти происходит улучшение их состояния. Невозможность решить проблему деградации и отмирания лесов, исходя только из исследования отдельных процессов, снизила доверие к лесным экологическим исследованиям [2].

Географическое положение Беларуси в лесной зоне умеренного климатического пояса предоставляет возможность организации и проведения дендроиндикационных исследований, результаты которых будут способствовать расширению знаний о сущности временной и пространственной изменчивости природной среды и пониманию участия антропогенных факторов в ее динамике.

Рациональное использование и охрана лесных ландшафтов – одна из важнейших задач природоведческих наук, с ее решением связаны экологическая безопасность и прогноз общественного развития Беларуси. Наиболее сложный и слабо разработанный вопрос – оценка ресурсных и экологических последствий для лесов под влиянием настоящих изменений климата. При этом обостряется проблема выявления соотношения естественных и антропогенных факторов в состоянии и продуктивности лесных экосистем. По этой причине выделение каждого из них связано со значительными трудностями методического порядка, преодоление которых необходимо для исследования данной проблемы.

Выполнение исследования обязано быть ориентированным на изучение временной динамики изменчивости продукционного процесса, отраженного в нарастании стволовой массы под влиянием естественных и антропогенных факторов. Стоит все же учитывать территориальную составляющую, отражающую географические закономерности исследуемых явлений. Как показывает опыт подобных исследований в США, России, Канаде, Швеции и других странах, в качестве индикатора, позволяющего оценить изменения в лесных ландшафтах, выступает годичное кольцо.

Оценить состояние лесных экосистем в условиях постоянно меняющихся природно-экологических и антропогенных факторов можно только по индикационному параметру самих экосистем – радиальному

приросту. Именно он – объективный показатель происходящих изменений в природной среде и не зависит от субъективного восприятия ее трансформаций. Пестрота эдафических условий их местонахождения заставляет самое пристальное внимание уделить локальному анализу с позиций дендрохронологии и дендроклиматологии дендрокольцевой информации, которую можно получить только при экспедиционных полевых исследованиях.

Все прогнозы XX в. о будущем состоянии среды проживания человека, в том числе и негативного, унаследовал XXI в. Состояние лесов в Северном полушарии определяет необходимость поиска ответа на вопрос: является ли их усыхание реакцией на потепление климата в XX в.? В частности, высказывалось мнение, что для массового отмирания древостоя ели должен быть некий единый синхронизирующий фактор, имеющий решающее значение. В такой роли могут выступать климат и погодные условия [1].

Дендрохронологические и дендроклиматические исследования в системе экологического мониторинга, ориентированные на использование радиального прироста, позволяют определить не только временную изменчивость состояния и стволовой продуктивности лесных пород, но и качество среды.

Сегодня в лесном хозяйстве Беларуси по-прежнему много вопросов, связанных с его современным состоянием и перспективой развития. Невозможно объяснить естественные или имеющие антропогенное происхождение явления без учета масштабов использования лесных ресурсов и недостаточной их изученности. В частности, нерешенной проблемой остается выяснение причин снижения стволовой продуктивности хвойных пород (ели и сосны) и устойчивости их насаждений еще с 1950-х гг. Особую остроту приобрела проблема усыхания ели [3].

В дендроклиматологии после работы основоположника географии растений в России А. Н. Бекетова «О влиянии климата на возрастание сосны и ели» утвердилось представление, что основными факторами, оказывающими влияние на состояние древостоя и его радиальный прирост, являются климатические – температура воздуха и осадки [4]. Наиболее плодотворные исследования в этом направлении отражены в работах американских естествоиспытателей А. Е. Дугласа (Douglass) в 1919–1936 гг. и Г. С. Фритца (Fritts) в 1955–1974 гг. В Советском Союзе дендроклиматические исследования выполнялись главным образом на Урале, в Южной и Северной Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней

Азии и Прибалтике. Состояние этих исследований в Союзе и за рубежом было подробно проанализировано Т. Т. Битвинским [5].

Дендроклиматические исследования в Беларуси проводились одновременно с изучением влияния антропогенных факторов на лесные экосистемы [6; 7], рельефа [8] и глубины залегания грунтовых вод в песчаных эдафотопях [9] на радиальный прирост сосновых насаждений, а также в целях мониторинга лесов на территории заповедников по профилю «Север – Юг» [10; 11]. Они применялись при изучении влагообеспеченности годичного прироста древесных растений [12], структуры, динамики и факторов регуляции ценопопуляций ели [13], при анализе особенностей формирования и продуктивности лесных фитоценозов на конкретных территориях [14].

Возросший в конце XX в. интерес к ели вызвал необходимость дендроклиматических исследований для выявления причин ее массового усыхания [15; 16]. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в биогеоценозах на территории Беларуси методами дендроклиматического мониторинга изучалась А. Е. Яротовым [17]. В 2010 г. опубликована монография «Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ)», включающая результаты НИР «Геофизические, климатические и антропогенные факторы во внутривековых циклах изменчивости состояния и продуктивности основных лесообразующих пород в ландшафтах Беларуси», выполненной В. Н. Киселевым, Е. В. Матюшевской, А. Е. Яротовым и П. А. Митраховичем в рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований (ГПОФИ) «Ресурсы растительного и животного мира на 2006–2010 гг.» [3].

В 2011–2015 гг. дендроклиматические исследования под научным руководством В. Н. Киселева (Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка), А. В. Пугачевского (Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси) и А. А. Болботунова (Полоцкий государственный университет) проводились в соответствии с Государственной программой научных исследований (ГПНИ) «Научные основы комплексного использования, сохранения и воспроизводства природно-ресурсного потенциала и повышения качества окружающей среды. Природно-ресурсный потенциал» [18]. Установлено, что последствия изменения климата для лесных экосистем носят неоднозначный характер [19].

Обобщая результаты дендроклиматических исследований в Урало-Сибирской Субарктике, Е. А. Ваганов, С. Г. Шиятов и В. С. Мазепа при-

шли к следующему заключению [20]: целостной и завершенной концепции организации дендроклиматического мониторинга не существует (еще раньше Т. Т. Битвинскас высказал мнение, что нет единых взглядов и подходов к методике использования дендрохронологической информации для суждения об изменчивости среды) [5].

Ю. П. Демаков отмечает, что изменчивости прироста деревьев в настоящее время посвящено огромное число публикаций, однако многие вопросы остаются дискуссионными или слабоосвещенными, что связано с разнообразием как лесных биогеоценозов, так и характера экологических воздействий на них, а также подходов исследователей к поставленной задаче [21; 22].

Несмотря на то что факт влияния погодно-климатических условий на радиальный прирост известен с середины XIX в. (в XX в. появились сотни работ), сложность анализа взаимосвязи такова, что до сих пор эта проблема не может считаться решенной [23].

Нарастание стволовой массы древостоя – результат взаимодействия множества прямо или косвенно действующих факторов биологического и экологического порядка. Выполненные дендроклиматические исследования на территории Беларуси указали на неоднозначность реакции деревьев (ели, сосны и дуба) на один и тот же климатический фактор (температуру или осадки) [3].

Неоднородные по природе воздействия экологические факторы – климатические и антропогенные (техногенное загрязнение, водно-земельная мелиорация) – могут сходным образом отражаться в текущем приросте, в частности приводя к его депрессии. Один и тот же фактор не может быть постоянно лимитирующим на всем протяжении роста и развития современных поколений древостоя. Его лимитирующее воздействие в том или ином экотопе проявляется в определенные временные отрезки, различающиеся по климатическим показателям [3].

Для большинства регионов лимитирующие факторы обычно сменяют друг друга в течение одного или нескольких сезонов, поэтому однозначное соответствие между шириной годичного кольца и динамикой какого-либо одного из них установить принципиально невозможно [22].

Как известно, у высших наземных растений различают воздушное, или листовое, питание (фотосинтез) и почвенное, или корневое. При фотосинтезе происходит превращение лучистой энергии солнца в энергию химических связей органических веществ. Все реакции фотосинтеза находятся под влиянием внешних и внутренних факторов (интен-

сивности света, температуры воздуха, содержания CO_2 в воздухе, условий корневого питания и т. д.). При современном нарастании содержания углекислого газа в воздухе фотосинтез должен увеличиваться. Однако повсеместно на территории Беларуси наблюдается устойчивое сокращение стволовой продуктивности ели [24] и других древесных пород [3] независимо от их географического нахождения, возраста и экологических условий.

В конце XIX в. немецкий ботаник Г. Клебс (1857–1918) выдвинул идею, что снижение текущего прироста у деревьев происходит в результате истощения запасов питательных веществ и влаги в их прикорневой зоне, после восстановления которых прирост вновь увеличивается [24]. Нельзя не отметить значения работ К. А. Тимирязева (1843–1920) по изучению процесса фотосинтеза и обеспечения его минеральным питанием, в совокупности определяющими результативность продукционного процесса. Его работы, явившиеся неоценимым вкладом в учение о единстве живой и неживой природы в круговороте веществ и энергии, необходимы для выполнения дендроклиматических исследований.

Многолетние колебания в динамических рядах годовичных колец неоднородны по своей природе. Они не только отражают влияние внешних по отношению к насаждениям в целом причин, но и определяются внутренними чертами роста и развития. В изменчивости радиального прироста существует цикличность как проявление универсального закона природы [25]. Она может вызываться короткопериодными отклонениями в метеорологической обстановке — засухами, обильными осадками и другими причинами [26].

Региональные дендрохронологические исследования с применением спектрального анализа выявляют 2–4, 6–8-летние и иные короткопериодные циклы. Однако их природа во временном климатическом аспекте труднообъяснима [27; 28]. Короткопериодные циклы вызываются периодичностью семяношения. Процессы взаимоотношения прироста и плодоношения у древесных растений взаимосвязаны и могут обуславливаться климатическими факторами.

Образование плодов и семян снижает интенсивность роста деревьев (в годы обильных урожаев годовичные кольца имеют минимальную ширину), что связано, очевидно, с расходом питательных веществ на репродуктивные органы, а также, возможно, с действием ингибирующих веществ, вырабатываемых созревающими плодами и семенами. Чередование процессов интенсивного и замедленного роста порождает его

ритмичность. По этой причине выявленные нами спектральным анализом такие короткопериодные циклы в дендроклиматическом аспекте не анализировались.

Б. А. Ивашкевич утверждал, что процесс развития древостоя девственных лесов протекает скачкообразно [29]. Периоды его ускорения связаны с действием внешних факторов, что вызывает усыхание, образование окон и, как следствие, освобождение и развитие других деревьев. Это положение получило дальнейшее развитие.

Е. К. Козин, анализируя причины массового усыхания темнохвойных лесов в Северном полушарии, пришел к выводу, что совпадение периодов распада лесов в разных регионах земного шара дает основание предполагать, что причина их лежит вне фитоценоза и напрямую не зависит от погодных условий [30]. По его мнению, периоды отмирания перестойных деревьев, потерявших способность сопротивляться губительным воздействиям, зависят от космического фактора – солнечной радиации. Продолжительность периодов распада и затухания этого процесса (13,2 и 12,3 года) близка к 11-летним циклам солнечной активности. При массовых распадах отмирают не только деревья главного и предшествующих поколений, но и более молодые.

Однако есть ли общие закономерности в ритмике роста деревьев, присутствуют ли в ней строго детерминированные компоненты и какова их природа? Однозначных ответов на эти вопросы пока нет [22].

В частности, до настоящего времени слабоизученным остается воздействие самых непостоянных компонентов климатической системы – прямой и рассеянной солнечной радиации – на состояние и ствольную продуктивность древостоя. Публикации по этой проблеме практически отсутствуют, в то время как основное внимание уделено изучению влияния солнечной активности, температуры воздуха и осадков на изменчивость радиального прироста и поискам причин его циклической или ритмической динамики под влиянием этих факторов. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации.

Корневое питание обеспечивается водно-минеральными ресурсами почвы (почвенным раствором). Данные ресурсы оморгоризонта автоморфных почв формируются и пополняются атмосферными осадками и продуктами минерализации опада, в хвойных лесах – листовенного подлесочно-кустарникового яруса и живого напочвенного покрова. Особенно велико при этом значение лесной подстилки [31]. На песчаных почвах главенствующее значение в корневом питании древесных растений принадлежит трихогоризонту с капиллярным увлажнением грун-

товыми водами и самим грунтовым водам, водоносный горизонт которых представляет собой своеобразный постоянный резервуар неисчерпаемых водно-минеральных ресурсов, о чем свидетельствуют исследования, выполненные в Белорусском Полесье [6; 32; 33].

Согласно предложенной Институтом леса СО РАН концепции дендроклиматического мониторинга, включающей выбор объектов и организацию сети базовых, региональных и локальных тест-полигонов и мониторинговых участков, территория Беларуси рассматривается в качестве базового тест-полигона для Атлантико-континентальной области лесов умеренного пояса [20; 34; 35]. При сравнительно небольшой размерности равнинной территории Беларуси (протяженность с запада на восток 650 км, с севера на юг 560 км) климатические условия, несмотря на их пространственную и временную изменчивость, характеризуются относительной однородностью. Горизонтальный климатический градиент температуры в восточном направлении составляет $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, в южном — $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км.

На основании названной концепции для изучения связи «климат — радиальный прирост» тестовые участки целесообразно располагать на удалении до 250 км, т. е. на удалении, в пределах которого изменение климатических величин на равнинных территориях незначительное. В этом случае достаточно динамику радиального прироста под влиянием изменчивости климата исследовать на пяти тестовых участках, располагая их на плакорах в центре Беларуси и на удалении до 150–200 км по сторонам света. Именно на плакорах растительность реализует климатический потенциал природной зоны.

Пестрота эдафических условий их местонахождения заставляла самое пристальное внимание уделить локальному анализу с позиций дендрохронологии и дендроклиматологии дендрокольцевой информации, которая могла быть получена только при экспедиционных полевых исследованиях с возможно большим охватом биогеоценозов в разных экотопах лесорастительных подзон на территории Беларуси.

Исследования выполнялись в соответствии с упоминавшейся концепцией и двумя основными методами: сопоставления и корреляционного анализа [5] на тест-полигонах в различных регионах Беларуси: Полесья, Центральной Беларуси и Поозерья, на тест-полигонах следующей ландшафтной приуроченности [36], примененной в дендроклиматических исследованиях на территории Беларуси [3]:

- холмистые и локальные платообразные возвышенности краевых зон оледенений и основных моренных полей;

- песчаные равнины Полесья различного происхождения с автоморфными и заболоченными почвами;
- лесопарковые насаждения в Минске, Могилеве, Мозыре и Браславе;
- верховые болота.

Эдафические условия насаждений на тест-участках определялись литофациальной основой ландшафтов и гидрогеологическими условиями (глубиной залегания первого от поверхности водоносного горизонта) и увлажнением атмосферными осадками.

Проблема соотношения естественных и антропогенных факторов во влиянии на состояние и продуктивность лесных биогеоценозов не стала меньше и XXI в. по сравнению с предшествующим столетием. Это заставляет рассматривать лес как часть природного комплекса, в котором все изменения в фитоценотической составляющей происходят в ее взаимосвязи с другими компонентами. Уместно вспомнить, что создатель современного учения о лесе Г. Ф. Морозов рассматривал лес как географический ландшафт [37].

Чтобы информация о состоянии лесов служила справочным материалом для плановой, научной и хозяйственной работы, необходимы не только приводимые сведения о состоянии древостоя в том или ином лесхозе, но и ее ландшафтная привязка. Возникают вопросы, на которые пока нет ответов. Прежде всего на основной вопрос: как объединить лесоводственную и географическую составляющие в природный комплекс – ландшафт?

В. С. Гельтман предложил понятие о лесотипологическом комплексе [38], рассматривая его как экосистему с закономерным сочетанием типов лесных биогеоценозов, зависящем от характера рельефа, почвенных и гидрологических условий. В ландшафтоведении использование информации о лесном покрове ограничено указанием лесных формаций (или типов леса и ассоциаций) в той или иной категории ландшафта, основное внимание в котором сосредоточено на литолого-геоморфологической основе. Все-таки не оставалась попытка «привязывать» результаты дендроклиматических исследований к конкретным ландшафтным условиям [36].

По *геоморфологическим условиям* были выделены следующие территории:

- грядовые, холмисто-грядовые, крупнохолмистые и локальные платообразные возвышенности краевых зон оледенений (особо отметить наличие покровного чехла с лессовидными суглинками, если он имеется);

- средне-, мелкохолмистые, пологоволнистые и слабоувалистые равнины основных моренных полей оледенений;

- озерно-ледниковые, озерные, аллювиальные, зандровые, морено-зандровые, платообразные, камово-озерные и другие равнины;

- озы, озово-камовые комплексы, эоловые образования (барханы, одиночные материковые дюны и их группы, дюнно-грядовые и дюнно-грядовые гипертрофированные и другие образования, современные эоловые поля и очаги дефляции);

- поймы рек и озер;

- эти же территории с проявлением карста или суффозии.

Из *гидрогеологических* и *гидрологических условий* наиболее важными представлялись:

- наличие артезианских бассейнов (особенно на Полесье);

- глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта;

- гидрохимические аномалии и зоны разгрузки глубинных напорных вод;

- аномальная густота малой речной сети, наличие ключей, родников и минеральных источников на локальных территориях;

- скопление или группы озер, одиночные озера;

- искусственные водоемы (водохранилища, пруды, копани и др.);

- особенности речной сети в районах проявления карста и суффозии;

- использование вод рек, озер и искусственных водохранилищ и последствия этого использования (загрязнение, истощение и др.).

Из *погодно-климатических условий* указывались:

- положение территории с поврежденными и усыхающими насаждениями в климатическом (агроклиматическом) районировании Беларуси;

- экстремальные метеорологические явления (морозы, засухи в конкретные сезоны или месяцы, мощность снежного покрова, ураганы, смерчи, бури, градобития).

При характеристике *зональных* и *азональных почв* важно было учесть, на каких осадочных породах они развиты:

- на песчаных отложениях (с обязательным указанием на Полесье кварцевых песков);

- супесчаных и суглинистых отложениях;

- глинистых отложениях;

- территориях с выходом на поверхность или с неглубоким залеганием гранитов, гнейсов, доломитов, известняков, меловых, мергельных и других коренных пород;

- аллювии пойм крупных, средних и малых рек;

- озах, камах, эоловых образованиях;

- двухчленных (и более) грунтах (песчаных, подстилаемых супесями и суглинками, или супесчаных и суглинистых, подстилаемых песками и другими рыхлыми грунтами);

- покровных лессовидных суглинках и лессах;

- верховых, переходных и низинных болотах (со сведениями об их осушении и использовании).

Особую категорию образуют почвы с железистым и карбонатно-кальциевым конкреционными комплексами, а также техногенно загрязненные почвы в зонах рассеивания выбросов промышленных предприятий.

Эдафические условия лесной растительности на равнинной территории Беларуси характеризуются исключительной пестротой по причине ее чрезмерной ландшафтной неоднородности, которая определяет неоднозначность реакции древесных пород на изменчивость климатических факторов и оказывает непосредственное влияние на образование почвенного раствора в зависимости от температурных условий и режима увлажнения. Современное изменение климата и вызывающие его причины подробно проанализированы В. Ф. Логиновым [39]. Обоснованно прогнозируются и последствия изменения климата для Беларуси [40].

Динамику климата можно рассматривать с двух позиций: как однонаправленный процесс в увеличении или уменьшении его характеристик, с имеющейся циклической составляющей, и как проявление его свойства (изменчивости). При первом подходе прогностические модели дальнейшего состояния лесных экосистем окажутся ненадежными (пока нет единого понимания дальнейшей динамики климата – к продолжающемуся потеплению или, наоборот, вероятному похолоданию).

В своих исследованиях мы придерживались представления о современной изменчивости климата Беларуси как о временном проявлении его свойства, анализируя полученную дендроклиматическую информацию в относительно теплые и холодные периоды. Еще К. С. Веселовский предупреждал, что предположения об изменчивости климата после 20–30-летнего потепления могут оказаться ошибочными, указывая, что суждения об изменении климата весьма распространены, безотчетны, голословны и потому разноречивы [41].

Для дендрохронологических и дендроклиматических обобщений привлечены наблюдения на метеостанции Беларуси за поступлением прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, температурой воздуха и осадками. В дендроклиматологии нередко применяются следующие периоды роста: май – июнь, май – июль, май – август [42].

Анализ временной изменчивости метеофакторов (солнечной радиации, температуры воздуха и осадков) выполнен для следующих периодов гидрологического года, начало которого 1 октября (далее – года): мая (начальный месяц вегетации), июня – июля (месяцы с самым длинным фотопериодом), мая – сентября (вегетационный период в целом), октября – апреля (безлиственный период, период покоя). Для дендроклиматических обобщений использованы следующие периоды роста древесных растений: мая – июня (активный рост), мая – сентября (вегетационный период), октября – апреля (безлиственный период, период покоя). Продолжительность временных отрезков, в пределах которых анализировалась связь текущего прироста с метеофакторами, выбиралась между переломными моментами в визуализированных рядах как метеоданных, так и в изменчивости ширины годовичных колец.

Выбор тест-полигонов и тест-участков на них осуществлялся при рекогносцировочных полевых исследованиях после предварительного анализа материалов лесоустройства. Обязательно на каждом тест-участке описывалась почва (с закладкой почвенных шурфов), подлесочный ярус и живой напочвенный покров. Деревья одного возраста объединялись в возрастные серии (группы).

Образцы древесины (керы) отбирались возрастным буром на высоте 1,3 м (у деревьев на верховых болотах – 0,5 м). Ширина годовичных колец измерялась на микроскопе МБС. Величина текущего радиального прироста сильно варьирует. Для исключения индивидуальных особенностей отдельных деревьев проводилось осреднение данных по нескольким модельным деревьям, принадлежащим к одной возрастной серии (группе). Модульные коэффициенты вычислялись с применением пятилетнего скользящего сглаживания.

Как показал опыт дендроклиматических исследований, достаточно не менее 10 образцов древесины для получения надежной осредненной информации по радиальному приросту [43]. Получить столько образцов от великовозрастных деревьев (более 100 лет) не представлялось возможным по причине их ограниченного количества. Ряды годовичных колец одиночных деревьев в этом случае рассматривались как уникальные по продолжительности и другим признакам. На образцах их древесины нами измерялась ширина колец, так как погодичная изменчивость ширины ранней и поздней древесины тесно связана с изменением годовичного слоя в целом [44].

Исследования выполнялись на тест-полигонах следующей ландшафтной приуроченности (с указанием проанализированных одновоз-

растных древесно-кольцевых хронологий и общего количества кернов древесины, отобранных возрастным буравом при полевых экспедиционных исследованиях в Поозерье, Центральной Беларуси и на Полесье): холмистые и локальные платообразные возвышенности краевых зон оледенений и основных моренных полей (типы леса: ельник мшистый и ельник черничный – 15 хронологий, 215 кернов; сосняк мшистый и сосняк черничный – 36 хронологий, 394 керна), песчаные равнины Полесья различного происхождения с автоморфными и заболоченными почвами (типы леса: ельник мшистый и ельник черничный – 15 хронологий, 220 кернов; сосняк мшистый и сосняк черничный – 15 хронологий, 293 керна), лесопарковые насаждения в Минске, Могилеве, Мозыре и Браславе (ель – 5 хронологий, 87 кернов; сосна – 8 хронологий, 118 кернов), верховые болота (тип леса: сосняк багульниково-сфагновый – 15 хронологий, 324 керна). Всего проанализировано 96 одновозрастных древесно-кольцевых хронологий (с меньшим количеством деревьев в возрасте более 100 лет), включающих радиальный прирост ели и сосны в возрасте от 60 до 305 (на верховом болоте) лет.

Для количественной характеристики межгодичных колебаний радиального прироста древесных растений под влиянием климатических факторов был рассчитан коэффициент чувствительности (Кч), который показывает степень воздействия этих факторов на изменение величины прироста [42]. Древесные породы обладают определенной стабильностью прироста, из-за этого незначительное влияние какого-либо фактора в достаточной степени не проявляется и, как правило, не фиксируется при исследовании [12]. Для выявления влияния экологических факторов мы оперировали не только индексным приростом, но и его фактическими значениями как по каждому дереву (индивидуальной реакции великовозрастных деревьев), так и средними значениями по группе деревьев (групповой реакции или реакции насаждения).

Для анализа дендрометрических результатов к настоящему времени предложено несколько специализированных программ: ARSTAN, PAST, COFECNA, WINDENDRO и др. Для визуализации временных рядов изменчивости радиального прироста и статистической обработки данных мы применили общедоступную программу Microsoft Excel и пакет программ для автоматизации статистических исследований SPSS. В таблицах, отражающих результаты корреляционного анализа, полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции Пирсона при $P = 0,95$, полужирным курсивом – при $P = 0,99$, подчеркнутым полужирным курсивом – при $P = 0,999$. При этом не исключается наличие трендовой компоненты.

Полученные статистически значимые ($P = 0,01$) коэффициенты корреляции радиального прироста с рассеянной фотосинтетически активной солнечной радиацией приведены без учета внутренней связи в ее рядах. При использовании эффективного числа членов ряда значимость коэффициентов корреляции уменьшается, сохраняясь на более низком уровне. Автокорреляционный анализ не обнаружил внутренней связи в рядах изменчивости радиального прироста деревьев, температуры воздуха, осадков и прямой солнечной радиации: значения сериальных коэффициентов корреляции не выходили за пределы двух стандартных ошибок.

В статистике принято различать два вида связи между числовыми совокупностями – функциональную и статистическую. При наличии функциональной связи изменение резульативного признака всецело обусловлено действием факторного признака, т. е. функциональная зависимость – строгая взаимосвязь между двумя совокупностями без вероятного воздействия других факторов. Статистическая же корреляция возникает тогда, когда возможно воздействие других факторов.

Метеорологические условия (температура воздуха и осадки) – косвенно действующие факторы для нарастания стволовой массы, зависящего от питания, которое обеспечивается плодородием почвы, ее влажностью, глубиной залегания грунтовых вод, жизненным состоянием древостоя и др. По этой причине выявленные корреляционные связи текущего радиального прироста с метеофакторами, по существу, являются статистическими, отражающими их влияние на интенсивность использования водно-минеральных ресурсов почвы в соответствии с жизненным состоянием древостоя.

Фотосинтетически активная радиация функционально определяется ($r = 1,0$) поступлением и преобразованием в атмосфере солнечной радиацией, будучи ее частной составляющей (с понижающими коэффициентами). Выявленные в результате корреляционного анализа связи радиального прироста с ней справедливы и для статистической зависимости с солнечной радиацией как с начальным звеном во взаимосвязанных процессах, обеспечивающих первичную продуктивность древесных насаждений.

Глава 2

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 60 ЛЕТ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

2.1. Динамика фотосинтетически активной радиации в Припятском Полесье

Среди экологических проблем, возникших при использовании природных ресурсов, выделяется проблема динамичного изменения климатических условий, прямо или косвенно затрагивающая все сферы хозяйственной деятельности. Изменения климата конкретных территорий имеют свои причинно-следственные особенности. Основное внимание уделяется анализу и прогнозу изменчивости температуры воздуха и атмосферным осадкам, о чем свидетельствуют многочисленные публикации.

Важнейшему климатообразующему фактору – солнечной радиации – уделяется значительно меньше внимания. Анализ изменчивости ФАР, определяющей интенсивность фотосинтеза и в итоге первичную продуктивность естественного растительного покрова и агрофитоценозов, приобретает неоспоримое значение для решения возникающих задач в области использования, воспроизводства и охраны биологических ресурсов в Беларуси.

Солнечная радиация – один из элементов климата, от которого зависят все физико-географические процессы. Важную роль в продуктивности фитоценозов играет приход прямой ФАР, определяющей температурные условия, интенсивность фотосинтеза, дыхания и транспи-

рации растений. Накоплен, хотя и незначительный, опыт применения актинометрических данных для объяснения настоящего состояния хвойных лесов Беларуси [45–49].

Актинометрические наблюдения за притоком прямой солнечной радиации, начатые в 1954 г. на метеостанции Василевичи, позволяют проследить ее изменчивость за последние 60 лет в Припятском Полесье. Расчет ФАР сделан с использованием среднемесячных переходных коэффициентов, установленных Минской гидрометеорологической обсерваторией для рассеянной радиации с апреля по октябрь 0,61, для прямой за эти же месяцы, за исключением июня, – 0,44 (для июня – 0,45) [50].

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,61D_{\text{V-IX}} + 0,44S'_{\text{V-IX}} + 0,01S'_{\text{VI}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ФАР}}$ – суммарная ФАР; $D_{\text{V-IX}}$ – рассеянная ФАР за май – сентябрь; $S'_{\text{V-IX}}$ – прямая ФАР за май – сентябрь; S'_{VI} – прямая ФАР за июнь.

Для прямой радиации переходные коэффициенты зависят от широты, увеличиваясь к югу. По этой причине он для Полесья оказался больше на 0,01, чем в средней полосе Беларуси (Минск). Вычисление прямой, рассеянной и суммарной ФАР выполнено для мая, июня–июля и мая – сентября (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Поступление прямой ФАР в месяцы вегетационного периода (Василевичи)

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1954	118	165	90	113	81	255	567
1955	113	165	141	150	73	306	641
1956	133	165	114	84	71	278	567
1957	126	168	139	104	58	307	596
1958	154	98	110	105	82	208	549
1959	115	161	214	140	34	375	664
1960	96	171	137	71	77	308	552
1961	94	179	128	81	56	307	537
1962	111	135	99	120	81	234	546
1963	153	157	164	127	112	320	712
1964	112	217	127	91	83	344	629
1965	115	109	145	106	95	254	570

Продолжение табл. 2.1

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1966	147	179	129	156	61	308	672
1967	154	115	168	100	97	283	633
1968	116	208	100	132	66	308	623
1969	113	126	177	71	103	302	589
1970	136	122	126	123	50	248	556
1971	123	146	133	150	84	280	637
1972	132	146	121	151	59	267	609
1973	96	168	115	116	65	284	560
1974	103	77	99	141	94	176	513
1975	148	149	125	148	99	275	670
1976	116	118	122	76	73	240	504
1977	123	112	97	71	66	209	470
1978	107	131	91	100	43	221	471
1979	181	170	63	106	63	233	583
1980	76	101	88	61	51	189	377
1981	147	137	121	89	55	258	549
1982	128	126	123	135	87	248	599
1983	118	137	122	143	77	259	596
1984	108	97	114	121	55	255	496
1985	140	84	90	123	34	211	471
1986	181	124	147	98	49	174	598
1987	92	114	148	71	56	271	481
1988	136	47	139	90	50	262	461
1989	164	105	152	107	54	186	583
1990	122	118	52	100	22	258	415
1991	66	109	107	88	68	170	438
1992	94	157	176	116	50	217	593
1993	149	114	85	119	43	333	510
1994	99	131	196	113	77	200	617
1995	104	141	201	117	64	327	627
1996	124	157	111	132	49	341	573
1997	128	144	90	128	74	267	564
1998	129	137	120	103	76	234	565
1999	167	209	152	125	95	257	748
2000	202	173	69	132	56	361	632
2001	158	109	191	120	74	242	651

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
2002	169	150	161	125	53	300	658
2003	163	167	139	99	101	310	669
2004	125	155	162	126	79	307	647
2005	124	160	176	141	93	317	693
2006	113	150	210	100	96	335	670
2007	150	170	113	148	80	361	659
2008	119	177	134	146	46	282	622
2009	125	106	172	157	82	311	642
2010	123	178	147	126	69	278	644
2011	175	181	139	130	93	325	718
2012	167	118	181	104	82	320	653
2013	–	–	–	–	–	–	–

Как отмечалось, на май приходится наиболее высокая, по сравнению с другими месяцами, интенсивность фотосинтеза, июнь – июль имеют наиболее длительный суточный фотопериод, май – сентябрь по общей продолжительности соответствуют вегетационному периоду [51]. Данные месяцы вегетационного периода выбраны прагматически, для обеспечения дендроклиматических обобщений необходимой информацией о погодноклиматических условиях региона [52]. Ход изменчивости прямой ФАР на метеостанции Василевичи представлен на рис. 2.1.

Весь ряд наблюдений разбивается на следующие временные отрезки: 1954–1976 гг. (до быстрого роста суммарной меридиональной южной циркуляции воздушных масс [53]), 1977–1998 гг. (соответствует актинометрической аномалии прямой ФАР в Минске [54]) и после 1998 г. (сокращение суммарной продолжительности меридиональной южной циркуляции).

В годы актинометрической аномалии поступление прямой ФАР в июне – июле сократилось в среднем на 39 МДж/м², или на 14 %, по сравнению с 1954–1976 гг. За вегетационный период эти потери составили 66 МДж/м², или 11 % (табл. 2.2).

Самое низкое значение прямой ФАР за вегетационный период (378 МДж/м²) зафиксировано в 1980 г. после майского извержения вулкана Святой Елены (Скалистые горы в Северной Америке), выбросы которого в течение двух недель распространились в стратосфере всего Северного полушария (сведения об извержении вулканов почерпнуты из интернета).

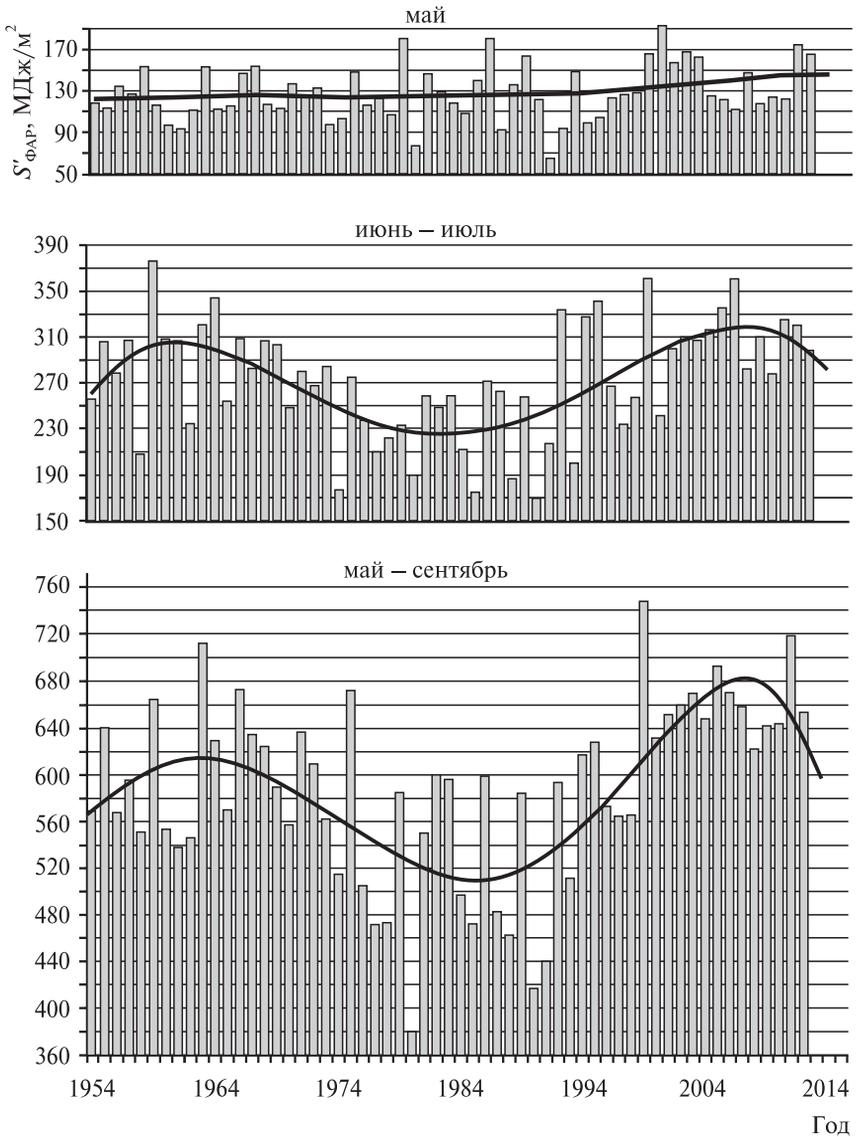


Рис. 2.1. Шестидесятилетний ход изменчивости прямой ФАР (метеостанция Василевчи).
Сплошная линия – полином

Таблица 2.2

**Сравнительная статистическая характеристика прямой ФАР
в анализируемые временные отрезки**

Месяц	ФАР, МДж/м ²					
	1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
	Количество	σ	Количество	σ	Количество	σ
V	123	18,8	124	30,0	147	27,0
VI–VII	281	43,6	242	48,3	311	31,5
V–IX	596	55,3	530	72,1	665	34,2

После извержения вулкана Эль-Чичон (Мексика) в марте и апреле 1982 г. равномерное загрязнение стратосферы в Северном полушарии вулканическим пеплом и аэрозолям (только серы было выброшено около 10 млн т) произошло в течение года. Сокращение притока прямой ФАР на территорию Беларуси стало значительным на третий год, на Полесье – в 1984–1985 гг. Вероятно, это может быть последствием. Однако равное по значимости ее сокращение произошло в 1987–1998 гг., по всей видимости, не будучи связанным с извержением данного вулкана.

Извержение вулкана Пинатубо (Филиппины) в июне 1991 г. в 10 раз мощнее, чем Святой Елены в 1980 г. Только в атмосферу было выброшено около 29 млн т серы. В течение нескольких лет над планетой висела пелена из пепла и аэрозолей, приведшая к понижению температуры на 0,5–1,0 °С. Сокращение прямой ФАР во второй половине 1970-х гг., видимо, связано не только с господством южной меридиональной циркуляции воздушных масс, но и с извержениями вулканов. В частности, резкое уменьшение по сравнению с предшествующим годом началось не в 1977 г., а раньше – в 1976 г., когда ее стало меньше на 166 МДж/м² по сравнению с 1975 г. (670 МДж/м²).

Начавшаяся вулканическая активизация проявилась в мощности извержений вулканов. В 1975–1976 гг. катастрофически извергались вулканы Камчатки: Безымянный, Шевелуч, Плоский Толбачик, пик Сырачева и другие, в Исландии – Гримсвотн и Бардарбунг. Произошли извержения вулканов Мерани (Филиппины), Семеру (Индонезия) и Августина (Аляска).

Сокращение прямой ФАР на Полесье (до 438 МДж/м²) случилось в 1990 г. – за год до извержения Пинатубо. В 1989 г. с выбросом пепла извергались вулканы Катла, Эйяфьятлайокудль и Гримсвотн (Исландия), Ключевской (Камчатка), Иван Грозный (Курилы), Саракудзима (Япония), Набро (Эретрия), Редаут (Аляска) и др.

Неустойчивое сезонное поступление прямой ФАР в период актинометрической аномалии 1977–1998 гг. отразилось на таком показателе ее дисперсии, как стандартное отклонение (σ), которое для этих лет оказалось наибольшим по сравнению с предыдущим и последующим временными отрезками. Предположительно, очищение атмосферы от вулканического аэрозоля произошло к 1993 г., после которого скачкообразно возросло поступление прямой солнечной радиации, достигнув значений, существовавших до 1976 г. (рис. 2.2).

После 1998 г. прямая ФАР превысила параметры предшествовавшего временного отрезка (1954–1976 гг.) в среднем в мае на 25 МДж/м² (20 %), в июне – июле на 69 (29 %) и за вегетационный период на 135 МДж/м² (25 %), со значительным уменьшением ее изменчивости (за вегетационный период почти в 2 раза, см. табл. 2.2).

Актинометрические наблюдения на метеостанции Василевичи, расположенной в восточной части Припятского Полесья, в значительной степени отражают ситуацию с состоянием атмосферы над всем югом Беларуси. Она находится на территории с большими массивами интенсивно используемых в сельском хозяйстве торфяников в водосборах Ведричи, Ипы, Виши, Тремли, Вити, Турьи, Оресы, Неначи и др. Преобладающая часть мелиорированных земель расположена западнее метеостанции.

Поступление солнечной радиации изменяется со временем в соответствии с аэрозольным содержанием атмосферы. В зависимости от состава и источника в образовании природного аэрозоля участвуют вулканические извержения, испарение воды, частицы биогенного происхождения, дым от сжигания биоты на суше, техногенное загрязнение и природные газообразные реакции [55].

В атмосферу над Беларусь поступают аэрозоли с воздушными потоками, формирующимися за пределами Беларуси, от лесных и болотных пожаров и техногенного загрязнения воздушной среды. Первые из них содержат аэрозоли различного происхождения, включая испарение вод Атлантического океана, источники над Европой и вулканические извержения.

Используя данные мировой актинометрической сети и опубликованные данные мощности крупных извержений вулканов Кракатау (1883 г.), Агунг (1963 г.), Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1992 г.), В. Ф. Логинов и Ю. А. Бровка восстановили динамику аэрозольного содержания естественных и антропогенных аэрозолей в атмосфере Земли [56]. Согласно их данным аэрозольное загрязнение атмосферы планеты было минимальным в 1881–1901, 1924–1945 и 1996–2012 гг., а высокое – в 1962–1995 гг. (с максимальным в 1975–1982 гг.).

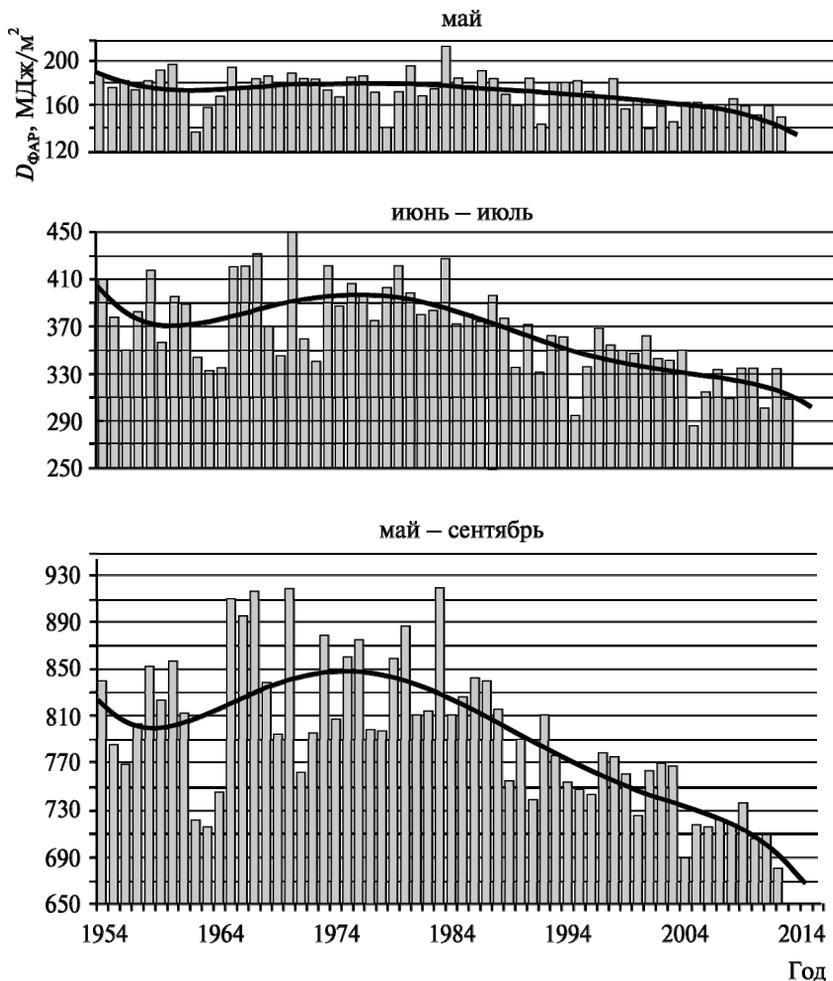


Рис. 2.2. Шестидесятилетний ход изменчивости рассеянной ФАР (метеостанция Василевичи). Сплошная линия – полином

Сокращение прямой ФАР в Белорусском Полесье в 1977–1998 гг. не полностью согласуется с самым высоким аэрозольным содержанием глобальной атмосферы в 1975–1982 гг. Временной сдвиг, вероятно, вызван региональными особенностями поступления аэрозолей в воздуш-

ный бассейн. Увеличение прямой ФАР на Полесье после 1998 г. соответствует (также со сдвигом) очищению атмосферы от аэрозолей, наступившему в 1996 г. (по данным В. Ф. Логинова и Ю. А. Бровки [56]).

Ежегодная вспышка и ветровая эрозия торфяников могли повлиять на прозрачность атмосферы, увеличивая ее аэрозольную замутненность. К тому же при торфяных пожарах в атмосферу поступает большое количество пепла.

Наиболее опустошительные пожары в середине 1960-х гг. были в водосборах Вити, Ивни, Бонды, Михедово-Грабовского канала, на болотном массиве «Гричин» и др. [6]. К ним следует добавить пожары на верховых болотах и в лесах в начале 1970-х гг.

Анализ временной изменчивости рассеянной солнечной радиации, отражающей аэрозольную замутненность атмосферы над метеостанцией Василевичи, интересен тем, что города Гомель, Светлогорск, Речица и Мозырь с крупными промышленными предприятиями расположены на значительном удалении от нее. Шестидесятилетняя динамика рассеянной радиации (табл. 2.3) отражает региональное поступление аэрозолей в воздушное пространство Полесья (см. рис. 2.2).

Таблица 2.3

**Поступление рассеянной ФАР в месяцы
вегетационного периода (Василевичи), МДж/м²**

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1954	188	193	216	140	101	409	839
1955	176	183	193	143	90	376	784
1956	179	176	172	151	90	348	768
1957	174	185	196	151	97	381	803
1958	182	195	222	148	105	417	852
1959	192	176	179	151	125	355	823
1960	197	184	212	154	110	395	856
1961	173	180	207	156	96	387	812
1962	135	182	161	137	106	343	720
1963	157	152	179	140	87	331	714
1964	167	145	188	135	108	334	744
1965	194	206	213	163	133	419	909
1966	174	195	225	163	137	420	894
1967	183	221	208	182	121	429	916
1968	187	164	205	174	108	369	838
1969	181	176	168	158	111	344	794

Продолжение табл. 2.3

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1970	188	223	225	156	125	448	918
1971	183	182	176	148	72	358	761
1972	183	147	191	150	124	338	795
1973	173	186	234	168	117	420	878
1974	167	186	200	145	109	386	807
1975	184	183	223	151	118	406	859
1976	186	195	203	179	111	397	874
1977	171	189	185	139	114	374	798
1978	138	199	203	157	99	402	796
1979	171	198	223	154	111	420	857
1980	195	185	212	171	121	398	886
1981	168	201	178	167	95	379	809
1982	174	194	188	151	106	382	813
1983	214	223	204	164	113	427	918
1984	184	186	185	159	95	371	809
1985	176	176	203	169	101	379	825
1986	191	195	179	163	112	373	840
1987	184	199	197	143	116	396	838
1988	169	185	191	162	107	376	814
1989	159	167	168	151	107	336	753
1990	184	181	191	142	93	371	789
1991	142	152	179	160	104	331	737
1992	181	177	185	149	118	362	809
1993	181	184	177	143	92	361	777
1994	182	170	124	160	116	294	752
1995	173	183	153	127	111	336	747
1996	167	174	195	126	80	369	742
1997	184	178	177	137	102	354	777
1998	157	187	163	156	110	350	773
1999	167	175	173	147	98	348	759
2000	138	163	199	137	88	362	725
2001	159	184	159	146	113	343	761
2002	145	174	167	165	117	341	768
2003	162	184	167	153	100	351	766
2004	162	163	123	135	104	286	687
2005	158	168	148	132	111	315	716

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
2006	161	186	148	135	85	334	715
2007	165	156	154	141	104	310	720
2008	159	180	156	135	89	336	719
2009	151	178	157	139	109	336	735
2010	160	134	167	138	107	301	706
2011	149	169	166	138	85	335	708
2012	110	148	162	142	117	310	678
2013	–	–	–	–	–	–	–

В 1965 г. начался завершающий этап мелиоративных работ в регионе: реконструкция мелиоративной сети, закладка гончарного дренажа и новое освоение существовавших болот и заболоченных земель. Именно в этот год скачкообразно возросло значение годичной рассеянной радиации до 909 МДж/м^2 , или на 25 % больше по сравнению с 1962–1964 гг. (в среднем за год 726 МДж/м^2).

Если судить по максимальному значению рассеянной ФАР за первые шесть лет этих мелиоративных работ (в среднем за вегетационный период 878 МДж/м^2), то становится понятной причина развернувшейся острой дискуссии по поводу «преобразования» природной среды региона. Данное увеличение рассеянной ФАР не может быть следствием увеличения облачности, с которой связано выпадение осадков. В 1965–1969 гг. в среднем за вегетационный период их выпадало 316 мм при среднемноголетней норме за весь период их измерения на метеостанции Василевичи 357 мм.

На региональное увеличение рассеянной ФАР при диспергационном «мелиоративном» аэрозоле, по-видимому, повлиял ее рост за счет вулканического аэрозоля, следовавший в 1976–1977 гг. за одновременными извержениями вулканов на Камчатке, Исландии, Аляске, Филиппинах и Индонезии, в 1980–1981 гг. – Арекаль и Святой Елены, в 1983 г. – Эль-Чичона. Не исключено, что на изменение рассеянной ФАР в 1973 г. оказали влияние и пожары в 1972–1973 гг. не только в Беларуси, но и за ее пределами. Возгораемость торфяников и лесов в Белорусском Полесье увеличилась в засушливые вегетационные периоды в 1976 г. (191 мм осадков), 1981 г. (272 мм) и в 1983 г. (225 мм). Авария на Чернобыльской АЭС отразилась на незначительном увеличении рассеянной ФАР в 1986–1987 гг.

В 1972 г. была завершена разработка прогноза об экологических последствиях осушительной мелиорации и утверждена Государственная

программа по исследованию ее влияния на природную среду региона [57]. Судя по уменьшению рассеянной радиации, темпы выполнения мелиоративных работ снизились. Атмосфера быстро очистилась от «мелиоративного» аэрозоля после сокращения мелиоративных работ в середине 1980-х гг. В 1989 г. поступление рассеянной ФАР сократилось на 61 МДж/м^2 по сравнению с предшествующим годом (табл. 2.4).

Таблица 2.4

**Сравнительная статистическая характеристика
рассеянной ФАР в анализируемые временные отрезки**

Месяц	ФАР, МДж/м ²					
	1954–1964 гг.		1965–1988 гг.		1989–2013 гг.	
	Количество	σ	Количество	σ	Количество	σ
V	175	18,1	179	13,8	161	16,9
VI–VII	374	29,0	391	28,0	336	23,4
V–IX	797	50,1	841	45,2	742	32,7

После водно-земельных мелиораций атмосфера Белорусского Полесья очищалась от «мелиоративного» загрязнения и других аэрозолей до середины 1980-х гг. После 2004 г. содержание рассеянной ФАР оказалось наиболее низким за все время актинометрических наблюдений на метеостанции Василевичи: за вегетационный период – 709 МДж/м^2 , в том числе за июнь – июль – 308. Здесь очевидно значение глобального очищения атмосферы от аэрозольного загрязнения, оказавшего влияние на уменьшение рассеянной ФАР в полесском регионе.

Сведения о суммарной ФАР как совокупности прямой и рассеянной приведены в табл. 2.5. В ее изменчивости за месяцы вегетационного периода (рис. 2.3) можно выделить три временных отрезка, как и в изменчивости прямой: до 1976 г., 1977–1998 гг. и после 1998 г. В первый из них среднемноголетнее значение суммарной ФАР (1420) было значительно больше (на 89), чем во втором, с минимальным значением в 1963 г. (1266 МДж/м^2) за счет уменьшения рассеянной.

Во втором временном отрезке прослеживается 14-летний период, ограниченный минимумами 1977 и 1991 гг. (1990 МДж/м^2). Происхождение этого периода обязано динамичной природе нахождения в воздушной среде аэрозолей естественного и антропогенного происхождения от множества источников и их регионального вклада в глобальную аэрозольную загрязненность атмосферы.

Таблица 2.5

**Поступление суммарной ФАР в месяцы
вегетационного периода (Василевичи), МДж/м²**

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1954	306	358	306	253	183	664	1406
1955	289	348	334	292	162	682	1425
1956	312	341	286	235	162	627	1335
1957	300	353	336	256	155	689	1399
1958	335	292	332	253	187	625	1400
1959	307	336	394	291	159	730	1486
1960	293	355	349	225	187	704	1408
1961	267	359	335	237	152	693	1349
1962	246	317	260	257	187	576	1266
1963	309	308	343	267	198	652	1426
1964	279	362	315	227	191	677	1373
1965	309	315	358	269	228	673	1479
1966	321	374	354	319	198	728	1566
1967	337	337	376	282	218	712	1549
1968	303	372	305	306	174	677	1460
1969	293	302	345	229	214	646	1383
1970	324	345	351	279	175	696	1474
1971	306	328	310	298	156	638	1398
1972	315	293	312	301	183	605	1404
1973	270	354	349	284	181	703	1438
1974	270	263	300	286	202	562	1320
1975	333	332	348	299	217	680	1529
1976	302	312	324	255	184	637	1377
1977	294	301	282	210	181	583	1268
1978	246	330	293	257	142	623	1267
1979	352	367	286	260	174	653	1440
1980	271	287	300	233	172	587	1263
1981	314	338	299	256	150	637	1358
1982	303	320	311	286	192	631	1412
1983	331	359	326	307	190	686	1514
1984	292	283	299	280	150	583	1305
1985	316	260	293	292	135	553	1296
1986	372	318	326	261	161	644	1438
1987	275	313	345	214	172	658	1319
1988	304	232	330	252	157	562	1276
1989	322	272	321	259	161	593	1335
1990	306	298	243	242	115	542	1205

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1991	208	261	286	247	172	547	1174
1992	275	334	361	265	167	695	1402
1993	329	299	262	262	135	561	1287
1994	281	301	320	273	193	621	1369
1995	277	324	354	244	175	678	1373
1996	291	330	306	258	129	637	1315
1997	311	322	267	265	176	588	1340
1998	286	324	284	259	187	608	1339
1999	334	384	325	272	193	709	1507
2000	339	337	268	269	144	604	1356
2001	316	293	350	266	187	643	1412
2002	315	324	328	290	170	651	1426
2003	325	351	307	252	201	658	1435
2004	288	318	285	261	184	603	1335
2005	282	328	323	273	204	651	1409
2006	274	336	358	235	182	694	1384
2007	315	325	267	289	183	592	1379
2008	278	357	290	281	135	647	1341
2009	277	284	329	296	191	613	1377
2010	283	312	315	264	176	626	1350
2011	325	350	305	268	178	655	1426
2012	278	266	343	246	199	609	1331
2013	–	–	–	–	–	–	–

В 1986 г., когда случилась авария на Чернобыльской АЭС, суммарная ФАР за вегетационный период в Василевичах заметно увеличилась (до 1438 МДж/м²) по сравнению с двумя предшествующими годами (1305 и 1296 МДж/м²), но была меньше, чем в 1983 г. Это увеличение не отмечено на метеостанции Минск. В этот год зафиксирован дополнительный прирост рассеянной радиации. Возможно, аэродисперсные выбросы разрушенного реактора отразились на общей динамике аэрозольной системы атмосферы над Полесьем.

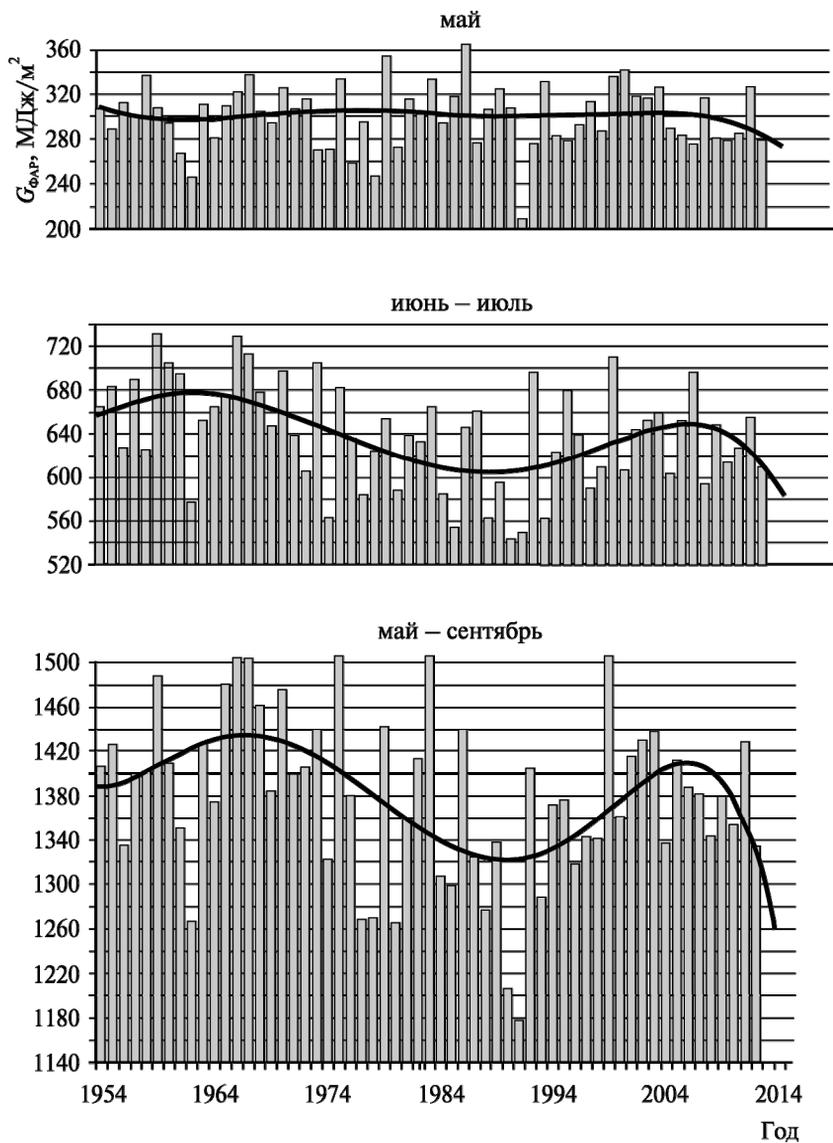


Рис. 2.3. Шестидесятилетний ход изменчивости суммарной ФАР (метеостанция Василевичи). Сплошная линия – полином.

Следует отметить нарастающее снижение суммарной ФАР в вегетационный период от максимального поступления в середине 1960-х гг. до 1991 г. с рекордно низким значением (1174 МДж/м²). В вегетационный период 1992 г. произошел ее подъем на 228 МДж/м². Следующее резкое увеличение (до 1507 МДж/м²) – в 1999 г., но ее среднегодовое поступление хотя и увеличилось, но оказалось ниже, чем в 1954–1976 гг. (табл. 2.6). Наибольшая дисперсия суммарной ФАР (стандартное отклонение σ) – в период ее наименьшего значения.

Таблица 2.6

**Сравнительная статистическая характеристика суммарной ФАР
в анализируемые временные отрезки**

Месяц	ФАР, МДж/м ²					
	1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
	Количество	σ	Количество	σ	Количество	σ
V	301	23,2	298	34,8	302	24,0
VI–VII	664	44,6	612	45,9	640	34,4
V–IX	1420	72,6	1331	80,0	1390	48,9

Отношение прямой и рассеянной ФАР к суммарной в течение вегетационного периода со временем менялось (табл. 2.7). Наибольший вклад прямой ФАР в суммарную (48–50 %) по сравнению с предыдущими годами сделан после 1998 г. при равном ему значении рассеянной (50–52 %). В предшествующие два временных отрезка участие рассеянной ФАР суммарно составляло 57–62 %, прямой – 38–43 %.

Таблица 2.7

**Отношение прямой и рассеянной ФАР
к суммарной в анализируемые временные отрезки**

Месяц	Отношение прямой и рассеянной ФАР к суммарной (%)		
	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.
Прямой			
V	41	41	50
VI–VII	43	38	49
VI–IX	42	39	48
Рассеянной			
V	59	59	50
VI–VII	58	62	51
VI–IX	57	61	52

Белорусское Полесье как один из наиболее изученных регионов не только в Беларуси, но и во всем Нечерноземье представляет собой полигон, на котором испытывались и реализовывались не только различные способы крупномасштабного мелиоративного освоения переувлажненных земель, но и накапливался опыт экологических исследований последствий этого освоения. В результате достигнута конечная цель — использование освоенных болот и заболоченных угодий в народном хозяйстве.

Дальнейшее преобразование природной среды региона под влиянием этого постоянно действующего фактора продолжится. Ретроспективный анализ изменений в природной среде, способствующий более полному пониманию возникавших проблем экологического плана, может оказаться полезным для принятия решений по перспективному оптимальному природопользованию в этом регионе.

2.2. Динамика фотосинтетически активной радиации в Центральной Беларуси

В Центральной Беларуси наиболее длительные актинометрические наблюдения, начавшиеся, как и в Белорусском Полесье, в 1954 г., выполнены на метеостанции Минск. Перевод наблюдаемой радиации в ФАР сделан по понижающим коэффициентам, определенным этой же метеостанцией для прямой 0,44, для рассеянной 0,61 [50].

В атмосферу над Минском, как и над Могилевом, поступают аэрозоли с воздушными потоками, формирующимися за пределами Беларуси, от лесных и болотных пожаров и техногенного загрязнения воздушной среды. Первые из них содержат аэрозоли различного происхождения, включая испарение вод Атлантического океана, источники над Европой и вулканические извержения Святой Елены (1980), Эль-Чичона (1982), Пинатубо (1991) и других вулканов.

Поступление прямой (табл. 2.8, рис. 2.4), рассеянной (табл. 2.9, рис. 2.5) и суммарной (табл. 2.10, рис. 2.6) ФАР по наблюдениям на метеостанции Минск за месяцы вегетационного периода характеризуется значительной погодичной изменчивостью.

В 1977 г. поступление прямой ФАР на территорию Центральной Беларуси резко сократилось по сравнению с предшествующим годом (особенно в июле и августе) как следствие уменьшения притока прямой солнечной радиации.

Таблица 2.8

**Поступление прямой ФАР в месяцы
вегетационного периода (Василевичи), МДж/м²**

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1954	150	180	132	122	84	312	668
1955	110	149	159	152	64	308	633
1956	125	148	122	84	73	270	552
1957	112	159	142	99	48	301	560
1958	143	106	131	86	92	238	558
1959	160	169	172	124	42	341	667
1960	123	172	121	90	57	293	563
1961	99	141	104	78	71	245	493
1962	85	108	104	106	65	213	468
1963	170	152	193	121	93	345	729
1964	123	191	135	83	65	326	597
1965	100	111	119	102	75	230	507
1966	136	179	118	145	40	297	618
1967	127	153	171	105	82	324	638
1968	103	186	127	92	78	313	586
1969	93	128	175	94	81	303	572
1970	144	142	121	93	49	263	550
1971	168	129	165	136	47	294	644
1972	109	155	107	122	59	262	552
1973	103	136	128	147	55	264	568
1974	103	84	91	143	73	176	495
1975	116	113	139	145	103	252	615
1976	103	143	133	94	70	276	543
1977	113	115	51	61	59	166	399
1978	106	112	98	86	20	210	422
1979	140	172	76	107	61	248	556
1980	65	102	71	64	41	172	342
1981	153	93	125	74	46	218	491
1982	109	121	114	107	71	235	522
1983	93	105	92	133	62	197	485
1984	86	75	79	95	37	154	372
1985	137	103	113	108	41	216	502
1986	143	136	116	76	36	252	507
1987	86	89	127	89	52	216	442
1988	146	77	134	74	40	210	470
1989	181	95	148	79	63	244	567
1990	154	140	68	104	14	208	480

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1991	88	122	147	95	63	269	514
1992	107	125	172	112	37	297	553
1993	156	105	87	101	38	192	486
1994	107	122	216	95	51	339	592
1995	99	150	162	132	52	312	595
1996	95	140	88	125	53	229	502
1997	113	115	103	152	75	218	558
1998	101	117	110	68	72	227	468
1999	153	177	177	98	78	354	683
2000	169	149	85	105	76	235	583
2001	157	95	150	110	51	246	565
2002	188	149	172	135	57	321	700
2003	158	143	126	100	71	268	598
2004	107	112	147	116	78	259	561
2005	83	162	152	109	79	314	584
2006	126	178	209	64	88	386	664
2007	122	164	103	138	75	266	601
2008	95	178	141	117	48	319	579
2009	137	–	151	159	89	–	–
2010	92	142	143	95	58	285	530
2011	144	161	110	135	88	272	640
2012	170	123	183	92	66	305	633
2013	–	–	–	–	–	–	–

Как отмечалось, наибольшее загрязнение атмосферного воздуха в Минске наблюдалось до 1975 г. по причине жилищного строительства с малыми котельными, ввода в эксплуатацию новых промышленных предприятий и в целом роста промышленного производства и развития теплоэнергетики.

Начавшееся с середины 1970-х гг. увеличение повторяемости западных форм циркуляции, при которых циклоны перемещаются через зону умеренных широт преимущественно с запада на восток, совпало с началом интенсивного потепления климата [58].

Переход на централизованное теплоснабжение с ликвидацией около 650 малых котельных с неконтролируемым сжиганием топлива (в основном угля) и другие природоохранные мероприятия (в частности, газификация) привели к быстрому оздоровлению атмосферного воздуха в городе.

Таблица 2.9

**Поступление рассеянной ФАР в месяцы
вегетационного периода (Минск), МДж/м²**

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI-VII	V-IX
1954	181	200	207	151	112	407	851
1955	179	167	182	150	117	349	795
1956	160	183	167	140	85	350	734
1957	186	195	193	141	101	388	816
1958	173	198	180	143	92	378	785
1959	167	173	165	139	106	338	749
1960	179	165	189	152	113	354	798
1961	195	194	208	159	98	402	853
1962	177	205	184	159	111	389	836
1963	168	176	176	154	92	353	767
1964	181	181	183	147	93	364	786
1965	176	188	189	158	120	378	831
1966	175	173	180	143	119	353	789
1967	188	196	182	161	106	378	834
1968	181	160	194	164	113	354	813
1969	163	170	167	153	107	337	760
1970	176	176	181	136	102	356	771
1971	168	195	187	142	104	381	796
1972	185	174	170	134	91	343	754
1973	163	169	177	155	95	346	758
1974	178	187	190	158	102	378	816
1975	198	143	167	140	102	310	749
1976	195	188	188	162	107	376	839
1977	167	199	162	148	96	361	771
1978	132	182	180	145	90	362	729
1979	171	175	179	139	92	354	756
1980	188	180	197	163	110	377	839
1981	173	193	179	163	112	373	820
1982	157	162	178	156	109	340	762
1983	218	217	201	170	120	417	925
1984	182	194	198	164	100	392	838
1985	175	174	194	159	104	368	806
1986	174	187	165	165	87	351	777
1987	174	195	183	148	111	378	811
1988	172	173	196	168	98	369	808
1989	167	180	170	143	102	350	761
1990	179	199	180	162	92	379	811
1991	150	179	181	160	106	360	776

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1992	200	207	199	181	111	406	898
1993	170	185	171	142	88	356	757
1994	178	165	156	154	95	321	747
1995	182	155	122	106	93	277	658
1996	160	153	166	134	68	318	681
1997	157	139	168	119	83	307	667
1998	153	139	167	146	83	306	688
1999	149	142	143	141	84	285	658
2000	146	173	169	147	92	342	727
2001	159	182	184	154	113	367	792
2002	165	172	178	161	124	350	800
2003	172	193	173	148	106	365	791
2004	171	187	175	140	94	362	768
2005	146	164	172	134	109	336	725
2006	184	171	157	121	84	328	718
2007	178	178	172	154	116	350	797
2008	175	191	192	158	109	383	825
2009	176	–	176	148	101	–	–
2010	159	173	191	167	97	364	786
2011	158	170	214	166	108	384	816
2012	141	169	162	142	100	331	713
2013	–	–	–	–	–	–	–

В 1977 г. содержание прямой ФАР (399 МДж/м^2) в поступающей солнечной радиации за вегетационный период (май – сентябрь) сократилось на 144 МДж/м^2 (или на 26 %) по сравнению с предшествующим годом (543 МДж/м^2). Уменьшение прямой солнечной радиации противоречит сокращению локального техногенного загрязнения атмосферы и не может быть связано с региональным загрязнением воздушного бассейна в результате мелиоративных работ в Белорусском Полесье. Причина, полагаем, заключена в поступлении аэрозолей с воздушными потоками в начале самого высокого аэрозольного загрязнения атмосферы в 1973–1998 гг.

Сокращение прямой солнечной радиации связано с изменениями в движении воздушных масс в европейском секторе умеренного климатического пояса. С 1977 г. начался быстрый рост суммарной продолжительности меридиональной южной циркуляции воздушных масс, т. е. стремительный выход циклонов из низких широт в высокие. Максимум ее продолжительности составил 201 день в 1977 г. (при средней в 46 дней) и держался на высоком уровне по 1997 г. (179 дней) [63].

Таблица 2.10

Поступление суммарной ФАР в месяцы вегетационного периода (Минск), МДж/м²

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1954	331	380	339	273	196	719	1519
1955	289	316	341	302	180	657	1428
1956	285	331	288	225	157	620	1287
1957	298	354	334	240	149	688	1375
1958	316	304	311	229	183	615	1343
1959	327	343	336	263	148	679	1416
1960	301	337	311	242	170	647	1361
1961	295	335	312	236	168	647	1347
1962	262	313	289	264	176	602	1303
1963	339	328	369	275	184	698	1495
1964	304	372	318	230	158	690	1383
1965	277	299	308	260	195	607	1338
1966	311	352	298	288	159	650	1408
1967	316	350	353	266	188	702	1472
1968	284	347	321	256	191	667	1398
1969	257	298	342	247	188	640	1332
1970	321	318	302	229	152	619	1321
1971	336	324	351	278	151	675	1440
1972	295	329	277	256	149	606	1306
1973	265	304	305	301	150	610	1326
1974	281	272	281	301	174	553	1310
1975	313	255	306	285	204	562	1364
1976	297	330	321	256	178	652	1382
1977	280	314	213	209	154	527	1170
1978	238	294	278	231	111	572	1151
1979	311	348	255	246	153	603	1313
1980	253	282	268	227	151	549	1181
1981	325	287	304	237	158	591	1312
1982	267	284	292	262	180	575	1284
1983	311	322	292	303	182	614	1410
1984	268	269	276	259	137	546	1209
1985	312	277	307	266	145	584	1308
1986	317	322	281	241	123	603	1284
1987	260	284	310	237	163	594	1253
1988	318	249	330	243	138	579	1278
1989	348	275	318	222	165	593	1328
1990	333	339	248	265	105	588	1291

Год	Месяц						
	V	VI	VII	VIII	IX	VI–VII	V–IX
1991	238	301	328	255	168	629	1290
1992	307	333	370	293	148	703	1451
1993	326	290	258	243	126	548	1243
1994	285	287	373	249	146	660	1339
1995	280	305	284	239	145	589	1254
1996	256	293	254	259	121	547	1183
1997	270	254	271	271	158	526	1225
1998	254	256	276	215	155	532	1156
1999	302	319	320	239	161	639	1342
2000	315	322	254	252	168	576	1311
2001	316	278	335	264	164	613	1356
2002	353	321	350	296	181	671	1500
2003	330	335	298	248	177	634	1388
2004	279	299	322	256	172	622	1329
2005	229	326	324	242	187	650	1309
2006	310	349	365	185	173	715	1382
2007	300	341	275	291	191	616	1398
2008	270	369	333	275	157	703	1405
2009	314	–	328	307	190	–	–
2010	251	315	334	262	155	649	1316
2011	302	331	325	301	196	656	1455
2012	311	292	344	234	166	636	1346
2013	–	–	–	–	–	–	–

С 1998 г. уменьшается суммарная годовая продолжительность меридиональной южной циркуляции, хотя она все еще на 22 дня превышает среднюю (по данным на 2012 г.) [63]. В этих циркуляционных условиях прямая ФАР уменьшилась за вегетационный период на 90 МДж/м² (или на 15,3 %), несмотря на постепенное увеличение к середине этого временного отрезка, соответственно и в его месяцы при заметном увеличении ее дисперсии только в июле (табл. 2.11). Наиболее значимым сокращение прямой ФАР за вегетационный период происходило в 1980 г. после майского извержения Святой Елены и в 1982 г. – Эль-Чичона.

Между этими годами в 1999 г. прямая ФАР скачкообразно увеличилась на 215 МДж/м² (или на 45 %) по сравнению с 1998 г. (468 МДж/м²), достигнув 683 МДж/м². Среднее ее значение за вегетационный период 1999–2013 гг. (609 МДж/м²) значительно превысило параметр за 1977–1998 гг. на 127 МДж/м² и незначительно за 1954–1976 гг. (27 МДж/м²).

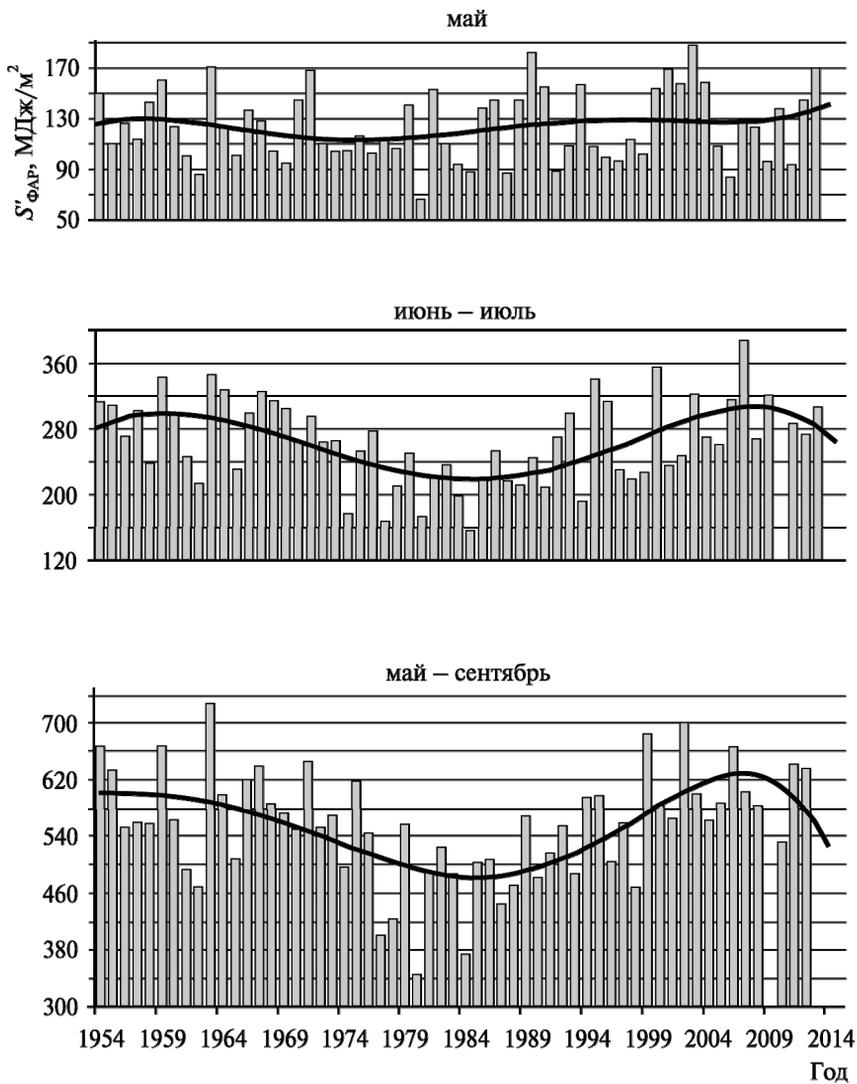


Рис. 2.4. Динамика поступления прямой ФАР (метеостанция Минск, данные за 2010 г. отсутствуют)

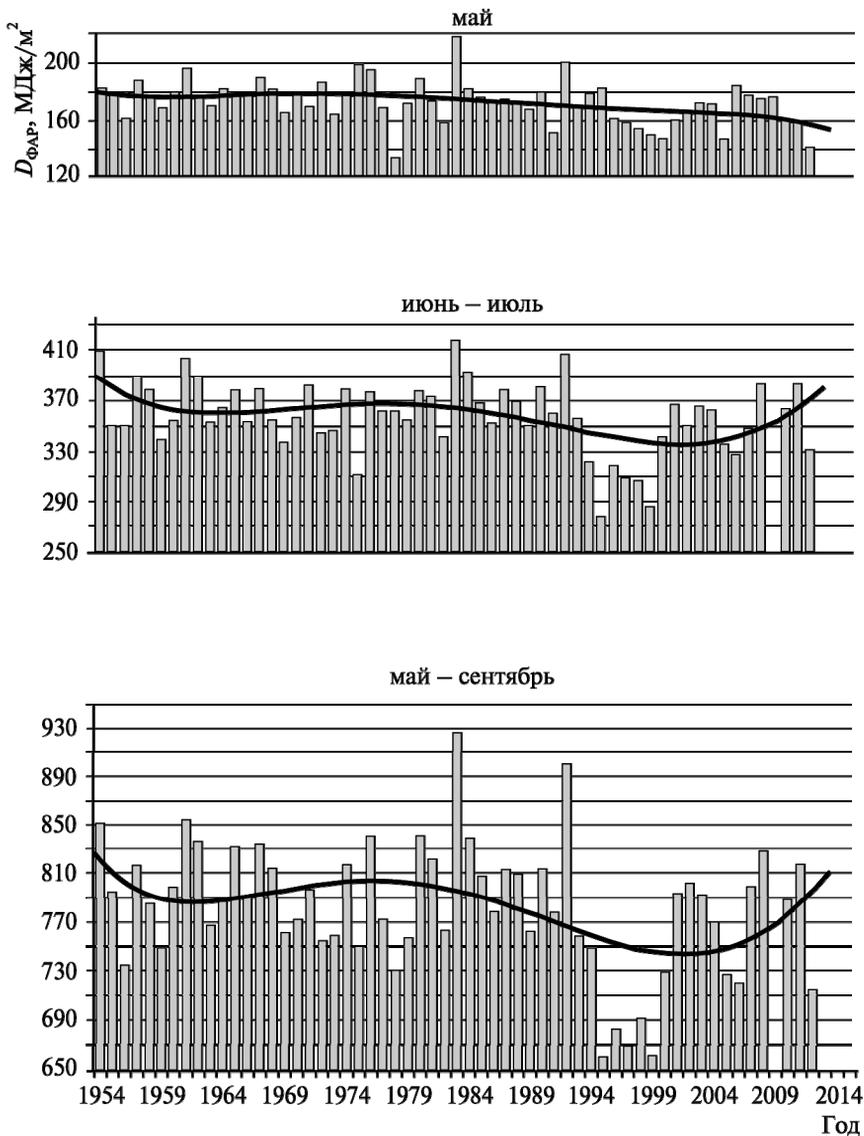


Рис. 2.5. Динамика рассеянной ФАР
(метеостанция Минск)

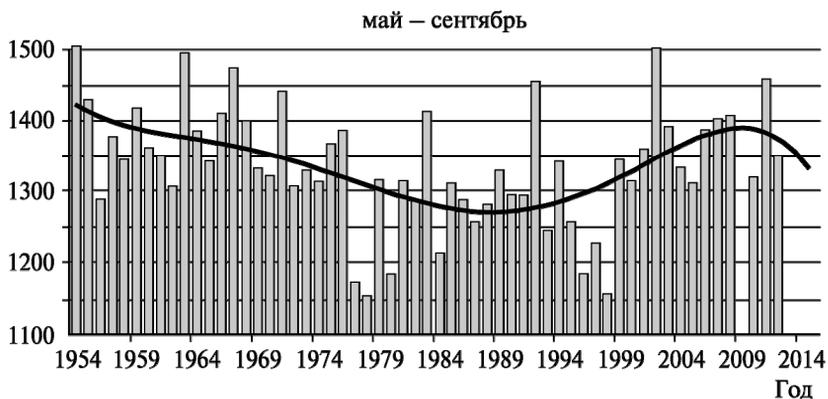
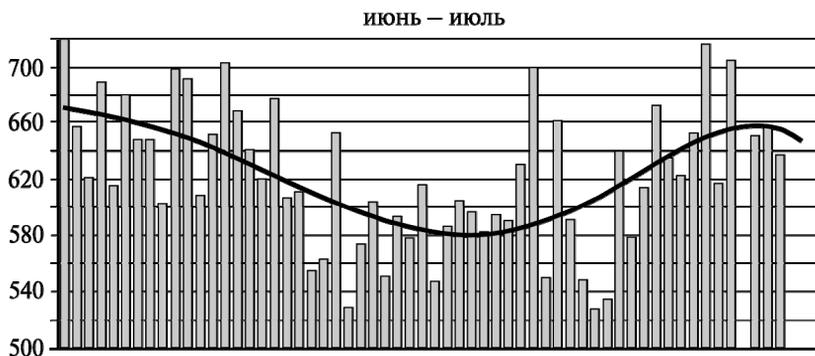
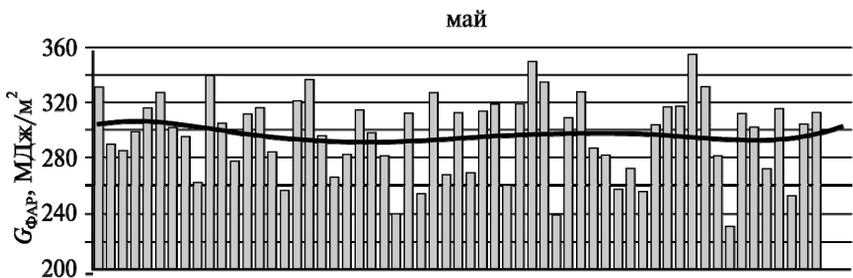


Рис. 2.6. Динамика суммарной ФАР (метеостанция Минск)

Таблица 2.11

Сравнительная характеристика ФАР в анализируемые временные отрезки

Месяц	ФАР, МДж/м ²					
	1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
	Количество	σ	Количество	σ	Количество	σ
Прямая						
V	122	24	117	29	136	33
VI–VII	280	27	228	30	295	29
V–IX	582	63	492	67	609	51
Рассеянная						
V	178	10	172	18	162	14
VI–VII	304	14	356	19	350	15
V–IX	795	36	777	68	763	50
Суммарная						
V	300	23	289	33	299	32
VI–VII	644	26	584	31	645	26
V–IX	1376	63	1269	78	1372	58

Таким образом, в 1977–1998 гг. в центре Беларуси, как и на юге (Полесье), возникла отрицательная актинометрическая аномалия с наименьшим значением прямой ФАР, также с временным сдвигом по отношению к периоду наиболее высокой загрязненности атмосферы по сравнению с 1954–1976 гг.

Значение ее за вегетационный период оказалось наиболее низким (на 117 МДж/м²) по сравнению с последующим временным отрезком (после 1998 г.) при минимальной загрязненности атмосферы (по В. Ф. Логинову и Ю. А. Бровке [40]). В месяцы с наиболее длительным фотопериодом (июнь и июль) поступление прямой ФАР после актинометрической аномалии при наименее загрязненной атмосфере возросло на 28,5 %.

Ограничивающими годами этой многолетней актинометрической аномалии были 1977-й с максимальной суммарной продолжительностью (201 день) меридиональной южной циркуляции воздушных масс и 1998-й с несколько меньшей (179 дней) продолжительностью этой циркуляции, и возник некоторый рост повторяемости западной циркуляции, приведший к ее меньшей выраженности [63]. Содержание рассеянной ФАР в приземном слое воздуха в мае незначительно уменьшилось на 6 МДж/м², но увеличилось в июне – июле на 52 МДж/м², сократившись за весь вегетационный период на 18 МДж/м².

Только резко возросла ее дисперсия по сравнению с 1954–1976 гг.: в мае – на 80 %, июне – на 40, июле – на 50, августе – на 89, сентябре –

на 20 и в целом за вегетационный период на 89 %. Вклад в эту возросшую дисперсию за вегетационный период (май – август) внесла отрицательная пятилетняя аномалия 1995–1999 гг. (см. рис. 2.5).

Погодичная изменчивость суммарной ФАР – результат сложения прямой и рассеянной. В ней четко выделяется актинометрическая аномалия 1977–1998 гг. с минимальными значениями в ограничивающие годы. Соотношение прямой, рассеянной и суммарной радиации значительно менялось (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Отношение рассеянной ФАР к прямой и суммарной

Месяц	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.
	Отношение рассеянной ФАР (%)		
К прямой			
V	146	147	119
VI–VII	130	155	117
VI–IX	135	158	125
К суммарной			
V	59	60	54
VI–VII	57	61	56
VI–IX	58	61	56

Рассеянная ФАР всегда преобладала над прямой, и при актинометрической аномалии это преобладание было более значительным (кроме мая), хотя ее участие в суммарной изменялось мало. После 1998 г. ее отношение к прямой оказалось наименьшим не только во время актинометрической аномалии, но и до нее и наименьшим в сравнении с суммарной.

2.3. Изменчивость фотосинтетически активной радиации за 1968–2013 гг. в Белорусском Поозерье

Чтобы проследить многолетнюю динамику изменчивости ФАР, необходимо достаточно длинный временной ряд точных актинометрических наблюдений за приходом солнечной радиации. Таким 45-летним рядом, начиная с 1968 г., в Белорусском Поозерье располагает только метеостанция Шарковщина.

Метеостанция находится в северной умеренно теплой, влажной агроклиматической области [59], которая в физико-географическом отношении соответствует Белорусскому Поозерью. Территории с преобладанием сельскохозяйственных угодий окружают ее с севера, востока и юга. Западнее простирается верховое болото «Мох», примыкающее с юга к Национальному парку «Браславские озера» с лесами, верховыми болотами и озерными системами. В 20 км севернее расположено крупнейшее в Поозерье верховое болото «Ельня». На верховых болотах периодически возникают пожары. Основной массив мелиорированных низинных болот расположен в 20 км южнее Шарковщины.

Крупных промышленных предприятий, которые могли бы существенно повлиять на аэрозольное состояние атмосферы, над данной территорией нет. Географическое положение метеостанции Шарковщина указывает, что результаты актинометрических измерений отражают динамику состояния атмосферы, мало зависящую от поступления в нее местных аэрозолей антропогенного происхождения.

Анализ погодичной изменчивости наблюдаемой прямой, рассеянной и суммарной радиации – отправной момент в исследовании динамики ФАР в следующие месяцы: май (начало вегетации), июнь – июль (с самым длительным суточным фотопериодом), май – сентябрь (месяцы вегетационного периода) и октябрь – апрель (безлиственный период, отличающийся от холодного включением в него апреля). Перевод поступающей радиации в ФАР сделан по понижающим коэффициентам, определенным метеостанцией Минск для Шарковщины в соответствии с ее широтным положением: для прямой 0,44 (во все месяцы, кроме июля, для июля – 0,43), для рассеянной 0,61 [50].

Как отмечалось, приток солнечной радиации определяется не только широтным положением пункта ее определения, но и аэрозольным содержанием атмосферы, главный в котором – водяной пар [55]. Кроме него в образовании природного аэрозоля участвуют вулканические извержения, частицы биогенного происхождения, дым от пожаров, техногенное загрязнение и природные газообразные реакции. В атмосферу над Поозерьем, как и над всей Беларусью, поступают аэрозоли с воздушными потоками, формирующимися за пределами Беларуси, различного происхождения, включая испарение вод Атлантического океана, источники над Европой и вулканические извержения, и от местных лесных и болотных пожаров и локального техногенного загрязнения воздушной среды.

Метеостанция Шарковщина расположена на $55,40^\circ$ с. ш., Минск – на $1,48^\circ$ и Василевичи – на $3,12^\circ$ южнее. Средняя температура месяцев вегетационного и безлиственного периода за анализируемый период наиболее низкая при меньшем количестве осадков по сравнению с Минском и Василевичами (табл. 2.13).

Атмосфера в высоких широтах содержит меньше водяного пара и примесей, чем в низких, и по этой причине поступлений прямой солнечной радиации на этих широтах может быть больше [60]. Действительно, в среднем за вегетационные месяцы прямой ФАР, как функционально зависимой от солнечной радиации, в Шарковщине больше на 116 МДж/м^2 , чем в Минске, и на 78 МДж/м^2 по сравнению с Василевичами. Это преимущество сохраняется за безлиственный период, хотя и в меньшем значении (см. табл. 2.13).

Таблица 2.13

Сравнительная метеорологическая характеристика Поозерья (Шарковщина), Центральной Беларуси (Минск) и Полесья (Василевичи) за 1968–2013 гг.

Период	Метеостанция		
	Шарковщина	Минск	Василевичи
Прямая ФАР, МДж/м ²			
Май – сентябрь	659	543	581
Октябрь – апрель	232	186	201
Год	891	729	781
Рассеянная ФАР, МДж/м ²			
Май – сентябрь	469	774	786
Октябрь – апрель	417	417	463
Год	886	1191	1249
Суммарная ФАР, МДж/м ²			
Май – сентябрь	1128	1317	1367
Октябрь – апрель	649	603	664
Год	1777	1920	2031
Температура, t °С			
Май – сентябрь	14,5	15,4	15,9
Октябрь – апрель	-0,7	0	0,5
Год	5,5	6,3	7,0
Осадки, мм			
Май – сентябрь	341	370	356
Октябрь – апрель	288	326	292
Год	629	696	648

Как результат в годичном итоге прямой ФАР больше в Поозерье, чем в центре и на юге Беларуси. Это непосредственное свидетельство того, что аэрозольное содержание атмосферы, включая антропогенное загрязнение, на севере Беларуси значительно меньше и воздушный бассейн — более чистый, чем в южных регионах.

Поток рассеянной радиации может увеличиваться в 8–10 раз при наличии облаков, представляющих хорошую рассеивающую среду при освещении солнцем, чем при ясном небе. При сплошной облачности среднего и верхнего ярусов рассеянной радиации в 1,5–2,0 раза больше, чем при ясном небе. Только при выпадении осадков и при очень мощной сплошной облачности рассеянной радиации меньше, чем при ясном небе.

Содержание рассеянной ФАР в воздушной среде над анализируемыми регионами различно: над Шарковщиной ее меньше в 1,65 раза, чем над Минском, и в 1,68 раза, чем над Василевичами.

В результате возникли различия в суммарной ФАР над привлеченными для исследования территориями. Рассеянная солнечная радиация непосредственно обеспечивает энергией фотосинтез первичной продукции [61]. Таким образом, в Поозерье ее недобор по сравнению с южными регионами выступает в роли фактора, лимитирующего урожайность сельскохозяйственных культур, не исключая влияния на нее других климатических и почвенных условий.

В полиноме (пятая степень) динамики прямой ФАР за месяцы вегетационного периода прослеживается волновой компонент, слабо выраженный в начальном месяце вегетации (мае) и четко в месяцы с самым длинным суточным фотопериодом и за вегетационный период в целом (рис. 2.7).

Изменение прямой ФАР в Поозерье имеет свои региональные особенности. Время ее наименьшего значения (многолетняя аномалия) — 1974–1990 гг. при среднем ежегодном параметре за месяцы вегетационного периода менее 600 МДж/м² (за исключением 1979 г.), при рекордно минимальном уровне в 1977 г. (401, в том числе за июнь — июль 163 МДж/м²). При ограниченности наблюдений за предыдущие годы эту аномалию в 1974–1990 гг. целесообразно сравнить с годами наибольшей высоты волны в динамике ФАР (1991–2012 гг.).

Среднее ежегодное поступление прямой ФАР за июнь — июль в 1974–1990 гг. составляло 250 МДж/м², или 71 %, по сравнению с годами

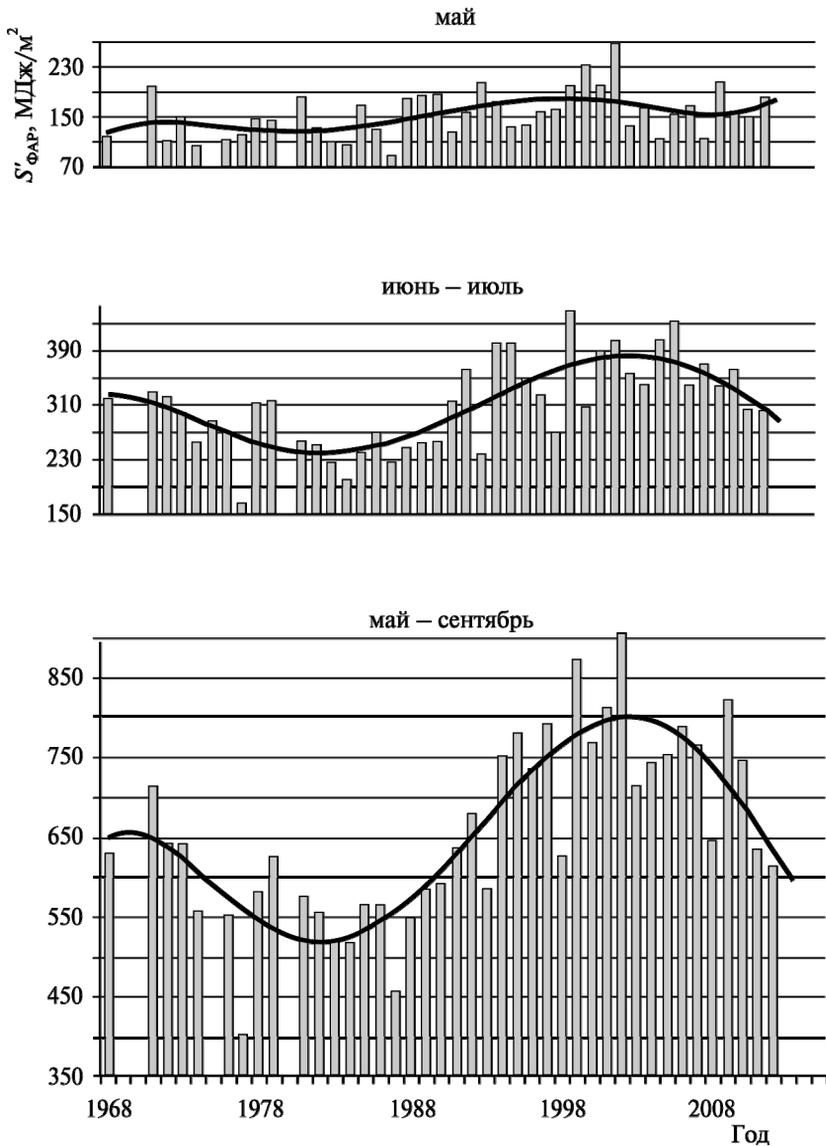


Рис. 2.7. Динамика прямой ФАР за месяцы вегетационного периода (метеостанция Шарковщина). Сплошная линия – полином.
(Пропуски в рядах – отсутствие наблюдений)

волны (351 МДж/м^2). За все месяцы вегетационного периода эти различия сохранились (соответственно 546 МДж/м^2 , или 74 %, и 736 МДж/м^2). Изменения в притоке прямой солнечной радиации отразились в температурных условиях сравниваемых лет: вегетационный период в ложбине волны был менее теплым ($14,1 \text{ }^\circ\text{C}$) по сравнению с ее гребнем ($14,9 \text{ }^\circ\text{C}$). Это отличие в климатической обстановке можно объяснить зависимостью температуры воздуха от притока прямой солнечной радиации.

По увлажненности сравниваемые временные календарные отрезки отличались незначительно: в среднем за вегетационный период до 1990 г. выпадало 353 мм осадков, после него — 343 мм. Однако это не может привести к появлению самой волны. Следовательно, несущественным различием в многолетнем аэрозольном содержании водяных паров в атмосфере над Поозерьем невозможно объяснить поступательные изменения прямой ФАР.

Начавшаяся с середины 1970-х гг. вулканическая активизация проявилась в мощности извержений вулканов. Как отмечалось, после крупномасштабного извержения в 1963–1964 гг. Агунга в 1975–1976 гг. извергались вулканы Камчатки: Безымянный, Швелуч, Плоский Толбачик, пик Сырачева и другие, в Исландии — Эльфетль (1973–1974 гг.), Гримсвогн, Бардарбунг (1975–1976 гг.), Гекла (2000 г.) и др. Произошли извержения вулканов Мерани (Филиппины), Семеру (Индонезия) и Августина (Аляска), в 1980–1981 гг. — наиболее масштабные Ареналя и Святой Елены, в 1983 г. — Эль-Чичона в Северной Америке, позднее, в 1991 г., Пинатубо. На аэрозольное содержание атмосферы над Беларусью наиболее вероятное влияние могли оказать самые мощные вулканические извержения Агунга, Святой Елены, Эль-Чичона и Пинатубо, а также исландских вулканов при западном переносе воздушных масс.

Суммация водяного пара в воздушной среде с увеличившимся вулканическим аэрозолем в атмосфере проявилась в наиболее низких значениях поступления прямой ФАР в Поозерье. Так, ее рекордно низкое значение (401 МДж/м^2) за месяцы вегетационного периода было в 1977 г. с 394 мм осадков (по сравнению с 1976 г. — 212 мм).

Следующая по минимальной значимости ее величина (456 МДж/м^2) пришлось на 1987 г. (409 мм осадков). Очищение атмосферы от вулканического аэрозоля привело к возникновению волны в многолетней динамике поступления прямой ФАР, гребень которой был поднят наибольшими значениями в 1999 г. (871 МДж/м^2) и в 2002 г. (927 МДж/м^2),

оказавшимися самыми засушливыми (соответственно 172 и 152 мм осадков) и, следовательно, с незначительным содержанием водяного пара в воздухе. Спад волны обязан также влажному вегетационному периоду 2009–2013 гг. (в среднем 373 мм осадков).

Региональное изменение рассеянной ФАР, по всей видимости, отражает динамику содержания вулканического аэрозоля над северным регионом Беларуси (рис. 2.8).

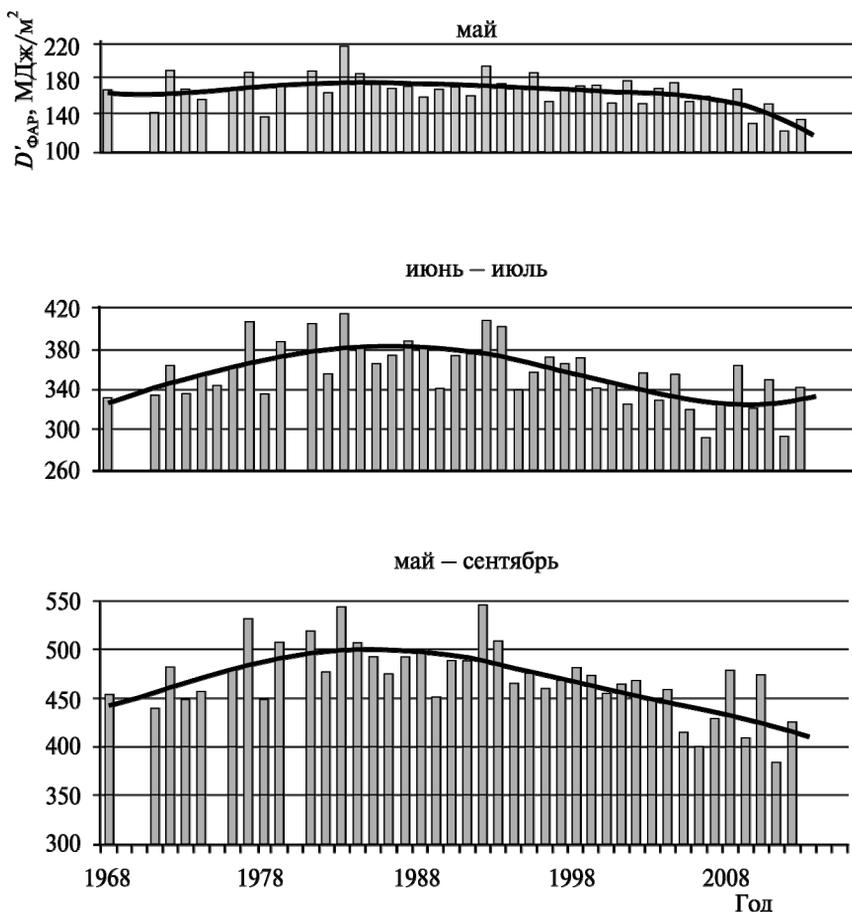


Рис. 2.8. Динамика рассеянной ФАР за месяцы вегетационного периода (метеостанция Шарковщина)

Наибольшее значение рассеянной ФАР пришлось на годы вулканической активности в Северном полушарии. Следует отметить, что в 1964–1987 гг. с крупномасштабными водно-земельными мелиорациями в Белорусском Полесье ее среднегодовое количество в Поозерье, где не велось подобного преобразования природной среды, за вегетационный период (484 МДж/м^2) было в 1,74 раза меньше, чем в южном регионе (на метеостанции Василевичи 842 МДж/м^2), указывая непосредственно на участие аэрозоля местного происхождения в состоянии воздушного бассейна.

Динамика рассеянной ФАР, заметно увеличившейся в вегетационный период 1977 г., также достоверно отражает изменения в содержании аэрозолей в атмосфере Поозерья. Максимальное замутнение атмосферы наступило в 1983 г. после извержения вулкана Эль-Чичон в 1982 г. Поступление рассеянной ФАР за вегетационный период достигло наибольших значений (414 МДж/м^2), уменьшаясь до извержения Пинатубо в 1991 г. За извержением этого вулкана последовало быстрое увеличение рассеянной радиации в 1992 г. до 407 МДж/м^2 и несколько меньше в 1993 г. (400 МДж/м^2). После 1993 г. атмосфера начала очищаться от вулканического аэрозоля, что привело к постепенному уменьшению рассеянной ФАР.

Соотношение рассеянной и прямой ФАР в воздушной среде над Шарковщиной не отличалось постоянством и менялось во времени. В 1977–1993 гг. рассеянная ФАР за все месяцы вегетационного периода составляла 84 % от прямой (за июнь – июль – 137 %). После 1993 г. она уже преобладала над прямой (137 %), но уступала ее значению за месяцы с самым длинным суточным фотопериодом (96 %). Ход изменчивости ФАР за месяцы безлиственного периода (рис. 2.9) также имеет волновую компоненту, свидетельствующую об общей с вегетационным периодом причине ее возникновения.

Однако некоторые нюансы следует отметить. Возросшая значимость прямой ФАР при волне (в среднем в году 267 МДж/м^2) по сравнению с предшествующими годами (194 МДж/м^2) была уже при большем выпадении осадков (соответственно 305 и 280 мм). Как известно, осадки связаны с облачностью, отражающей влажосодержание воздушной среды. Следовательно, этот фактор не мог повлиять на возникновение волны.

Наименьшее значение прямой и суммарной ФАР в 1992 г. следовало за извержением Пинатубо в 1991 г. Во временном ряду изменчивости суммарной ФАР особенно выделяется 1996 г. с малоувлажненным безлиственным периодом, в котором выпало только 218 мм осадков (меньше было только в 1980 г. – 177 мм, однако актинометрические данные за этот год отсутствуют). В первой половине 1990-х гг. безлиственный период потеплел до $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ по сравнению с предшествующими годами ($-1,1 \text{ }^\circ\text{C}$).

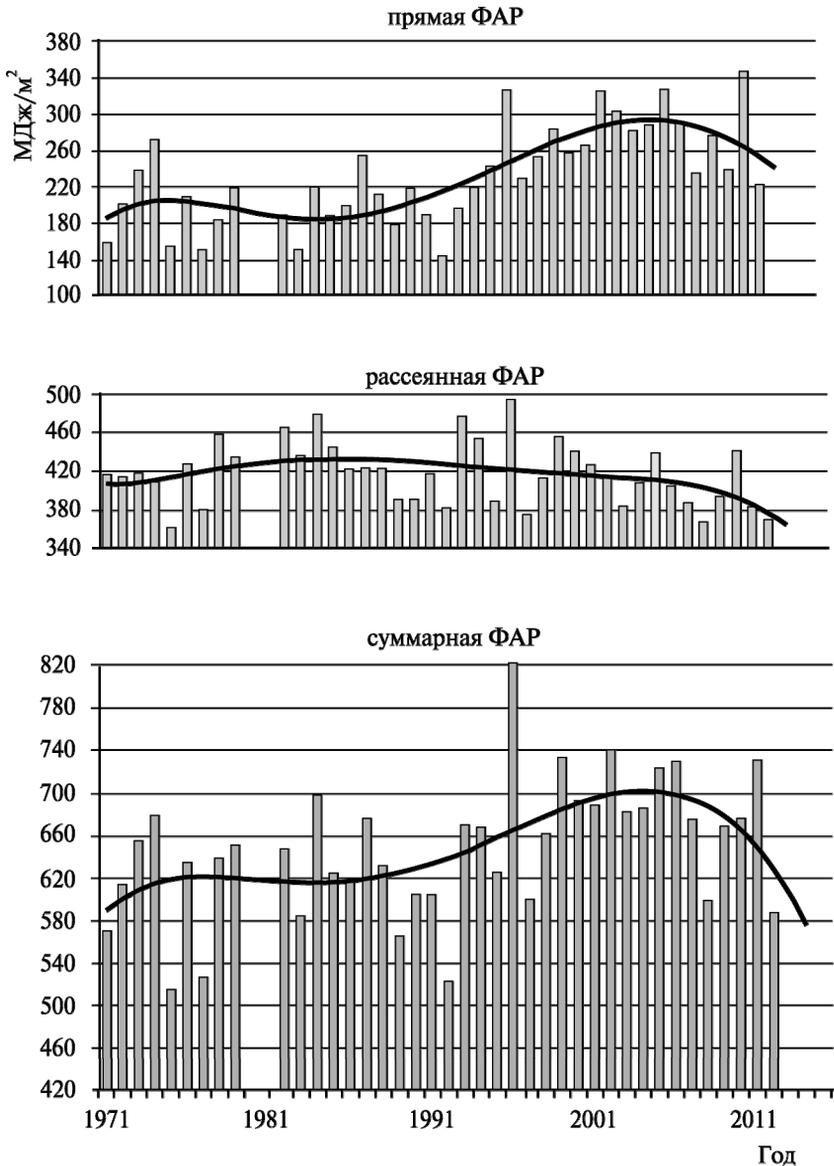


Рис. 2.9. Динамика ФАР за месяцы безлиственного периода (метеостанция Шарковщина)

Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста ели и сосны выявил те же закономерности, которые свойственны их насаждениям в Полесье и Центральной Беларуси [3; 16; 62–64].

Динамика ФАР в Поозерье подчинена тем же флуктуациям, что и климата с его значимостью температурных условий в конкретные временные отрезки. Наиболее вероятной причиной изменчивости ФАР на севере Беларуси, как в Полесье и центральной части, послужила динамика глобального аэрозольного содержания атмосферы (по В. Ф. Логинову и Ю. А. Бровке [56]), на которую наложились региональные условия увлажненности, отражающие содержание водяных паров в воздушном бассейне. Привлечение ФАР дополняет представление об изменении климатической ситуации, что может быть полезно в момент принятия решений в области использования, воспроизводства и охраны биологических ресурсов в данном регионе Беларуси.

Глава 3

ХВОЙНЫЕ ЛЕСА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

3.1. Азональные факторы в хронологии лесных сообществ Белорусского Полесья

Леса Белорусского Полесья в соответствии с климато-генно-ривалитатной теорией В. С. Гельтмана [38] относятся к европейскому доминиону широколиственных лесов, что отвечает представлению о его принадлежности к суббореальной полесской (широколиственно-лесной) в физико-географическом районировании территории Беларуси [65]. В природно-сельскохозяйственном районировании земельного фонда СССР Белорусское Полесье, как и северная часть Украины, отнесена к тайге [66].

В лесорастительном районировании Беларуси [38; 67; 68], учитывающем экотонное положение на стыке двух крупнейших растительных конгломераций Европы: бореальных хвойных и неморальных лиственных лесов, Полесье считается подзоной грабовых дубрав (широколиственно-сосновых лесов) как северной полосы Европейской широколиственной зоны.

Согласно климатогенно-ривалитатной теории [38] природная зона (зонобиом) как экосистема крупнейшего географического ранга с единым зональным климатом должна занимать всю зону полностью. Однако региональные различия (рельеф, режим осадков и стока, местный климат, почвы и др.) — причина того, что эдификатор (дуб в зоне широко-

коиственных лесов и ель в зоне темнохвойных лесов), который должен формировать господствующие (на плакорах) фитоценозы, не господствует на всем пространстве зоны, а только в ее части. Природные особенности Белорусского Полесья, заключающиеся в господстве песчаных покровных отложений с приповерхностным залеганием грунтовых вод, определили детерминированность азональных растительных сообществ, отразившись в растительном покрове [69].

К настоящему времени наиболее полно изучена формационная структура лесного фонда Припятского Полесья, включающего Лунинецкий, Пинский и Столинский районы Брестской области, а также Житковичского, Мозырского, Наровлянского и Петриковского районов Гомельской области (рис. 3.1) [70].

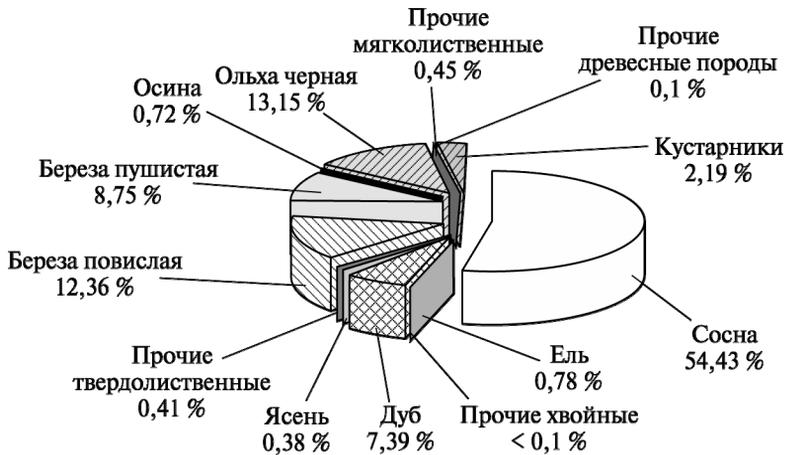


Рис. 3.1. Распределение лесов Припятского Полесья по преобладающим породам [70]

Как отмечалось [71], наиболее распространенная лесная порода в Белорусском Полесье – сосна обыкновенная. В современном лесном фонде она занимает 54,4 %, твердолиственные породы распространены на 8,2 %, мягколиственные – на 35 % площади Припятского Полесья [70]. Данное распределение по породам, как представляется, близко к формационной структуре лесов всего полесского региона.

После завершения мелиоративного освоения Белорусского Полесья в середине 1980-х гг. прошло около 30 лет. Сегодня сложились определенные экологические реалии, в которых продолжает развиваться при-

родная среда региона. Ландшафтным каркасом этого региона по-прежнему служат леса, которые с освоенными болотами и заболоченными землями образуют хорологическое единство современного природного облика юга Беларуси. В климатических условиях, не отличающихся постоянством, лесные формации сохраняют свое эдафотопическое господство, несмотря на измененный водный режим территории в результате осушительной мелиорации.

Основоположник учения о лесе Г. Ф. Морозов утверждал, что взаимодействие между древесными растениями во всей полноте их проявления и содержания находится не только под влиянием климата, но и главным образом под «властью земли» [37], сохраняющей современную мозаику лесных ландшафтов Белорусского Полесья. Отличительная особенность региона — почвенный покров на преобладающей его площади, который развит на палеоген-неогеновых кварцевых песках, перемтых водными потоками в четвертичное время.

Почвенно-растительный покров Белорусского Полесья тесно увязывается со сложными тектоническим строением и гидрогеологическими условиями [6]. Его мозаика отражает химический состав и минерализацию приповерхностного (первого от поверхности) водоносного горизонта, определяемых миграцией элементов в зоне гипергенеза.

Почвы с карбонатно-кальциевым конкреционным комплексом (гидроморфные карбонатно-кальциевые солончаки) на обширных, в большинстве своем бессточных, овальных в плане котловинах (днищах послеледниковых озер-разливов) указывают на восходящую миграцию кальцийсодержащих растворов из мергельно-меловой толщи в зоне тектонических разломов. В результате на взбугренных с этими почвами среди кальцетрофных мелкозалежных низинных болот сформировались дубравы, естественное возобновление которых после вырубки в XIX в. и начале XX в., осушительной мелиорации и сельскохозяйственного использования торфяников оказалось невозможным [6].

Горизонтальная миграция металлосодержащих растворов от Балтийско-Черноморского водораздела к уровню базиса эрозии подземного стока в долине Припяти [72] привела к образованию на локальных участках почв с гидрогенным накоплением железа, алюминия и магния иллювиально-гумусово-железистого подзола. Именно этот эдафотоп по окраине проточных ложбин и заболоченных пойм малых рек занят «островными» ельниками Полесья [40]. Ель, не растущая на кварцевых песках, требовательна к минеральному питанию и проточности вод [25] и только в этом эдафотопе является конкурентным победителем за место произрастания в борьбе с сосной и другими древесными породами.

Иллювиально-гумусово-железистый подзол узкой полосой оконтуривает верховые болота в замкнутых котловинах, но без проточности вод ель на них расти не может [21]. Эти условия и определили крайне малое распространение ели в Белорусском Полесье (менее 0,8 % территории, и только в «островных» локалитетах по окраинам проточных ложбин и пойм малых рек).

На дерново-заболоченных почвах, включая их оподзоленные разновидности, без карбонатно-кальциевого и иллювиально-гумусово-железистого горизонтов доминирующее положение получила формация черноольховых лесов, распространившаяся на мезотрофные низинные болота в пределах болотно-дернового ландшафтно-мелиоративного комплекса [21].

Гидрогеохимический фон локализованных территорий, являющийся порождением тектонических и гидрогеологических особенностей полесского региона, определил пространственную дифференциацию растительного покрова по господству чувствительных к нему лесообразующих пород – дуба, ели и ольхи черной – только в том случае, при котором он мог отразиться при непосредственном нахождении вод или их капиллярной каймы в верхней части песчаного почвенного профиля «сырых песков».

Сосна как двойной ксерофит мало потребляет влагу и умеет ею пользоваться в условиях физической и физиологической сухости. Сухолюбивость и малая требовательность к плодородию почвы позволяют этой древесной породе создавать обширные чистые насаждения на бедных и сухих, преимущественно кварцевых, песках, перемытых водою, и на верховых болотах [37]. Не встречая конкурентов, она на кварцевых песках Белорусского Полесья образует чистые (однопородные) насаждения мшистой и лишайниковых групп ассоциаций.

На сырых кварцевых песках с глубиной залегания грунтовых вод в первом метре от поверхности почвы сосна представлена черничной группой ассоциаций. Вселяющиеся сюда ель и дуб могут существовать в ранге подлеска.

Понижение грунтовых вод в результате осушительной мелиорации выступает как один из возможных экологических факторов, способных оказать влияние на состояние и продуктивность лесных экосистем. Однако выполненные исследования привели к выводу, что изменения в состоянии и продуцировании древесной массы сосновых насаждений под влиянием понижения приповерхностных грунтовых вод несущественны [3]. Лесные насаждения имеют большую инертность в накоплении запасов древесины, и катастрофических изменений в сосновых древостоях из-за потепления климата не предвидится [74].

Фиксируемое некоторое снижение интенсивности накопления ее запасов нельзя объяснить повсеместным действием осушительных систем по причине изменчивости климатических условий. В нижних ярусах растительности сосняков мшистых изменений под влиянием осушительных систем не наблюдается. В сосняках черничных в отдельных случаях отмечалось отмирание некоторых видов подроста, подлеска, травяно-кустарничкового и мохового покровов [6; 75].

Влияние понижения грунтовых вод на сосновые биогеоценозы Белорусского Полесья, которое остается проблематичным, может оказаться наиболее результативным спустя длительное время, в течение которого произойдут трансформация напочвенного покрова и смена поколений древостоя. Сформировавшиеся сосновые биогеоценозы могут противостоять ожидаемому влиянию понижения питающих вод в результате осушительной мелиорации как равновесные природные системы, в значительной мере приспособленные к резкому колебанию увлажненности песчаной почвы за весь период роста древостоя (чередование засушливых и влажных лет).

Понижение грунтовых вод в почвах на кварцевых песках, сопровождающее осушительную мелиорацию, в конечном итоге может оказать решающее значение на формирование лесных массивов юга Беларуси при смене поколений леса, которая происходит преимущественно путем искусственного возобновления после сплошных рубок [69].

Сегодня продолжает практиковаться облесение бросовых песчаных земель, оказавшихся не пригодными для сельскохозяйственного использования. В результате этих лесокультурных работ формируются одновозрастные насаждения, которые с первых лет существования развиваются в условиях искусственного понижения грунтовых вод. Длительное иссушение верхнего слоя песчаной почвы на кварцевых песках приводит к гибели культуры сосны со слаборазвитой корневой системой или ее повреждение энтомовредителями.

Сосна в плужных бороздах на вырубках и на бывших сельскохозяйственных землях после передачи их лесному хозяйству заранее обречена на борьбу за выживание. И эта борьба не всегда приводит к успеху: в результате формируются насаждения полупустынного облика. В этих экстремальных условиях никакая другая древесная порода, кроме сосны, выжить не может.

Такая смена поколений леса указывает на то, что самой природой Полесья определены ограничения в использовании ее лесных и земельных ресурсов. Для сохранения экологического значения сосновых лесов на кварцевых песках необходимо сократить их роль в лесопромыш-

ленных целях. К сожалению, эти особенности природы Полесья по причине неполноты их познания не были учтены при обосновании, проектировании и выполнении мелиоративных работ. Неполнота познания и искаженная информация о Полесье как «главном болоте Европы» дефектно отразилась на подготовке специалистов в области природопользования.

По своему географическому положению и гидрогеологическим условиям Белорусское Полесье относится к благоприятным регионам образования карбонатно-кальциевых солончаков [6]. В результате нейтрального карбонатного процесса в зонах разгрузки напорных вод, обогащенных гидрокарбонатом кальция, при неглубоком залегании (10–40 м) коренных мергельно-меловых отложений на обширных безуклонных или слабоуклонных низинах образуются своеобразные гидроморфные карбонатно-кальциевые солончаки. Они занимают овальные в плане взбугрения высотой до 1 м и поперечником от нескольких десятков до сотен метров среди мелкозалежных низинных болот. Участие солончаков может превышать более 50 % площади мелиорированных массивов. Торфяник и сами солончаки подстилаются кварцевыми песками.

Быстрая сработка маломощной торфяной залежи и сплошное карбонатонакопление уже на всей освоенной площади приводит к образованию пустошей. Сегодня такая экологическая угроза реально существует на крупнейших массивах болотно-карбонатно-солончакового комплекса, расположенных южнее Днепровско-Бугского канала, по среднему течению Ясельды, в водосборах малых рек Ведрич, Щара и др. Нет экономического резона ежегодно перепахивать эти земли для получения низких урожаев, пока не произошла их полная деградация. Их целесообразно передать для ведения лесного хозяйства. Эту трудную задачу лучше решить сейчас, чем опоздать.

Вернуть лес на болотно-карбонатно-солончаковый комплекс будет трудно. Как правило, карбонатные взбугрения остаются бесплодными даже при прекращении их сельскохозяйственного использования. Единственное древесное растение, которое поселяется на таких землях, — береза.

Эдафотоп требовательной к минеральному питанию ели — иллювиально-гумусово-железистый подзол, на котором она образует однопородные насаждения (в подавляющем большинстве ельники черничные с листовым кустарничковым и кустарниковым ярусами, более обильными на мелиорированных территориях).

Сегодня «островные» ельники Белорусского Полесья находятся в условиях уже стабилизировавшегося после завершения осушительной

мелиорации сопредельных болот и заболоченных земель уровня грунтовых вод, но продолжающихся изменений климата. Они по-прежнему привлекают к себе внимание по причине возможной деградации после крупномасштабной водно-земельной мелиорации в современных климатических реалиях. Интерес к проблеме сохранения «островных» ельников в современной тенденции изменения климатических условий возобновился в последнее время [73].

«Островные» ельники Полесья в экологии и биологическом разнообразии этого региона имеют намного большее значение, чем в экономике лесного хозяйства. Современное состояние (наличие сухостоя, бурелома и ветровала, захламленность, вырубка и лесные пожары) вызывает тревогу за их сохранность на территории региона. Однако естественное расселение ели за пределы «островных» локалитетов в подсушенные мелиорацией ольсы и ее проникновение в сосняки черничные свидетельствуют о том, что ель сохранится на Полесье, несмотря на осушение переувлажненных земель и изменение климата.

Независимо от изменчивости климатических условий и антропогенного вмешательства в естественное существование природной среды сосна не сдаст своих позиций на принадлежащих ей по праву господства кварцевых песках в Белорусском Полесье. Она будет оставаться на этих перемытых водными потоками отложениях.

Ель, требовательная к минеральному питанию, не покинет локалитеты с иллювиально-гумусово-железистым подзолом. Следует заметить, что в украинской части Полесья в настоящее время ее больше — 64 «островных» ельника [76] — по сравнению с 32 в белорусской [38]. Будучи агрессивным эдификатором, не исключается ее дальнейшее вселение в сосняки черничные и ольсы.

Оставшиеся после мелиоративного освоения Полесья насаждения ольхи черной сохраняют свое местонахождение на низинных болотах и дерново-заболоченных почвах без карбонатно-кальциевого и железного конкреционных комплексов. Искусственное возобновление дубрав возможно в пределах болотно-карбонатно-солончакового ландшафтно-мелиоративного комплекса [6]. Пойменные дубравы, сохранившиеся как уникальные природные образования в поймах рек Припяти, Олы, Птичи и других, не оставят свои экотопы при альтернативных сценариях изменения климата.

Постоянные в течение длительного времени региональные факторы: тектоническое строение и гидрогеологические условия — разгрузка напорных вод коренной мергельно-меловой толщи и миграция металлосодержащих растворов, в совокупности приведшие к устойчивому

образованию почвенно-геохимических локалитетов и лесных формаций на них, несмотря на антропогенное влияние и изменчивость климата, — гаранты сохранения пространственной дифференциации растительного покрова Белорусского Полесья [36].

Согласно широко распространяемому сценарию потепления климата в результате таяния льда в криолитозоне произойдет затопление прибрежных низменных равнин. Увеличение акватории Мирового океана и прогрева поверхностных вод (особенно на затопленных мелководьях) вызовет поступление влаги в тропосферу и, как следствие, рост увлажнения суши. При таком развитии климатической обстановки следует ожидать смещения лесной зоны умеренного климатического пояса к югу — наступление леса на степь, а не наоборот. Белорусское Полесье окажется в более увлажненных условиях, чем в настоящее время, и деградации лесов ожидать не следует. Однако К. С. Веселовский, проследив изменения климата в европейской части России, заметил, что смещения степной зоны при потеплениях и похолоданиях не происходило [41].

3.2. Климатические условия мелиоративного освоения Белорусского Полесья

Проанализировав сообщения античных писателей, летописцев, путешественников, а также данные археологических исследований, И. Е. Бучинский еще в 1956 г. пришел к выводу, что климат на Великой Русской равнине подвержен значительным вековым колебаниям [77]. На этой равнине расположено Белорусское Полесье, и изменение его климата представляет несомненный интерес, так как этот регион в течение более двухвекового периода подвергался крупномасштабным водно-земельным мелиорациям, сопровождающим не менее масштабную вырубку лесов и обеспечивающим интенсификацию сельскохозяйственного использования освоенных болот и заболоченных земель [6].

Как показал опыт выполнения крупномасштабных водно-земельных мелиораций и их научного сопровождения (хотя и с опозданием), без тщательного анализа природной основы объектов проведения мелиоративных работ, включая ее погодно-климатическую составляющую, происходит обострение возникающих экологических и ресурсных

проблем и их неадекватное определение с последующим исследованием, не совсем полно отражающим возникшие реалии [78].

В свое время А. И. Воейков утверждал, что осушение болот такой ограниченной по площади территории, как Полесье, не может изменить направление ветров, и поэтому это вмешательство человека в природную среду не может привести к изменению климата [79]. Представляется необходимым проведение сравнительного анализа климатических условий Полесья до мелиорации, во время ее выполнения и на современном этапе использования освоенных болот и заболоченных земель.

Проанализированы результаты наиболее полных инструментальных наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Василевичи, начатых в 1888 г., и Брест (после 1945 г.), а также сведения А. И. Воейкова [79] о климате Полесья (осадки пересчитаны с поправочным коэффициентом 1,3 [16]). Наблюдения на полесских метеостанциях не отличались непрерывностью до 1945 г. по причине известных исторических событий. Изменения температуры воздуха и осадков за период метеорологических наблюдений оценены с позиций типизации циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанной Б. Л. Дзердзеевским [80; 81]. За период наличия карт погоды этого полушария (с 1899 г.) выделены три циркуляционные эпохи: две меридиональные (до 1915 г. и с 1957 г. — по настоящее время) и одна зональная (1916–1956 гг.).

Осреднение по пятилетиям результатов наблюдений за температурой воздуха и осадками, исключаяющее 2–3-летнюю их изменчивость, дает полное представление о динамике метеорологических условий этой территории (рис. 3.2).

Эта динамика определялась для мая (начало вегетации), июня — июля (самые теплые месяцы, в конце июля начало уборки зерновых), мая — сентября (месяцы вегетационного периода), октября — апреля (осенне-зимне-ранневесеннее пополнение запасов почвенно-грунтовых вод, в лесоведении — безлиственный период) и гидрологического года в целом (начало 1 октября).

Современные региональные климатические условия Белорусского Полесья отражают общую тенденцию фиксируемой изменчивости зонального климата и климатической системы европейского субконтинента в ее единстве. Климатические условия XIX в. отличались исключительной контрастностью. Начало века характеризовалось крайне неустойчивой погодно-климатической обстановкой: небывалыми летними засухами, наводнениями и необычайно суровыми зимами [82].

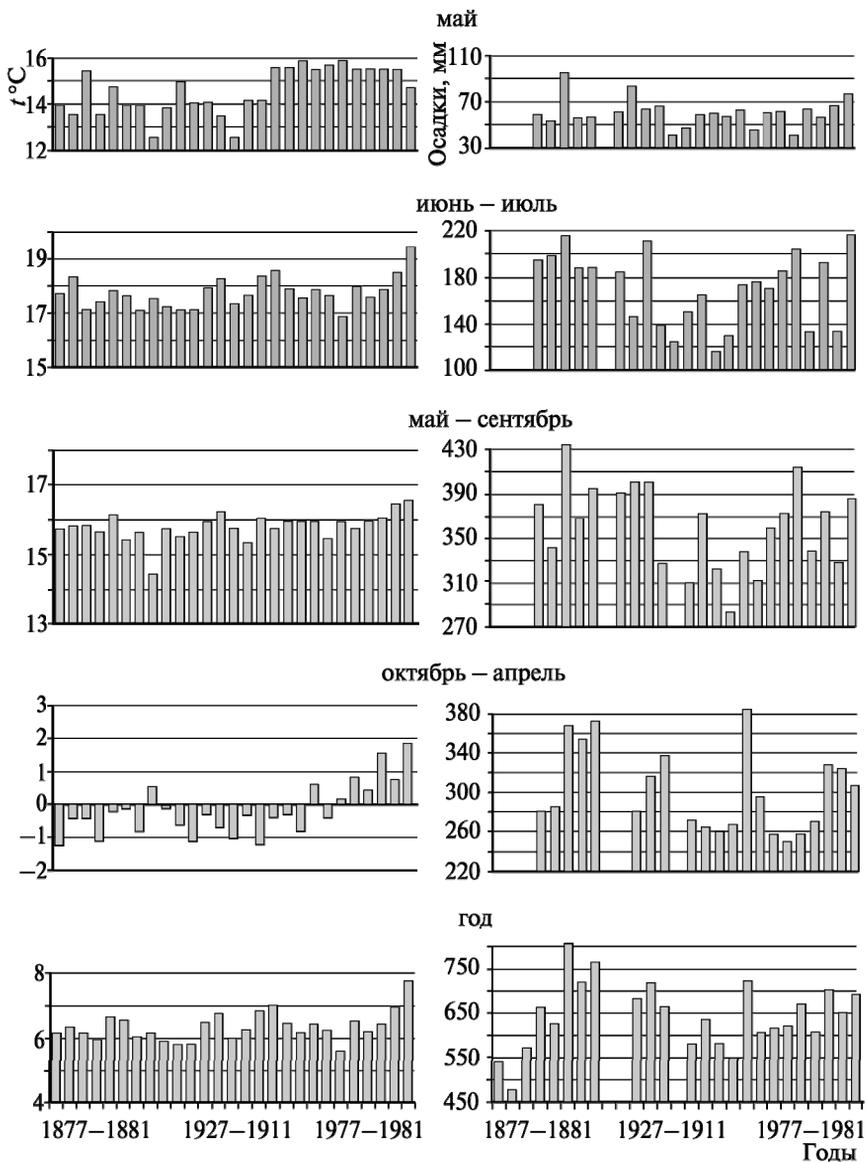


Рис. 3.2. Осредненные по пятилетиям изменения температуры воздуха и осадков по наблюдениям на метеостанции Василевичи. (Пропуски в рядах – отсутствие наблюдений) [78]

После засухи 1808 г. и летней жары 1812 г., сопровождавшихся на Полесье практически повсеместными лесными пожарами, наступили необычайно морозные и длинные зимы. За очень холодной зимой 1818 г. последовала засуха 1819 г. К чрезвычайным относятся также засухи 1839 и 1868 гг. с грандиозными болотными и лесными пожарами [83]. У жителей сел Повитье и Радостово, расположенных на юге Брестской области, и в середине XX в. сохранялись воспоминания о катастрофическом наводнении 1845 г. Глубокой осенью в кромешной тьме под проливным дождем со снегом при ураганном ветре их предки выбирались из затапливаемой болотистой равнины на песчаные дюны.

В этих климатических условиях к середине XIX в. Полесье уже было «перерезано каналами во всех направлениях» [84]. Трансформация болотной растительности заканчивалась образованием «чернеющих пространств осушенных торфяных болот, или вовсе лишенных растительности, или покрытых редким, низким и корчавым кустарником» [85]. Это время примечательно тем, что произошла кульминация последней холодной стадии малого ледникового периода, который продолжался почти 300 лет.

На Русской равнине холодный период датируется 1573–1891 гг. с максимальным похолоданием в 1857–1891 гг. [86]. Очередное наводнение 1861 г. знаменует самое сырое в двухвековой летописи Полесья десятилетие с непрерывными холодными дождями до 1868 г. [82].

Первая меридиональная эпоха в Северном полушарии, при которой в средние широты перемещались арктические антициклоны и их гребни, — эпоха похолодания. По наблюдениям на метеостанции Василевичи безлиственный период (октябрь — апрель) 1879–1897 гг. был холодным (средняя температура $-0,7^{\circ}\text{C}$ при средней многолетней $-0,2^{\circ}\text{C}$), в то время как температурные условия вегетационного периода соответствовали средним многолетним ($15,8^{\circ}\text{C}$).

Увлажнение последнего тридцатилетия XIX в. отличалось контрастностью. После аномально сильных засух 1868 и 1874 гг. — дождливый период. Затем наступило засушливое десятилетие 1880–1889 гг.: количество выпавших осадков изменялось от 360 мм в 1881 г. до 477 мм в 1884 г. — в среднем за год выпадало 486 мм осадков при норме 645 мм.

В этот момент возникла дискуссия о климатических последствиях осушения полесских болот. Поводом для нее послужили засуха 1891 г. в

земледельческой части России и обмеление рек, прежде всего Днепра. Отголоски этой дискуссии сохранились до сих пор.

В последующие годы количество осадков увеличилось. Самыми влажными на Полесье оказались 1902–1916 гг.: в среднем за год выпадало 762 мм осадков (за вегетационный период 399 мм и за безлиственный – 363 мм) с рекордным количеством в 1906 гидрологическом году (1097 мм, в календарном году 1115 мм).

Наибольшая суммарная продолжительность блокирующих процессов пришлась на 1915 г. (278 дней в году при средней за 1899–2010 гг. – 196 дней) [47]. Май (12,5 °С) и вегетационный период (14,4 °С) 1912–1916 гг. оказались самыми холодными, но температура безлиственного периода была положительной (0,5 °С) (табл. 3.1). Для характеризуемых пятилетий холодной меридиональной эпохи, кроме последнего, была свойственна отрицательная температура безлиственного периода от –0,1 до –1,2 °С.

В целом среднестатистические параметры холодной циркуляционной и зональной эпох не различаются (за исключением безлиственного периода, см. табл. 3.1). Эти эпохи на Полесье оказались однородными.

Продолжительное затопление равнинных территорий Белорусского Полесья половодьями и паводками является региональной природной особенностью этой территории. Так, в дождливые 1893 и 1894 гг., как и в 1876–1879 гг., болота переполнялись водой, а яровые хлеба и сенокосы были затоплены. Согласно сведениям Г. И. Танфильева [87] во время работы Западной экспедиции по осушению болот, кроме поймы Припяти, затапливались равнинные пространства по течению Ведричи, Вити, Турьи, Тремли (нижнее течение), Оресы, Ясельды и у Червоного озера.

Таким образом, первая меридиональная циркуляционная эпоха в Северном полушарии – эпоха похолодания – проявилась в Белорусском Полесье в контрастности погодно-климатических условий: в чередовании засух и наводнений, аномальных летней жары и зимних холодов.

При зональной эпохе циркуляции (1917–1956 гг.), определяемой как эпоха потепления Арктики (потепление в высоких широтах), потепление вегетационного периода постепенно нарастало, достигнув максимума в 1932–1936 гг. (+17,9 °С) и 1937–1941 гг. (+18,2 °С), что привело к повышению годовой температуры (соответственно до +6,5 и +6,4 °С).

Таблица 3.1

**Пятилетние изменения температуры и осадков
за период инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи**

Пятилетие	<i>t</i> °С					Осадки, мм				
	Месяц				Год	Месяц				Год
	V	VI–VII	V–IX	X–IV		V	VI–VII	V–IX	X–IV	
1877–1881	13,9	17,7	15,7	-1,2	6,1	–	–	–	–	540
1882–1886	13,5	18,3	15,8	-0,4	6,3	–	–	–	–	476
1887–1891	15,4	17,1	15,8	-0,4	6,1	–	–	–	–	569
1892–1896	13,5	17,4	15,6	-1,1	5,9	58	194	380	280	660
1897–1901	14,7	17,8	16,1	-0,2	6,6	52	197	341	284	625
1902–1906	13,9	17,6	15,4	-0,1	6,5	94	215	437	366	803
1907–1911	13,9	17,1	15,6	-0,8	6	54	187	367	353	720
1912–1916	12,5	17,5	14,4	0,5	6,5	56	188	394	371	765
Среднее	13,9	17,6	15,6	-0,5	6,2	63	196	384	331	645
1917–1921	13,8	17,2	15,7	-0,1	6,5	–	–	–	–	–
1922–1926	14,9	17,1	15,5	-0,6	6,2	60	183	390	–	–
1927–1931	14	17,1	15,6	-1,1	5,8	82	145	400	280	680
1932–1936	14	17,9	15,9	-0,3	6,5	62	210	400	316	716
1937–1941	13,4	18,2	16,2	-0,7	6,4	65	139	327	336	663
1942–1946	12,5	17,3	15,7	-1	5,9	39	123	–	–	–
1947–1951	14,1	17,6	15,3	-0,3	6,4	45	149	310	271	581
1952–1956	14,1	18,3	16	-1,2	5,9	57	164	372	264	634
Среднее	13,9	17,6	15,7	-0,7	6,2	59	164	369	300	653
1957–1961	15,5	18,5	15,7	-0,4	6,9	58	114	322	260	582
1962–1966	15,5	17,8	15,9	-0,3	6,2	56	129	283	267	550
1967–1971	15,8	17,5	15,9	-0,8	6,2	61	172	337	385	722
1972–1976	15,4	17,8	15,9	0,6	7	44	175	312	295	607
1977–1981	15,6	17,6	15,4	-0,4	6,2	59	169	359	257	616
1982–1986	15,8	16,8	15,9	0,1	6,7	60	184	372	250	622
1987–1991	15,4	17,9	15,7	0,8	7	39	202	414	257	670
1992–1996	15,4	17,5	15,9	0,4	6,9	62	132	338	270	609
1997–2001	15,4	17,8	16	1,5	7,6	55	191	374	327	701
2002–2006	15,4	18,4	16,4	0,7	7,2	65	132	328	323	651
2007–2011	14,6	19,4	16,5	1,8	7,9	75	215	385	306	691
Среднее	15,4	17,9	15,6	0,4	6,9	58	165	347	291	638
Среднее многолетнее	14,6	17,8	15,8	-0,2	6,5	58	171	359	297	656

Одновременно более холодным становился безлиственный период (октябрь — апрель) с краткосрочным «температурным провалом» в 1940—1942 гг., с аномально суровыми зимами и самыми низкими за весь период инструментальных наблюдений годовыми температурами (в среднем за три года 4,5 °С). Хотя за период потепления с 1918 по 1944 г. среднегодовая температура в Северном полушарии повысилась в среднем на 0,71 °С [63], в Белорусском Полесье она осталась неизменной (6,2 °С), как и в предшествующую циркуляционную эпоху. Причем безлиственные месяцы незначительно похолодали (на 0,2 °С).

С западной циркуляцией воздушных масс, при которой в умеренных широтах перемещались с запада на восток циклоны, связано увеличение осадков на Полесье. По результатам инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи за 1925—1940 гг. в среднем за год выпадало 679 мм осадков.

С 1945 г. в Северном полушарии с уменьшением суммарной годовой продолжительности зональной циркуляции и ростом блокирующих процессов началось похолодание, продолжавшееся 30 лет — до 1976 г., после которого началось потепление [63]. Наименьшее увлажнение Полесья охватило 1945—1966 гг.: в среднем за год выпадало 575 мм осадков. Сокращение осадков распространилось на вегетационный (316 мм) и безлиственный (259 мм) периоды.

Только при окончании этой холодной фазы неустойчиво влажного климата безлиственный период 1967—1971 гг. оказался самым влажным (в среднем 385 мм осадков) за всю историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи, что привело к увеличению годового количества осадков (в среднем 722 мм).

Приобретенной чертой Белорусского Полесья как результатом крупномасштабной мелиорации явилось появление местного климата освоенных обширных болот и заболоченных земель. Их метеорологические условия отличаются более низкими ночными температурами и более высокими дневными при любых погодных условиях вегетационного периода и низкими суточными температурами при наступлении периодов общего похолодания на юге Беларуси, а также более выраженной континентальностью по сравнению с сопредельными землями [6].

В климате Полесья, как и во всей республике, за историю инструментальных наблюдений на метеостанциях Белгидромета, начиная с 1880-х гг. (в пересчете на гидрологический год), было выделено две гидротермические эпохи (до и после 1940 г.), различающиеся по условиям увлажнения и температуры (не путать с циркуляционными эпохами Б. Л. Дзержевского): влажная (после 1891 г.) и неустойчиво влажная

(с меньшим количеством осадков), в последней из них — две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления [88]. Эти фазы полностью отвечают изменению климата на Русской равнине.

Похолодание в 1940—1976 гг. на юге Беларуси было незначительным, кроме 1940—1942 гг. Однако в его начале, в течение неустойчиво влажной климатической эпохи, произошло несколько знаменательных событий, оказавших решающее влияние на дальнейшее планирование и выполнение мелиоративных работ и гидротехнического строительства в Белорусском Полесье. Среди них — дождевой летний паводок в 1962 г. на реках Полесья, как и всей Беларуси, который, затопив поймы Припяти, Днепра, Сожа и других рек, исключил на них сенокосение. В результате возникшего недостатка кормов животноводство понесло ощутимые потери. После осенне-зимнего наводнения в 1974—1975 гг., затопившего обширные территории в долинах Припяти и Западного Буга, было принято решение о противопаводковой защите и мелиорации пойменных земель.

Сокращение осадков в эту фазу похолодания неустойчиво влажной климатической эпохи обострило экологические проблемы, возникшие при увеличении масштабов мелиоративного освоения Полесья. Это обострение проявилось в опустошительных пожарах середины 1960-х гг. в водосборах Вити, Ивни, Бонды, Михедово-Грабовского канала, на болотном массиве «Гричин» и др. К ним следует добавить пожары на верховых болотах и в лесах в начале 1970-х гг. [89].

В 1970 г. Временная рабочая комиссия разработала научно-технический прогноз «Оценка влияния осушительной мелиорации на изменение водного режима территории, природного ландшафта, флоры и фауны», содержащий предварительные соображения о снижении возможных отрицательных воздействий осушительной мелиорации на природу Полесья [57].

В 1971—1975 гг. академическими и ведомственными природоохранительными научными коллективами были выполнены исследования по экологической оценке влияния водно-земельных мелиораций на ландшафты Полесья и их природные составляющие. Итог выполненных научно-исследовательских работ — разработка Временной рабочей комиссией «Методических рекомендаций по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы мелиорированных и прилегающих территорий», которые послужили основой для составления технических условий и норм проектирования в мелиоративном строительстве на Полесье [90].

С 1977 г. началось незначительное потепление. Согласовывалось оно с быстрым ростом суммарной годовой продолжительности меридио-

нальной южной циркуляции, т. е. стремительным выходом циклонов из низких широт в высокие. Максимум ее продолжительности составил 201 день в 1989 г. (при средней в 46 дней) и держался на высоком уровне до 1997 г. (179 дней). В 1998–2010 гг. на Русской равнине наступил следующий период потепления с более высоких стартовых позиций при стабилизации среднегодовой температуры Северного полушария [53].

Потепление на Русской равнине в 1977–1998 гг. в восточной части Белорусского Полесья (Василевичи) отразилось только в увеличении температуры безлиственного периода на $0,7^{\circ}\text{C}$, но сопровождалось похолоданием июня и июля с самым длинным суточным фотопериодом на $0,5^{\circ}\text{C}$ и вегетационных месяцев в целом на $0,2^{\circ}\text{C}$. Гидрологический год в среднем потеплел на $0,3^{\circ}\text{C}$. На западе Полесья (Прибужье, Брест) май стал более теплым (на $0,8^{\circ}\text{C}$), а похолодание июня и июля было незначительным (на $0,2^{\circ}\text{C}$). За счет потепления безлиственного периода (на $0,8^{\circ}\text{C}$) гидрологический год стал также теплее (на $0,6^{\circ}\text{C}$).

Отличительная черта более теплого климата Прибужья – несколько пониженная (на $1,5^{\circ}\text{C}$) температура мая, чем на востоке Полесья. К тому же он был более прохладным (на $2,3^{\circ}\text{C}$) при похолодании климата до 1977 г. Между этими хронологическими частями Полесья существовали различия и в динамике атмосферного увлажнения. Если на востоке количество осадков за вегетационный период увеличивалось (на 55 мм) и сокращалось за безлиственный (на 29 мм), то на западе в эти периоды только сокращалось, хотя и незначительно.

Вероятность появления летних засух на востоке уменьшилась (осадков в июне и июле стало на 38 мм больше), на западе увеличилась (осадки в эти месяцы сократились на 24 мм). В среднем за год осадков за гидрологический год в Прибужье выпадало меньше на 49 мм, чем на востоке (Василевичи).

Подробно останавливаться на сравнительном анализе климатической динамической ситуации восточной и западной частей Белорусского Полесья приходится потому, что дальнейшая динамика в изменчивости климата может приблизить его к условиям наиболее теплого, но менее увлажненного запада.

Последний анализируемый временной отрезок (1999–2013 гг.) оказался самым теплым: потеплел не только безлиственный период, но и месяцы вегетационного (за исключением мая на востоке Полесья). По сравнению с 1977–1998 гг. средняя температура вегетационного периода увеличилась на $1,0^{\circ}\text{C}$ в Василевичах (в основном за счет роста средней температуры июня и июля на $1,5^{\circ}\text{C}$) и на $1,2^{\circ}\text{C}$ в Бресте (при незначительном увеличении температуры за эти два месяца только

на 0,3 °С). Безлиственный период стал менее холодным в Прибужье (на 1,1 °С), чем на востоке региона (на 0,9 °С). Увеличилась температура и гидрологического года – на 0,8 и 1,0 °С соответственно.

Увеличение осадков за год на востоке Полесья оказалось более заметным (на 42 мм) при их сокращении в вегетационный период (на 19 мм) и увеличении в безлиственный (на 61 мм). Причем вариабельность в их выпадении сократилась. Увлажненность западной части Полесья мало изменилась: осадки даже не превысили выпадения при похолодании климата до 1976 г.

Динамика метеорологических условий, выявленная анализом изменчивости температуры и осадков, отражается и в таком показателе, как континентальность климата. Согласно общепринятой в климатологии точке зрения континентальность климата – совокупность его особенностей, определяемых влиянием суши большой площади на атмосферу вообще и факторы климатообразования в частности.

Климат Белорусского Полесья, да и Беларуси в целом, в географической литературе определяется как умеренно континентальный. Степень этой умеренности в хронологической и временной дифференциации в пределах данного таксона физико-географического районирования (Белорусского Полесья) может оказаться неоднозначной.

Степень континентальности климата может быть по-разному выражена. В климатологии принято рассматривать континентальность климата в первую очередь как функцию годовой амплитуды температуры воздуха. Годовая амплитуда – величина зональная, поскольку обусловлена широтными различиями в интенсивности поступления солнечной радиации по основным сезонам года.

Годовая амплитуда температур безлиственного и вегетационного периодов изменялась на востоке Полесья (Василевичи) от 16,3 (1945–1976 гг.) до 15,4 (1977–1998 гг.) и 15,5 °С (1999–2013 гг.), на западе (Брест) – соответственно от 14,8 до 14,0 и 14,1 °С. Данные метеостанции находятся примерно на одной и той же северной широте (52,28 и 52,19 °С), и амплитуда температур отражает уменьшение континентальности климата в западном направлении в зависимости только от их долготного положения (29,60 и 23,70 °С).

Согласно Приказу Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь от 10.03.1997 № 13 «Об утверждении Методических указаний по кадастровой оценке земель сельхозпредприятий» (раздел 1.2.2. Учет агроклиматических условий при кадастровой оценке земли) континентальность климата характеризуется выраженным в процентах отношением годовой амплитуды

температуры воздуха к показателю широты местности, умноженному на 0,33. При таком подходе индекс континентальности климата в анализируемые отрезки времени изменяется от 94,4 до 89,2 и 89,8 (Василевичи) и от 86,1 до 81,4 и 82,0 (Брест). Таким образом, подтверждается вывод о том, что климат Полесья при потеплении после 1976 г. трансформировался в сторону уменьшения континентальности.

В этой динамике менялось соотношение температур безлиственного и вегетационного периодов, которое выстраивается в следующие ряды: $-0,025 \rightarrow 0,019 \rightarrow 0,072$ (Василевичи) и $0,069 \rightarrow 0,119 \rightarrow 0,175$ (Брест). Уменьшение данной континентальности указывает на то, что температурные условия Полесья в последней четверти XX в. и начале XXI в. стали мягче, т. е. сделались более благоприятными для сельского и лесного хозяйств, особенно на западе региона.

В безлиственный период осадков за приведенные отрезки времени всегда выпадало меньше, чем за вегетационный: в Василевичах в 1945–1976 гг. 0,92, 1977–1998 гг. 0,71 и 1999–2013 гг. в 0,92 раза; в Бресте соответственно 0,82, 0,75 и в 0,79 раза.

Наибольший дисбаланс в соотношении осадков в безлиственный и вегетационный периоды в 1977–1998 гг. при их сокращении создавал напряженную ситуацию в пополнении запасов грунтовых вод, обеспечивающих водное и минеральное питание сельскохозяйственных и лесных растений на песчаных почвах, особенно при искусственном понижении грунтовых вод в результате осушительной мелиорации.

Таким образом, водно-земельные мелиорации в XIX и XX вв. в Белорусском Полесье выполнялись при непостоянстве климатических условий. Изменчивость климата оказывала влияние на ход мелиоративного освоения болот и заболоченных земель региона и на дискуссию об экологических последствиях этого освоения, которая была более активной при наступлении периодов засушливых климатических условий.

3.3. Сравнительный анализ радиального прироста ели на мелиорированных и немелиорированных территориях Белорусского Полесья

Локальная популяция ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) занимает в Белорусском Полесье «островные» местонахождения среди транзональной формации сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Ельники этого региона представляются символом утраченного эколого-

гического благополучия и богатейшего биоразнообразия своеобразных по своим природным особенностям ландшафтов в центре европейского субконтинента.

Согласно климатогенно-ривалитатной теории В. С. Гельтмана [38] ельники принадлежат широколиственно-сосновой подзоне Европейской зоны широколиственных лесов. В большинстве своем они представлены черничниками в экотопе с иллювиально-гумусово-железистым подзолом с неглубоким (не глубже 1 м до осушения сопредельных переувлажненных нелесных угодий) залеганием грунтовых вод [16; 91; 92].

Потепление климата наряду с осушительной мелиорацией нередко рассматривается в качестве основной причины угнетения ели на южной границе ее ареала. За пределами этого ареала (в «островных» локалитетах Полесья) ель должна быть уже обречена на отмирание или, по крайней мере, иметь отрицательную зависимость от температуры воздушной среды при ее повышении. В связи с этим представляет интерес современное состояние ели на мелиорированных и немелиорированных территориях.

Следует заметить, что летние изотермы на равнинных территориях Евразии, в том числе и в Беларуси, имеют широтное распределение. Соответственно, природным зонам в умеренном климатическом поясе свойственно также широтное простирание. При отсутствии потепления в вегетационный период не следует ожидать продвижения на север природных зон, поскольку летние изотермы не меняют своего положения.

Изотермы самого холодного зимнего месяца — января — на равнинах Беларуси имеют субмеридиональную ориентацию. Потепление безлиственного периода, что сейчас и происходит, будет смещать их в восточном направлении. Климат Полесья, как и Беларуси, будет приближаться к климату восточной Польши, а не северной Украины. Как уже отмечалось, он будет более мягким по температурным условиям холодных месяцев.

Подобный сценарий изменения климата может создать угрозу для ели в этом регионе, усиленную вырубками без ее искусственного возобновления [71]. «Островные» ельники Полесья служат индикатором, отражающим возникшие в природной среде изменения после завершения мелиоративных работ. Современное состояние (наличие сухостоя, бурелома и ветровала, захламленность, вырубка и лесные пожары) вызывает тревогу за их сохранность на территории региона. Однако естественное расселение ели за пределы «островных» локалитетов в подсушенные мелиорацией ольсы и ее проникновение в сосняки черничные свидетельствуют о том, что ель сохранится на Полесье, несмотря на осушение переувлажненных земель и изменение климата [16; 91–93].

Как известно, ель в «островных» локалитетах Полесья находится южнее ареала своего сплошного расселения. Широко распространяемые представления о последствиях мелиоративных работ (по отношению к ним) и потепления климата вводят в заблуждение не только лесное хозяйство. Во-первых, изменчивость климата — его свойство, а не однонаправленный процесс (только в сторону потепления), развивающийся под влиянием исключительно антропогенных факторов.

Во-вторых, следует обратить внимание на потепление или похолодание конкретных сезонов года. В годичном разрезе рост и развитие лесных насаждений происходят в течение двух периодов: безлиственного (с октября по апрель) и вегетационного (с мая по сентябрь) с двумя месяцами активного роста (мая и июня).

В климате Полесья, как и Беларуси, после 1940 г. выделяется две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления [45]. На Полесье (по наблюдениям на метеостанции Василевичи в пересчете на гидрологический год, начало которого 1 октября) температура вегетационного периода изменялась незначительно, потеплел только безлиственный период, что и привело к увеличению средней годичной температуры (см. табл. 3.1).

Таким образом, условия вегетации древесных растений существенно не изменились, изменились условия их покоя. Ожидать бед можно только от потепления безлиственного, а не вегетационного периода и изменения погодных условий месяцев активного роста. Начало вегетации контролируется фотопериодической адаптацией растений, и здесь может возникнуть противоречие между этой адаптацией и более ранним наступлением весеннего сезона. Однако исследования по этой проблеме пока не получили развития.

Сегодня «островные» ельники на мелиорированных территориях Белорусского Полесья находятся в условиях уже стабилизировавшегося после завершения осушительной мелиорации сопредельных болот и заболоченных земель уровня грунтовых вод, но в продолжающихся изменениях климата. Они по-прежнему привлекают к себе внимание по причине их возможной деградации уже после крупномасштабной водно-земельной мелиорации в современных климатических реалиях. Интерес к проблеме сохранения «островных» ельников в современной тенденции изменения климата возродился в последнее время.

Корневая система ели на заболоченных песчаных почвах чувствительна к колебанию уровня приповерхностных грунтовых вод. По этой причине изучение стволовой продуктивности «островных» ельников позволяет получить информацию о естественной и антропогенной ди-

намике природной среды Полесья. В изменчивости их радиального прироста должны быть отражены не только динамика климата, но и изменение водных условий эдафотопы после мелиоративного освоения сопредельных болот и заболоченных земель.

Особый интерес представляет поведение ели на тех территориях, на которых не выполнялась осушительная мелиорация ни Западной экспедицией И. И. Жилинского в 1873–1898 гг., ни при крупномасштабном сельскохозяйственном освоении болот и заболоченных земель во второй половине XX в. Полученные дендрохронологические характеристики радиального прироста будут отражать их изменчивость под влиянием климатических факторов при ненарушенном естественном колебании приповерхностного водоносного горизонта.

Радиальный прирост выступит в качестве объективного индикатора временной динамики и современного состояния «островных» ельников. Необходимое условие выполнения исследований – получение статистического материала, отражающего характер его связи с факторами среды вне антропогенного вмешательства, что особенно важно для Белорусского Полесья.

К настоящему времени в регионе не сохранились болота, где не выполнялась осушительная мелиорация или они не оказывались в зоне влияния мелиоративных систем на уровенный режим грунтовых вод. Одно из таких болот – Круковское в Ковчицком лесничестве на западе Светлогорского лесхоза, к юго-восточной окраине которого примыкает «островной» ельник (урочище «Селище»).

Круковское болото переходного типа входит в крупнейшую систему болот на междуречье Птичи и Березины. Исследованный ельник занимает приболотный экотоп – слабонаклонную к болоту полосу между ним и насаждением сосны на повышенном рельефе. Тип леса – ельник черничный, под сплошным пологом мертвопокровный.

Иллювиально-гумусово-железистый подзол на кварцевых песках под насаждением имеет следующие горизонты: подстилку A_0 (0–6 см), элювиально-гумусовый A_1A_2 (6–11 см, песок черный с белесой присыпкой), подзолистый A_2 (11–17 см, песок мелкозернистый, белесый), ожелезненный иллювиально-гумусовый B_h (17–31 см, песок мелкозернистый, темно-бурый, плотный, глыбистый), иллювиальные B_{1g} (31–51 см, песок мелкозернистый, светло-коричневый, монотонный, сырой) и B_{2g} (51–80 см, песок мелкозернистый, сизоватый со светло-коричневыми пятнами, оплывает). Грунтовые воды в засушливом 2011 г. залегали близко от поверхности: в мае на глубине 10–30 см, в ноябре – 40–60 см, в зависимости от микрорельефа.

«Островные» ельники на мелиорированной территории находятся в кварталах № 89 (урочище «Каменский лес») и № 70 (урочище «Ельнички») Светлогорского лесхоза и в квартале № 10 Октябрьского лесхоза. Их местопроизрастания — окраинная полоса, граничащая с низинным болотом под ольхой черной. По одному из урочищ, наиболее полно отражающему размерность (небольшую площадь в несколько гектаров), они объединены общим названием «Ельнички».

Почва — тот же иллювиально-гумусово-железистый подзол на кварцевых песках: A_0 (8 см), A_1A_2 (до глубины 15 см), A_2 (до 30–45 см), B_h (до 65–70 см), B_g (до 110–130 см) и C_g (до 200 см). Майский уровень грунтовых вод на глубине 150–160 см.

Характерная черта иллювиально-гумусово-железистого горизонта подзола, сформировавшегося в зоне разгрузки ожелезненных вод, — не только высокое содержание окислов железа, но и других металлов (в частности, алюминия и магния). Именно этот эдафотоп («островной», по сути, среди почвообразующих покровных кварцевых песков) оказался необходимым для последнеледникового вселения ели в Белорусское Полесье с образованием коренных «островных» локалитетов.

В «Ельничках» в отличие от островного ельника в урочище «Селище» в подросте присутствуют дуб черешчатый, береза повислая и ольха черная, в подлеске обильны ежевика, крушина и малина. Живой напочвенный покров, как и в «Селище», кроме доминирующей черники образуют брусника, ожика волосистая, плаун булавовидный, багульник болотный (*Ledum palustre* L.), мох Шребера и другие виды.

Исследованные ельники расположены в водосборах Ипы и Нератовки, канализированных еще Западной экспедицией И. И. Жилинского в последней четверти XIX в. В начале 1960-х гг. была проведена коренная реконструкция осушительной сети, и освоенные торфяники стали интенсивно использоваться как пахотные угодья.

Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буравом на высоте 1,3 м у стволов, не имеющих физических повреждений и дефектов роста. Сведения об одновозрастных сериях тестированных деревьев представлены в табл. 3.2 (возраст указан на год отбора образцов: в «Селище» — февраль 2012 г., «Ельничках» — май 2001 г.).

Синхронность изменчивости радиального прироста, определенная по коэффициенту корреляции, была свойственна сериям ели в приспевающем и спелом возрастах ($0,56 < r < 0,78$). Рост и развитие самого молодого поколения (55 лет) находились в антифазе ($-0,13 > r > -0,55$) с более взрослыми поколениями как на мелиорированной, так и на немелиорированной территории.

Таблица 3.2

Сведения о возрастных сериях тестируемых деревьев

Полигон	Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
«Селище»	120	10	18–26	23–32
	85	10	36–48	20–24
	70	14	33–42	18–21
	55	9	28–32	16–28
«Ельнички»	95	16	52–70	24–30
	80	13	46–54	22–26
	70	18	40–50	22–26
	60	14	34–42	18–24

Следует отметить, что стволовая продуктивность ели на мелиорированной территории более результативна, чем на немелиорированной: диаметр ствола в сопоставимых возрастах значительно больше, особенно в приспевающем и спелом древостое (табл. 3.3).

Неглубокое приповерхностное залегание питающих грунтовых вод определило сравнительно узкий диапазон изменчивости радиального прироста, характеризуя невысокую стволовую продуктивность ели в этих условиях. Однако с уменьшением возраста ее потенциальная продуктивность в этих эдафогидрологических условиях значительно увеличивается, что нашло отражение в максимально возможной размерности годичного кольца, выявленной у отдельных деревьев.

Появление депрессии в вековом ходе изменчивости радиального прироста (рис. 3.3) вызывалось в основном обильными атмосферными осадками. Причиной первой из них послужило рекордное выпадение осадков в 1906 г. – 1097 мм (629 мм за вегетационный период). Следующее уменьшение ширины годичных колец в 1916 г. (767 мм осадков) и 1917 г. (743 мм) последовало после дождливого 1914 г. (828 мм, за вегетационный период 457 мм).

Экспрессия прироста в 1934 г. не только у 120-летней, но и 85-летней группы обязана значительному недобору осадков (за год 503 мм, за май и июнь 63 мм – самое низкое значение во влажной климатической эпохе). Его угнетение во второй половине 1930-х гг. при потеплении климата опять же вызвано увеличением увлажненности (в 1938 г. 809 мм осадков, за вегетационный период 417 мм).

Таблица 3.3

**Статистическая характеристика годичных колец
у возрастных серий ели на исследованных полигонах**

Возраст, лет	Год	Радиальный прирост, мм		σ	σ индексного прироста, %
		средний	максимальный		
«Селище»					
120	1907–1940	1,8	3,8	0,22	8,9
	1941–1976	2,0	3,5	0,31	13,1
	1977–2011	1,4	3,2	0,37	10,2
85	1907–1940	3,1	4,0	0,34	11,0
	1941–1976	2,2	4,3	0,30	8,3
	1977–2011	1,5	3,0	0,27	11,7
70	1941–1976	2,6	5,8	0,67	10,8
	1977–2011	2,8	5,6	0,36	7,6
55	1941–1976	3,2	7,0	0,64	—
	1977–2011	3,8	8,9	0,55	9,1
«Ельнички»					
95	1911–1940	3,0	8,2	0,44	6,8
	1941–1976	2,5	9,0	0,43	7,6
	1977–2000	1,8	6,8	0,39	12,2
80	1941–1976	3,0	7,0	0,28	6,4
	1977–2000	2,2	6,2	0,53	15,0
70	1941–1976	3,3	7,8	0,49	6,9
	1977–2000	2,6	11,2	0,46	11,1
60	1949–1976	3,4	9,3	0,67	5,9
	1977–2000	3,5	9,9	0,61	11,8

При наступлении неустойчиво влажной климатической эпохи, с сокращением осадков по сравнению с предыдущей, линейный прирост ели несколько увеличился. Однако наиболее глубокая его депрессия в 1953 г. опять же вызвана обильными осадками (809 мм, за вегетационный период 417 мм). В эту эпоху угнетение более возрастных групп елей наступало почти одновременно: у 120-летних – в 1977 г. (707 мм осадков, за вегетационный период 494 мм), у 85-летних – в 1980 г. с самым холодным (14,6 °С) и сырым вегетационным периодом (496 мм осадков). Глубокая депрессия радиального прироста 85-летней группы в 1987 г. последовала за аномально холодным безлиственным периодом (–2,7 °С).

Неустойчиво влажной климатической эпохе свойственна череда лет с аномально низким выпадением осадков и засушливыми месяцами активного нарастания древесной массы. К таким годам относятся: 1959-й (457 мм, 73 мм в мае и июне), 1960-й (421, 127 мм соответственно), 1963-й (416, 63 мм) и 1964-й (459, 57 мм).

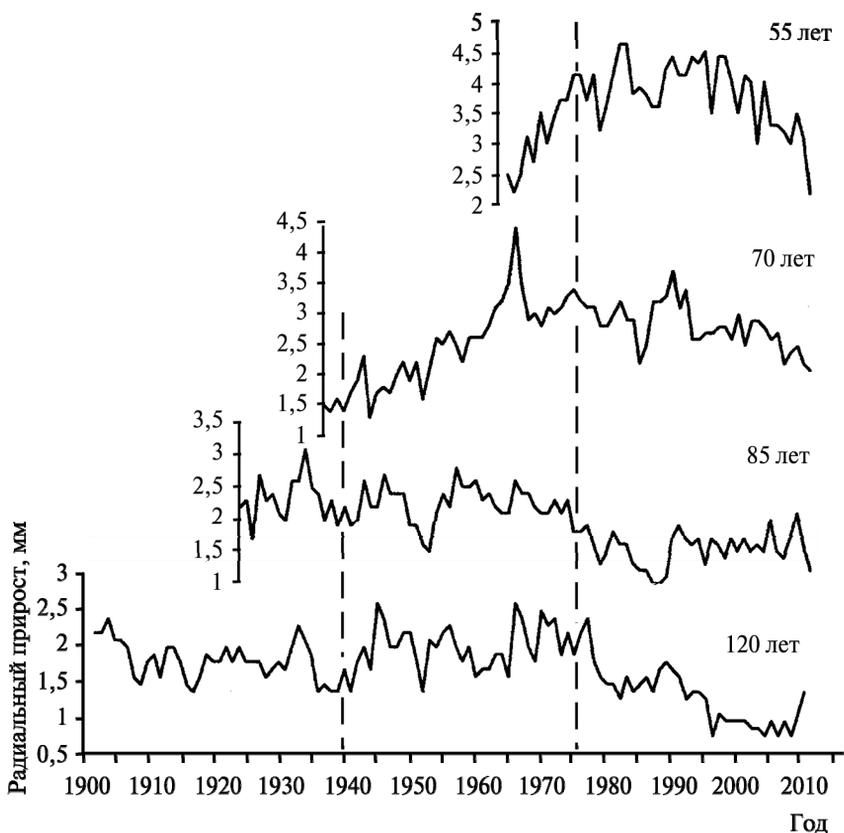


Рис. 3.3. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на полигоне «Селище»

При малой увлажненности месяцев активного роста древесных растений в условиях приповерхностного залегания грунтовых вод у 70-летней группы елей к концу этих лет радиальный прирост достиг максимального значения в 1963 г., в котором значение прямой солнечной радиации было рекордно высоким на Полесье за весь период ее определения. Следует также отметить, что этот год был самым теплым в регионе, а вегетационный период — одним из самых засушливых (169 мм осадков).

У 55-летней группы елей две наиболее заметные депрессии радиального прироста на его вершине синхронны по времени таким же его

депрессиям у 85-летней группы. В 2010 г. продолжительное весеннее затопление территории вызвало резкое падение прироста.

Ель в исследованном экотопе продемонстрировала низкую чувствительность к климатическим факторам: ее коэффициент (по А. Е. Дугласу [42]) за анализируемые временные отрезки был ниже 0,3, за исключением 85-летнего поколения после 1976 г. (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Чувствительность ели к климатическим факторам

Возраст, лет	Коэффициент чувствительности		
	1907–1940 гг.	1941–1976 гг.	1977–2011 гг.
«Селище»			
120	0,18	0,30	0,25
85	0,28	0,20	0,36
70	–	0,16	0,23
55	–	–	0,21
«Ельнички»			
95	0,14	0,19	0,44
80	0,14	0,19	0,44
70	–	0,16	0,27
60	–	0,13	0,28

Только у перестойной (120 лет) группы он при потеплении климата незначительно уменьшился, у остальных групп увеличился, как у большинства ельников на территории Беларуси [16]. В дисперсии индексного прироста, отражающей амплитуду его изменчивости и состояние насаждения, не прослеживается строгой закономерности при переходе в начале 1940-х гг. от влажной эпохи к неустойчиво влажной и при сокращении притока прямой солнечной радиации после 1976 г. (рис. 3.4).

В ходе временной изменчивости модульных коэффициентов нет одномоментного перехода через переломный 1940 г. Только у 85-летней группы заметно увеличение дисперсии этого показателя реакции ели на изменение климатических условий, у остальных поколений (120 и 70 лет), наоборот, – сокращение (см. табл. 3.3).

Для определения связи радиального прироста с режимом увлажнения, помимо гидрологического года (начало 1 октября), выбраны следующие его периоды: октябрь – апрель (безлиственный период – происходит пополнение запасов почвенной влаги), май – июнь (начало вегетации и интенсивный рост древесных растений), май – сентябрь (месяцы вегетационного периода).

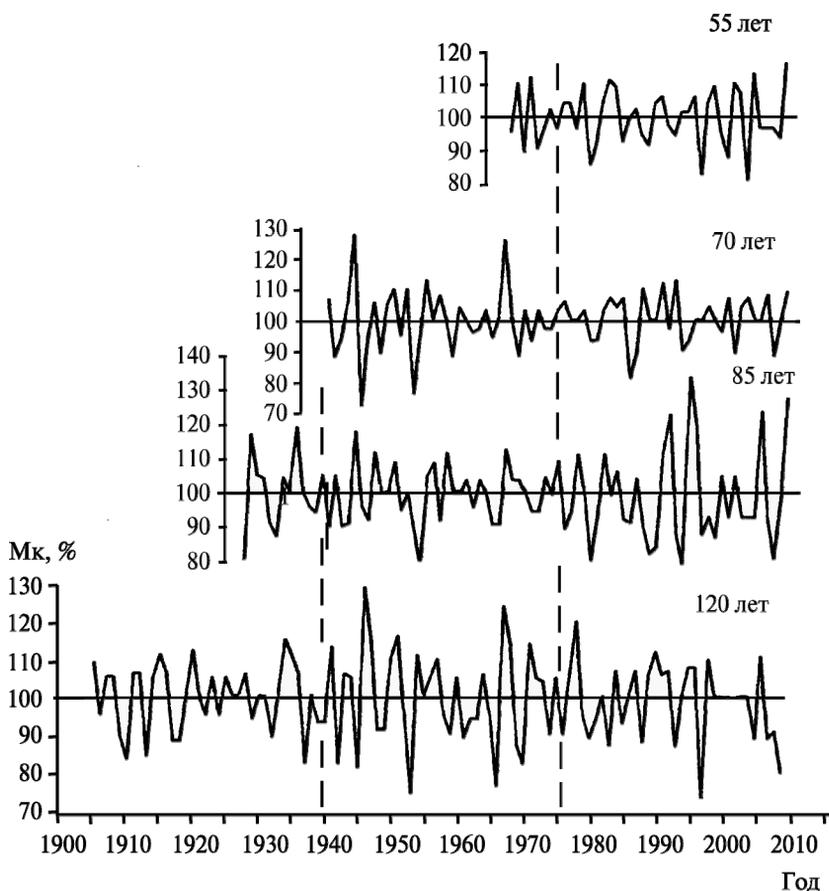


Рис. 3.4. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели на полигоне «Селище»

Индексный прирост значимо не коррелировал с температурой воздуха до 1976 г. (табл. 3.5). Позднее он приобрел прямую зависимость от температуры безлиственного периода, которая наиболее значимо проявилась у 120-летнего поколения ($r = 0,46$ при $n = 35$, $P = 0,99$) и у 55-летней группы ($r = 0,53$, $0,99 > P < 0,999$). Определение коэффициента корреляции между фактическим (мм) радиальным приростом с этим метеофактором подтвердило значение температуры безлиственного периода для стволовой продуктивности ели: у 85-летней группы $r = 0,33$, у 70-лет-

Таблица 3.5

Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп ели на полигоне «Селище» с метеофакторами (температурой воздуха и осадками)

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$					
		с $t^{\circ}\text{C}$		с осадками		с $t^{\circ}\text{C}$	
		1907–1940 гг.	1941–1976 гг.	1977–2011 гг.	с осадками	с осадками	с осадками
120	Май – июнь	0,4	–0,5	15	–10	05	03
	Вегетационный	–16	12	11	–08	09	04
	Безлиственный	08	–06	–02	11	46	15
	Год	–03	05	03	01	41	13
85	Май – июнь	–	–	18	–16	–25	–03
	Вегетационный	–	–	11	–20	11	–30
	Безлиственный	–	–	16	–29	31	13
	Год	–	–	26	–32	30	–08
70	Май – июнь	–	–	18	–11	–05	–28
	Вегетационный	–	–	14	–20	–05	–19
	Безлиственный	–	–	–04	03	25	05
	Год	–	–	03	–12	22	–14
55	Май – июнь	–	–	–	–	31	08
	Вегетационный	–	–	–	–	05	–04
	Безлиственный	–	–	–	–	53	48
	Год	–	–	–	–	42	27

ней – $r = 0,32$, у 55-летней – $r = 0,52$, у 120-летней группы он оказался наименьшим – $r = 0,12$.

При отсутствии статистически значимой связи с температурой безлиственного периода только у 85-летней группы фактический (мм) радиальный прирост зависел от притока прямой солнечной радиации за вегетационный период ($r = 0,43$, $n = 50$, $0,99 < P < 0,999$). Этот же уровень связи сохранялся на следующий год ($r = 0,50$). У всех возрастных групп не выявлена зависимость текущего радиального прироста с рассеянной солнечной радиацией: коэффициенты корреляции оказались статистически недостоверными.

Рост и развитие ели в экотопе с приповерхностным залеганием грунтовых вод осуществляются в основном с использованием их минеральных ресурсов. Разновозрастные группы в насаждении могут иметь существенные различия в нарастании стволовой массы, зависящие от возраста, положения в насаждении, развития корневой системы и др.

Общая для них — относительная независимость от изменчивости климатических условий (солнечной радиации, температуры воздуха и осадков). В условиях приповерхностного залегания грунтовых вод, определяющего устойчивое водное и минеральное питание ели, ее реакция на изменение гелиорадиационного фактора, температуры воздуха и осадков оказывается слабовыраженной.

Угнетение ели в приболотном экотопе не свидетельствует об оптимальных условиях ее произрастания и экологическом благополучии. Приповерхностные грунтовые воды для нее — лимитирующий фактор на территории, на которой не выполнялась осушительная мелиорация.

Осушительная мелиорация, понизив уровень приповерхностных грунтовых вод, перевела «островные» ельники в иное экологическое состояние, что отразилось в их реакции на изменчивость погодноклиматических условий. Судя по коэффициенту (см. табл. 3.4), чувствительность к ним сократилась в фазу похолодания климата с недобором осадков в 1941—1976 гг., но увеличилась при потеплении в последней четверти XX в.

Статистическая характеристика годовых колец (см. табл. 3.3) указывает на лучшие лесорастительные условия для ели на мелиорированной территории: средняя ширина годовых колец оказалась больше. Максимально возможный радиальный прирост, отражающий потенциал ее стволовой продуктивности, значительно больше, особенно при потеплении климата.

Взросла дисперсия (σ) в размерности годовых колец по сравнению с предшествующим периодом, за исключением сравниваемых 120- и 95-летних возрастных групп. Дисперсия индексного прироста, отражающая состояние древостоя, в 1941—1976 гг. была меньше, но значительно (у 80- и 70-летних поколений в 1,5 раза) больше при потеплении на территории с осушительной сетью, чем без нее.

Дисперсия индексного прироста, отражающая состояние древостоя, при похолодании и недоборе осадков у ельников на мелиорированной территории была меньше, чем на немелиорируемой, за исключением 80- и 70-летних поколений.

Сравнение векового хода изменчивости радиального прироста ели на полигонах «Ельнички» (рис. 3.5) и «Селище» (см. рис. 3.3) показывает, что осушение болот Западной экспедицией И. И. Жилинского улучшило лесорастительные условия при большом количестве осадков во влажную климатическую эпоху. Сокращение осадков при похолодании климата в 1941—1976 гг. оказалось не чувствительным для ели на осушенной территории.

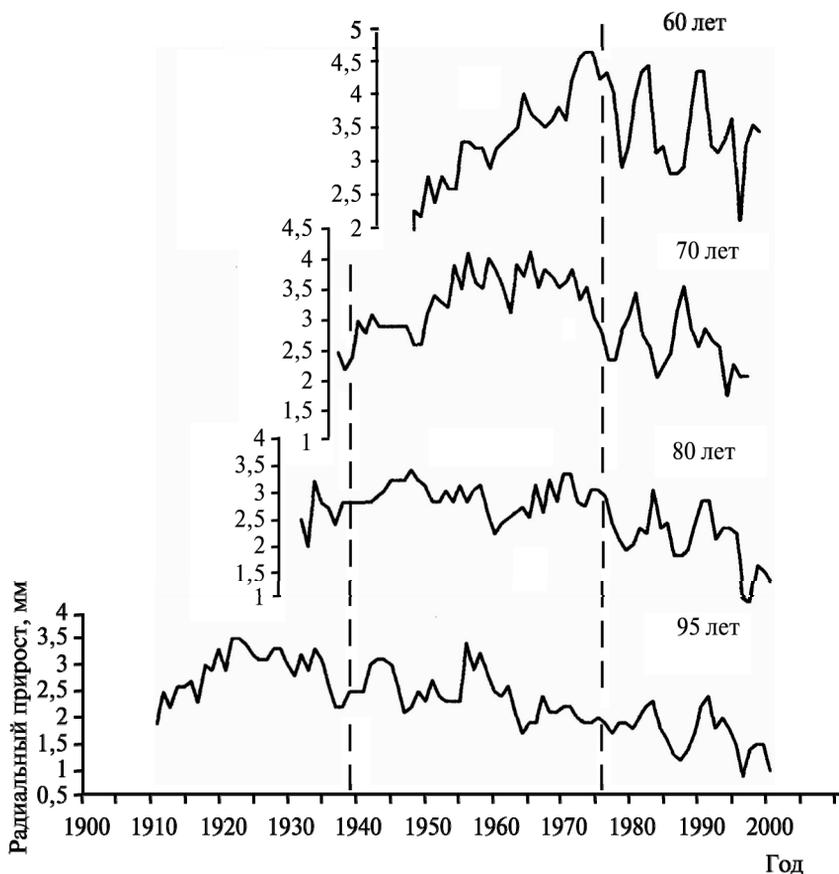


Рис. 3.5. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на полигоне «Ельнички» [16]

После 1976 г., при потеплении климата, угнетение ели всех возрастных серий на полигоне «Ельнички» проходило одновременно и более резко выражено, особенно у менее возрастных поколений, при краткосрочных похолоданиях в 1979–1980 и 1985–1987 гг. Более глубокое положение грунтовых вод привело к негативной реакции ели на низкую температуру воздушной среды.

Одновременно наступающая в вековом ходе индексного прироста (рис. 3.6) наиболее значимая депрессия отмечена именно в холодные годы при потеплении климата: в 1979–1980, 1985–1987 и 1992–1993 гг.

Наименьший текущий радиальный прирост за весь период жизни и развития насаждений ели на мелиорируемой территории наступил также одновременно в 1996 г. (5,6 °С) с самым холодным безлиственным периодом (-2,7 °С), который оказался наиболее «сухим» (169 мм осадков) в противоположность сырому (444 мм осадков) во второй половине XX в. Такая изменчивость индексного радиального прироста всех возрастных серий ели на территории с осушительной сетью подчеркивает приоритет климатического фактора в изменчивости стволовой продуктивности перед антропогенным при развитии лесных ландшафтов в последней четверти XX в.

В отличие от ели на «Селище» у нее в 1976 г. на территории с осушительной сетью четко прослеживается переломный момент в индексном приросте с увеличением абсолютных значений и дисперсии (см. табл. 3.3; рис. 3.6). Это указывает на то, что реакция ели на изменчивость климатических факторов становится ярко выраженной при более глубоком залегании грунтовых вод. Ведущим экологическим фактором, определяющим проявление этой реакции, является эдафический – плотный иллювиально-гумусово-железистый горизонт, не проницаемый для корней древесных пород [75].

После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, поверхностная корневая система ели с хорошо развитыми корневыми лапами и физиологически активными окончаниями, расположенными выше этого горизонта, оказывается вне зоны капиллярного поднятия грунтовых вод. Ель не может использовать их минеральные ресурсы для своего питания.

Кварцевые пески, слагающие литологический профиль почвы, не обогащают почвенный раствор питательными веществами. Единственным источником их пополнения оказывается подстилка, минерализация которой определяется температурными условиями и увлажнением атмосферными осадками.

Приток солнечной радиации – не что иное, как энергетическое обеспечение фотосинтеза. В локальных эдафотопках, у почв которых не было плотного глыбистого горизонта и грунтовые воды находились на глубине 1,8 м, радиальный прирост теневыносливой ели имел прямую статистически значимую зависимость от притока прямой солнечной радиации [94]. Однако в своеобразных эдафогидрологических условиях ее сокращение стало фоном, при котором проявилось лимитирующее значение температуры и осадков. Индексный прирост приобрел прямую зависимость от температуры воздуха и осадков безлиственного периода (табл. 3.6).

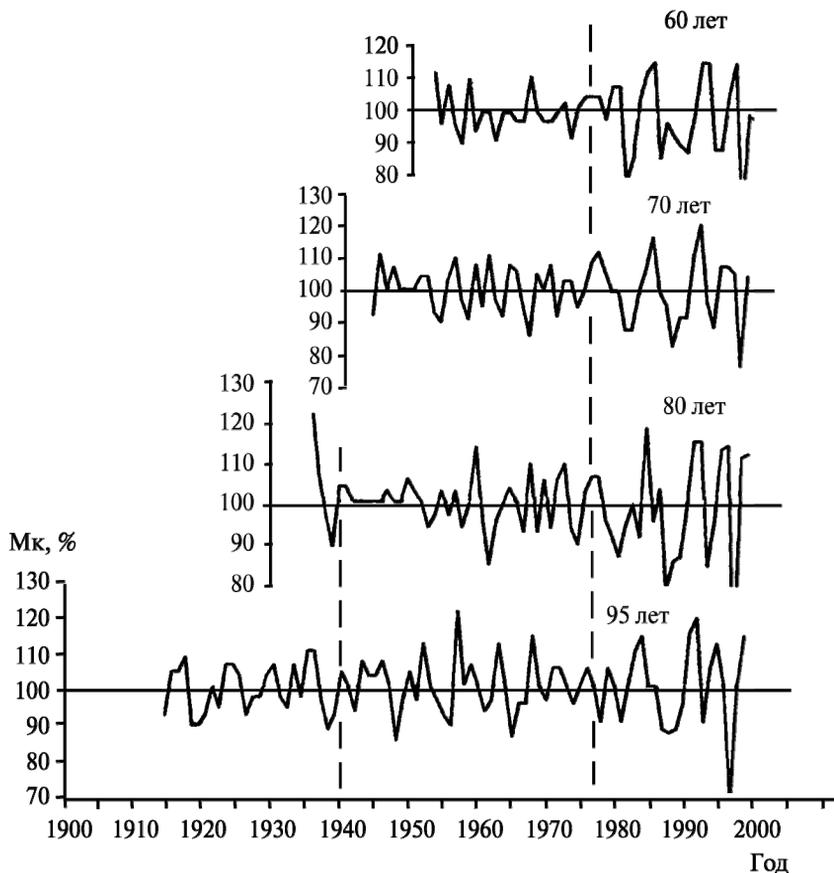


Рис. 3.6. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели на полигоне «Ельнички» [16]

Соотношение между вкладом прямой солнечной радиации и другими климатическими факторами (температурой и осадками) в стволовую продуктивность в исследованном эдафотопе Полесья после 1976 г. можно оценить не только по коэффициенту корреляции, но и по коэффициенту детерминации (R^2) между фактическим приростом (критериальной переменной) и ими (предикторами), привлекая опыт подобных исследований применительно к сельскохозяйственным культурам [95].

Таблица 3.6

**Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста
возрастных групп ели с метеозементами в «островных»
локалитетах на мелиорированной территории Полесья («Ельнички»)**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$			
		с $t^{\circ}\text{C}$		с осадками	
		1945–1976 гг.		1977–2000 гг.	
95	Май – июнь	–04	31	–27	–24
	Вегетационный	–16	21	–02	–16
	Безлиственный	31	27	60	65
	Год	11	25	47	45
80	Май – июнь	08	34	–22	–08
	Вегетационный	–02	16	08	–01
	Безлиственный	22	25	64	60
	Год	16	09	54	32
75	Май – июнь	18	34	–23	–23
	Вегетационный	11	–10	–10	16
	Безлиственный	38	00	73	73
	Год	26	–12	59	45
60	Май – июнь	–10	28	–28	–13
	Вегетационный	–15	34	–01	44
	Безлиственный	18	18	63	53
	Год	10	22	52	55

Коэффициент детерминации – это квадрат корреляции Пирсона ($R^2 = r^2$) между двумя переменными. Он выражает количество дисперсии, общей между двумя переменными. Если $R^2 = 0,9$, уравнением регрессии объясняется 90 % дисперсии результативного признака, а на долю прочих факторов приходится 10 % ее дисперсии [96].

Фактический прирост, как и индексный, положительно статистически значимо коррелировал с температурой воздуха безлиственного периода и, как следствие, гидрологического года в целом. Эта корреляция была теснее у более молодых поколений (у 60-летнего – $r = 0,63$, 70-летнего – $r = 0,61$), чем у старших (95-летнего – $r = 0,42$, 80-летнего – $r = 0,36$). Пользуясь шкалой Чеддока, тесноту этой связи у первых двух поколений можно оценить как заметную, у вторых – как умеренную.

Радиальный прирост меньше зависел от атмосферных осадков этого периода. Эта зависимость может быть оценена от слабой (у 70- и 80-летних поколений) до умеренной (у 60- и 95-летних).

Отрицательный коэффициент корреляции фактического прироста с прямой ФАР оказался столь низким, что ее вклад в его падение был крайне мал (табл. 3.7).

Таблица 3.7

**Коэффициенты корреляции ($r = 0, \dots$) радиального (мм) прироста ели
с прямой ФАР, температурой воздуха и осадками и их вклад
в его изменчивость ($100 R^2, \%$) после 1976 г. ($n = 24$)**

Возраст, лет	Период	с прямой ФАР		с t °C		с осадками	
		r	$100 R^2, \%$	r	$100 R^2, \%$	r	$100 R^2, \%$
95	Май – июнь	–06	0,36	–25	6,25	–10	1,00
	Вегетационный	–02	0,04	–04	0,16	–12	1,44
	Безлиственный	–	–	42	17,64	33	10,59
	Год	–08	0,64	33	10,89	08	0,64
80	Май – июнь	–05	0,25	–18	3,24	–06	0,36
	Вегетационный	–16	2,56	–02	0,04	–08	0,64
	Безлиственный	–	–	36	12,96	13	1,69
	Год	–21	4,41	28	7,84	–01	0,01
70	Май – июнь	–09	0,81	–25	6,25	–20	4,00
	Вегетационный	–02	0,04	–20	4,00	–08	0,64
	Безлиственный	–	–	61	37,21	32	10,24
	Год	–31	9,61	45	20,25	11	1,21
60	Май – июнь	–06	0,36	–27	7,29	–13	1,69
	Вегетационный	–25	6,25	–10	1,00	–09	0,81
	Безлиственный	–	–	63	39,69	47	22,09
	Год	–34	11,54	50	25,00	19	3,61

Причем повышение температуры и увеличение осадков в месяцы активного роста и за вегетационный период оказывали негативное слабое (по шкале Чеддока) влияние на радиальный прирост: все коэффициенты корреляции отрицательные и меньше 0,3 ($-0,25 < r < -0,08$). Соответственно, вклад температуры безлиственного периода в изменчивость ширины годичного кольца оказался больше, чем осадков: у серии возраста 95 лет на 7,05, 80 лет на 11,27, 70 лет на 26,97 и 60 лет на 17,6 % (см. табл. 3.7).

Реакция ели на изменчивость климатических условий определяется субстратом, от которого зависит почвенное питание растения. На плодородных почвах на лессовидных суглинках (средняя полоса Беларуси) и моренных отложениях с богатым минералогическим составом (Позерье) изменчивость радиального прироста ели зависит от атмосферных осадков [16].

Проведенное исследование показало, что на почвах с плотным иллювиально-гумусово-железистым горизонтом и мощной лесной подстилкой после понижения грунтовых вод изменчивость радиального прироста стала больше определяться температурными условиями безлиственного, а не вегетационного периода по сравнению с атмосфер-

ными осадками. Растущая на почвах с близкой грунтовой водой ель не использует минеральных ресурсов почвы [97].

После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, у нее в «островных» локалитетах увеличение годичного прироста могло произойти за счет дополнительного вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание, потребность в котором возросла при потеплении климата, при сокращении возможности использовать минеральные ресурсы грунтовых вод.

Главный источник минерального питания древесных растений – аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации свежего органического вещества [98]. Максимальная интенсивность минерализации наблюдается весной. Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, и именно в ней выражена сезонная динамика численности и биомассы различных групп почвенных микроорганизмов [99]. Значение при этом имеет опад лиственного подлесочного и кустарникового ярусов, минерализация которого пополняет питательные ресурсы почвы («Ельнички», в «Селище» они отсутствуют).

Кроме хорошей аэрации и влажности почвы, необходимое условие поддержания ее биологической активности – температура. Интенсивность отмирания микрофлоры в холодный период зависит от температурных условий. Возможно, аномальные морозы при маломощном снежном покрове или без него могут подавить микробиологическую активность подстилки, от минерализации которой, как и от листовенного опада, зависит приготовление почвенного раствора для питания растения.

Возникшие при потеплении климата после 1976 г. контрастные погодные условия безлиственного периода: аномально теплые и суровые (с маломощным снежным покровом или без него) позднеосенние и зимние месяцы – отразились на жизнеспособности почвенной микрофлоры. Как следствие – возникающая недостаточность в азотном и минеральном питании древесного растения на фоне сокращения притока прямой солнечной радиации определило его положительную реакцию на изменчивость температурных условий безлиственного периода.

В эдафотобах без плотного глыбистого иллювиально-гумусово-железистого горизонта реакция ели на изменчивость климатических факторов имеет свои особенности, отраженные в радиальном приросте. Исследованный такой «островной» ельник обнаружен в Ковчицком лесничестве Светлогорского лесхоза (квартал № 65) на плоско-равнинном морфотопе. Только у двух деревьев, у которых удалось отобрать образцы древесины, обнаружен «взрыв» радиального прироста (рис. 3.7) [94].

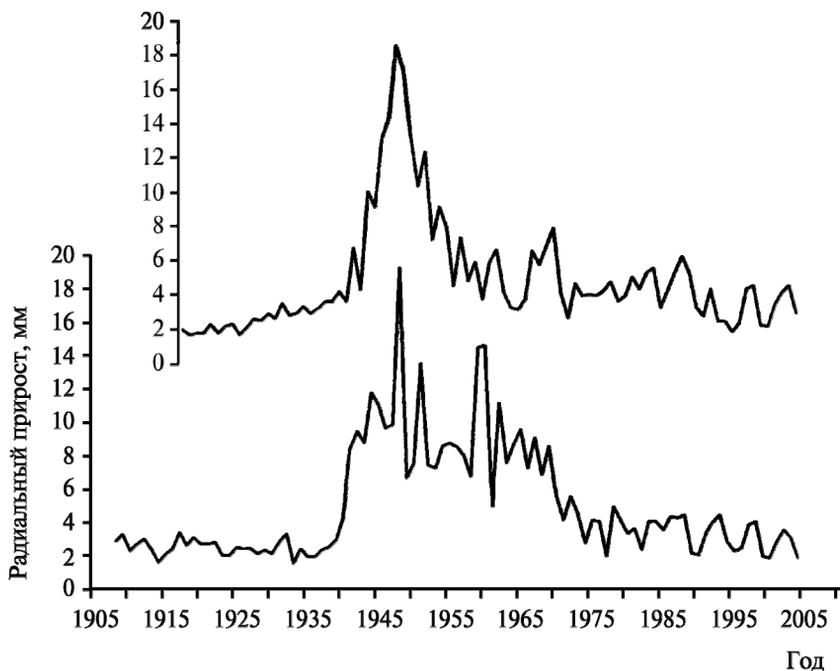


Рис. 3.7. «Взрыв» в радиальном приросте ели (квартал № 65 Ковчицкого лесничества) [94]

Почва представлена слабообразованным иллювиально-гумусово-железистым подзолом на рыхлых песках. Светло-серый гумусный горизонт мощностью до 15 см сменяется более светлым (до белесого) подзолистым такой же мощности. Коричневато-буроватый иллювиально-гумусовый горизонт (на глубине 30–42 см) непрочной комковатой (а непрочной глыбистой) структуры подстилается серовато-желтоватыми песками. Майский уровень грунтовых вод – на глубине 1,8 м. Тип леса – ельник мшистый с обильным весенним цветением эфимероида ветреницы лесной (*Anemone sylvestris*).

Осушение болот и заболоченных земель, расположенных в 1,0 км южнее в водосборе Рудянки и в верховьях Ипы, выполнялось Западной экспедицией И. И. Жилинского в последней четверти XIX в. Последняя реконструкция осушительной сети для интенсивного сельскохозяйственного использования освоенных земель в качестве пахотных угодий осуществлено в начале 1960-х гг.

Одновременно полевые исследования для получения сравнительной дендрохронологии были проведены в «островном» ельнике мшистом на полигонах «Еловая грива» и «Воротень» (южнее пос. Паричи Светлогорского района), окруженных староречьями Березины. Осушительная мелиорация здесь никогда не выполнялась, несмотря на наличие заболоченных ольсов. Эдафотоп также представлен слаборазвитым иллювиально-гумусово-железистым подзолом на рыхлых песках с нахождением майского уровня грунтовых вод на глубине 0,6 м.

Образцы древесины (керны) отбирались возрастным буравом на высоте 1,3 м в мае 2010 г. Сведения о тестируемых деревьях представлены в табл. 3.8. В формировании годичного кольца большое значение принадлежит погодно-климатическим условиям предшествующего года. В четырех дендрохронологиях автокорреляция первого порядка четко выражена. К тому же они характеризуются высокими межсериальными коэффициентами корреляции: для возрастов 110 и 90 лет – $r = 0,91$, 110 и 70 лет – $r = 0,76$, 110 и 85 лет – $r = 0,79$, 90 и 70 лет – $r = 0,92$, 90 и 85 лет – $r = 0,89$, 70 и 95 лет – $r = 0,89$.

Таблица 3.8

Сведения о тестируемых деревьях на полигонах «Воротень» и «Еловая грива»

Полигон	Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
«Воротень»	110	9	46–58	24–31
	90	18	42–54	19–26
	70	16	36–42	18–24
«Еловая грива»	85	16	42–50	18–24

Угнетение радиального прироста ели во влажную климатическую эпоху [10] сменилось его резким увеличением в начале 1940-х гг. с их самыми холодными зимами в XX в. (рис. 3.8). Максимальное продуцирование стволовой массы было при похолодании климата до 1976 г. Однако максимальной ширины годичные кольца у старейших возрастных групп (110 и 90 лет) достигли в 1948 г. с самыми теплыми (+17,6 °С) в XX в. месяцами (май и июнь) активного роста древесных растений при повышенном увлажнении (169 мм осадков).

Начиная с 1950-х гг. радиальный прирост направленно уменьшался, достигнув минимальных значений при потеплении климата после 1976 г. Следует отметить угнетение ели в 1980 г. с холодным (–14,6 °С) и сырым (496 мм осадков) вегетационным периодом. Депрессия прироста в 1987 г., особенно заметная у 85-летнего поколения, последовала за аномально холодным безлиственным периодом (–2,7 °С).

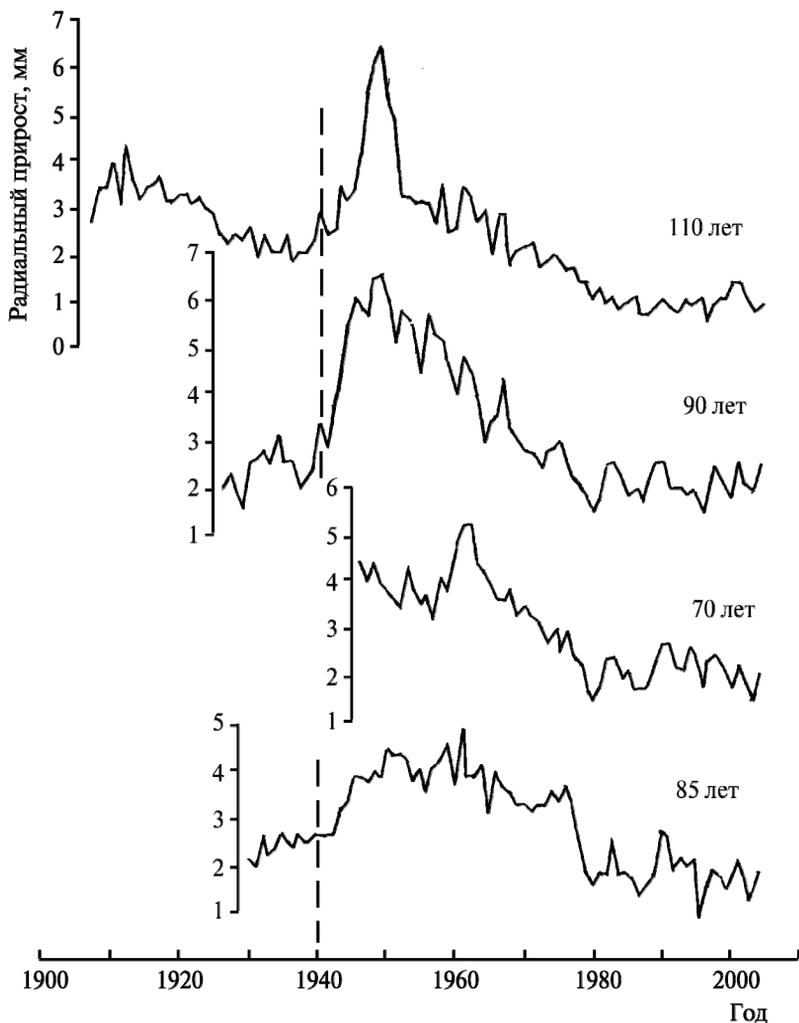


Рис. 3.8. Вековая изменчивость радиального прироста возрастных групп ели на полигонах «Еловая грива» (возраст 70, 90 и 110 лет) и «Воротень» (возраст 85 лет) [94]

Чувствительность ели (по Дугласу [28]) в исследованных «островных» насаждениях к климатическим факторам среды незначительно возрастала при переходе от похолодания к потеплению климата, за исключением насаждений на «Еловой гриве», где она увеличилась более чем

в два раза (табл. 3.9). Подобное изменение свойственно и дисперсии (σ) индексного прироста, отражая реакцию растения на динамику погод-но-климатических условий.

Таблица 3.9

**Чувствительность к климатическим факторам
и стандартное отклонение (σ) индексного прироста ели**

Полигон	Возраст, лет	Коэффициент чувствительности к климатическим факторам			Стандартное отклонение (σ) индексного прироста		
		до 1940 г.	1940–1976 г.	после 1976 г.	до 1939 г.	1940–1976 г.	после 1976 г.
«Воротень»	110	0,22	0,30	0,31	8,62	12,87	12,83
	90	–	0,23	0,29	–	9,56	13,12
	70	–	0,20	0,28	–	8,16	12,51
«Еловая грива»	85	–	0,17	0,39	–	6,71	17,82

Корреляционный анализ выявил зависимость индексного прироста (рис. 3.9) от температуры и осадков безлиственного периода (табл. 3.10).

Таблица 3.10

**Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста
возрастных групп ели с метеоэлементами
в «островных» локалитетах «Еловая грива» и «Воротень»**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$			
		с $t^{\circ}\text{C}$		с осадками	
		1945–1976 гг.		1977–2000 гг.	
110	Гидрологический год	16	30	30	11
	Май – сентябрь	–05	16	–09	–12
	Май – июнь	–21	30	09	–60
	Октябрь – апрель	02	30	42	38
90	Гидрологический год	28	42	52	30
	Май – сентябрь	–24	33	14	–01
	Май – июнь	02	31	–05	–14
	Октябрь – апрель	28	30	56	54
70	Гидрологический год	–34	28	40	04
	Май – сентябрь	–34	42	11	–04
	Май – июнь	–19	28	–22	04
	Октябрь – апрель	–31	–06	43	40
85	Гидрологический год	30	–08	54	24
	Май – сентябрь	08	–26	02	–04
	Май – июнь	–06	–08	–12	–15
	Октябрь – апрель	–01	17	64	49

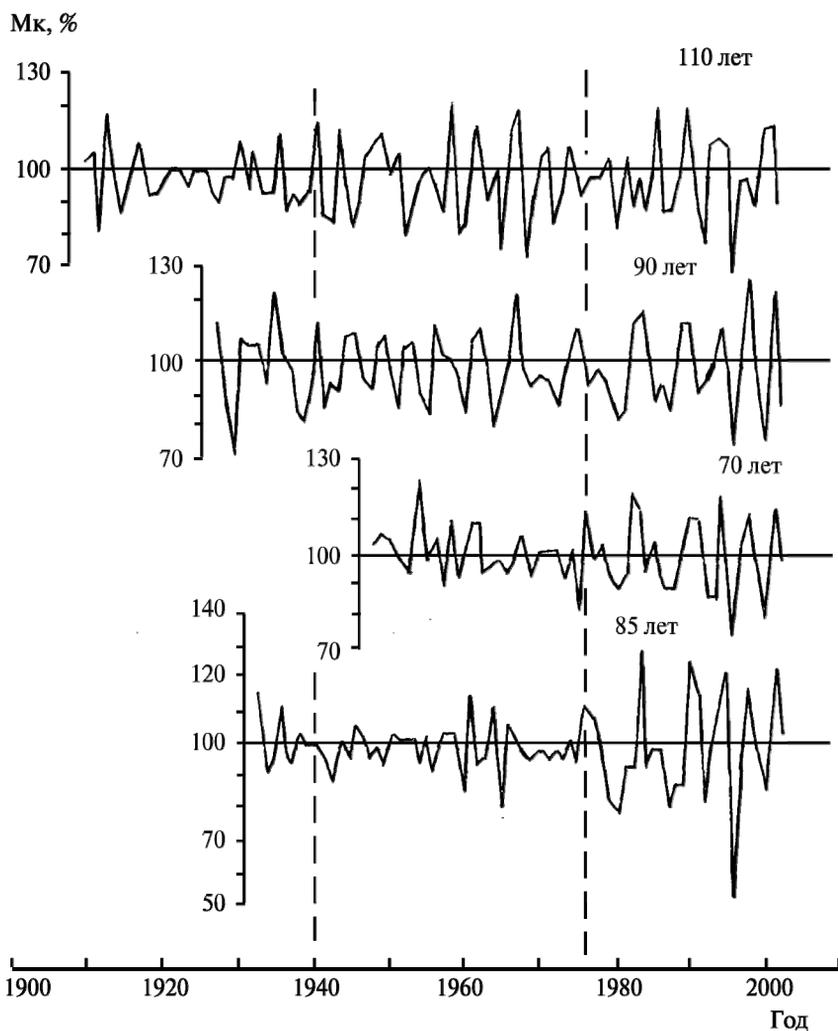


Рис. 3.9. Вековая изменчивость индексного прироста возрастных групп ели на полигонах «Еловая грива» и «Воротень» [94]

Находясь в ослабленном состоянии, отраженном в угнетении фактического (мм) прироста, ель при потеплении климата стала реагировать на погодичную изменчивость температурных условий и условий увлажненности безлиственного периода (периода покоя), а не вегетационного, включая месяцы активного роста.

Наиболее вероятное объяснение этого феномена следует искать в сложившихся при потеплении климата контрастных погодных условиях холодного периода с аномально теплыми и суровыми (с малоснежным покровом или без него) позднеосенними и зимними месяцами, что не могло не отразиться на жизнеспособности почвенной микрофлоры, особенно в ельниках мшистой серии типов леса [100]. Как следствие – недостаточность в азотном и минеральном питании древесных растений в месяцы активного роста привела к ослаблению их жизненного состояния, особенно на бедных почвах этих локалитетов.

Отсюда появление прямой зависимости индексного прироста ели от погодно-климатических условий безлиственного периода, свойственное ее насаждениям, и в других природных регионах Беларуси. Естественно, возникает вопрос: что явилось причиной максимальной стволовой продуктивности ели в 1940–60-е гг. при похолодании климата. Как известно, фотосинтез зависит от притока солнечной радиации и корневого питания. Как уже отмечалось, актинометрические наблюдения Белгидромета на метеостанции Василевичи, начатые в 1950-е гг., показали, что ее поступление и преобразование в атмосфере над Полесьем было неоднородным.

Это отразилось на формировании годичного кольца: фактический (мм) радиальный прирост ели на исследованных тест-участках имел прямую статистически значимую зависимость от поступления прямой ФАР (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели в «островных» локалитетах «Еловая грива» и «Воротень» с ФАР за 1955–2006 гг.

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР		
		прямой	рассеянной	суммарной
110	Май – июнь	40	02	33
	Вегетационный	40	14	38
	Год	26	18	37
90	Май – июнь	31	04	27
	Вегетационный	37	08	34
	Год	18	07	28
70	Май – июнь	27	–06	17
	Вегетационный	38	06	32
	Год	35	10	26
85	Май – июнь	30	08	23
	Вегетационный	36	18	36
	Год	25	17	30

Таким образом, погодно-климатические условия при потеплении климата после 1976 г. определили положительное реагирование ели на изменчивость гидротермических факторов за безлиственный период. Высокая стволовая продуктивность ели при похолодании климата в 1940–1976 гг. реализована при благоприятном для нее солнечном энергетическом обеспечении.

Именно в этих условиях произошел «взрыв» в радиальном приросте ели в 1948 г. с самыми теплыми в XX в. месяцами активного роста древесных растений (+17,6 °С) при повышенном увлажнении (169 мм осадков) и позднее, в 1958 г. с одним из самых влажных в XX в. вегетационным периодом (491 мм), включая месяцы активного роста (242 мм осадков). Он оказался возможным благодаря интенсивному использованию древесным растением тепловых или водных ресурсов месяцев активного роста при отсутствии водного дефицита в почве и при высокой энергетической обеспеченности фотосинтеза.

Ельники Полесья имеют особую ценность как символ экологического благополучия и богатейшего биоразнообразия своеобразных по своим природным условиям ландшафтов на юге Беларуси. Как отмечалось, в XX в. они оказались под прессом основных экологических факторов — осушительной мелиорации и потепления климата, в XXI в. находятся в условиях уже стабилизировавшегося понижения грунтовых вод после осушительной мелиорации, но продолжающегося изменения климата.

Научный и практический интерес представляет жизнеспособность ели в условиях самого теплого климата Беларуси, который свойственен западной части Полесья при возникшей после осушительной мелиорации глубине залегания грунтовых вод. К исследованиям привлечен островной ельник у оз. Тайное на юге Брестского лесхоза, который принадлежит Бореально-Карпатской дизъюнкции европейского ареала этой древесной породы. Он представлен локальной популяцией карпатской горной ели (*Picea abies* subsp. *acuminata* (G. Beck) Parf.) [101]. Исследования выполнялись также в Ляховичских ельниках Барановичского лесхоза с популяцией восточно-европейской равнинной ели (*Picea abies* subsp. *abies*) — крайнем западном на Полесье массиве темнохвойных лесов на южной границе северобалтийской части ареала ели.

В крайних условиях произрастания на границе географических ареалов отдельные виды (в нашем случае ель) должны плохо выносить экстремальные условия среды: популяции их должны отмирать [102].

Ляховичские ельники оказались в зоне снижения уровня грунтовых вод осушительными мелиоративными системами в водосборах канализированных малых рек Цна, Свидровка и др. Следует отметить, что мнение о негативном влиянии осушительной мелиорации на леса, зани-

мающие песчаные эдафотопы, широко распространено среди специалистов лесного хозяйства и природоохранного дела.

Как известно, выделение того или иного экологического фактора, определяющего состояние и продуктивность лесных экосистем, сопряжено с труднопреодолимыми, порой и непреодолимыми, методическими трудностями. Постоянное подчеркивание последствий осушительной мелиорации не способствует поиску иных причин для объяснения современных реалий в лесном фонде полесского региона.

Для дендроклиматических исследований образцы древесины отобраны в октябре 2007 г. в кварталах № 6 и 7 Ляховичских ельников (ельник мшистый и ельник черничный), в сентябре 2008 г. – в насаждении у оз. Тайное (ельник мертвопокровный) [91]. Почва под ельниками мшистым и мертвопокровным – слаборазвитая дерново-подзолистая на рыхлых кварцевых песках (подстилка – слой полусгнившей иглицы в 1 см; грунтовые воды глубже 2,0 м), под ельником черничным – иллювиально-гумусово-железистый подзол (мощность подстилки 3 см; грунтовые воды в период исследования – на глубине 1,8 м).

Сведения о тестируемых деревьях в возрасте 60 лет представлены в табл. 3.12. Получить массовый материал о радиальном приросте ели в более старшем возрасте было невозможно по причине сплошных рубок в XX в. Привлечены результаты инструментальных наблюдений Белгидромета за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Брест и Пинск.

Современное 60-летнее поколение ели развивалось в течение гидротермически неустойчивой климатической эпохи, наступившей в начале 1940-х гг. [16]. В ней, как отмечалось, выделяются две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления (табл. 3.13). Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,8 °С. Значительно потеплел безлиственный период (октябрь – апрель) – на 1,1 °С, меньше – месяцы активного роста (май – июнь) – на 0,4 °С и несущественно за вегетационный период (май – сентябрь) – на 0,2 °С.

Таблица 3.12

**Сведения о тестируемых деревьях
Ляховичского ельника и «островного» ельника у оз. Тайное**

Тип леса	Количество деревьев	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Коэффициент чувствительности	
				до 1976 г.	после 1976 г.
Ельник мертвопокровный	18	29	24	0,29	0,28
Ельник мшистый	15	37	24	0,21	0,24
Ельник черничный	21	44	26	0,16	0,25

Таблица 3.13

**Сравнительная характеристика фаз похолодания (до 1976 г.)
и потепления (после 1976 г.) по наблюдениям на метеостанции Брест**

Период	До 1976 г.				После 1976 г.			
	$t^{\circ}\text{C}$		осадки, мм		$t^{\circ}\text{C}$		осадки, мм	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Год	7,3	0,8	606	106	8,0	1,0	585	90
Май – сентябрь	16,0	0,7	330	93	16,2	0,9	331	86
Май – июнь	15,2	1,2	133	51	15,6	1,1	123	39
Октябрь – апрель	1,2	1,3	276	71	2,3	1,7	254	45

Количество осадков за гидрологический год сократилось незначительно – на 21 мм, за счет их уменьшения за безлиственный период. Причем их отклонение (σ) от среднего значения уменьшилось, особенно за безлиственный период. Подобная изменчивость основных метеопоказателей свойственна и Пинску. Однако потепление здесь оказалось менее значительным (с 6,8 до 7,2 $^{\circ}\text{C}$ в среднем за год), а количество осадков, наоборот, увеличилось (с 576 до 597 мм).

У ельника черничного не выявлено статистически значимой зависимости текущего радиального прироста от прямой ФАР за месяцы активного роста (май – июнь) и вегетационный период (май – сентябрь): коэффициенты корреляции оказались недостоверными ($-0,14 < r < 0,02$). У ельника мертвопокровного радиальный прирост оказался в обратной зависимости прямой ФАР ($r = -0,42$). Изменчивость радиального прироста в сравниваемых типах леса имела существенные различия (рис. 3.10).

У ели карпатской (ельник мертвопокровный) он был наименьшим при похолодании климата до 1976 г., чем при последующем потеплении. У ели равнинной (ельник мшистый и ельник черничный), наоборот, максимальный прирост был значительно больше при похолодании климата, чем при потеплении. Естественно, эти различия противоречат сравнительно однородным климатическим условиям роста и развития насаждений.

Находясь в угнетенном состоянии, ель в мертвопокровном и мшистом типах леса, как и в черничном, оказалась уязвимой от температурного фактора при потеплении климата.

Зависимость индексного прироста от осадков отсутствовала как при похолодании, так и при потеплении (табл. 3.14). Чувствительность к климатическим факторам среды при потеплении климата и сокращении притока солнечной радиации увеличилась только у Ляховичских ельников (см. табл. 3.11). Наибольшая дисперсия индексов до 1976 г. у карпатского климатипа отражает его угнетенное состояние, но не связь с гидротермическими факторами.

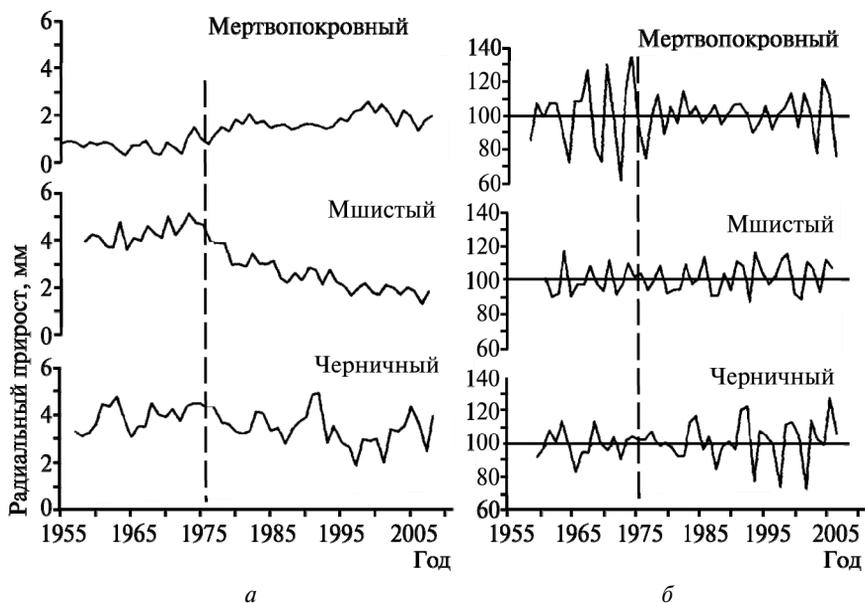


Рис. 3.10. Многолетний ход изменчивости фактического (а) и индексного (б) радиального прироста ели в сравниваемых типах леса. Вертикальной штриховой линией показан 1976 г. [91]

Таблица 3.14

**Коэффициенты корреляции индексного прироста
возрастных групп ели с температурой воздуха и осадками**

Тип леса	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$			
		до 1976 г.		после 1976 г.	
		с t °C	с осадками	с t °C	с осадками
Ельник мертвопокровный	Май – июнь	–,26	,02	–,54	,14
	Май – сентябрь	–,17	–,04	–,31	–,09
	Октябрь – апрель	–,18	,26	–,07	–,03
	Год	,14	,14	,16	–,10
Ельник мшистый	Май – июнь	,14	,34	–,51	–02
	Май – сентябрь	,29	,26	–,67	,25
	Октябрь – апрель	,03	,21	–,18	,25
	Год	,13	,40	–,38	,19
Ельник черничный	Май – июнь	–,16	,39	–,42	,22
	Май – сентябрь	–,06	,07	–,32	,28
	Октябрь – апрель	,19	,18	,25	,11
	Год	,18	,12	,08	,25

Депрессия фактического и индексного прироста в 1965 г. с холодными месяцами активного роста (12,8 °С), наиболее четко проявившаяся у ельника черничного, наступила после извержения вулканов Асама (1961 г.), Тристан (1961–1962 гг.) и Агунг (1963 г.). Извержения вулканов Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1991 г.), приведшие к появлению аномально холодных бесснежных и малоснежных зим на территории Беларуси, не отразились на угнетении этих ельников. Интересно отметить, что при потеплении на исследуемой территории максимальный радиальный прирост (5,2 мм) у ельника черничного образовался в 1991 г. с наименьшей температурой месяцев активного роста (14,1 °С), а минимальный (2,1 мм) – с наибольшей (17,4 °С).

В целом температура воздуха месяцев активного роста (и вегетационного периода у ельника мшистого) стала лимитирующей для индексного прироста (см. табл. 3.14), определив негативную реакцию ели в Брестском Полесье на потепление климата при возникшем глубоком залегании грунтовых вод. Как показали стационарные исследования, при залегании грунтовых вод глубже 1,5 м между омброгоризонтом и трихогоризонтом в песчаных почвах Полесья залегает горизонт с постоянно низкой влажностью [6]. При таких условиях ель ограничена в использовании водно-минеральных ресурсов грунтовых вод после их значительного понижения в результате осушительной мелиорации.

В отличие от исследованных ельников в восточной части Полесья индексный прирост ели не приобрел прямой зависимости от температуры безлиственного периода из-за малой мощности подстилки на бедном кварцево-песчаном субстрате почвы при глубоком залегании грунтовых вод.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что современные динамические климатические условия не привели к существенным изменениям в реализации елью своего биопродукционного потенциала в нарастании стволовой массы (радиального прироста) независимо от осушительной мелиорации. При этом антропогенном факторе могут возникать как положительные, так и отрицательные отклонения в текущем приросте ели в зависимости от глубины снижения грунтовых вод.

Во временной динамике нарастания стволовой массы древостоя ели как результата воздействия множества факторов экологического и биологического порядка одним из факторов является изменчивость в поступлении прямой солнечной радиации. Многолетняя динамика прихода

ФАР оказывает влияние на прирост древесины в южнотаежных древостоях [103].

В результате сравнительного анализа радиального прироста ели на мелиорированных и немелиорированных территориях Белорусского Полесья выделены два самоорганизующихся (самоуправляемых) доминиона ельников, различающихся по знаку статистической зависимости радиального прироста от прямой ФАР. Первый из них с прямой статистической зависимостью объединяет ельники на иллювиально-гумусово-железистых подзолах до осушительной мелиорации, второй, с обратной зависимостью, — ельники на почвах с глубоким понижением грунтовых вод и на автоморфных почвах. Под самоорганизацией понимается рост и развитие по правилам, выработанным регулированием ими отношений с динамичной природной средой.

Выделение двух доминионов базируется на следующих основных положениях, в большинстве своем постулатах:

- поступление прямой ФАР в экосистемы лесов на территории Белорусского Полесья изменяется в значительных пределах (до 40 % от среднего многолетнего значения) в зависимости от аэрозольного содержания атмосферы и ее циркуляции;

- в этой изменчивости не возникает дефицита лучистой энергии, лимитирующего фотосинтез, так как все выявленные ее отклонения находятся выше порога светового насыщения, который, по А. А. Ничипоровичу [104], составляет 25–35 % от интенсивности полной солнечной радиации;

- солнечная радиация оказывает прямое физическое воздействие на температуру воздуха и фотосинтезирующий аппарат растений;

- рост температуры воздуха и хвои вызывает увеличение эвапотранспирационного расхода влаги, которая поставляется транспирационным током;

- транспирационный ток определяет интенсивность фотосинтеза [105];

- водные ресурсы иллювиально-гумусово-железистого подзола и других заболоченных почв с нахождением грунтовых вод в первом метре от поверхности песчаной почвы («сырые пески») не лимитируют транспирационный ток при любых погодно-климатических условиях;

- влажность омброгоризонта автоморфных и заболоченных почв после снижения грунтовых вод, зависящая от атмосферных осадков, выступает в значении лимитирующего фактора;

- эвапотранспирация определяет минеральное питание, рост и урожай растений [105] (для древесных растений лесохозяйственный урожай — радиальный прирост).

В результате последовательно зависимых процессов для доминиона с прямой статистической зависимостью радиального прироста от солнечной радиации образуется следующая цепь: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → → увеличение транспирации → усиление транспирационного тока → → нелимитируемое потребление водно-минеральных ресурсов трихогоризонта иллювиально-гумусово-железистого подзола → прямая статистическая зависимость радиального прироста от ФАР как начального звена этой цепи.

Для доминиона с обратной статистической зависимостью радиального прироста от солнечной радиации цепь последовательно зависимых процессов выстраивается иначе: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность эвапотранспирации влагой из-за ограниченности влагосодержания омброгоризонта почв → сокращение транспирации → → обратная статистическая зависимость радиального прироста с ФАР как начального звена этой цепи.

Знак статистической зависимости радиального прироста от солнечной радиации определяется использованием древостоем водно-минеральных ресурсов трихогоризонта (плюс) или омброгоризонта (минус).

Следовательно, радиальный прирост – объективный индикатор происходящих изменений в природной среде Полесья с его крупномасштабной осушительной мелиорацией. Он существенно нивелирует субъективный подход, связанный с личностным восприятием ее последствий.

3.4. Радиальный прирост сосны на кварцевых песках Белорусского Полесья в изменяющихся климатических условиях

Региональная особенность ландшафтов Белорусского Полесья в том, что их литофациальная основа на преобладающей площади региона – третичные кварцевые пески, перемытые и переотложенные водно-ледниковыми потоками, речными и озерными водами в четвертичное время. О том, что эта горная порода подстилает торфяную залежь на полесских болотах, известно еще в XIX в. [106]. Однако при изыскательских

работах, обеспечивающих принятие проектных решений по мелиоративному освоению болот и заболоченных земель, и при научных исследованиях по оценке экологических последствий их выполнения эта региональная особенность не учитывалась [107].

Кварцевые пески как почвообразующая порода не включают глинистых минералов, необходимых для возникновения почвенного поглощающего комплекса. По этой причине происходит быстрая полная сработка маломощных торфяников, преобладающих на освоенных массивах, до образования «седых» пашен, у которых пахотный горизонт представляет смесь кварцевых песков и быстро сокращающегося торфа. К тому же кварцевые пески обладают повышенной порозностью и малой водоудерживающей способностью, являясь, по существу, решетом, инфильтрующим атмосферные осадки вместе с продуктами разрушения торфа.

Автоморфные, только атмосферного увлажнения, почвы на кварцевых песках отличаются исключительной бедностью. Набор факторов, лимитирующих радиальный прирост деревьев на них, ограничен. Эти своеобразные почвы не учитываются также при перспективе ведения лесного хозяйства с искусственным (лесные культуры) возобновлением нового поколения древостоя [107].

Хорологические ландшафты на кварцевых песках включают болотно-карбонатно-солончаковый и мезотрофно-болотно-дерновый ландшафтно-мелиоративные комплексы (по В. Н. Киселеву [6]), распространяясь за их пределы на песчаные междуречья, занятые в основном сосновыми насаждениями.

Среди современных проблем в лесном хозяйстве выделяется та, которая вызвана динамикой климатических условий, оказывающих влияние на состояние и стволовую продуктивность пород-лесообразователей. Изменчивость климата выдвигает ряд задач экологической направленности.

Осушение и освоение болот и заболоченных земель привели к почти полной трансформации природной среды региона, что должно было отразиться на состоянии лесов, рост и развитие которых протекает также под влиянием климатических факторов. Выделить климатический фактор в их динамике чрезвычайно сложно, так как обнаружить на Полесье великовозрастные насаждения трудно по причине сплошных рубок в XIX и XX вв., как и найти территории, где не выполнялась осушительная мелиорация или они не оказывались в зоне искусственного снижения грунтовых вод.

Постоянное подчеркивание роли осушительной мелиорации в изменении природной среды не способствует решению возникающих проблем с охраной и воспроизводством земельных и лесных ресурсов. В частности, широко распространено мнение, что многие беды экологического порядка в лесном хозяйстве, включая усыхание ели и угнетение сосны, вызваны осушением болот и заболоченных земель. Однако изменение географических условий на заключительном этапе мелиоративных работ является продолжением естественной динамики его обводненности в предшествующие столетия.

Радиальный прирост, как отмечалось, – объективный индикатор происходящих изменений в природной среде, существенно нивелирующий субъективный фактор, связанный с личностным восприятием ее изменений. Его изменчивость маркирует состояние не только лесных экосистем, но и природной среды в целом, оказываемое прямое или косвенное влияние на все аспекты хозяйственной деятельности человека. Здесь важно понять сам механизм воздействия на него региональных (для Полесья) факторов, чтобы предотвратить, если будет возможно, вероятные угрозы, которые могут быть вызваны изменчивостью климата и антропогенным влиянием.

Естественные явления или возникшие в результате антропогенного воздействия, связанные с современным состоянием природной среды, пока не получили надежного аргументированного объяснения. Нерешенной проблемой по-прежнему остается выяснение причин прогрессирующего снижения стволовой продуктивности сосны и экологической устойчивости ее насаждений начиная с 1960-х гг.

Главенствующая лесообразующая порода на почвах, развитых на кварцевых песках в Белорусском Полесье, – сосна обыкновенная, или лесная (*Pinus sylvestris* L.), относящаяся к светолюбивым растениям. Как известно, светолюбивые растения нуждаются в ярком рассеянном освещении [108].

Выявление особенностей формирования радиального прироста ее древесины в условиях флуктуаций и современных трендов изменения климата Белорусского Полесья выполнялось в соответствии с упоминавшейся концепцией и методикой дендроклиматических исследований.

Они проводились на выбранном по материалам лесоустройства тест-полигоне, который расположен в лесном массиве Светлогорского лесхоза, равноудаленном на 3 км на юго-восток от с. Великий лес и на северо-восток от с. Залье, на первой надпойменной террасе р. Ипа, канализированной еще Западной экспедицией И. И. Жилинского в последней четверти XIX в. Последнее переустройство мелиоративной сети осуществлено в начале 1960-х гг.

Образцы древесины (керны) отбирались возрастным буровом на высоте 1,3 м. Величина текущего радиального прироста сильно варьирует. Для исключения индивидуальных особенностей отдельных деревьев проводилось осреднение данных по нескольким модельным деревьям, принадлежащим к одной возрастной серии (группе). Модульные коэффициенты вычислялись с применением пятилетнего скользящего сглаживания.

Как показал опыт дендроклиматических исследований, достаточно не менее 10 образцов древесины для получения надежной осредненной информации по радиальному приросту [110]. Получить столько образцов от великовозрастных деревьев (более 100 лет) не представлялось возможным по причине их ограниченного количества. Ряды годичных колец одиночных деревьев в этом случае рассматривались как уникальные по продолжительности и другим признакам. На образцах их древесины нами измерялась ширина колец, так как погодичная изменчивость ширины ранней и поздней древесины тесно связана с изменением годичного слоя в целом [111].

Тест-полигон включал два сопредельных тест-участка в сосняке мшистом и сосняке черничном [109]. Сосняк мшистый с разновозрастным древостоем и крайне бедным напочвенным покровом с доминированием мха Шребера занимает автоморфные дерново-подзолистые слабообразованные почвы на мелкозернистых кварцевых песках со следующими горизонтами: лесная подстилка A_0 (0–1 см), элювиально-гумусный A_1A_2 (1–24 см, пылеватый, монотонный, светло-серый) и слабозатронутый почвенными процессами BC (24–200 см, рыхлый, беловато-светло-желтоватый).

В сосняке черничном, расположенном по рельефу на 1,0–1,5 м ниже, преобладают редкостоящие крупномерные деревья, под которыми среди кустарников доминирует усыхающая крушина ломкая, в подросте – отдельные угнетенные экземпляры дуба черешчатого, березы бородавчатой и ели. Почва – полугидроморфный иллювиально-гумусово-железистый подзол под достаточно мощной (8–12 см) подстилкой на кварцевых песках со следующими горизонтами: A_1A_2 (10–24 см, темно-серый до черного с белесой присыпкой), A_2 (24–39 см, белесый), B_h (39–51 см, темно-бурый, плотный, глыбистый), B_{2g} (51–80 см, оранжевый) и B_{3g} (беловато-светло-желтый с редкими оранжевыми пятнами). Уровень грунтовых вод – на глубине 1,6 м (влияние мелиоративной сети) – значительно ниже, чем у этого типа леса на немелиорированных территориях.

До крупномасштабной осушительной мелиорации ландшафты Белорусского Полесья находились на капиллярно-гидроморфной стадии развития, что отразилось не только на формировании гидроморфных почв (в данном случае иллювиально-гумусово-железистого подзола), но и стволовой продуктивности лесообразующих пород. Таксационные характеристики древостоя сосны на исследованных тест-участках тому подтверждение.

После осушительной мелиорации песчаные гидроморфные почвы оказались с измененным водным режимом в результате понижения грунтовых вод и, следовательно, зоны увлажнения при их капиллярном поднятии. Современные лесные сообщества после смены поколений образующих их древесных пород развиваются уже в новых условиях увлажнения при изменяющемся климате.

Сведения о тестируемых деревьях представлены в табл. 3.15, а многолетний ход изменчивости их радиального прироста на рис. 3.11 и 3.12. Для оценки уровня синхронности между дендрохронологическими рядами внутри полигона и на разнесенных полигонах рассчитывался межсерийный коэффициент линейной корреляции Пирсона.

Влияние климатических факторов (солнечной радиации, температуры и осадков) на стволовую продуктивность древостоя в исследуемых насаждениях оценивалось по коэффициенту корреляции между их значениями и фактическим радиальным приростом, так как у сосны отсутствует выраженная кривая большого роста [112].

Для выявления влияния экологических факторов мы оперировали фактическими значениями радиального прироста как по каждому дереву (для выявления индивидуальной реакции великовозрастных деревьев), так и средними значениями по группе деревьев (для выявления групповой реакции или реакции насаждения).

Таблица 3.15

Сведения о тестируемых деревьях на кварцевых песках

Тип леса	Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
Сосняк мшистый	190	2	54–58	26
	150	9	52–58	26
	115	14	40–54	22–24
	75	14	32–40	16–22
Сосняк черничный	155	1	74	32
	135	10	56–72	28–32
	100	16	40–56	22–26

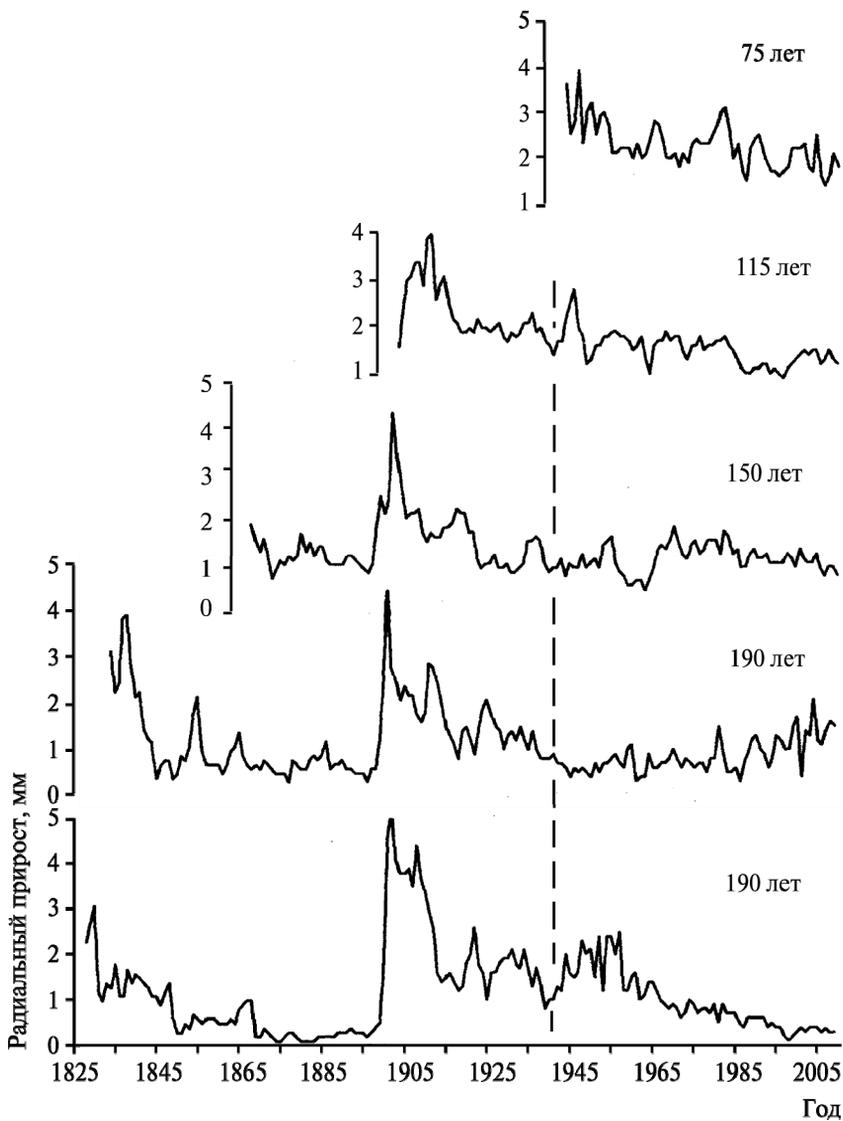


Рис. 3.11. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняка мшистого. 75 лет – возрастные серии деревьев. Штриховой линией показан 1940 г. [109]

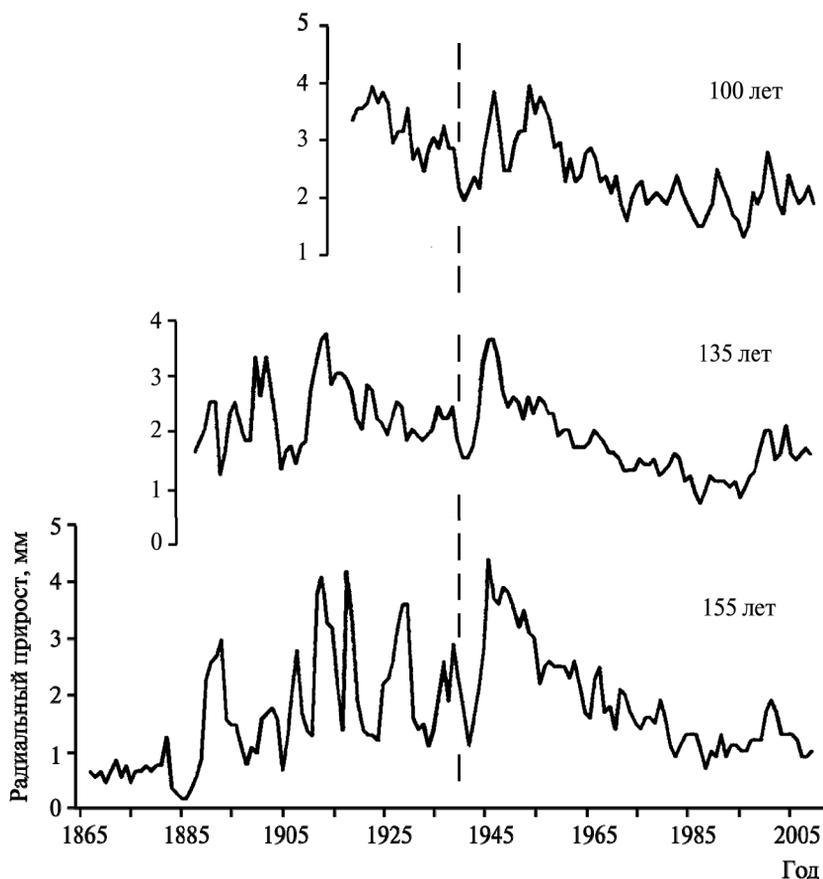


Рис. 3.12. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняка черничного [109]

Хронология радиального прироста двух 190-летних деревьев уникальна для Белорусского Полесья, так как после сплошных рубок в XIX и XX вв. деревья такого возраста обнаружить затруднительно. Высокое значение ширины их годовичных колец в 1828 и 1835 гг. не противоречит стволковой продуктивности другой хвойной породе в регионе – ели – в первой половине XIX в. [3].

Продолжительное (около 30 лет) угнетение радиального прироста 190- и 150-летних сосен до начала 1890-х гг. отражает ухудшение климатической ситуации в Беларуси по окончании малой ледниковой эпо-

хи. По всей видимости, это угнетение укладывается в максимальное похолодание 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1573–1891 гг. [86]. Подобная ситуация сложилась и для хвойных лесов практически на всей территории Беларуси [3].

Очевидно, угнетение радиального прироста сосны 190- и 150-летних поколений на кварцевых песках с автоморфными почвами связано с неблагоприятной климатической обстановкой. Максимальное угнетение этих старейших деревьев происходило с 1867 по 1897 г. Радиальный прирост сократился до 0,1–0,3 мм – значений, свойственных сосне на верховых болотах [3], – и в большинстве лет совпал со временем работы Западной экспедиции И. И. Жилинского и Е. В. Оппокова в 1873–1898 гг.

По наблюдениям на метеостанции Василевичи безлиственный период (октябрь – апрель) 1879–1897 гг. был холодным (средняя температура $-0,7^{\circ}\text{C}$ при средней многолетней $-0,2^{\circ}\text{C}$), в то время как температурные условия месяцев активного роста ($15,4^{\circ}\text{C}$) и вегетационного периода ($15,8^{\circ}\text{C}$) отвечали средним многолетним (соответственно $15,4$ и $15,7^{\circ}\text{C}$).

Разнообразие условий увлажнения последней трети XIX в. выразилось в чередовании засушливых и дождливых лет. Дождливыми были 1876–1879 гг. – болота переполнились водой, яровые хлеба и сенокосы затоплены [113]. После 1879 г. (708 мм осадков) наступило засушливое десятилетие 1880–1889 гг. – в среднем за год выпадало 486 мм осадков при норме 645 мм. Особенно засушливые – 1881 (360 мм) и 1882 гг. (362 мм). Менее засушливыми оказались 1883 (460 мм), 1884 (477 мм), 1886 (450 мм), 1888 (423 мм) и 1889 гг. (471 мм).

Именно эта погодная аномалия вызвала острую дискуссию о климатических последствиях осушения полесских болот (засуха 1891 г. в земледельческой части России) и обмеления рек (особенно Днепра), которая возобновилась в 1960-х гг. [6]. Свидетельством крайне контрастных погодно-климатических условий, особенно сильных засух, выступает угнетенное состояние сосны на кварцевых песках, не способных компенсировать эти лимитирующие условия своим низким плодородием.

Хотя в последующие 12 лет (1890–1901 гг.) количество осадков увеличилось (в среднем за год до 648 мм, что соответствует норме) и температурные условия отвечали средним многолетним, угнетение насаждений сосны не прекратилось. «Взрывной» скачок радиального прироста начался в 1902 г., в котором осадки (742 мм) на 189 мм превысили их значение в предшествующем засушливом году (553 мм). Наибольший

прирост сосны в возрасте 190, 150 и 110 лет продолжался в течение 1902–1910 гг., но его спад у деревьев этих возрастов заканчивался поразному. Вершина «взрыва» проявилась неодновременно – у 190-летних деревьев в 1902 г. (4,6 мм), у 150-летней группы в 1903 г. (4,4 мм) и у 115-летних в 1910 г. (3,9 мм).

1902–1910 гг. характеризуются повышенной увлажненностью: в среднем за год выпадало 775 мм осадков (за вегетационный период 411 мм, за безлиственный 364 мм) с рекордным количеством в 1906 гидрологическом году (1097 мм, в календарном году 1115 мм), что, видимо, послужило наиболее благоприятным экологическим фактором для сосны на автоморфных почвах с кварцевыми песками. Температурные условия были на 0,2 °С холоднее средних многолетних. Несмотря на «взрывной» характер, его максимальное проявление не превысило значений радиального прироста для насаждений сосны этого типа на эдафотопях атмосферного увлажнения в других регионах Беларуси [3].

Максимально возможный радиальный прирост отрицательно связан с предшествующим значением: дерево с небольшим приростом при улучшении условий увеличивает его во много раз, в то время как дерево с большим приростом не имеет такой возможности [114]. Резкое усиление радиального прироста деревьев в экологическом оптимуме происходит из-за улучшения условий, связанных с гибелью соседних деревьев [115; 116]. «Взрывы роста» могут вызываться восстановительными и возрастными сменами, а также явлениями возрастного развития самих древостоев [117]. Подобного скачка в радиальном приросте сосны в других эдафотопях на территории Беларуси не обнаружено [3], однако они не исключаются.

Очевидно, что в онтогенезе сосны на кварцевых песках главенствующее значение принадлежит условиям влагообеспеченности. Только обильные осадки в состоянии заметно увеличить содержание влаги в них, отсутствие которых вызывало общее угнетение древостоя. Выход из относительно холодного климата с продолжительной засухой в оптимальные гидротермические условия – основная причина многократного увеличения радиального прироста сосны на почвах с кварцевопесчаным литологическим профилем. При этом не исключается гибель отдельных угнетенных деревьев в неблагоприятных условиях или их частичная вырубка.

Нельзя исключать вероятное изменение увлажненности почвы на кварцевых песках в результате снижения зоны капиллярного поднятия грунтовых вод после осушения сопредельных болот в XIX и XX вв. Сокращение осадков в неустойчиво влажную климатическую эпоху, на-

ступившую после 1940 г., обострило дефицит влаги, определив невысокую стволовую продуктивность сосны независимо от температурных условий. Низкие показатели ее были как при похолодании (до 1976 г.), так и при потеплении (после 1976 г.).

В многолетней изменчивости глубокое (до 0,1 мм) угнетение радиального прироста у сосняка черничного отмечено в 1884–1885 гг. после взрыва вулкана Кракатау в 1883 г. (у старейшего 155-летнего дерева). Безлиственный период холодного 1884 г. ($-5,3^{\circ}\text{C}$) был одним из самых морозных ($-2,8^{\circ}\text{C}$) за историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи. Угнетение древостоя у 135-летней группы деревьев в пятилетие после 1906 г. вызвано продолжительным переувлажнением эдафотопы с приповерхностным залеганием грунтовых вод.

Депрессия прироста в холодное начало 1940-х гг. выражена более четко, чем у сосняка мшистого. В условиях влажной климатической эпохи изменчивость радиального прироста в этом биогеоценозе была более контрастной, чем у сосняка мшистого. Наибольшая стволовая продуктивность возникла в 1950-е гг., сокращаясь к концу XX в. с малоамплитудными подъемами и падениями. Коэффициент чувствительности сосны к климатическим факторам (табл. 3.16) был наибольшим до 1905 г. (для одиночных деревьев он и стандартное отклонение не определялись).

Чувствительность сосняка мшистого с наименьшими значениями в условиях влажного климата 1905–1940 гг. незначительно увеличилась при сокращении осадков с наступлением неустойчиво влажной климатической эпохи. Дисперсия (стандартное отклонение σ) индексного прироста в выделенных временных отрезках с различающейся климатической ситуацией изменялась мало. Только у сосняка черничного эти показатели реакции на изменчивость климатических условий увеличились при потеплении после 1976 г.

Таблица 3.16

**Чувствительность сосны к климатическим факторам
и стандартное отклонение ее индексного прироста**

Тип леса	Возраст, лет	Коэффициент чувствительности				Стандартное отклонение (σ)			
		до 1905 г.	1906–1940 гг.	1941–1976 гг.	после 1976 г.	до 1905 г.	1906–1940 гг.	1941–1976 гг.	после 1976 г.
Сосняк мшистый	150	0,38	0,18	0,33	0,25	15,2	12,1	14,5	12,9
	115	–	0,21	0,24	0,16	–	8,9	11,9	7,4
	75	–	–	0,26	0,25	–	–	10,7	12,4
Сосняк черничный	135	0,41	0,24	0,18	0,28	21,4	10,8	7,5	12,6
	100	–	0,17	0,26	0,28	–	8,1	10,2	16,3

Нельзя отрицать пополнения грунтовых вод атмосферными осадками и их влияния на увлажненность корнеобитаемого горизонта. Однако плотный иллювиально-гумусово-железистый слой не проницаем для корней сосны, почти вся масса которых сосредоточена в верхнем иллювиально-гумусовом горизонте (рис. 3.13) [42].

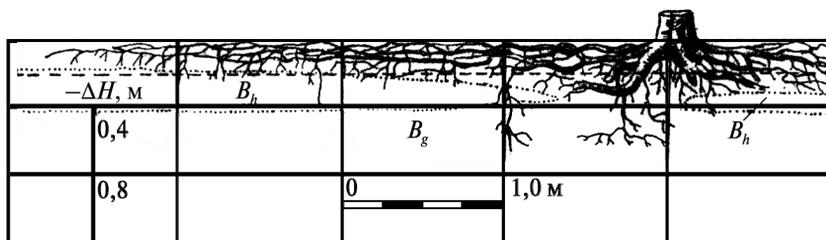


Рис. 3.13. Строение корневой системы сосны в сосняке черничном на иллювиально-гумусово-железистом подзоле:

B_h – иллювиально-гумусово-железистый горизонт;

B_g – иллювиальный глееватый горизонт [75]

Для нарастания стволовой массы большое значение имеет минеральное, особенно азотное, питание древесных растений. После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, увеличение годовичного прироста может происходить за счет вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание. Потребность в нем возросла с потеплением климата.

Как известно, главный источник питания растений – аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации микроорганизмами свежего органического вещества. В минеральном питании растений особое значение принадлежит азоту – важнейшему элементу, контролирующему фотосинтез [118].

В частности, азотные удобрения в зависимости от климатических факторов увеличивают у деревьев интенсивность деятельности камбия, а также способствуют удлинению периода его активности, в результате чего у удобренных деревьев в течение вегетационного периода формируются более широкие годовичные кольца по сравнению с контролем [97].

Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, в которой четко выражена сезонная динамика их численности и биомассы [108]. В исследованном сосняке черничном, как отмечалось, мощность подстилки составляет 8–12 см. Изменение жизненного состояния сосны,

очевидно, вызвано сезонной динамикой микробиологической активности почвы в череде возникших при потеплении климата зим с мало-снежным покровом или без него [100].

Корреляционный анализ указал на значение рассеянной радиации в динамике радиального прироста сосны, у которой перегрев хвои маловероятен как у светолюбивого растения. Продукционный процесс контролируется именно этой радиацией [108]. В динамике лучистой энергии не возникает дефицита ФАР, так как все выявленные ее отклонения находятся выше порога светового насыщения (см. раздел 2.1).

Фактический радиальный прирост в сосняке мшистом положительно коррелировал с рассеянной радиацией как в текущем году, так и в последующем, а не с прямой (табл. 3.17). К тому же сосна – ксерофит, и ее эватраспирационный расход при малой влагонасыщенности почвы с повышением температуры, вызываемой прямой радиацией, мало изменяется. В экстремальных условиях (в нашем случае сосна на автоморфной слабразвитой кварцево-песчаной почве) порог насыщения рассеянной ФАР может исчезать [104].

В сосняке черничном такой зависимости прироста от этой ФАР не возникало: обеспеченность водно-минеральными ресурсами почвы значительно лучше, чем у сосняка мшистого, коэффициенты корреляции ее радиального прироста с прямой ФАР больше (реальная возможность использовать влагу трихогоризонта).

Таблица 3.17

Коэффициенты корреляции радиального (мм) прироста сосны с ФАР после 1955 г.

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР		
		прямой	рассеянной	суммарной
Сосняк мшистый				
150	Май – июнь	–18	36	–01
	Вегетационный	–13	35	04
115	Май – июнь	12	30	11
	Вегетационный	16	37	12
75	Май – июнь	05	36	–01
	Вегетационный	–05	35	04
Сосняк черничный				
135	Май – июнь	24	10	24
	Вегетационный	27	06	29
100	Май – июнь	25	04	23
	Вегетационный	24	11	20

Фактический прирост сосняка черничного в отличие от сосняка мшистого положительно статистически значимо коррелировал с температурой воздуха и осадками безлиственного периода в текущем и следующем годах и, как следствие, гидрологического года в целом (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Коэффициенты корреляции радиального (мм) прироста сосны с температурой воздуха и осадками в текущем и следующем годах при потеплении климата после 1976 г.

Возраст, лет	Период	с t °С		с осадками	
		текущий r = 0,...	следующий r = 0,...	текущий r = 0,...	следующий r = 0,...
Сосняк мшистый					
150	Безлиственный	05	13	-03	-06
	Май – июнь	-11	13	05	-06
	Вегетационный	-27	-07	05	-05
	Год	-06	07	-12	-08
115	Безлиственный	04	-02	20	11
	Май – июнь	-13	04	-21	-23
	Вегетационный	-02	04	-24	-31
	Год	-01	-03	-09	22
75	Безлиственный	18	31	19	02
	Май – июнь	-08	00	-06	-18
	Вегетационный	-13	04	04	-21
	Год	10	26	15	-18
Сосняк черничный					
135	Безлиственный	36	39	60	41
	Май – июнь	-24	-07	-25	-39
	Вегетационный	12	24	-22	-41
	Год	34	41	19	-11
100	Безлиственный	56	50	47	38
	Май – июнь	-34	-17	-25	-11
	Вегетационный	-16	22	-10	-37
	Год	43	50	34	21

Такую двухлетнюю реакцию сосны на изменение этого климатического фактора выявил А. И. Русаленко [12], привлекая ее индексный прирост, что, видимо, связано с двухлетней продолжительностью жизни хвои, которая опадает на третий год. Причем увеличение осадков в месяцы активного роста и в вегетационный период оказывало негативное влияние на ее стволовую продуктивность в полугидроморфном эдафотопе (возможно подтопление корневой системы или переувлажнение верхней части почвы над иллювиально-гумусово-железистым горизонтом).

Положительная реакция сосны на температуру безлиственного периода при потеплении климата указывает на возросшее значение этого периода для состояния и продуктивности лесных биогеоценозов черничного типа как на Полесье, так и на остальной территории Беларуси [3]. Как отмечалось, такая же прямая зависимость прироста от этих метеофакторов возникала и у ели в «островных» локалитетах с иллювиально-гумусово-железистым подзолом. На автоморфных слабообразованных почвах с кварцевыми песками только обильные осадки в течение нескольких лет вызывали возмущения в дендрометрических рядах.

Изучение изменчивости радиального прироста сосны на почвах с литологическим профилем из кварцевых песков и с ограниченным набором лимитирующих экологических факторов показало, что биопродукционный процесс в ее насаждениях контролируется климатическими условиями даже при слабом водно-минеральном питании.

Региональные эдафические особенности Белорусского Полесья, заключающиеся в преобладании почв с кварцево-песчаным литологическим сложением, отразились в реакции сосны — основной лесообразующей породы в этом регионе — на динамику погодно-климатических условий. Локальные различия (соседство автоморфных и полугидроморфных почв) определили различия в связи ее радиального прироста с климатическими факторами.

Изменение климата в XX в. (от влажного к неустойчиво влажному, от похолодания к потеплению) слабо отразилось в общем ходе многолетней изменчивости угнетенного радиального прироста у сосняка мшистого на автоморфной почве, хотя и вызывало возмущения в дендрохронологиях. Максимальное угнетение его отмечено при завершении малой ледниковой эпохи.

Температурные условия и осадки безлиственного периода приобрели важнейшее значение для стволовой продуктивности сосняка черничного на полугидроморфном иллювиально-гумусово-железистом подзоле при потеплении климата после 1976 г. с участвовавшими малооснежными зимами.

Насаждения сосны на почвах с кварцево-песчаным литологическим сложением после осушительной мелиорации будут находиться в постоянном угнетении при альтернативных сценариях дальнейшего изменения климата (потепления или похолодания). При вероятности сокращения осадков не исключена их полная деградация при смене поколений леса путем искусственного возобновления в изменившихся гидрогеологических условиях после крупномасштабной осушительной мелиорации.

Если учесть исключительную экологическую роль сосны и участие в формировании ландшафта такого своеобразного региона, как Полесье, становится ясным, насколько важно определить ее поведение в изменяющихся погодно-климатических условиях при постоянно глубоко залегании грунтовых вод без осушительной мелиорации.

Для исследования привлечены насаждения сосны, влияние осушительной мелиорации на экотопы которых исключается полностью, — в лесопарке Мозыря на Мозырской гряде, в урочищах «Воротень» и «Рогачевка» [62]. Урочище «Воротень» в Светлогорском лесхозе представляет собой эрозийный, округлый, «островной» останец второй надпойменной террасы среди поймы Березины. Само насаждение занимает овальное понижение с относительной глубиной 0,5–1,0 м и поперечником до 300 м.

Урочище «Рогачевка» в Октябрьском лесхозе, также на второй надпойменной террасе, круто обрывается к пойме Птичи, возвышаясь над ней на 5–7 м. Дерново-подзолистая почва в лесопарке Мозыря развита на лессовидных суглинках, в «Воротене» и «Рогачевке» — на рыхлых кварцевых песках. Тип леса — сосняк мшистый, за исключением насаждения на Мозырской гряде, в напочвенном покрове которого преобладают злаки. Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буром на высоте 1,3 м в мае 2006 г.

Для дендроклиматического анализа многолетний ход изменчивости возрастных индексов радиального прироста разбивался на временные отрезки, отвечающие существованию в климате региона за период инструментальных наблюдений двух эпох (до и после 1940 г.): влажной и неустойчиво влажной с фазами (до и после 1976 г.) похолодания и потепления. Сведения о тестированных возрастных группах деревьев приведены в табл. 3.19. Многолетний ход изменчивости фактического (мм) и индексного (%) радиального прироста возрастных групп сосны представлен на рис. 3.14 [62].

Все возрастные группы сосны пережили глубокую депрессию в 1943 г. после аномально холодных предыдущих трех зим. После этого угнетения общее падение стволовой продуктивности продолжалось.

Чувствительность сосны на всем протяжении роста и развития насаждений оставалась низкой с небольшими вариациями. При наступлении неустойчиво влажной климатической эпохи у возрастных групп в Мозыре и «Воротене» она незначительно возросла, в «Рогачевке» — уменьшилась. Соответственно, дисперсия возрастных индексов, усиливающих климатический сигнал в радиальном приросте, в Мозыре и «Воротене» заметно увеличилась, в «Рогачевке» оставалась неизменной (у 120-летней группы) или сократилась (у 90-летних сосен особенно при потеплении климата).

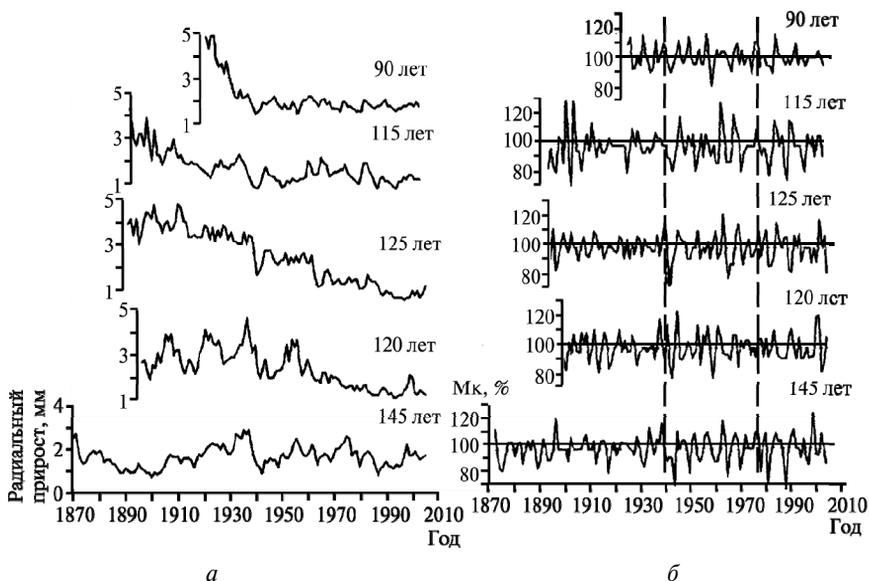


Рис. 3.14. Многолетний ход изменчивости фактического (а) и индексного (б) прироста возрастных групп сосны [62]

Таблица 3.19

**Сведения о возрастных группах сосны
на полигонах в Мозыре, «Воротень» и «Рогачевка»**

Полигон	Возраст, лет	n	H	D	Кч			σ		
					до 1939 г.	в 1940–1976 гг.	в 1977–2000 гг.	до 1939 г.	в 1940–1976 гг.	в 1977–2000 гг.
Мозырь	145	16	24	36	0,19	0,22	0,24	7,5	10,5	12,4
	115	10	22	28	0,21	0,24	0,20	8,2	10,3	9,1
«Воротень»	125	14	24	30	0,18	0,22	0,22	6,8	10,4	10,6
«Рогачевка»	120	12	26	28	0,29	0,22	0,22	10,9	10,9	10,9
	90	18	24	26	0,22	0,17	0,11	8,8	7,7	5,5

Примечание: n – количество деревьев; H – средняя высота, м; D – средний диаметр, см; Кч – коэффициент чувствительности; σ – стандартное отклонение в возрастных индексах радиального прироста.

У насаждений сосны на автоморфной почве трех тест-полигонов не возникало достоверной связи текущего прироста с ФАР за месяцы вегетационного периода, за исключением 125-летней серии на овальном микропонижении в «Воротене» (табл. 3.20).

Таблица 3.20

**Коэффициенты корреляции радиального (мм) прироста сосны на
полигонах в Мозыре, «Воротень» и «Рогачевка» с ФАР**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР					
		прямой		рассеянной		суммарной	
		1955– 1976 гг.	после 1976 г.	1955– 1976 гг.	после 1976 г.	1955– 1976 гг.	после 1976 г.
Мозырь							
145	Май – июнь	–22	36	–07	00	–26	35
	Вегетационный	–23	19	–15	04	–30	25
115	Май – июнь	12	26	03	21	14	27
	Вегетационный	–05	–01	–24	31	22	12
«Воротень»							
125	Май – июнь	03	04	–12	48	–04	24
	Вегетационный	–14	–06	–32	63	–35	14
«Рогачевка»							
120	Май – июнь	15	–01	–01	30	15	17
	Вегетационный	11	14	26	30	28	29
90	Май – июнь	02	–16	–23	03	–11	–08
	Вегетационный	16	–06	–20	01	–01	–03

У сосны на трех тест-полигонах в изменяющихся климатических условиях обнаружено общее свойство, заключающееся в статистически значимой зависимости индексного прироста от температуры безлиственного (октябрь – апрель), а не вегетационного (май – сентябрь) периода и месяцев активного роста (май – июнь) за весь период роста и развития насаждений (табл. 3.21, при $n > 100$). Только у 115-летней группы в Мозыре такая же связь существовала между индексным приростом и температурой месяцев активного роста, а у сосен в «Воротене» отсутствовала. Подобная зависимость обнаружена у сосняков мшистых и в других регионах Беларуси [100]. Однако картина данной связи оказывается неполной без учета изменения климатических условий формирования древесной массы.

Изменение климата отразилось в связи индексов прироста сосны с температурным фактором. Для влажного климата (до 1940 г.) и при похолодании (1940–1976 гг.) зависимости этого показателя стволовой продуктивности от температуры воздуха не выявлено. Только при потеплении (после 1976 г.) она проявилась наиболее четко: коэффициенты корреляции приобрели статистическую значимость.

Таблица 3.21

**Коэффициенты корреляции индексов радиального (мм)
прироста сосны с температурой воздуха и осадками**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		с $t^{\circ}\text{C}$				с осадками			
		за все время	до 1940 г.	в 1940–1976 г.	после 1976 г.	за все время	до 1940 г.	в 1940–1976 г.	после 1976 г.
Мозырь									
145	Год	25	10	23	51	08	24	03	05
	Вегетационный	09	–08	21	27	–11	01	–21	–17
	Май – июнь	01	–13	08	16	–03	08	–12	–10
	Безлиственный	29	14	31	49	25	16	30	37
115	Год	17	17	11	43	–02	11	–15	–18
	Вегетационный	11	23	02	31	–11	06	–17	–21
	Май – июнь	27	48	10	18	–27	–18	–17	–47
	Безлиственный	16	13	02	40	10	11	–04	31
«Воротень»									
125	Год	06	–15	18	– 43	–10	05	–06	– 49
	Вегетационный	–06	–15	04	–07	–18	–06	–12	– 48
	Май – июнь	00	–04	00	06	–06	16	–03	–37
	Безлиственный	–14	–07	30	– 44	06	14	04	–05
«Рогачевка»									
120	Год	32	02	55	49	02	21	30	–04
	Вегетационный	11	12	00	33	–02	–14	12	–04
	Май – июнь	08	–02	16	18	08	–03	21	10
	Безлиственный	24	02	38	40	06	26	39	10
90	Год	28	28	32	38	15	40	06	38
	Вегетационный	06	06	17	23	04	22	–14	23
	Май – июнь	03	18	11	–03	01	–16	12	–03
	Безлиственный	28	28	25	43	12	28	26	33

Вопреки широко распространенному представлению осадки оказались неведущим положительным фактором для стволовой продуктивности сосны в условиях неустойчивого увлажнения. Более того, прослежена отрицательная связь индексов прироста у сосны в «Воротене» с осадками вегетационного периода и года в целом. Вероятно, эта связь привела к обратной зависимости индексов прироста от температуры безлиственного периода. Причина данного исключения, скорее всего, заключена в экотопических особенностях «островного» насаждения в пойме Березины (микроронжение).

В слабой интенсивности воздействия климатических факторов на радиальный прирост сосны на автоморфных почвах Белорусского Полесья отразились региональные и локальные условия нахождения тест-полигонов: геоморфолого-литологические и эдафо-гидрологические. При неустойчивой связи продуктивности сосны с метеофакторами отмечены только некоторые региональные особенности ее реакции на изменчивость температуры воздуха и осадков.

Приобретенная при потеплении климата статистически значимая зависимость возрастных индексов радиального прироста от температуры безлиственного, а не вегетационного периода на исследованных тест-полигонах позволяют рассматривать ее как общую закономерность, свойственную не только сосне на почвах с кварцево-песчаным литологическим профилем, но и ели в «островных» локалитетах при глубоком залегании грунтовых вод.

Применительно к насаждениям сосны на почвах с кварцевыми песками повышение температуры безлиственного периода при потеплении климата будет вызывать их угнетение и, не исключено, гибель. В данном случае существуют ограничения по использованию лесных ресурсов в народном хозяйстве независимо от мелиоративных работ.

3.5. Сравнительный анализ радиального прироста сосны и дуба при естественном режиме грунтовых вод в изменяющихся климатических условиях Белорусского Полесья

До крупномасштабной осушительной мелиорации ландшафты Белорусского Полесья находились на капиллярно-гидроморфной стадии развития [6]. После осушительной мелиорации песчаные гидроморфные почвы оказались с измененным водным режимом в результате по-

нижения грунтовых вод и, следовательно, зоны увлажнения при их капиллярном поднятии. Современные лесные сообщества после смены поколений образующих их древесных пород развиваются уже в новых условиях увлажнения, ведущее участие в котором принадлежит атмосферным осадкам, а не приповерхностным грунтовым водам.

Естественно, возникает вопрос: как бы они развивались, если бы сохранился их естественный, не нарушенный осушительной мелиорацией, водный режим? Ответ на него можно получить, исследуя динамику радиального прироста основной лесообразующей породы на Полесье — сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) — в местонахождениях, которые не испытывали влияния водно-земельной мелиорации за последние два столетия, начиная с осушения болот Западной экспедицией И. И. Жилинского в 1873—1898 гг. «Сплошное осушение» в последней четверти XIX в. продолжилось повсеместным вовлечением в интенсивное сельскохозяйственное производство болот и заболоченных земель во второй половине XX в.

Исследование лесных экосистем на территориях, не подвергшихся интенсивному антропогенному воздействию, позволяет получить информацию о естественном развитии природной среды на Полесье без крупномасштабной осушительной мелиорации. Сложность подобной задачи заключается в том, что сейчас невозможно представить, как развивалась бы природа этого региона в естественной динамике.

Сравнение современных физико-географических реалий с реконструированными способствовало бы более осмотрительному использованию его природных, в первую очередь лесных и земельных, ресурсов. Для решения этой задачи следует получить исходный материал, позволяющий выполнить реконструкцию. Изменение линейного (по диаметру) прироста основной лесообразующей породы на Полесье — сосны, — являющегося индикатором ежегодных условий его формирования, необходимо.

Кроме изменчивости климатических факторов в нем могут содержаться сигналы о цикличности природных процессов. Здесь важно получить надежные древесно-кольцевые хронологии, как можно более продолжительные по времени. Сплошные рубки в XIX и XX вв. не оставили, за редким исключением, великовозрастных насаждений, необходимых для достижения этой цели.

Массовый дендрохронологический материал продолжительностью до 200 лет и более может быть получен именно на территориях, где заготовка древесины не представляла практического интереса и не выполнялись осушительная мелиорация и культуртехнические работы для сельского хозяйства. Обязательное условие при этом — неглубокое за-

легание грунтовых вод, оказывающих непосредственное влияние на состояние и продуктивность лесных насаждений.

Изучение экологических последствий водно-земельных мелиораций, призванное обеспечить принятие решений по перспективному природопользованию, предполагает исследование естественной динамики природной среды за два последних столетия, в течение которых Полесье превратилось в экологически напряженный регион.

Естественная динамика природной среды определяется в основном изменением климатических условий. Наиболее универсальные признаки ее состояния – индивидуальный радиальный прирост отдельных деревьев и средний прирост древостоя в биогеоценозе.

Влияние климатических прямо действующих факторов не будет осложнено (усилено или ослаблено) на тех лесных территориях, где не выполнялась осушительная мелиорация, не происходило изменения гидрологического режима в результате гидротехнического, автодорожного, трубопроводного или иного строительства и они не оказывались в зоне рассеивания техногенных поллютантов. Только при этих условиях многолетний ход радиального прироста будет отражать естественные изменения лесных биогеоценозов (и среды как единого целого) под влиянием климатических факторов.

Поиск великовозрастных насаждений или отдельных деревьев сосны, основной лесообразующей породы на Полесье, привел только к частичному успеху. Объект исследования – «болотный городок», находящийся в Круковском болоте (Светлогорский лесхоз, Ковчицкое лесничество, квартал № 53), предмет исследования – радиальный прирост крупномерных деревьев сосны на земляном валу этого «городка» [120].

На Круковском болоте, расположенном на междуречье Птичи и Березины, не проводилась осушительная мелиорация ни Западной экспедицией И. И. Жилинского в последней четверти XIX в., ни при крупномасштабных освоенческих работах во второй половине XX в. Ближайшие мелиорированные сельскохозяйственные земли находятся не ближе 5 км. Болото более чем на 30 км удалено от Бобруйска и Светлогорска.

«Городок» (поперечником 150 м, округлой формы) имеет земляной вал, возвышающийся над поверхностью окружающего болота на 1,5–4,0 м. Внутренняя территория «городка» состоит из двух функциональных зон. Одна из них, приподнятая на 1 м, в настоящее время с редкостойными деревьями дуба и других широколиственных пород, другая, пониженная, заросла ольхой на сырой торфянистой почве. Вал «городка» зарос лист-

венным мелколесьем и кустарником, над которым возвышаются крупномерные деревья сосны. Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буравом в ноябре 2010 г. на высоте 1,3 м. Среди апробированных деревьев: 8 – диаметром 62–68 см в возрасте 245 лет, 9 – диаметром 46–50 см в возрасте 130 лет и 9 – диаметром 42–50 см в возрасте 100 лет.

Таким образом, впервые удалось получить массовый материал для дендроклиматического анализа от сосны преклонного возраста, и главное – на территории, на которой нет активного антропогенного вмешательства в развитие природной среды. Современные поколения сосновых лесов Беларуси имеют непродолжительный срок жизни, что не позволяло получить длительные древесно-кольцевые хронологии. Многолетний ход изменчивости радиального прироста (мм) возрастных групп сосны представлен на рис. 3.15 и индексного прироста – на рис. 3.16.

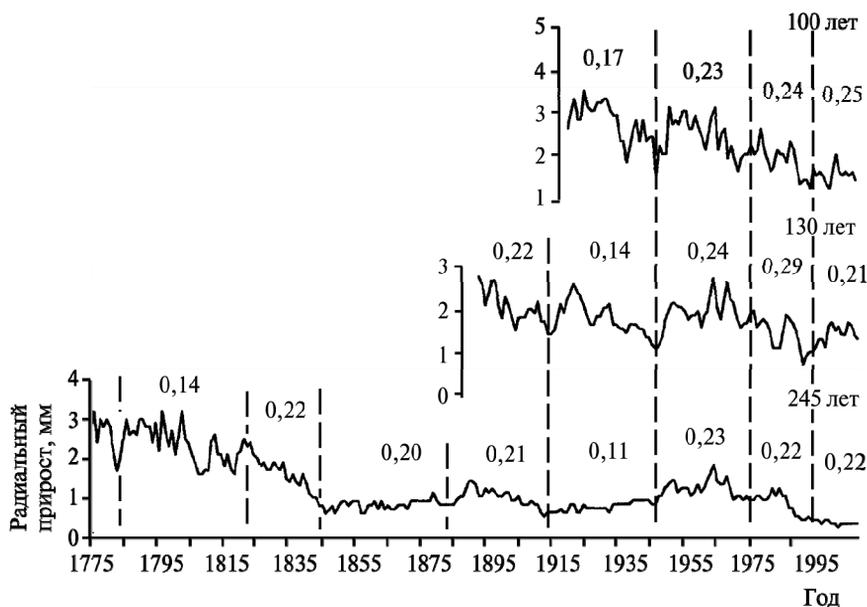


Рис. 3.15. Многолетний ход изменчивости фактического радиального прироста возрастных групп сосны на валу «болотного городка». Вертикальные штриховые линии разграничивают временные отрезки. 0,14, 0,22, ... – коэффициенты чувствительности возрастной группы во временных отрезках [120]

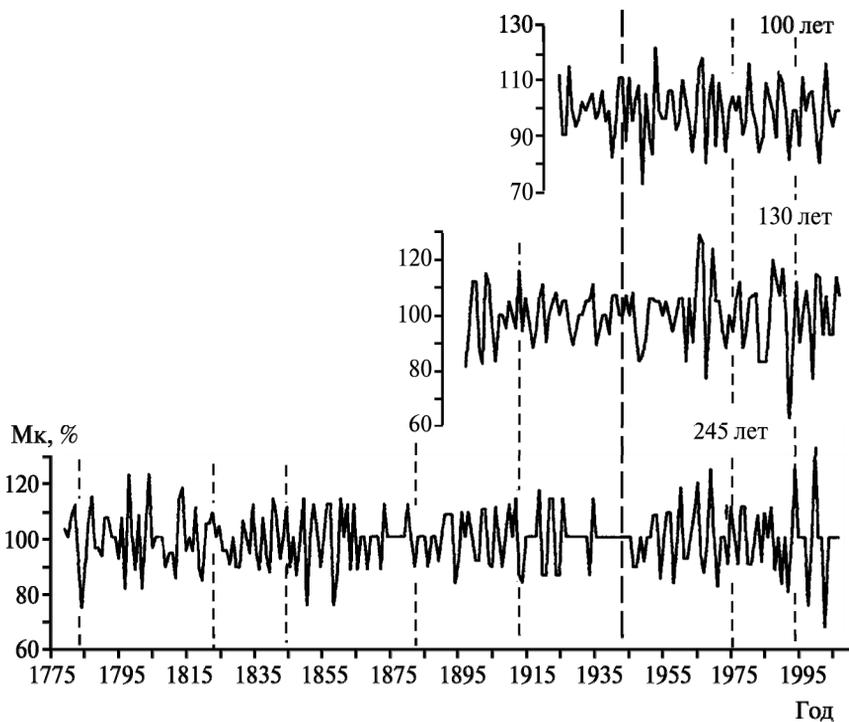


Рис. 3.16. Многолетний ход изменчивости индексового прироста возрастных групп сосны на валу «болотного городка». Вертикальные штриховые линии разграничивают временные отрезки (см. рис. 3.15) [120]

Полученные дендрохронологии характеризуются высоким межсерийным статистически значимым ($P > 0,01$ при $n = 90$) коэффициентом корреляции (для возрастов 245 и 130 лет — $r = 0,51$, 245 и 100 лет — $r = 0,42$, 130 и 100 лет — $r = 0,63$), что указывает на сходность реакции радиального прироста сосны «городка» на изменение климатических условий. Временной 245-летней ряд изменчивости радиального прироста поделен на следующие отрезки, отражающие переломные моменты в его ходе: до 1784 г., 1784–1820 гг., 1821–1845, 1846–1888, 1889–1914, 1915–1943, 1944–1976 и 1977–2010 гг. (см. рис. 3.15). Статистическая характеристика колец этих временных отрезков приведена в табл. 3.22.

Максимальный размер кольца во всей возрастной серии указывает на потенциальную возможность стволовой продуктивности сосны в данном

возрасте в реальных климатических условиях. Стандартное отклонение (σ) индексного прироста, в котором исключаются различия в величине фактического, обусловленные индивидуальными и возрастными особенностями деревьев, указывают на амплитуду его изменчивости.

Таблица 3.22

**Статистическая характеристика годичных колец
у древесно-кольцевых хронологий сосны на валу «болотного городка»**

Год	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
Возраст 245 лет					
1784–1820	0,14	2,4	3,3	0,46	11,0
1821–1845	0,22	1,7	5,0	0,42	8,6
1846–1883	0,20	0,8	1,5	0,10	9,7
1884–1914	0,21	1,0	1,7	0,22	9,9
1915–1942	0,11	0,7	1,2	0,09	8,1
1942–1976	0,23	1,2	2,7	0,23	10,8
1977–1994	0,22	0,8	3,1	0,25	9,8
1995–2010	0,22	0,3	0,9	0,07	16,2
Возраст 130 лет					
1893–1914	0,22	2,1	4,9	0,37	11,0
1915–1942	0,14	1,8	3,4	0,30	6,6
1942–1976	0,24	1,8	4,3	0,40	12,1
1977–1994	0,29	1,4	3,5	0,38	15,3
1995–2010	0,21	1,3	2,2	0,24	11,4
Возраст 100 лет					
1922–1942	0,17	2,9	5,2	0,46	8,6
1942–1976	0,23	2,5	4,9	0,44	11,7
1977–1994	0,24	2,0	4,5	0,32	9,7
1995–2010	0,25	1,6	4,8	0,20	9,3

Глубокая депрессия радиального прироста молодняка сосны в 1782–1784 гг. (с минимумом в 1873 г.) вызвана, по всей видимости, «великой» зимой 1780/81 г. и извержением исландского вулкана Лаки в 1783 г. [121]. За его извержением, крупнейшим геологическим событием за последнее тысячелетие, последовали сильнейшие холода и обильные осадки. К тому же «сухой» туман покрыл с 24 мая по 8 октября территорию Евразии до Алтая [121]. Угнетающее влияние на радиальный прирост сосны этого извержения подтверждено и исторической дендрохронологией [3].

Следующая глубокая депрессия прироста случилась в 1808–1811 гг., которые характеризуются необычайно холодными зимами и летними

засухами [121]. За ней последовало угнетение древостоя после крупнейшего за историческое время извержения вулкана Майона в 1814 г. и взрыва Тамборы в 1815 г. В климатических условиях окончания «малого ледникового периода» чувствительность сосны к погодичной изменчивости была крайне низкой ($Kч = 0,14$).

Возрастное снижение радиального прироста завершилось к 1845 г. с возникновением продолжительной (35-летней) депрессии до начала 1880-х гг. Очевидно, погодно-климатические условия для сосны стали более благоприятными: сократилась частота появления холодных зим и уменьшились осадки. Весна и лето стали теплее. Чувствительность этой древесной породы к изменившимся условиям возросла, но по-прежнему оставалась низкой ($Kч = 0,22$). Особенно низкой ($Kч = 0,11$) она была во влажную, температурно относительно устойчивую климатическую эпоху с малой амплитудой изменчивости годичной температуры в 1915–1940 гг.

В онтогенезе сосен 245-летнего возраста после 1883 г. возникли две волны радиального прироста: в 1884–1914 гг. и в начале 1940-х гг. Первая волна появилась после извержения вулкана Кракатау в 1883 г., известного своими масштабными последствиями. Она отмечена также в длительных дендрохронологиях и насаждениях сосны в средней полосе Беларуси [3].

Вторая волна с двумя разновысокими гребнями возникла после аномально холодных 1940–1942 гг. Как отмечалось, за время ее существования произошла серия крупных вулканических извержений: Геклы (1947–1948 гг.), Ламингтона (взрыв с палящей тучей в 1951 г.), Безымянного (взрыв в 1956 г.), Асамы (взрывы в 1958 и 1961 гг.), Тристана (1961–1962 гг.), Агунга (1963 г.), Ареналя (огромная палящая туча в 1980 г.), Святой Елены (грандиозное извержение в 1980 г.), Эль-Чичона (1982 г.), Пинатубо (1991 г.) и др.

Угнетение радиального прироста у 130-летнего поколения сосен в начале отсчета дендрокольцевой хронологии связано с неблагоприятными погодно-климатическими условиями. Среди них – самый холодный ($12,3^{\circ}\text{C}$) за всю историю метеонаблюдений на метеостанции Василевичи вегетационный период в сыром (828 мм) 1914 г. К тому же в 1906 г. выпало рекордное количество осадков (1097 мм в пересчете на гидрологический год, начало которого 1 октября), что привело к затоплению обширных пространств на Полесье [87].

Наименьшая чувствительность ($Kч = 0,14$) этой 130-летней группы сосен также приурочена к влажной климатической эпохе в первой половине XX в. Глубокая депрессия прироста по окончании этой эпохи вызвана самыми холодными в XX в. 1940–1942 гг. Однако возрастное сни-

жение стволовой продуктивности оказалось слабовыраженным. Начиная с середины 1940-х гг. в дендрокольцевой хронологии возникла волна, как у 245-летнего поколения. Депрессия прироста в 1983–1986 гг. наступала после извержения вулканов Святой Елены (1980 г.) и Эль-Чичона (1982 г.) и в 1993 г. после извержения Пинатубо (1991 г.).

Подобный ход изменчивости радиального прироста свойственен и 100-летнему поколению деревьев. Как и в остальных, более великовозрастных, дендрохронологиях, в ней зафиксирована низкая чувствительность сосны к изменчивости климатических факторов.

Анализ корреляций индексного прироста трех возрастных групп деревьев за время инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи, начиная с 1870 г., показал, что статистически значимой его зависимости от метеофакторов (температуры воздуха и осадков) не существовало: коэффициенты корреляции оказались в пределах двух стандартных ошибок как за гидрологический год, так и за месяцы активного роста древесных растений (май и июнь), вегетационный и безлиственный периоды (табл. 3.23). Этот вывод отвечает низкой чувстви-

Таблица 3.23

Коэффициенты корреляции индексного прироста сосны на «болотном городке» с температурой воздуха и осадками

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		с t °С	с осадками	с t °С	с осадками	с t °С	с осадками	с t °С	с осадками
		1889–1914 гг.		1915–1940 гг.		1941–1976 гг.		1977–2010 гг.	
245	Май – июнь	31	–03	–29	20	–16	20	12	03
	Вегетационный	19	25	–33	33	–24	22	16	–21
	Безлиственный	–08	19	–14	20	–27	01	06	–30
	Год	00	32	–24	41	–12	22	11	–38
130	Май – июнь	–26	22	–06	–26	12	00	–05	08
	Вегетационный	–45	33	02	–12	38	–18	27	–13
	Безлиственный	03	–16	00	–11	–18	36	36	08
	Год	–12	12	–01	–19	04	09	40	–06
100	Май – июнь	–	–	03	26	19	24	–19	–21
	Вегетационный	–	–	14	12	35	21	–16	–26
	Безлиственный	–	–	–07	–01	–06	53	16	24
	Год	–	–	–01	15	08	07	07	13

тельности сосны к изменчивости этих метеоусловий. Следовательно, ими невозможно объяснить появление волн радиального прироста и активизацию стволовой продуктивности сосны в преклонном возрасте.

В лесной экологии существует проблема выделения того или иного фактора в состоянии и продуктивности насаждения. Поиск фактора в нашем случае сужается. Прежде всего в климатических условиях Полесья изменчивость метеоусловий не следует рассматривать в качестве лимитирующей. Естественно, отпадают такие факторы, как изменение уровня режима грунтовых вод (как указывалось, мелиоративные работы здесь не выполнялись), техногенное загрязнение среды, внутривидовые конкурентные отношения и генетическая природа разновозрастного древостоя.

Радиальный прирост – явление биологического порядка – представляет результат сложных физиологических процессов, обусловленных множеством экологических факторов. Нарастание древесной массы – результат фотосинтеза, обеспеченного лучистой энергией Солнца. Корреляционный анализ указал на значение рассеянной ФАР для текущей изменчивости стволовой массы сосны (табл. 3.24), а не температуры и осадков при неизменности водного питания насаждения (отсутствии мелиоративных работ).

Естественный ход радиального прироста сосны был также исследован в ее насаждении, занимающем изолированный «остров» (слабовыраженное овальное повышение поперечником до 150 м) среди верховых и переходных болот на междуречье Березины и Птичи в западной части Светлогорского лесхоза под общим названием «Круковское болото» [122].

Таблица 3.24

Коэффициенты корреляции радиального прироста сосны на «болотном городке» с ФАР за 1954–2006 гг.

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции ($r=0, \dots$) с ФАР		
		прямой	рассеянной	суммарной
245	Май – июнь	06	46	22
	Вегетационный	12	63	40
130	Май – июнь	12	21	17
	Вегетационный	19	41	37
100	Май – июнь	12	31	20
	Вегетационный	10	40	26

Тип леса — сосняк черничный с участием в зависимости от микро-рельефа папоротника-орляка (на относительных незначительных повышениях) и багульника болотного (по микропонижениям и окраине «острова»). Будучи удаленным от лесных массивов и расположенным среди болота, древостой не был подвержен сплошным и санитарным рубкам и рубкам ухода.

Насаждение возникло и развивалось при естественном, не измененном осушением болота, увлажнении. Майский уровень грунтовых вод в засушливый год начала исследования (2011) находился у поверхности (в микропонижениях с участием багульника) или на глубине 35 см (на микроповышениях с орляком). К осени грунтовые воды понизились на глубину 60 и 95 см соответственно.

Почва дерново-подзолисто-глеявая со следующими горизонтами: A_0 (0–12 см, подстилка), A_1A_2 (до глубины 25–30 см, песок мелкозернистый, темно-серый до черного с белесой присыпкой), A_2 (до глубины 32–48 см, песок мелкозернистый серовато-белесый), B_{1g} (до глубины 120 см, песок мелкозернистый, рыхлый, серовато-буроватый с сизоватыми и охристыми пятнами, оплывает).

Образцы древесины (керны) всех крупномерных сосен, растущих на «острове», отобраны в январе 2012 г. возрастным буравом на высоте 1,3 м со всех стволов, не имеющих физических повреждений и дефектов роста. Сведения о тестируемых деревьях, имеющих сравнительно одинаковый диаметр ствола, приведены в табл. 3.25.

Двухвековой ход изменчивости фактического (мм) радиального прироста представлен на рис. 3.17, индексного (%), определенного с применением пятилетнего скользящего сглаживания, — на рис. 3.18. Синхронность хода изменчивости радиального прироста была свойственна всем трем возрастным группам деревьев. Межсерийный коэффициент корреляции для 220- и 130-летних поколений составил 0,54, для 130- и 110-летних — 0,63, наибольшее значение (0,70) он имел для 220- и 110-летних поколений.

Таблица 3.25

Сведения о тестируемых деревьях

Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
220	9	40–54	26–32
130	7	42–50	26–32
110	9	36–50	22–28

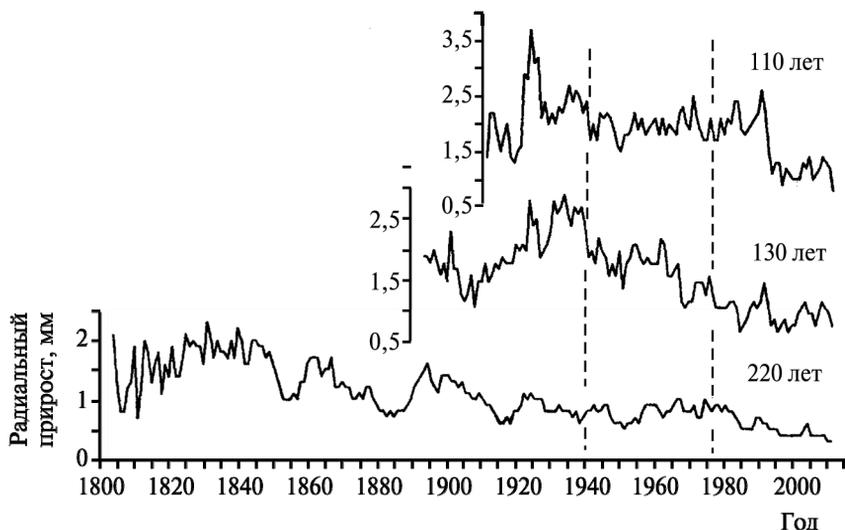


Рис. 3.17. Двухвековой ход изменчивости фактического радиального прироста возрастных групп сосны на «острове» среди Круковского болота. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг. [122]

Результаты анализа локальной древесно-кольцевой хронологии 220-летнего поколения сосен указывают на циклический характер изменчивости ширины годичных колец. В его двухвековом ходе выделяется 30–35-летний цикл, ограниченный минимумами радиального прироста в 1852, 1882, 1917, 1952 и 1985 гг. Наибольшая стволовая продуктивность сосны была до 1852 г., достигнув максимальных значений в 1825–1845 гг. С возрастом насаждения высота цикла и амплитуда изменчивости радиального прироста уменьшались, его потенциал (максимальная ширина годичного кольца) сокращался (табл. 3.26).

Начало XIX в. характеризовалось крайне неустойчивой погодно-климатической обстановкой: небывалыми летними засухами, наводнениями и необычайно суровыми зимами. После засухи 1808 г. и летней жары 1812 г., сопровождавшимися на Полесье практически повсеместными лесными пожарами, наступили необычайно морозные зимы. К наиболее значительным относится засуха 1839 г. Угнетение сосны на низком «острове» среди Круковского болота началось после катастрофического наводнения 1845 г.

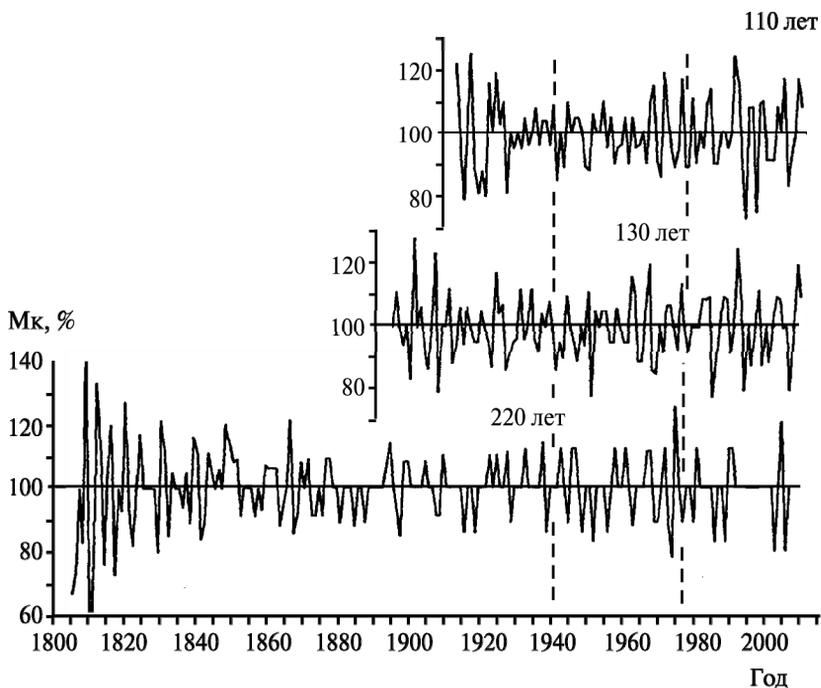


Рис. 3.18. Двухвековой ход изменчивости индексного прироста возрастных групп сосны на «острове» среди Круковского болота [122]

Таблица 3.26

Статистическая характеристика годичных колец у древеснокольцевых хронологий сосны на «острове» в Круковском болоте

Год	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
Возраст 220 лет					
До 1852	0,32	1,6	6,1	0,38	18,5
1853–1882	0,18	1,2	5,8	0,28	7,8
1883–1917	0,17	1,1	3,2	0,22	6,5
1918–1952	0,19	0,8	3,2	0,13	7,8
1953–1985	0,19	0,8	2,2	0,13	9,6
1986–2011	0,20	0,5	1,5	0,10	9,0

Год	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
Возраст 130 лет					
1890–1917	0,15	1,7	5,5	0,26	11,3
1918–1952	0,29	2,2	4,1	0,39	8,7
1953–1985	0,15	1,5	3,9	0,40	9,7
1986–2011	0,25	1,0	2,3	0,19	11,3
Возраст 110 лет					
1918–1952	0,25	2,2	6,5	0,52	9,5
1953–1985	0,21	2,0	3,5	0,21	9,6
1986–2011	0,24	1,4	3,0	0,47	13,1

Этот период ознаменовался несколькими значительными событиями геологического порядка, среди них: извержение вулкана Майон в 1814 г. с мощными выбросами пепла, самое крупное за историческое время извержение со взрывом Тамборы в 1815–1816 гг., извержение с выбросом рыхлых масс Галунгунга в 1822 г., крупнейшее в новейшей исторической эпохе со взрывом Касигуины в 1835 г.

Максимальный линейный прирост сосны в 1825–1845 гг. был свойственен не только ее насаждению на исследованном «острове», но и на верховых болотах Полесья: «Красная корчма» (Светлогорский лесхоз), Выгонощенском болотном массиве (Ганцевичский лесхоз), в квартале № 205 (Брестский лесхоз); в средней полосе Беларуси: «Дубовый лог» (Червенский лесхоз), «Прошицкое» (Крупский лесхоз) в Налибокской пуше; в Поозерье: болото «Мох» (Дисненский лесхоз) [3].

Сосняк мшистый на кварцевых песках (Светлогорский лесхоз) и сохранившиеся 190-летние сосны в парке имени 50-летия Октября (Минск) имели высокие показатели радиального прироста именно в эти годы. Высокая стволовая продуктивность этой древесной породы в начале XIX в. подтверждена и исторической дендроклиматологией [3]. Можно говорить об общей тенденции к высокой стволовой продуктивности сосны в начале XIX в. независимо от ее местонахождения.

Сосна, как известно, обладает широким диапазоном толерантности к температурному фактору. Эта толерантность не привела к угнетению радиального прироста при максимальном похолодании 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1593–1891 гг. [86]. В переувлажненных эдафотопях ее состояние и продуктивность определяются

изменениями в уровненом режиме безнапорных приповерхностных грунтовых вод, которые, в свою очередь, зависят от атмосферных осадков.

Следующая депрессия радиального прироста наступила после дождливых 1876–1879 гг., когда болота были переполнены водой, сенокосы и яровые затоплены [113]. Очередной цикл изменчивости радиального прироста закончился в 1917 г. после предшествующего сырого (828 мм осадков) года. Нисходящая ветвь этого цикла принадлежит самому влажному отрезку времени в 1900–1917 гг., когда в среднем за год выпадало 772 мм осадков. Депрессия прироста по окончании этого цикла продолжалась четыре года, включая 1918 г. с самыми холодными за всю историю инструментальных наблюдений месяцами активного роста (12,1 °С).

С возрастом древостоя дисперсия радиального прироста в 30–35-летнем цикле уменьшалась: до 1852 г. стандартное отклонение $\sigma = 0,38$ мм, в 1853–1882 гг. $\sigma = 0,29$ мм, 1883–1917 гг. $\sigma = 0,27$ мм, 1918–1953 гг. $\sigma = 0,15$ мм, 1954–1985 гг. $\sigma = 0,12$ мм и после 1985 г. $\sigma = 0,11$ мм. Амплитуда следующего цикла в 1918–1952 гг., естественно, сократилась, к тому же, если судить по ширине годичных колец ($< 1,0$ мм), сосна уже находилась в угнетенном состоянии. Однако его окончание в 1953 г. с депрессией прироста опять связано с аномально высоким выпадением осадков (905 мм, за вегетационный период 527 мм). Вершина этого цикла оказалась вогнутой: в 1938 г. выпало 809 мм осадков (за вегетационный период 470 мм).

Окончание предпоследнего цикла в 1985 г. последовало за извержением вулканов Святой Елены (1980 г.) и Эль-Чичона (1982 г.) и вызвано рекордным выпадением осадков (246 мм) в месяцы активного роста сосны за всю историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи.

Таким образом, природа 30–35-летней цикличности (в среднем 33 года) в нарастании стволовой массы 220-летнего поколения сосны в эдафотопе с дерново-подзолисто-глеевой почвой и приповерхностным залеганием грунтовых вод, не осложненным осушительной мелиорацией, имеет погодно-климатическую причинность и не является внутренним свойством роста и развития сосны. На 33-летнюю цикличность в изменении климата указывал И. Е. Бучинский [77].

В отличие от 220-летнего поколения сосны 30–35-летний цикл изменчивости радиального прироста у 130- и 110-летних групп не выражен. Это, возможно, связано с тем, что их рост и развитие происходили в сравнительно однородных климатических условиях влажной и неустойчиво влажной эпох (до и после 1940 г.).

У 130-летней группы деревьев радиальный прирост после максимального угнетения в экстремально влажный 1906 г. постепенно увеличивался, несмотря на то что в 1907–1917 гг. среднее многолетнее количество осадков (743 мм) несколько превышало норму для влажной климатической эпохи. Наибольшего значения ширина годичных колец достигла в 1920–40 гг. при среднегодовом количестве осадков в 679 мм.

Переход к неустойчиво влажной эпохе в 1940 г. для этой возрастной группы ознаменовался резким сокращением текущего радиального прироста, уменьшение которого продолжалось вплоть до 2011 г. Следует отметить, что 1945–1965 гг. были наименее увлажненными: в среднем за год выпадало 575 мм осадков, или на 104 мм меньше, чем в 1920–40-е гг. У 110-летней группы деревьев 1920–40-е гг. также характеризуются наибольшим линейным приростом после минимума в 1918 г. Его падение к 1993 г. менее выражено, чем у двух старших возрастных групп после извержения Пинатубо в 1991 г.

Сосна в исследованном насаждении с приповерхностным залеганием грунтовых вод использует их минеральные ресурсы для своего роста и развития. К тому же регулирование водного режима принадлежит торфяной залежи сопредельного болота с ее гидрофильными свойствами. Радиальный прирост мало зависит от климатических параметров атмосферного увлажнения и температурного режима, но реагирует на погодные условия. По этой причине переход от влажной эпохи к неустойчиво влажной в начале 1940-х гг. в индексном приросте сосны слабо выражен. Более заметен переломный момент 1976 г. при сокращении притока прямой солнечной радиации.

Насаждение сосны имело низкую чувствительность к климатическим факторам. За исключением 220-летнего поколения, у которого коэффициент чувствительности ($Kч = 0,32$ до 1852 г.) превысил порог в 0,30, у трех возрастных групп во все остальные временные отрезки он изменялся незначительно и был ниже этого значения, чтобы считать их чувствительными к динамике климата. Как показано, возмущения в дендрометрических рядах вызывались погодными аномалиями, приведшими к циклической изменчивости радиального прироста.

Наибольшая дисперсия индексного прироста также пришлась на первую половину XIX в.: у 220-летнего поколения она составила 18,5%. В остальные временные отрезки, определяющие циклы изменчивости радиального прироста, ее амплитуда менялась слабо, незначительно увеличившись у 130- и 110-летних групп после 1976 г.

Анализ корреляций индексного прироста трех возрастных поколений с метеофакторами (температурой воздуха и осадками) за время инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи показал, что статистически значимой зависимости между ними не существовало: коэффициенты корреляции за месяцы активного роста, вегетационный период и гидрологический год большей частью оказались недостоверными как при влажной, так и при неустойчиво влажной эпохе за некоторым исключением (табл. 3.27).

Для выявления связи фактического радиального прироста сосны с ФАР привлечены актинометрические наблюдения на метеостанции Василевичи. Для групп деревьев в возрасте 220 и 110 лет он прямо и значимо коррелировал с рассеянной ФАР, что нашло отражение в его зависимости от суммарной (табл. 3.28).

Таблица 3.27

Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп сосны на «острове» в Крукском болоте с температурой воздуха и осадками

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		с t °С	с осадками	с t °С	с осадками	с t °С	с осадками	с t °С	с осадками
		1879–1905 гг.		1906–1940 гг.		1941–1976 гг.		1977–2011 гг.	
220	Безлист- венный	–07	–46	–15	–27	–19	–20	18	28
	Май – июнь	–44	26	37	10	–02	–04	–41	–13
	Вегета- ционный	–7	07	35	03	05	07	–44	33
	Год	–28	–23	13	–15	–09	–07	03	19
130	Безлист- венный	–	–	41	–16	24	13	03	–06
	Май – июнь	–	–	–07	–11	06	32	04	–20
	Вегета- ционный	–	–	15	14	–12	17	27	–34
	Год	–	–	47	00	36	20	11	–35
110	Безлист- венный	–	–	07	05	28	54	37	23
	Май – июнь	–	–	08	–04	18	09	–28	–18
	Вегета- ционный	–	–	16	–12	–39	–15	–08	–03
	Год	–	–	06	07	45	22	27	12

Таблица 3.28

**Коэффициенты корреляции фактического радиального прироста
сосны на «острове» в Круковском болоте с ФАР
и метеофакторами после 1954 г.**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$				
		с ФАР			с метеофакторами	
		прямой	рассеянной	суммарной	$t^{\circ}\text{C}$	осадки
220	Май – июнь	14	34	23	-04	01
	Вегетационный	12	<u>53</u>	36	-20	-14
	Год	07	<u>50</u>	33	-22	-08
130	Май – июнь	18	-05	12	-05	-16
	Вегетационный	22	16	24	-04	-27
	Год	20	11	23	-08	-24
110	Май – июнь	-05	36	07	03	02
	Вегетационный	-08	<u>48</u>	14	-09	-05
	Год	-15	<u>47</u>	09	-10	-01

У 220-летнего поколения коэффициент корреляции фактического радиального прироста с рассеянной ФАР вегетационного периода $r = 0,53$ (при $n = 50$, $P = 0,999$), у 110-летнего – $r = 0,48$. Пользуясь шкалой Чеддока, качественную характеристику силы связи линейного прироста с этой радиацией можно оценить как заметную. У 130-летней группы такая зависимость не прослежена, будучи «исключением из правил». Отрицательная корреляция радиального прироста с метеофакторами (температурой и осадками) не имела статистически значимых коэффициентов.

Результаты проведенного исследования с привлечением насаждения сосны на бедной по плодородию почве укладываются в хорошо известное представление о том, что для светолюбивых растений (в данном случае сосне) необходима рассеянная солнечная радиация, а не прямое солнечное воздействие [123]. Усвоение этой радиации при фотосинтезе зависит от плодородия и увлажненности почвы. На бедных почвах ее значение возрастает.

Белорусское Полесье славилось своими дубравами, которые к настоящему времени, даже сохранившись, претерпели значительное влияние как сплошных рубок XIX и XX вв., так и осушительной мелиорации. Они, по существу, – остатки древних лесов Европы, покрывавших несколько столетий назад значительные территории. Сохранившееся в естественном состоянии Круковское болото позволило проследить динамику радиального прироста дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), на-

ходящегося за пределами возможного влияния осушительной мелиорации, автодорожного и трубопроводного строительства, техногенного загрязнения воздушной среды и других антропогенных факторов. В данном случае оказалось возможным найти тот «эталон», равнение на который позволяло бы выявлять антропогенные факторы в динамике состояния и продуктивности полесских дубрав на тех территориях, на которых они явно присутствуют.

Для этих целей были привлечены все отдельно стоящие, крупномерные, прямостоящие и высокорослые деревья дуба, растущие в центральной части «болотного городка» [122]. Следует отметить, что по окраине этого болота сохранилось несколько таких «городков», но меньшей размерности. Образцы древесины (керны) для дендрохронологического и дендроклиматического анализов отобраны 1 ноября 2011 г. возрастным буровом на высоте 1,3 м у 6 деревьев дуба, растущих в центральной части «городка».

Для «городка» было использовано естественное повышение («остров») среди болота, которое было обнесено насыпным песчаным валом. Почва дерново-подзолистая с черным гумусным (культурным) слоем мощностью до 35 см, ниже которого залегает песок, дифференцированный на горизонты, свойственные данной почвенной разности. Грунтовые воды находились на глубине 1,5 м. Возраст деревьев (250 лет) сопоставим с возрастом сосны на валу «городка» (245 лет). Диаметр стволов — от 70 до 90 см, высота — 30–35 м.

Одна из немногих дубрав, сохранившихся в Белорусском Полесье вне пойм Припяти и ее притоков, находится в квартале № 116 Чирковичского лесничества Светлогорского лесхоза, на левобережье канализированной еще Западной экспедицией И. И. Жилинского р. Ипа в одном километре от ее современного русла (канала). Реконструкция осушительной сети и освоение болот и заболоченных земель в ее пойме для интенсивного использования в сельском хозяйстве были выполнены в начале 1960-х гг.

Исследованное насаждение [122] относится к грабовым дубравам [71]. Возраст древостоя — 130 лет, диаметр — 36–48 см, высота — 30–36 м. Почва дерново-подзолисто-глееватая со следующими горизонтами: A_0 (0–2 см, дернина), A_1A_2 (2–15 см, песок мелкозернистый, темно-серый с белесой присыпкой), B_1 (15–50 см, песок мелкозернистый, серовато-желтоватый), B_{2g} (50–95 см, песок мелкозернистый, светло-желтый с охристыми и сизоватыми пятнами). Грунтовые воды в день отбора во время весеннего паводка на р. Ипа (24 мая 2011 г.) образцов древе-

сины (кернов) возрастным буравом на высоте 1,3 м у 12 деревьев находились на глубине 0,5 м.

Многолетний ход среднего для серии фактического (мм) и индексного (%) радиального прироста насаждения в «болотном городке» и дубраве представлен на рис. 3.19. В изменчивости радиального прироста дуба, как и сопоставимой с ним по возрасту сосны, растущей на «острове» среди этого же болота, прослеживается 35-летний цикл, ограниченный минимумами в те же годы. Таким образом, природа этой цикличности имеет погодно-климатическую обусловленность. Однако существуют некоторые особенности по сравнению с сосной в изменчивости фактического прироста.

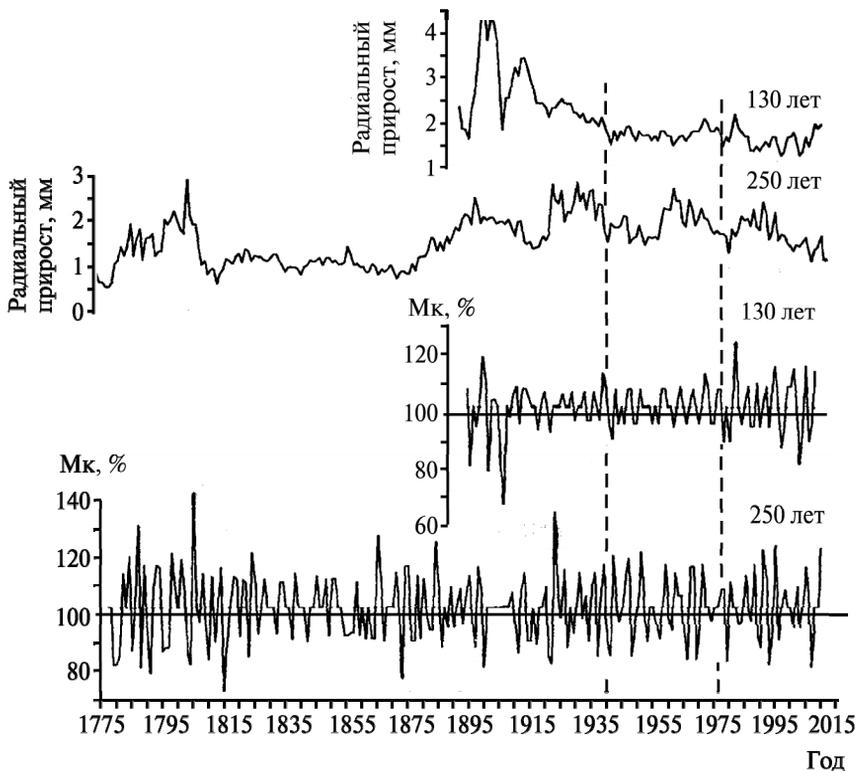


Рис. 3.19. Многолетний ход фактического и индексного радиального прироста возрастных групп дуба. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Угнетение дуба, как и сосны, в 1781 г. и в последующие несколько лет наступило после «великой» зимы 1780/81 г. и извержения вулкана Лаки в 1783 г. В контрастных погодных условиях конца XVIII в. и начала XIX в. состояние дуба улучшилось, что и отразилось в появлении первого квазитридцатилетнего цикла.

Глубокая депрессия последовала после необычайно холодных зим и летних засух в 1808–1811 гг. и достигла наибольшего падения после извержения вулканов Майон в 1814 г. и Тамбора в 1815 г. После 1815 г. угнетение дуба продолжалось до 1882 г. (табл. 3.29). Подобного продолжительного угнетения не наблюдалось у сосны на валу «городка» и на «острове».

Таблица 3.29

Статистическая характеристика годичных колец у древесно-кольцевых хронологий одновозрастных групп дуба в «городке» и дубраве (р. Ипа)

Год	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
Насаждение дуба в «городке»					
1776–1815			2,8		
1816–1882	0,22	0,9	1,5	0,16	9,9
1883–1917	0,18	1,8	4,3	0,28	8,6
1918–1952	0,24	1,9	7,7	0,29	11,5
1953–1984	0,26	2,0	5,6	0,28	11,6
1985–2011	0,21	1,4	4,5	0,19	9,8
Насаждение дуба в дубраве (р. Ипа)					
1883–1917	0,09	2,9	5,5	0,87	12,1
1918–1952	0,12	1,9	4,5	0,19	4,9
1953–1984	0,14	1,6	5,8	0,12	6,7
1985–2011	0,21	1,5	3,5	0,23	11,1

Климатические условия этого времени были явно неблагоприятными для дуба: аномально сильные засухи 1839, 1868 и 1874 гг., катастрофические наводнения 1845 и 1861 гг., необычайно дождливые 1860-е и 1876–1879 гг. Теплолюбивый и засухоустойчивый дуб угнетался в этот период переувлажнением своего исторически культурного эдафотопы: 37 лет из 66-летнего периода были дождливыми [82].

При улучшении климатической ситуации в Беларуси с окончанием малой ледниковой эпохи угнетение укладывается в максимальное похолодание 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1593–1891 гг. В XX в. угнетение дуба, выразившееся в депрессии радиального

прироста, наступало в те же годы с аномальной увлажненностью, что и сосны на «острове» в этом же болоте.

Таким образом, сформировавшиеся циклы в изменчивости радиального прироста дуба имеют погодно-климатическую обусловленность. Однако, несмотря на это совпадение в эдафотопе с неглубоким залеганием грунтовых вод, синхронность погодичной изменчивости радиального прироста сосны и дуба отсутствовала: коэффициент сериальной корреляции оказался равным $-0,15$ ($Err. = 0,07$).

Отсутствовала синхронность в изменчивости радиального прироста дуба в «городке» и с дубравой на левобережье р. Ипа: коэффициент межсериальной корреляции оказался ничтожно малым ($r = -0,07$). После угнетения в сырые 1895 (744 мм осадков) и 1896 гг. (803 мм) радиальный прирост дубравы в молодом возрасте достиг максимального значения в последующее менее увлажненное пятилетие (в среднем за год 625 мм осадков). Глубокая его депрессия в 1906 г. вызвана, как отмечалось, рекордным выпадением осадков (1097 мм).

В XX в. радиальный прирост дубравы мало изменялся, не приобретает явно выраженной цикличности, свойственной группе деревьев в «городке». Причина может быть заключена в разном плодородии почв и зарегулированном уровне режиме грунтовых вод в результате канализации русла реки и осушении болот и заболоченных земель для интенсивного сельскохозяйственного использования.

Изменение индексного прироста отражает климатический сигнал в фактическом. Следует отметить у него слабовыраженный переход от влажной к неустойчиво влажной эпохе в 1940 г. и более заметный переломный момент в 1976 г. Независимо от возраста и места произрастания дуб продемонстрировал низкую чувствительность к изменчивости климатических факторов: коэффициент чувствительности оказался ниже 0,30 для всех анализируемых временных отрезков (см. табл. 3.29). Дисперсия индексного прироста, определяемая влиянием климатических условий, имела незначительную вариабельность.

Низкая чувствительность дуба к изменчивости метеоусловий отразилась в переменной статистически достоверной, но неустойчивой корреляции индексного прироста с температурой воздуха (табл. 3.30).

Для определения связи стволовой продуктивности дуба в исследованных экотопах с ФАР привлечены значения фактического (мм) радиального прироста, который значимо не коррелировал с прямой радиацией за историю инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи начиная с 1955 г. (табл. 3.31).

Таблица 3.30

Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп дуба с метеофакторами

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		с t °С		с осадками		с t °С		с осадками	
		1884–1905 гг.	1906–1940 гг.	1941–1976 гг.	1977–2011 гг.				
250	Безлиственный	–07	–23	13	–15	–19	–20	18	28
	Май – июнь	–44	26	37	10	–02	–04	–41	–13
	Вегетационный	–32	06	45	03	05	07	–44	33
	Год	–28	–23	13	–15	–09	–07	03	29
130	Безлиственный	31	–30	06	–31	07	22	11	33
	Май – июнь	–62	05	–39	–16	28	–02	–28	00
	Вегетационный	–48	35	–09	–32	42	–30	–14	07
	Год	–14	–01	06	–40	09	–08	04	28

Таблица 3.31

Коэффициенты корреляции фактического (мм) радиального прироста насаждений дуба с ФАР после 1954 г. в текущем году и при запаздывании на два года (лаг 2)

Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$									
	с ФАР						с метеофакторами			
	прямой		рассеянной		суммарной		t °С		осадки	
	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2	тек.	лаг 2
Насаждение дуба в «городке»										
Май – июнь	–06	19	16	–16	–05	03	–03	08	14	–01
Вегетационный	03	27	26	03	09	15	–12	–04	–04	–08
Насаждение дуба в дубраве (р. Ипа)										
Май – июнь	06	–08	27	44	14	10	–06	–06	04	05
Вегетационный	18	04	29	45	29	44	–00	–17	–13	–11

В дубраве на бедной дерново-подзолисто-глеевой почве, в отличие от великовозрастной группы в «городке» с окультуренным эдафотопом, статистически дуб достоверно коррелировал с рассеянной радиацией за май – июнь и за вегетационный период с запаздыванием при сдвиге на два года ($r = 0,45$ при $P = 0,999$) и, следовательно, с суммарной. Как известно, потребность древесного растения в радиации увеличивается с его возрастом. Зависимость радиального прироста от рассеянной солнечной радиации с запаздыванием на два года – не что иное, как замедленная реакция на дополнительный слабоизученный в дендроклиматологии лимитирующий фактор.

Такая корреляция отвечает представлению о том, что потребность дуба в ярком рассеянном освещении реализуется в зависимости от плодородия почвы и ее увлажнения. Отрицательная корреляция фактического прироста с метеофакторами (температурой воздуха и осадками) не была статистически значимой.

Исследование лесных экосистем на территориях, не подвергшихся интенсивному антропогенному воздействию, позволяет получить информацию о естественном развитии природной среды на Полесье без крупномасштабной осушительной мелиорации.

Глава 4

ЕЛЬ И СОСНА В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ г. МИНСКА И г. МОГИЛЕВА

4.1. Погодные экстремумы усыхания ели в XX в.

Для более полного понимания реакции хвойных пород на техногенное загрязнение воздушной среды возникла необходимость проследить их поведение вне этого фактора под воздействием изменчивости погодно-климатических условий. Особенно это касается ели, так как ее фитоценозы менее устойчивы к техногенному загрязнению по сравнению с сосновыми [123].

Территория Беларуси принадлежит к атлантико-европейскому сектору умеренного климатического пояса. Ель, малотребовательная к теплу [37], обладает низкой чувствительностью к изменчивости климатических факторов. Только экстремальные погодные условия зимних месяцев вызывают ее угнетение, отраженное в депрессии радиального прироста и приводящее к отмиранию древостоя [16].

Как отмечает В. В. Сарнацкий, одна из важнейших проблем лесоведения и лесоводства, вызывающая сегодня обеспокоенность общественности и правительств различных государств, — заметное ухудшение состояния темнохвойных лесов, в том числе еловых, сопровождающееся в отдельных случаях их периодически массовым усыханием [124].

Как известно, на плакорах в продуктивности лесных экосистем реализуется климатический потенциал зоны, не будучи осложненный локальными микроклиматическими отклонениями. Ель обладает определенной стабильностью радиального прироста. Однако начиная с сере-

дины 1950-х гг. наблюдается устойчивое прогрессирующее снижение ее стволовой продуктивности независимо от географического положения, возраста древостоя и локального загрязнения атмосферного воздуха.

Массовое отмирание ели происходило с определенной цикличностью при разном климатическом фоне в первую и вторую климатические эпохи. Необходимо подчеркнуть следующее важное обстоятельство. Угнетение всех возрастных групп ели на всех тест-полигонах в средней полосе Беларуси и в Поозерье происходило одновременно, но усыхали в основном деревья господствующего класса (по Крафту) в 60-летнем возрасте и старше только на плакорах с лессовидно-суглинистым чехлом мощностью до 0,5 м, покрывающим плотные моренные супеси и суглинки.

Именно в таких эдафических условиях проводящие корни оказываются на поверхности, а корневая система — непосредственно у поверхности почвы. Усыхание ели не захватило Поозерья с молодыми почвами на рыхлых моренных отложениях последнего оледенения и Полярья с песчаными почвами. Хронология усыхания ели в XX — начале XXI в. имеет следующую временную привязку [16].

Образование малоразмерных «морозных» колец, свидетельствующих об угнетении деревьев, — следствие мощных вулканических извержений [125]. Причиной массового отмирания этой древесной породы во второй половине 1920-х гг. послужили суровые морозы в январе 1924 г. (среднемесячная температура $-12,1^{\circ}\text{C}$) при маломощном снежном покрове (24 мм). Кризис продолжался после холодов декабря 1927 г. ($-10,3^{\circ}\text{C}$, 21 мм осадков), января ($-10,7^{\circ}\text{C}$, 20 мм осадков) и февраля ($-17,1^{\circ}\text{C}$, 20 мм осадков) 1929 г.

Угнетение радиального прироста в 1938–1943 гг. (с минимумом в 1940–1941 гг.) маркирует следующий этап массового усыхания ели на территории Беларуси именно в эти годы. Первопричина опять же заключена в экстремальных холодах малоснежных 1937 ($-10,5^{\circ}\text{C}$, 11 мм осадков) и 1940 гг. ($-15,3^{\circ}\text{C}$, 17 мм осадков). После малоснежного декабря 1940 г. (9 мм осадков) наступили морозы января 1941 г. ($-13,4^{\circ}\text{C}$, наблюдения за осадками уже не проводились).

Наиболее знаменательными событиями в экологии леса во второй половине XX в. были угнетения ели в первом пятилетии 1950-х, 1963–1968, 1980, 1992–1994 и 2000-х гг., приведшие к ее массовому усыханию на лессовидно-суглинистых плакорах. Угнетение ели в 1951–1954 гг. ограничено суровыми зимними холодами в январе 1950 г. ($-14,0^{\circ}\text{C}$, 21 мм осадков), в январе ($-12,6^{\circ}\text{C}$, 29 мм осадков) и феврале ($-13,2^{\circ}\text{C}$, 14 мм

осадков) 1954 г. К тому же в холодном 1952 г. (5,2 °С) за безлиственный период (октябрь – апрель) выпало 148 мм осадков и в 1954 г. (4,7 °С) 133 мм, за вегетационный период 1951 г. (5,7 °С) 176 мм осадков. Это самые низкие показатели за весь период инструментальных наблюдений Белгидромета.

Угнетение ели в середине 1960-х гг. опять же вызвано критически низкими температурами в январе с маломощным снежным покровом 1963 г. (–13,6 °С, 17 мм осадков). Наиболее глубокая депрессия радиального прироста у всех возрастных групп деревьев наступила одновременно в 1980 г. Однако угнетение ели не привело к массовому усыханию.

Масштаб ее угнетения позволяет рассматривать 1980 г. как один из самых неблагоприятных по погодным условиям. Кроме низкой годичной температуры (4,7 °С) и недобора осадков (558 мм), лимитирующими факторами послужили: холодный безлиственный период (–1,8 °С) с наименьшим количеством осадков (232 мм) в фазу потепления климата, холодные месяцы активного роста (12,2 °С) и вегетационного периода в целом (13,7 °С), недобор осадков в мае и июне (94 мм) по сравнению с нормой.

В то же время усыхание ели не последовало из-за отсутствия экстремальных морозов в декабре 1979 г. (–2,1 °С, 53 мм осадков), в январе (–8,8 °С, 35 мм осадков) и декабре (–2,9 °С, 52 мм осадков) 1980 г., январе (–6,3 °С, 38 мм осадков) и декабре (–4,3 °С, 105 мм осадков) 1981 г. Экстремальные холода в январе 1985 г. (–11,7 °С, 42 мм осадков) и 1987 г. (–15,3 °С, 39 мм осадков) также не привели к массовому поражению ели: при снежном покрове не произошло повреждения морозами корневой системы.

Предпоследнее массовое усыхание ели началось в 1993 г. По нашим данным, максимальное угнетение радиального прироста в 1992 г. вызвано комплексом неблагоприятных факторов, прежде всего крупномасштабной засухой: рекордно низким количеством осадков за год (490 мм), особенно за безлиственный период (202 мм), за время вегетации (373 мм, в том числе за май и июнь 85 мм), при высокой годичной (7,6 °С) температуре, а также температуре безлиственного (1,4 °С) и вегетационного (16,3 °С) периодов.

В 1993 г. выпало 762 мм осадков (за безлиственный период 357 мм, за вегетационный – 405 мм), и, казалось, ничто не предвещало экологического бедствия. Но в ноябре наступили рекордно низкие (для этого месяца) морозы (средняя температура месяца –6,8 °С) практически без снежного покрова (8 мм осадков).

Крайнее угнетение ели продолжалось в 1994–1995 гг. Хотя в последние годы ширина годовых колец несколько увеличилась, поврежденные корневые системы (негативное воздействие на них низкой температуры при осадках ниже средней многолетней нормы продолжалось в декабре 1995–1997 гг.) при потеплении климата не могли удовлетворить древесное растение в почвенной влаге и элементах питания.

Инвазия короеда [126] – дополнительный фактор, заставивший ослабленный древостой мобилизовать внутренние ресурсы жизнеобеспечения, исчерпание которых привели к его гибели. Осенью 1997 г. наметилась явная тенденция к снижению интенсивности усыхания ели в лесах Беларуси.

Максимальное выпадение осадков в 1998 г. (979 мм) и их обилие в безлиственный период (614 мм) привели к увеличению стволовой продуктивности и улучшению состояния насаждения. Однако возникший стресс от морозного декабря 2001 г. ($-8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) и особенно 2002 г. ($-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, в отдельные сутки температура воздуха понижалась до $-37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) при малом количестве осадков в ноябре (27 мм) и декабре (14 мм), в условиях жаркого и засушливого вегетационного периода привел к крупномасштабному, практически повсеместному усыханию ельников на лессовидно-суглинистом плакоре.

Причем массовое усыхание ели началось весной после малоснежной зимы, и хотя в месяцы активного роста (май и июнь) выпало 120 мм осадков, оно продолжалось и уже к середине лета охватило большинство лесных массивов. Засуха во второй половине лета могла только усугубить положение.

Таким образом, экстремальными условиями глубокой депрессии радиального прироста, отражающей угнетенное состояние древостоя вплоть до его гибели, явились низкие температуры зимних малоснежных месяцев, сопровождавшихся недобором осадков в вегетационный период. Появление этих экстремальных условий связано с серией вулканических извержений, после которых в результате аэрозольного загрязнения атмосферы возникали погодные аномалии.

Они в зимние месяцы после вулканических извержений вызывали резко выраженные в течение года или нескольких последовательных лет отрицательные флуктуации радиального прироста ели в XX в. [127; 128]. Угнетение ели контрастно проявилось даже в оптимальных для нее зональных эдафических условиях – на дерново-подзолистой супесчаной почве [3] (рис. 4.1, тест-участок «Крево»). Следует также отметить депрессию ее прироста в 1941 г. после аномально суровой зимы.

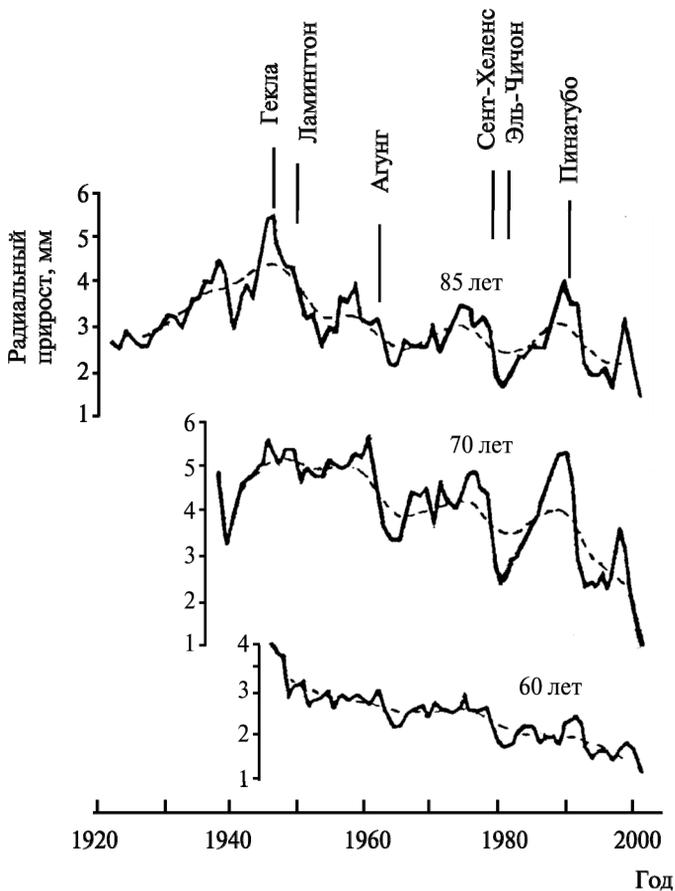


Рис. 4.1. Ход изменчивости радиального прироста ели в XX в. 85 лет – возрастная группа деревьев [127; 128]

Таким образом, прослеживается связь в цепи: вулканические извержения – увеличение замутненности атмосферы – уменьшение притока солнечной радиации – аномальные морозы при маломощном снежном покрове или без него – повреждение корневой системы – угнетение ели вплоть до ее отмирания. Непосредственная причина усыхания ели на территории Беларуси – погодная (аномально морозная погода при малоснежном покрове или без него), а геофизические и климатические условия – фон, на котором разворачивается это экологическое

бедствие. Продукционный процесс еловых и сосновых лесов в зональных условиях Беларуси отражает изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений [128].

Эти эпизодические события с серьезными лесохозяйственными последствиями остаются малопредсказуемыми. Однако в стратегии ведения лесного хозяйства с ними необходимо считаться, хотя древостой быстро восстанавливает свой биопродукционный потенциал в быстроменяющихся природных условиях, если при этом не отмирает. Именно отмерший древостой представляет серьезную проблему в лесном хозяйстве.

В изменении структуры стандартизированной хронологии радиального прироста ели (приростных индексов) четко выделяются переломные моменты в конкретные годы – 1940 и 1976. При переходе через них меняется не только дисперсия индексов прироста, но и чувствительность ели к климатическому фактору независимо от возраста и состояния древостоя.

Вероятной причиной переломного момента в 1940 г. могут быть резкие изменения климатической ситуации при смене влажной эпохи фазой похолодания неустойчиво влажной – одновременное похолодание и сокращение осадков.

Следующий переломный момент с возросшей амплитудой индексного прироста наступил в 1976 г. с началом потепления климата, резким сокращением притока солнечной радиации и с ее последующей возросшей изменчивостью. После этого ель оказалась более чувствительной к климатическим факторам, чем при похолодании. Резкое изменение структуры временных рядов индексного прироста независимо от типа леса произошло на фоне снижения стволовой продуктивности не только ели, но и сосны во второй половине XX в. после их максимальных значений в 1950-е гг. [3].

Наступление переломных моментов, свойственное, как отмечалось, и ели на плакорах в средней полосе Беларуси, и в Поозерье, и на Полесье не зависит от региональных природных условий, осушительной мелиорации, возраста и таксационных характеристик насаждений. Погодно-климатическими, биотическими и возрастными факторами невозможно объяснить их одновременное наступление в 1940 и 1976 гг. Этот феномен – в синхронной изменчивости чувствительности ели к погодно-климатическим факторам при изменении притока прямой ФАР. Экстремальные погодные условия зимних месяцев, приводящие к усыханию ели, наступали во временные отрезки до и после переломных моментов, но наиболее частыми они стали после 1976 г. при потеплении климата.

4.2. Дендрометрические хронологии ели в условиях техногенного загрязнения

Погодно-климатические изменения должны более контрастно проявиться при техногенном загрязнении воздушной среды, создавая, как представляется, экстремальные условия для лесных насаждений. Сохранение «дикой» и «полудикой» природы максимально подчеркивает региональные физико-географические условия городского ландшафта. В г. Минске – столице Беларуси – и г. Могилеве – одном из крупнейших промышленных центров республики – сохранились естественные массивы ели (*Picea abies* (L.) Karst.) на лессовидно-суглинистом эдафотопе с дерново-подзолистой почвой, преобразованные в лесопарковые насаждения: имени 50-летия Октября (в г. Минске) и «Печерский» (в г. Могилеве).

Цель наших исследований – изучить поведение ели в современных климатических условиях техногенного загрязнения воздушной среды, привлекая ее радиальный прирост. При оценке антропогенного воздействия нельзя обойтись без этого индикатора состояния и стволовой продуктивности древесных пород. Исследование выполнялось с привлечением концепции преадаптированности [129].

Для реализации поставленной цели в октябре 2000 г. и сентябре 2014 г. отобраны образцы древесины (керны) у поколений ели в возрасте от 50 до 135 лет, осредненный радиальный прирост которых визуализирован в дендрокольцевых одновозрастных хронологиях, приведенных на рис. 4.2.

В каждой возрастной серии – от 12 до 18 деревьев при необходимом количестве 10 стволов [43]. Их индексный прирост, определенный с применением пятилетнего фильтра, показан на рис. 4.3. На этих и последующих дендрограммах вертикальными штриховыми линиями указаны: 1940 г. – переход от влажной к неустойчиво влажной климатической эпохе [16], 1976 г., за которым последовало резкое сокращение притока прямой солнечной радиации, и 1998 г. – противоположно резкое ее увеличение (по наблюдениям Белгидромета).

Тип насаждения определить было достаточно трудно по причине интенсивного антропогенного воздействия (замусоривание, вытаптывание, посадки интродуцентов и др.). По незначительным фрагментам естественного напочвенного покрова мха Шребера он, вероятно, был мшистым. Сохранились мертвопокровные участки.

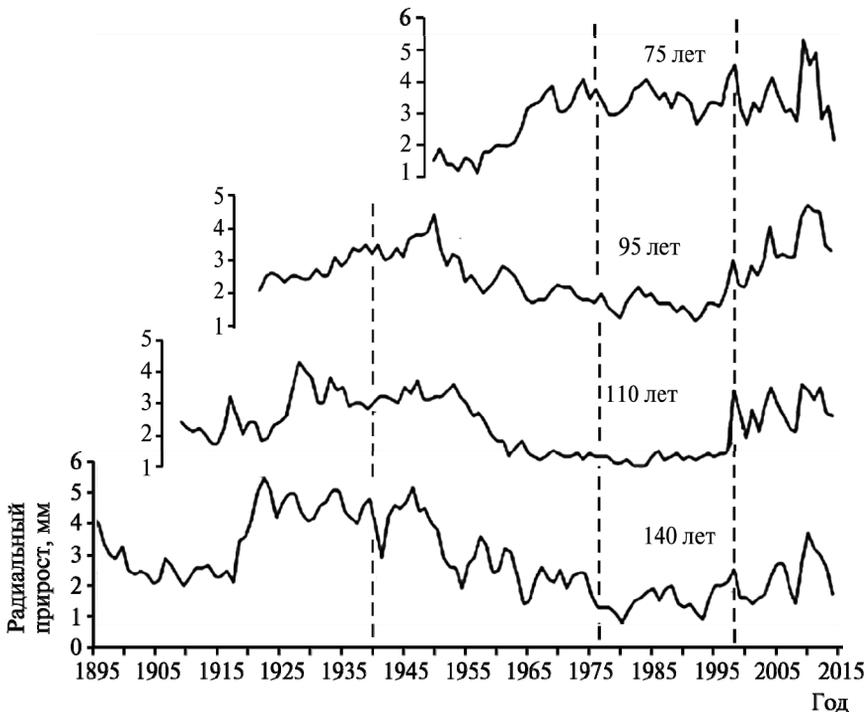


Рис. 4.2. Динамика изменчивости радиального прироста ели в лесопарке имени 50-летия Октября в г. Минске.
75 лет – возрастные серии деревьев

Обильны малина, крапива и некоторые представители разнотравья, из кустарников – ива, крушина, жимолость, лещина, бересклет, ирга, боярышник, в подросте встречаются посаженные деревья из интродуцентов (орех маньчжурский, клен канадский, ясень пенсильванский). Такие насаждения Н. А. Моисеева рекомендует относить к разнотравному типу [130]. Высокотравная растительность и кустарниковый ярус препятствуют санитарной уборке территории (сгребанию опада, отмерших травянистых и кустарниковых растений).

У почвы, развивавшейся на моренном суглинке, верхний горизонт претерпел значительные антропогенные трансформации (уплотнение, снятие верхнего слоя, засыпка, ямы и др.).

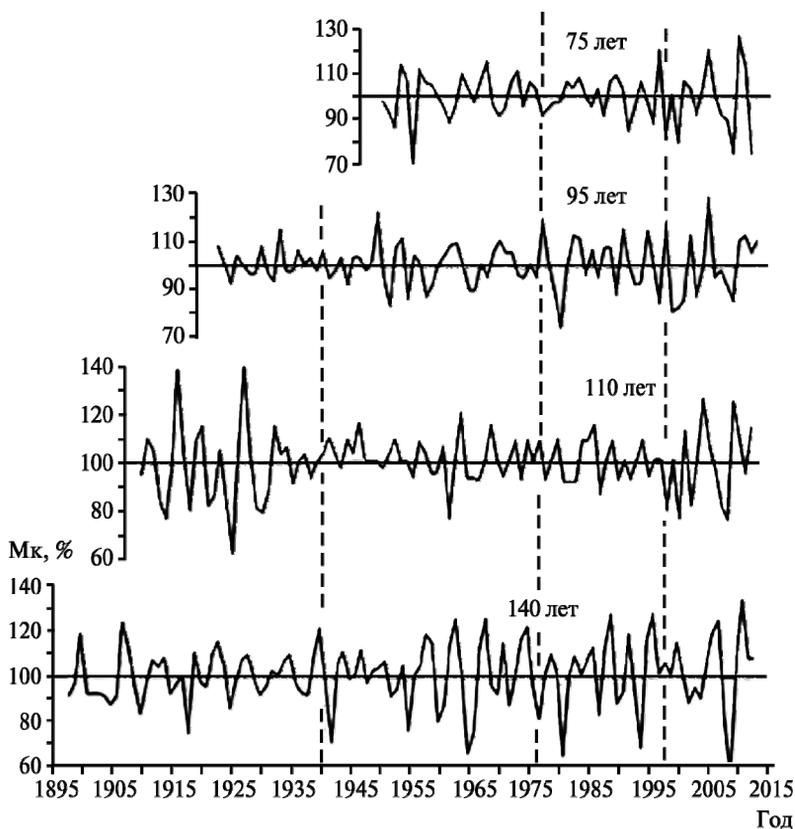


Рис. 4.3. Динамика изменчивости индексного прироста ели в лесопарке имени 50-летия Октября в г. Минске

В качестве контроля привлечены дендрометрические определения на полигоне «Логойский» (рис. 4.4 и 4.5), использованные для дендроклиматического анализа отношений радиального прироста с климатическими факторами среды (температурой воздуха и осадками) [16]. Образцы древесины (керны) у 75-, 85- и 105-летних деревьев взяты в августе 2014 г., у 80- и 90-летних — в 2001 г., до их вырубки в 2004 г. после усыхания в 2002 и 2003 гг.

Полигон «Логойский» расположен на локальной платообразной возвышенности в пределах Белорусской гряды (Минская возвышенность), в 22 км северо-северо-восточнее г. Минска и в 5 км южнее г. Логойска.

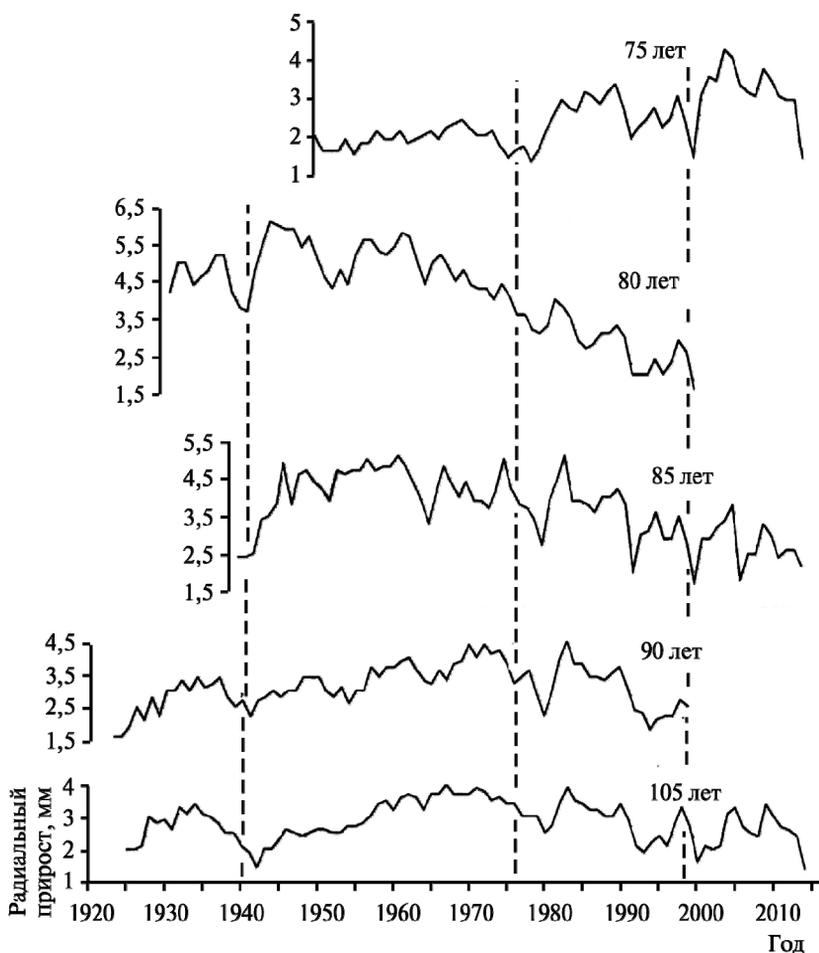


Рис. 4.4. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на полигоне «Логойский»

Выбор данного лесного массива (кварталы № 96 и 97 Логойского лесхоза) для исследования определялся тем, что в нем, как и во многих других местонахождениях ели, в конце XX в. наблюдалось массовое усыхание наиболее развитых (господствующих) деревьев. В данном случае это явление происходило на плакоре и представило интерес для сравнительного анализа поведения ели на таком же эдафотопе в условиях техногенного загрязнения воздушной среды.

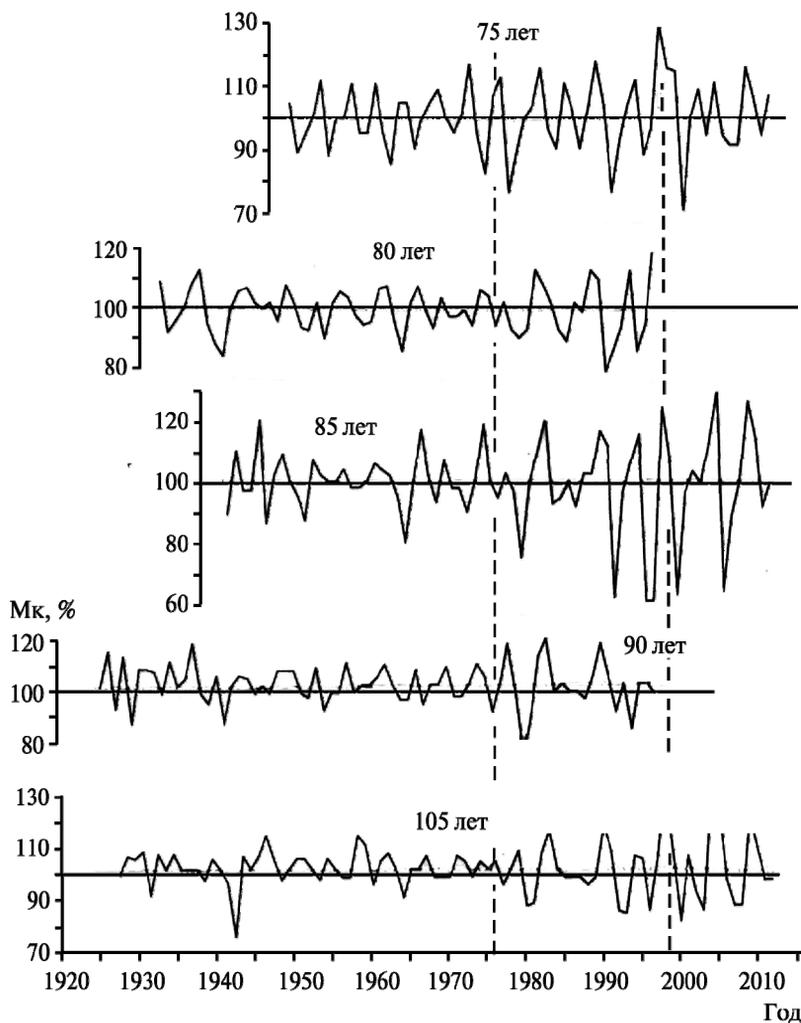


Рис. 4.5. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели на полигоне «Логойский»

Абсолютные отметки плакора с исследованным лесным массивом — 278 м. Локальная возвышенность окружена имеющей временные водо-токи овражно-балочной сетью с глубиной вреза до 20–30 м. Покровные породы — лессовидные суглинки мощностью 0,3–0,5 м, ниже сменяемые моренными супесями и суглинками.

Дерново-палево-подзолистая почва дифференцирована на следующие горизонты: A_0 (0–4 см, лесная подстилка с грубым гумусом), A_1 (4–7 см, темно-серый, рыхлый), A_2 (7–41 см, лессовидный суглинок серовато-палевый, непрочно комковатый, влажный), B_2 (41–100 см, суглинок моренный с валунами и галькой, красновато-бурый, вверху – с серовато-палевыми включениями).

Типы леса – ельник мшистый и ельник кисличный. Древостой – I^a бонитета. Редкий подлесок образуют бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.) и жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum* L.).

В напочвенном покрове преобладает мох Шребера (*Pleurozium Schreberi* L.); из других видов встречаются кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.), перелеска благородная (*Hepatica nobilis* Schreb.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* (L.) Schmid.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), хвощ лесной (*Equisetum silvaticum* L.), кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* Roth.).

Исследование изменчивости радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения воздушной среды также выполнялось с привлечением образцов древесины, ранее отобранных у ели в лесопарке «Печерский» в г. Могилеве [16] (рис. 4.6 и 4.7).

Лесопарк «Печерский», окруженный микрорайонами Сараканайск, Казимировка, Мир и Железнодорожный, находится в северо-восточной части города, отличающейся слабым и ниже допустимого уровня загрязнением [131]. Он представляет собой сохранившееся насаждение ели на дерново-палево-подзолистой почве, развитой на лессовидном суглинке мощностью до 0,5 м, подстилаемом моренным суглинком, в пределах вторично-моренного ландшафта.

Почвенный профиль включает следующие горизонты: A_0 (0–4 см, дернина), A_1 (4–32 см, суглинок лессовидный, серый, комковатый непрочный, влажный, переход четкий, неровный), A_2 (32–50 см, суглинок лессовидный, палево-светло-серый до белесого, пылеватый, влажный), B (глубже 50 см, суглинок моренный с валунами и галькой, коричневатобурый, плотный, сырой). Тип леса – ельник мшистый. Естественное возобновление отсутствует или крайне незначительное (до 200 шт./га). Высокотравная растительность и кустарниковый ярус практически отсутствуют.

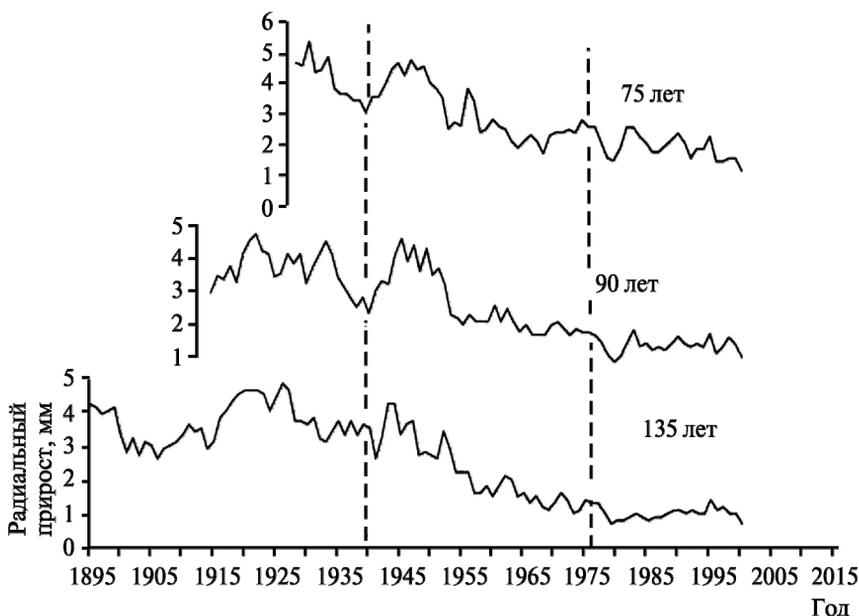


Рис. 4.6. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели в лесопарке «Печерский» [16]

С начала 1950-х гг. наступило общее для лесопарков Минска и Могилева быстрое снижение радиального прироста ели (за исключением современной 75-летней группы в Минске в молодом возрасте), не свойственное ее насаждению на контрольном полигоне «Логойский». Очевидная причина возникшего прогрессирующего угнетения этой древесной породы – техногенное загрязнение воздушной среды с восстановлением в послевоенные годы и ростом промышленного производства в этих городах.

В отличие от насаждения в Минске у ели в лесопарке Могилева выявлена депрессия радиального прироста в 1932–1940 гг. Это связано с интенсивным загрязнением воздушной среды. В 1932–1935 гг. построен авторемонтный завод (ныне – Могилевский автомобильный завод им. С. М. Кирова), в 1932 г. – завод металлических изделий, в 1929–1932 гг. – металлургический завод им. А. Ф. Мясникова и завод искусственного волокна (с 1975 г. – производственное объединение «Химволокно») и др. К тому же с 1913 г. работал чугунно-меднолитейный завод (ныне – завод «Строймашина»).

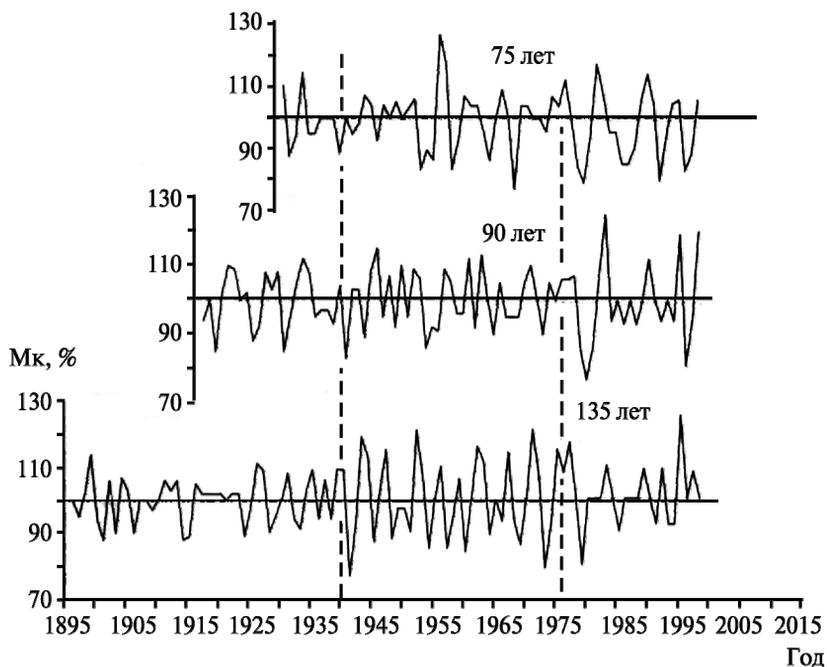


Рис. 4.7. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели в лесопарке «Печерский» [16]

Таблица 4.1

Статистическая характеристика возрастных серий ели в лесопарках г. Минска и г. Могилева и на контрольном полигоне «Логойский»

Возраст, лет	N	D, см	H, м	1954–1976 гг.			1977–1998 гг.			1999–2014 гг.					
				Средний радиальный прирост		Кч	Средний радиальный прирост		Кч	Средний радиальный прирост		Кч			
				мм	σ		σ	мм		σ	σ		мм	σ	σ
Минск															
140	7	72	32	2,3	0,60	17,6	0,35	1,4	0,43	18,8	0,35	2,2	0,7	19,7	0,41
110	11	48	24	1,8	0,61	9,1	0,20	1,3	0,17	8,1	0,20	3,0	0,5	17,1	0,39
95	12	24	18	2,1	0,41	7,7	0,22	1,6	0,31	12,4	0,32	3,4	0,9	13,9	0,25
75	18	20	16	2,7	0,96	10,7	0,24	3,5	0,45	8,4	0,22	3,5	0,9	15,9	0,41
Могилев															
135	7	68	32	1,7	0,37	11,9	0,24	1,1	0,17	9,5	0,24	–	–	–	–
90	15	60	28	2,1	0,25	7,8	0,18	1,5	0,24	12,3	0,30	–	–	–	–
75	15	42	24	2,6	0,44	11,1	0,18	2,1	0,37	11,1	0,26	–	–	–	–

Возраст, лет	N	D, см	H, м	1954–1976 гг.					1977–1998 гг.					1999–2014 гг.				
				Средний радиальный прирост		Mк	Kч	Средний радиальный прирост		Mк	Kч	Средний радиальный прирост		Mк	Kч			
				мм	σ			σ	мм			σ	σ			мм	σ	σ
«Логойский»																		
105	15	28	32	3,5	0,54	8,2	0,11	2,9	0,52	13,6	0,25	2,6	0,6	15,6	0,28			
80	18	68	35	4,9	0,54	2,6	0,10	2,9	0,61	109	0,22	–	–	–	–			
85	14	52	38	4,4	0,47	8,6	0,18	3,6	0,65	14,1	0,38	2,9	2,8	19,6	0,37			
75	20	18	24	1,9	0,24	5,1	0,18	2,4	0,56	11,7	0,32	3,3	0,7	13,1	0,23			
90	15	28	32	3,6	0,46	9,4	0,11	3,0	0,73	18,9	0,27	–	–	–	–			

Примечание: N – количество деревьев; D – средний диаметр; H – средняя высота; Mк – модульный коэффициент; Kч – коэффициент чувствительности.

Разрушение предприятий в начале Великой Отечественной войны и, как следствие, уменьшение промышленных выбросов в атмосферный воздух способствовали восстановлению больших значений радиального прироста перед нисходящей ветвью прироста деревьев после 1950-х гг. Подтверждение – отсутствие глубокой депрессии прироста у елей в Минске и на контрольном тест-полигоне.

Статистическая характеристика всех возрастных серий ели после 1954 г., за годы актинометрических наблюдений на метеостанции Минск, приведена в табл. 4.1.

4.3. Гелиорадиационный фактор в изменчивости радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения

Важное значение для продуктивности насаждений имеет ФАР, определяющая интенсивность фотосинтеза, дыхания и транспирации растений [104]. Для установления зависимости радиального прироста деревьев от ФАР необходимы длительные наблюдения за приходом солнечной радиации. Начатые Белгидрометом в 1954 г. измерения солнечной радиации на метеостанции Минск позволили не только определить содержание в ней ФАР, но и использовать ее для объяснения динамики радиального прироста ели в изменяющихся климатических условиях при техногенном загрязнении воздушной среды [132; 133].

Роль солнечной радиации в жизни растений огромна и многогранна. Она — существенный регулятор роста и развития в многочисленных процессах фотоморфогенеза [134]. Прямое сопоставление прироста годичных колец показало, что лучистая энергия не является фактором, находящимся в минимуме, и не лимитирует лесохозяйственный урожай ели и сосны в южной тайге [103].

Вместе с тем трудно допустить абсолютную нейтральность деревьев к такому мощному фактору, как ФАР, что приводит к необходимости использовать для уточнения причин угнетения ели в последней четверти XX в. на фоне погодно-климатических флуктуаций (температуры воздуха и осадков). Актинометрические наблюдения на метеостанции Минск — более продолжительны, чем в Могилеве. Достаточная длина их ряда позволяет использовать его для выявления связи радиального прироста ели с факторами техногенно загрязненной воздушной среды Минска и Могилева. Переломные моменты в 1976 и 1998 гг. определяют необходимость дендрогелиорадиационного анализа для 1954–1976, 1977–1998 и 1999–2013 гг., различающихся по своим актинометрическим параметрам.

Исследованные поколения ели, по данным Белгидромета, развивались в условиях нарастающего атмосферного загрязнения до максимального уровня в первой половине 1970-х гг. (с увеличением промышленного производства, теплоэнергетики и транспорта). Позднее (1976–2000 гг.) загрязнение воздуха в Минске уменьшилось: по выбросам пыли в 15–20 раз, диоксиду серы в 25 раз и диоксиду азота менее чем в 2 раза (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Средняя концентрация (мг/м³) основных загрязнителей атмосферного воздуха в г. Минске и г. Могилеве (по данным Департамента гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь)

Загрязняющее вещество	Год					1995	2000
	1972–1974	1976	1991	1991	1991		
Минск							
Пыль	–	300	300	101	30	19	
Диоксид серы	160	50,0	50,0	3,8	1,4	2,0	
Оксид углерода	–	1200	1200	1182	949	1126	
Диоксид азота	180	60	60	33	47	36	
Могилев							
Пыль	–	300	300	133	67	33	
Диоксид серы	–	120	120	13,8	2,5	3,0	
Оксид углерода	–	2200	2200	1718	1568	1165	
Диоксид азота	–	40	40	104	46	77	

В Могилеве содержание взвешенных частиц в воздухе за этот период сократилось в 6–10 раз и диоксида серы в 30–40 раз, но диоксида азота возросло в 2 раза. Перечень загрязняющих веществ в двух городах дополняется тяжелыми и цветными металлами, формальдегидом, аммиаком, фенолом, бенз(а)пиреном и другими, включая сероводород и сероуглерод (особенно в Могилеве). По данным лихеноиндикационных исследований, в лесопарке имени 50-летия Октября сформировалась наиболее крупная в городе атмохимическая аномалия, атмосферный воздух лесопарка «Печерский» менее загрязнен [135].

За уменьшением загрязнения воздушной среды в двух городах, начиная с середины 1970-х гг., не последовало выздоравливания ели, наоборот, ее угнетение продолжилось: радиальный прирост сократился до минимальных значений в 1977–1998 гг. (см. табл. 4.1). Возникла необходимость выявить причину.

Таким образом, исследованные насаждения находятся на территориях с разным уровнем загрязнения воздушной среды в пространственном и временном аспектах. Лидирующее положение принадлежит лесопарку имени 50-летия Октября, относящемуся к части столицы с наиболее неблагоприятной экологической обстановкой.

Изменчивость радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения воздушной среды подчинена тем же закономерностям, которые свойственны ее насаждениям на незагрязненной территории Беларуси: низкая чувствительность к климатическим факторам (температуре воздуха и осадкам), угнетение до 1920-х гг., максимальная стволовая продуктивность в 1920–50-е гг. с депрессией в начале 1940-х гг. (аномально суровые зимы) и падение прироста во второй половине XX в.

Как отмечалось, в начале 1950-х гг. наступил период общей депрессии радиального прироста этой породы независимо от возраста (за исключением 75-летнего поколения) и уровня техногенного загрязнения. Все возрастные серии ели в лесопарках Минска (за исключением 75-летней) и Могилева продемонстрировали высокую синхронность в изменчивости радиального прироста с коэффициентом положительной межсерийной корреляции от 0,51 до 0,82, что указывает на сходность реакции ели в исследованных лесопарках на разные условия произрастания (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Межсериальные коэффициенты корреляции радиального прироста возрастных групп ели в г. Минске, г. Могилеве и на контрольном полигоне «Логойский»

Полигон	Возраст, лет	Минск			Могилев			«Логойский»				
		110	95	75	135	90	75	80	85	75	105	90
Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$												
Минск	140	64	75	-47	66	69	60	66	63	-13	38	35
	110		51	-71	71	56	52	46	42	-29	-09	-02
	95			-42	62	78	54	71	68	-16	49	48
	75				-70	-54	-48	-52	-34	49	14	02
Могилев	135					82	58	72	57	-33	30	18
	90						73	80	71	-17	54	49
	75							71	80	-16	45	53
«Логой-ский»	80								79	-40	67	64
	85									-09	64	69
	75										04	06
	105											85

Только у 75-летней группы изменчивость годичного кольца была асинхронна остальным сериям в Минске ($-0,42 > r > -0,71$) и Могилеве ($-0,48 > r > -0,70$). Присутствие асинхронности в радиальном приросте обеспечивает не только оптимальное использование среды обитания, но и устойчивость насаждения к экстремальному воздействию [136].

Изменчивость радиального прироста ели в техногенно загрязненной воздушной среде была синхронна с его динамикой на контрольном тест-полигоне вне этого загрязнения с высокими положительными коэффициентами корреляции, опять же за исключением 75-летнего поколения.

Радиальный прирост у средневозрастной группы на всех тест-полигонах был асинхронен его изменчивости у более старших возрастных поколений (отрицательные коэффициенты корреляции). Синхронность изменчивости радиального прироста ели при разном уровне техногенного загрязнения и без него свидетельствует о сходной реакции ее насаждений на изменение погодно-климатических условий.

Ель по отношению к свету характеризуется как теневыносливая, по отношению к теплу – как малотребовательная порода, относящаяся к

гигромезофитам. Ее наиболее высокая интенсивность фотосинтеза, определенная в насаждении в Центральном ботаническом саду Академии наук БССР, приходится на май (8,1) при средней за вегетационный период 4,7 мг CO₂ на 1 г сухой хвои [137]. Эти показатели фотосинтетической интенсивности ели отвечают ее реальным значениям на территории Беларуси.

Как отмечалось, ФАР определяет интенсивность фотосинтеза и сопровождающие его физиологические процессы — дыхания и транспирации. У прямой и рассеянной радиации физическое воздействие на растения различно. Прямая радиация определяет тепловой режим, скорость протекания физиологических процессов и регулирует обмен воздуха в насаждениях, но при высоком значении при безоблачном небе может прекратить фотосинтез.

У теневыносливых растений, к которым относится ель, фотосинтез с использованием прямой ФАР наиболее активно протекает в утренние и предвечерние часы с депрессией в полуденное время при ярком свете [104]. В ясную погоду спектр рассеянной радиации смещен в сторону коротких волн и наиболее богат фотосинтетической составляющей.

К экологическим климатическим факторам (температура воздуха и осадки), определяющим фон для фотосинтеза, в условиях городской среды добавляется дополнительный — техногенное загрязнение воздушной среды. Отсюда возникает интерес к следующей задаче: как в действительности меняется радиальный прирост сохранившихся в лесопарках естественных насаждений ели с тем или иным приходом ФАР в месяцы вегетации при разных актинометрических уровнях.

Корреляционный анализ выявил, что погодичная изменчивость прямой лучистой энергии в годы до актинометрической аномалии (1954–1976 гг.), сопровождаемые незначительным похолоданием, не оказывала влияния на радиальный прирост ели как в техногенно загрязненной воздушной среде (Минск, Могилев), так и вне этого антропогенного фактора («Логойский») (табл. 4.4).

С наступлением актинометрической аномалии в 1977–1998 гг. рассеянная ФАР в самые теплые месяцы вегетационного периода приобрела лимитирующее значение для нарастания стволовой массы в лесопарках (для перестойных групп деревьев) и вне промышленного загрязнения: коэффициенты корреляции оказались не только отрицательными, но и статистически значимыми (табл. 4.5).

Таблица 4.4

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели с ФАР в 1954–1976 гг.

Возраст, лет	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР								
	прямой			рассеянной			суммарной		
	Месяц								
	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX
Минск									
140	–07	–17	–25	–11	25	03	–12	–04	–24
110	22	26	24	–10	22	03	18	37	26
95	18	12	07	–09	40	18	16	33	17
75	–32	–26	–19	08	–33	–08	–30	–32	–24
Могилев									
135	29	19	23	–08	30	19	27	35	33
90	38	17	17	07	43	17	44	39	31
75	09	–14	–08	28	27	–14	19	–01	–03
«Логойский»									
105	–04	–17	–01	01	–06	20	02	–20	06
90	–16	–36	–23	–04	–26	–13	–16	–48	–36
85	09	10	05	36	09	09	28	28	13
80	26	26	12	–10	26	10	29	29	24
75	–03	–06	–03	–33	–16	04	–11	–15	–09

Таблица 4.5

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели с ФАР при актинометрической аномалии в 1977–1998 гг.

Возраст, лет	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР								
	прямой			рассеянной			суммарной		
	Месяц								
	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX
Минск									
140	–20	11	17	–18	–44	–44	–27	–27	–24
110	22	31	24	–09	–61	–61	–05	–15	–32
95	–14	–25	–09	–06	–20	–25	–16	–42	–30
75	–13	–22	–05	–09	–25	–20	–16	–43	–22
Могилев									
135	–05	22	22	–04	–43	22	–07	–10	–13
90	00	07	07	–03	–09	07	05	00	10
75	11	–18	–18	14	23	–18	17	–01	14
«Логойский»									
105	01	–41	–35	07	–36	35	05	–16	–12
90	15	–46	–35	09	–56	51	20	–04	–01
85	20	–28	–32	06	–22	26	22	–13	–17
80	–02	–52	–50	–05	–41	38	–03	–23	–26
75	19	10	04	12	–06	09	22	06	10

На полигоне «Логойский» 90- и 80-летние деревья, имеющие наиболее значимые отрицательные коэффициенты корреляции с прямой и рассеянной радиацией в июне – июле при актинометрической аномалии, были вырублены, как отмечалось, после усыхания в 2002–2003 гг.

После актинометрической аномалии, при более теплом климате, радиальный прирост всех возрастных групп деревьев в Минске и полигоне «Логойский» в отличие от предыдущих отрезков времени оказался в обратной связи с прямой радиацией в мае и за вегетационный период, но прямой с рассеянной в июне – июле (за исключением 105-летней серии в Минске) и в мае (для всех возрастных групп на полигоне «Логойский») (табл. 4.6).

Таблица 4.6

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели с ФАР в 1999–2013 гг.

Возраст, лет	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР								
	прямой			рассеянной			суммарной		
	Месяц								
	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX
Минск									
140	–37	12	–16	–13	08	–06	–43	20	–20
110	–23	–06	–28	–12	04	–14	–26	–04	–37
95	–33	–11	–32	06	40	26	–30	16	–06
75	–26	–27	–23	19	43	35	–18	–01	04
«Логойский»									
105	–65	–11	–45	45	–12	–19	–61	31	–32
85	–34	14	–28	44	54	49	–36	–07	–18
75	–48	33	–40	42	60	51	–30	39	12

Появление отрицательной связи для всех возрастных групп ели с прямой ФАР в условиях промышленного загрязнения воздушной среды вступает в противоречие с увеличением ее радиального прироста после 1998 г. и с положительной корреляцией с радиальным приростом «островных» ельников Белорусского Полесья [73]. Для преодоления этого парадокса необходимо определить участие других климатических факторов (температуры воздуха и осадков) в стволовую продуктивность ели.

Таким образом, в изменяющемся климате не существует абсолютной нейтральности годичного нарастания ствола у ели от составляю-

щих ФАР: прямой, рассеянной и суммарной, хотя для фотосинтеза используется около 1 % лучистой энергии и не существует дефицита лучистой энергии, лимитирующего фотосинтез, так как все выявленные Белгидрометом отклонения находятся выше порога светового насыщения, который, по А. А. Ничипоровичу [104], составляет 25–35 % от интенсивности полной солнечной радиации.

4.4. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения

Климатические условия за анализируемые 1954–1976, 1977–1998 и 1999–2013 гг. определялись динамикой циркуляционных процессов в движении воздушных масс и поступлением солнечной радиации. Их изменчивость в эти временные отрезки прослежена нами за каждый месяц вегетации, а также в июне – июле (самые теплые месяцы с наиболее продолжительным фотопериодом), мае – сентябре (вегетационный период), октябре – апреле (безлиственный период, период покоя) и за гидрологический год, начало которого 1 октября (табл. 4.7).

Смена циркуляционных механизмов в 1976 г. неоднозначно отразилась на изменчивости климатической ситуации в Минске (центральная часть Беларуси) и Могилеве (восток). В Минске среднегодовая температура увеличилась на 0,6 °С, в Могилеве не изменилась. В Минске потеплело в мае на 0,5 °С, в Могилеве его температура осталась прежней.

Похолодание в июне и июле было более выраженным при актинометрической аномалии в Могилеве (особенно в июле – на 1 °С). В среднем в месяцы вегетации температура заметно (на 0,9 °С) понизилась именно в Могилеве, оставаясь неизменной в Минске. Менее заметным (на 0,4 °С) было потепление на востоке, чем в центре Беларуси (на 0,8 °С).

Среднегодовое выпадение осадков в Могилеве практически не изменилось, в Минске заметно (на 44 мм) возросло, включая месяцы с наиболее длинным фотопериодом (в июне на 8 мм, в июле на 10 мм). В целом в Могилеве выпадение осадков до 1976 г. более неравномерное, чем в 1977–1998 гг., как и в Минске (за исключением безлиственного периода и гидрологического года).

Таблица 4.7

**Климатические условия до, во время и после актинометрической аномалии
в 1977–1998 гг. (по наблюдениям на метеостанциях Минск и Могилев)**

Месяц	1954–1976 гг.				1977–1998 гг.				1999–2013 гг.			
	t		осадки		t		осадки		t		осадки	
	°С	σ	мм	σ	°С	σ	мм	σ	°С	σ	мм	σ
Минск												
V	12,5	2,0	62	30	13,1	1,9	61	32	13,4	1,7	73	33
VI	16,3	1,6	78	36	16,2	1,5	86	44	17,1	1,8	83	42
VII	17,7	1,4	81	55	17,3	1,5	91	50	19,8	1,8	100	43
VIII	16,5	1,3	75	34	16,8	1,5	67	40	18,2	1,2	83	59
IX	11,8	1,5	54	26	11,5	1,7	71	37	2,7	1,1	41	19
VI–VII	17,0	1,2	160	73	16,8	1,1	177	58	18,4	1,4	183	14
VI–IX	14,9	0,9	351	83	15,0	0,9	376	88	16,2	0,8	380	94
X–IV	–1,0	1,5	305	65	–0,2	1,5	316	77	0,7	1,1	327	49
Год	5,6	0,9	656	78	6,2	1,0	692	110	6,9	0,6	701	101
Могилев												
V	12,7	2,3	59	27	12,7	1,9	49	23	13,1	1,9	62	34
VI	16,7	1,8	72	33	16,0	1,6	84	39	16,6	1,8	66	29
VII	18,0	1,4	85	43	17,0	1,3	80	42	19,4	1,9	85	55
VIII	16,7	1,3	71	40	16,2	1,3	63	34	17,6	1,3	71	33
IX	11,6	1,5	51	30	11,2	1,6	69	36	12,1	1,0	37	17
VI–VII	17,4	1,3	157	58	16,5	1,2	164	50	18,0	1,4	151	75
VI–IX	15,1	1,0	337	101	14,6	0,8	344	74	15,8	0,9	321	67
X–IV	–1,4	1,4	285	74	–1,0	1,5	273	52	–0,2	1,2	319	56
Год	5,5	1,0	622	121	5,5	1,1	617	94	6,4	0,7	640	83

Между климатическими условиями месяцев вегетации и ФАР существовала связь, мало различающаяся по анализируемым временным отрезкам. Средняя температура вегетационных месяцев статистически значимо коррелировала с прямой ФАР, осадки – отрицательно (табл. 4.8).

Потепление после 1998 г., начавшись с возросших в 1977–1988 гг. стартовых позиций, оказалось более результативным для каждого из месяцев вегетации безлиственного периода. В Минске май стал теплее на 0,6 °С, июнь – на 0,9, июль – на 2,5, вегетационный период в целом на 1,2 и безлиственный период на 0,9 °С. На востоке Беларуси (Могилев) похолодание июня и июля сменилось их заметным потеплением (особенно июля – на 2,4 °С). Увлажненность вегетационного периода уменьшилась (на 23 мм), безлиственного возросла (на 46 мм), в то время как в центре Беларуси (Минск) почти не изменилась.

Таблица 4.8

Коэффициенты корреляции между температурой воздуха и осадками месяцев вегетационного периода с ФАР (по наблюдениям на метеостанции Минск)

Месяц	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР					
	с $t^{\circ}\text{C}$		с осадками		с $t^{\circ}\text{C}$	
	1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
При прямой						
V	<u>56</u>	–04	<u>51</u>	–44	37	–60
VI	<u>72</u>	–68	<u>47</u>	–51	<u>57</u>	–37
VII	<u>52</u>	–31	<u>82</u>	–74	<u>57</u>	–45
VIII	<u>66</u>	–47	<u>65</u>	–59	05	–70
IX	<u>66</u>	–41	<u>46</u>	–65	<u>57</u>	–15
VI–VII	<u>64</u>	–52	<u>61</u>	–50	32	–47
VI–IX	<u>76</u>	–44	<u>68</u>	–35	44	–54
При рассеянной						
V	09	–31	27	–37	–08	07
VI	–16	–24	–17	–41	–66	–43
VII	–38	–10	–12	–11	01	50
VIII	–20	21	08	–03	50	–74
IX	19	15	<u>55</u>	–46	–13	–46
VI–VII	–30	–23	–30	–25	04	–04
VI–IX	–28	03	12	–42	–36	44
При суммарной						
V	<u>64</u>	–19	<u>60</u>	–57	34	–58
VI	<u>61</u>	–78	28	–75	24	–62
VII	33	–37	<u>79</u>	–30	<u>66</u>	44
VIII	<u>58</u>	–39	<u>74</u>	–64	23	–80
IX	<u>72</u>	–30	<u>70</u>	–79	47	–55
VI–VII	<u>46</u>	–62	40	–73	27	–47
VI–IX	<u>61</u>	–43	<u>70</u>	–67	32	31

Термический режим приземного атмосферного воздуха определяется именно прямой, а не рассеянной радиацией. Его связь с этой метеовеличиной, судя по коэффициенту корреляции, прямая, в то время как с осадками – обратная. Результирующий эффект суммарной радиации возрастает при однозначных (по знаку) коэффициентах корреляции, при прямой и рассеянной радиации, но ослабевает при противоположных знаках. При потеплении климата после 1998 г. прямая связь температуры воздуха и обратная с осадками в вегетационные месяцы с прямой и, следовательно, с суммарной ФАР значительно ослабела. Степень взаимосвязи, согласно коэффициентам корреляции, значительно понизилась вплоть до слабой. Причина, видимо, заключена в увеличе-

нии облачности, приведем к большому количеству осадков именно в месяцы, в которых произошло ослабление связи ФАР с этой метеовеличиной и температурой.

Изменение климата конкретных территорий имеет свои причинно-следственные особенности, которые проявляются в состоянии и продуктивности (включая радиальный прирост) лесных пород. Даже незначительное несовпадение в динамике климата может привести к неоднородной реакции древесных растений на изменчивость температуры воздуха и осадков, что и произошло в лесопарках Минска и Могилева.

В 1977–1998 гг. значение осадков в безлиственный период для прироста ели в условиях промышленного загрязнения возросло. Положительная корреляция между ними и радиальным приростом в текущем году приобрела статистическую значимость (в Минске – для всех возрастных групп, в Могилеве – для 90-летнего поколения). Подобная корреляция не выражена на контрольном тест-полигоне.

Индексный прирост ели, усиливающий климатический сигнал, на лессовидно-суглинистом эдафотопе оказывается в отрицательной корреляции с осадками безлиственного периода на третий год их выпадения (лаг 2 года) независимо от возраста и экологических условий нахождения насаждений [16].

На контрольном полигоне «Логойский» эта отрицательная корреляция приобретала статистическую значимость. В 1954–1976 гг. температурные условия для ели при техногенном загрязнении воздушной среды и вне этого антропогенного фактора не являлись лимитирующими: коэффициенты корреляции между радиальным приростом и их значениями во всех анализируемых случаях оказались статистически недостоверными (табл. 4.9).

Таблица 4.9

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели в лесопарках Минска и Могилева и на полигоне «Логойский» в 1954–1976 гг. и 1977–1998 гг. с температурой воздуха и осадками

Возраст, лет	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$									
	с $t^{\circ}\text{C}$					с осадками, мм				
	V	VI–VII	V–IX	X–IV	год	V	VI–VII	V–IX	X–IV	год
1954–1976 гг.										
Минск										
140	–12	–31	–42	21	05	05	02	45	–11	36
110	–20	13	–08	–29	–24	–13	–14	16	–38	–14
95	–01	12	–04	–24	–23	17	–15	29	–51	–10
75	11	–12	11	14	15	–04	33	–15	36	–38

Возраст, лет	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$									
	с $t^{\circ}\text{C}$					с осадками, мм				
	V	VI-VII	V-IX	X-IV	год	V	VI-VII	V-IX	X-IV	год
Могилев										
135	-06	-01	18	-17	-16	17	-35	26	-05	18
90	06	15	30	02	14	10	-39	21	-14	10
75	08	14	-08	30	12	27	05	37	14	39
«Логойский»										
105	17	-16	18	16	21	12	-09	-25	37	04
90	10	-09	02	32	31	-17	29	21	30	39
85	-16	-01	08	30	29	-02	-24	02	02	27
80	20	-01	-13	-18	-06	42	-46	09	-12	01
75	26	-20	-23	02	-01	-02	-07	11	24	27
1977–1998 гг.										
Минск										
140	22	20	23	02	06	37	30	-07	43	-01
110	-01	34	03	02	02	-01	36	10	53	46
95	24	-14	03	08	08	44	38	12	<u>77</u>	<u>66</u>
75	08	-16	01	09	17	46	42	14	53	49
Могилев										
135	-11	16	09	51	47	-08	02	-06	18	07
90	10	-14	01	58	50	12	09	08	51	36
75	06	-33	-08	37	29	10	-03	-05	38	17
«Логойский»										
105	09	-31	-07	-03	-06	18	12	24	18	29
90	25	-42	-19	11	02	12	10	34	-03	18
85	27	-22	-09	-03	-07	03	14	41	20	32
80	-11	-36	-21	-03	11	11	07	46	05	29
75	29	15	15	27	28	06	30	08	29	19

К началу активного роста древесных растений необходимо приготовить почвенного раствора – в этом заключено значение осадков безлиственного периода. Их большое количество не только активизирует рост ели, но одновременно вызывает изменения в лесовидно-суглинистом эдафотопе: ухудшение условий аэрации, вынос питательных элементов, снижение активности беспозвоночных и микроорганизмов и т. д. В результате ель теряет значительную массу всасывающих и тонких проводящих корней, функции сохранившейся части корневой системы ослабевают и подавляются возникшим анаэробизмом [138; 139].

При такой значимости атмосферного увлажнения для стволовой продуктивности и состояния древостоя возникающий стресс приобре-

тает более контрастную реакцию (вне загрязнения) — в появлении статистически значимых коэффициентов корреляции между индексным приростом и этим метеофактором при сдвиге на два года.

Появлению у ели двухфазной реакции на атмосферное увлажнение в безлиственный период способствуют также водно-физические особенности гумусово-аккумулятивного и элювиального горизонтов лессовидно-суглинистых почв. У них низкие коэффициенты структурности и крайне низкие показатели водопрочности почвенных агрегатов.

По всей видимости, загрязнение почвы, включая замусоривание, и ее уплотнение, препятствующее проникновению в нее атмосферной влаги, не создавали такой ситуации с ее увлажнением, как на полигоне «Логойский», и радиальный прирост не приобретал выраженной обратной связи с осадками.

Следует отметить, что стрессовая ситуация, вызываемая атмосферными осадками в безлиственный период, не возникла до 1976 г. и проявилась только в 1977–1998 гг. Причина, вероятно, заключена в увеличении их количества и возросшей дисперсии их выпадения именно в этот период года в центральной части Беларуси.

При потеплении климата после 1998 г. дендроклиматическая ситуация коренным образом изменилась. Заметное потепление безлистненного периода (в Минске на 0,9 °С) вызвало отрицательную корреляцию радиального прироста с его температурой в текущем и следующем (лаг 1) годах, которая у большинства возрастных серий приобрела статистическую значимость (табл. 4.10).

В более теплых месяцах вегетационного периода с возросшей дисперсией температуры, особенно в июне и июле, ширина годичного кольца оказалась в корреляционной зависимости от осадков этих месяцев и периода в целом. Увлажненность безлистненного периода перестала быть определяющей в изменчивости радиального прироста.

В техногенно загрязненном экотопе насаждения ели продолжают функционировать в основном в естественном режиме. В качестве защитного и адаптационного потенциала древесных растений, испытывающих негативное влияние атмосферных загрязнителей, выступает их способность вовлекать ксенобиотики в метаболизм. Поглощение и использование химических соединений в качестве питательных субстратов — следствие эволюционно закрепленного у растений обмена веществ, позволяющего сформировать и поддерживать хемотолерантность фитоненозов [51; 137], хотя при этом возможно повреждение ассимиляционного аппарата [140].

Таблица 4.10

Коэффициенты корреляции радиального прироста ели в лесопарке Минска и на полигоне «Логойский» в 1999–2013 гг. с температурой воздуха и осадками

Возраст, лет	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$											
	с t °С							с осадками, мм				
	V	VI–VII	V–IX	X–IV		год		V	VI–VII	V–IX	X–IV	год
			тек.	лаг I	тек.	лаг I						
Минск												
140	24	24	40	–58	–48	–60	–63	42	46	71	–03	71
110	–08	05	12	–46	–58	–41	–62	–07	72	62	11	72
95	14	03	22	–34	–51	–61	–43	21	69	63	03	70
75	–07	06	13	–25	–46	–44	–40	15	80	59	–23	50
«Логойский»												
105	16	51	–10	–31	–44	–52	–44	19	47	66	–08	68
85	–09	–05	08	–09	–71	–06	–58	08	28	15	20	33
75	–06	–12	06	–16	–55	–26	–60	13	26	40	–08	49

Способность растений выживать в неблагоприятных условиях загрязненной среды обусловлена в значительной мере присутствующей в клетке системой биохимической детоксикации соединений. Пероксидаза, играющая важную роль в дыхании растений, у большинства видов активизируется [51; 137].

Адаптивным механизмом, позволяющим ели освоить техногенно загрязненный экотоп, служит также способность клетки в хвое поддерживать оптимальную фотоактивную поверхность в условиях максимальной нагрузки за счет увеличения числа хлоропластов и сохранения оптимального их объема, что обеспечивает нормальный ход роста и продуктивность фитоценоза в этих условиях [51]. Ель в ряду хвойных пород имеет наибольшую устойчивость к агрессивным внешним воздействиям [141].

Слабовыраженная реакция ели в условиях техногенного загрязнения воздушной среды и вне этого антропогенного фактора до потепления климата после 1998 г. на изменчивость поступления солнечной радиации, температуры воздуха и осадков указывает на то, что ель находилась в оптимальных климатических условиях на территории Беларуси. Возмущения в ее дендрометрических рядах вызывали экстремальные погодные условия – сильные морозы в малоснежные и бесснежные зимы, летальное воздействие которых на древостой усиливается последующими летними засухами.

Реакция ели на потепление климата после 1998 г. выразилась в приобретении ее радиальным приростом отрицательной корреляционной

зависимости от температуры безлиственного периода и положительной с осадками вегетационного. Увлажненность безлиственного периода перестала быть определяющей в изменчивости годичного кольца.

Интегрированное обеспечение климатическими факторами нарастания стволовой массы ели в условиях техногенного загрязнения воздушной среды и вне этого загрязнения определяется совместным действием — ФАР (прямой и рассеянной), температуры и осадков.

Как отмечалось, при актинометрической аномалии, при похолодании вегетационного периода (1977–1998 гг.), радиальный прирост всех возрастных групп деревьев в Минске и на полигоне «Логойский» в отличие от предыдущего отрезка времени (1954–1976 гг.) оказался в отрицательной корреляции с прямой радиацией в мае и в целом за вегетационный период, а также с рассеянной в июне — июле. Эта корреляция в основном сохранилась и при потеплении после 1998 г. При этом отрицательной связи для всех возрастных групп ели с прямой ФАР в условиях промышленного загрязнения воздушной среды сопутствовала ее положительная корреляция с шириной годичного кольца «островных» ельников Белорусского Полесья [73].

Термический режим приземного атмосферного воздуха определяется именно прямой, а не рассеянной радиацией. Прямая радиация оказывает непосредственное физическое воздействие на хвою и может вызывать ее перегрев. Возможен и перегрев ствола, который у ели имеет тонкую кору [4]. Как известно, прямая радиация определяет тепловой режим, скорость протекания физиологических процессов и регулирует обмен воздуха в насаждениях, но при высоком значении при безоблачном небе может прекратить фотосинтез.

При сильном недостатке влаги и вынужденном снижении транспирации листья сильно перегреваются, устьица закрываются, что обычно снижает интенсивность фотосинтеза [104]. Транспирация выступает как фактор регулирования температуры листьев.

Одна из возможностей для сопротивления подавлению фотосинтеза — улучшение условий охлаждения листа (хвои) за счет повышения эвапотранспирации [123]. Поступление солнечной радиации находится в обратной связи с количеством выпадающих осадков, определяемым облачностью. Увеличение облачности ведет к росту рассеянной радиации, но к сокращению прямой. Количество осадков зависит от облачности.

Усиление физического воздействия прямой солнечной радиации на хвою и ствол сопровождается уменьшением осадков и, следовательно, сокращением влаги в почве. Возросшую потребность в воде ель на авто-

морфной лессовидно-суглинистой почве может удовлетворить только за счет содержащейся в ней влаги, запасы которой пополняются только осадками. Транспирационный ток определяет интенсивность фотосинтеза [104].

Однако суммация солнечной радиации с температурой и осадками проявилась в обратной связи с ней радиального прироста ели на лессовидно-суглинистом эдафотопе в городской среде и за ее пределами. Сокращение стволовой продуктивности привело и к обратной корреляции радиального прироста с рассеянной ФАР. В результате выстраивается цепь последовательно зависимых процессов: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → ограничение использования почвенной влаги → сокращение транспирации → обратная корреляция радиального прироста с ФАР.

Возникающий водный голод у древесного растения в условиях высоких температур воздушной среды и нагрева фотосинтезирующего аппарата при ограниченности запасов влаги в автоморфной почве может быть удовлетворен приповерхностно залегающим водоносным горизонтом, водные ресурсы которого являются не ограниченными для потребления насаждением в любых погодноклиматических параметрах. Такие условия существуют на Белорусском Полесье, где песчаный почвенный покров характеризуется капиллярно-гидроморфными условиями увлажнения.

Именно в этом регионе продуктивность лесных биогеоценозов, в том числе стволовая, зависит от использования вод, удовлетворяющих их возрастающую потребность при увеличении транспирационных расходов и метаболизме [32]. При хорошем водоснабжении древесные растения с хорошо развитой корневой системой в песчаных почвах имеют возможность испарять много влаги и лучше питаться. Как утверждал К. А. Тимирязев, растение вынуждено много испарять, чтобы хорошо питаться [105].

При весенне-летнем недоборе осадков потребление насаждением воды из приповерхностного водоносного горизонта может в полтора-два раза превышать их количество [32]. Одновременно растению поставляется больше минеральных элементов питания.

Водное и минеральное обеспечение продукционного процесса в таких почвенно-гидротопических условиях не является лимитирующим фактором, и максимальная стволовая продуктивность достигается при высокой температуре и обеспечивающей ее солнечной радиации. В результате возникает прямая статистическая зависимость радиального прироста ели в островных локалитетах на песчаных гидроморфных почвах Белорусского Полесья от солнечной радиации в отличие от его обратной связи на автоморфном эдафотопе в центральной части (Минск, Ло-

гойск) и востоке (Могилев) Беларуси. Цепь последовательных процессов в таких условиях выглядит иначе: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → увеличение потребления почвенно-грунтовой воды → увеличение транспирации → прямая статистическая зависимость радиального прироста с ФАР как начальным звеном этой цепи.

4.5. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны в условиях техногенного загрязнения

Концентрация промышленного производства на локализованных территориях города, определяемых как заводские районы, неизбежно порождает проблему качества окружающей среды. Имеющиеся научные публикации указывают на то, что загрязнение атмосферного воздуха техногенными поллютантами и возрастающая рекреационная нагрузка вызывают во многих случаях нежелательные сдвиги в развитии лесных экосистем, не исключая их полную деградацию. Особенно страдают от разнообразных антропогенных нагрузок, включая загрязнение воздуха, хвойные, в том числе сосновые, леса.

Сосновые насаждения, сохранившиеся в Минске и являющиеся естественным природным компонентом города, представляют благодатный объект для целенаправленных экологических исследований. Анализу их состояния посвящено множество публикаций, перечень которых частично приведен в монографиях [137; 141; 142; 143].

Проблемой, требующей своего решения, осталось выявление способности насаждений сосны, находящихся в условиях техногенного загрязнения воздушной среды, реагировать на изменчивость погодно-климатических условий. Выполненные исследования, результаты которых излагаются в этом разделе, посвящены поиску ее решения.

Для достижения поставленной цели в лесопарке имени 50-летия Октября с наиболее интенсивным загрязнением воздушной среды в Минске были выбраны два тест-участка [133]. В отличие от типологических пробных площадей, применяемых в лесоведении, с определенной размерностью, перечетом деревьев, отбором образцов древесины по ступеням толщины и выбором среднего модельного дерева на тест-участках отбор кернов (по 12 на каждом из них) возрастным буровом на высо-

те 1,3 м выполнен у наиболее развитых (по визуальному определению) деревьев в апреле 2014 г.

На двух тест-участках одна и та же дерново-подзолистая почва со следующими горизонтами: A_0 (0–3 см) – дернина с обильным листовым опадом, A_1A_2 (3–22 см) – песок разнозернистый, серый, B (22–56 см) – песок разнозернистый, рыхлый, серовато-охристый, влажный, C (56–100 см) – супесь моренная с валунами и галькой, бурая, плотная.

Тип леса – сосняк мшистый, но напочвенный покров претерпел значительные антропогенные нагрузки, отразившиеся во вселении злаков и разнотравья. Кустарники и мелколиственный подрост обильны: крушина, малина (полукустарник), бузина красная, рябина, калина, боярышник, клен остролиственный, береза, осина и др. Это не требует санитарного ухода за насаждением. Именно санитарная уборка, при которой сгребаются и удаляются из него весь опад, исключает возвращение в биологический круговорот элементов питания древесных растений, приводя их к угнетению и последующему отмиранию. Такая ситуация свойственна парку у имени Челюскинцев в Минске, где сосна находится в угнетенном состоянии (вплоть до усыхания) с крайне низким радиальным приростом [144].

Несмотря на педотопическое однообразие, тест-участки различаются по положению в рельефе. Тест-участок 1 занимает нижнюю треть склона слабовыпуклой локальной возвышенности, тест-участок 2 – среднюю треть этого склона. Насаждение на слабовыпуклой вершине оказалось непригодным для исследования (спортивные площадки, санитарная уборка при отсутствии кустарников и мелколиственного подраста, повреждение и вырубка деревьев).

В насаждении 90-летнего возраста (дендрошкалы с 1930 г.) диаметр стволов от 36 до 46 см при высоте 24–28 м. Многолетний ход изменчивости радиального прироста (мм) представлен на рис. 4.8, индексового прироста (%), определенного с применением пятилетнего скользящего осреднения, – на рис. 4.9. Статистическая характеристика радиального прироста приведена в табл. 4.11.

Осредненный радиальный прирост указывает на то, что до 1953 г. сосна не находилась в угнетенном состоянии. Аномальные зимние холода 1941–1943 гг. вызвали заметную депрессию в изменчивости ширины годичных колец только у деревьев, расположенных выше по рельефу (тест-участок 2). Однако потенциал стволовой продуктивности сосны в климатических условиях до 1953 г., отраженный в максимальном радиальном приросте одного дерева (8,7 мм), реализован именно в этом морфотопе.

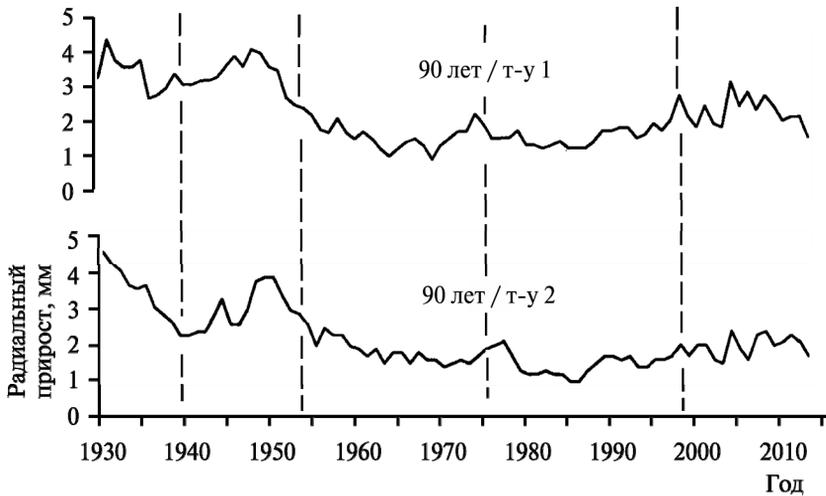


Рис. 4.8. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны в лесопарке имени 50-летия Октября [133]

Таблица 4.11

Статистическая характеристика радиального прироста сосны в лесопарке имени 50-летия Октября

Тест-участок	Радиальный прирост, мм			Мк, %	Кч
	\bar{x}	σ	max	σ	
1930–1953 гг.					
1	3,3	0,5	7,5	7,2	0,17
2	3,1	0,7	8,7	8,9	0,19
1954–1976 гг.					
1	1,5	0,4	3,7	13,4	0,33
2	1,7	0,3	3,2	7,6	0,20
1977–1998 гг.					
1	1,5	0,4	3,0	11,8	0,19
2	1,4	0,3	2,5	9,0	0,20
1999–2013 гг.					
1	2,1	0,4	4,4	15,7	0,39
2	1,9	0,3	3,8	17,8	0,33

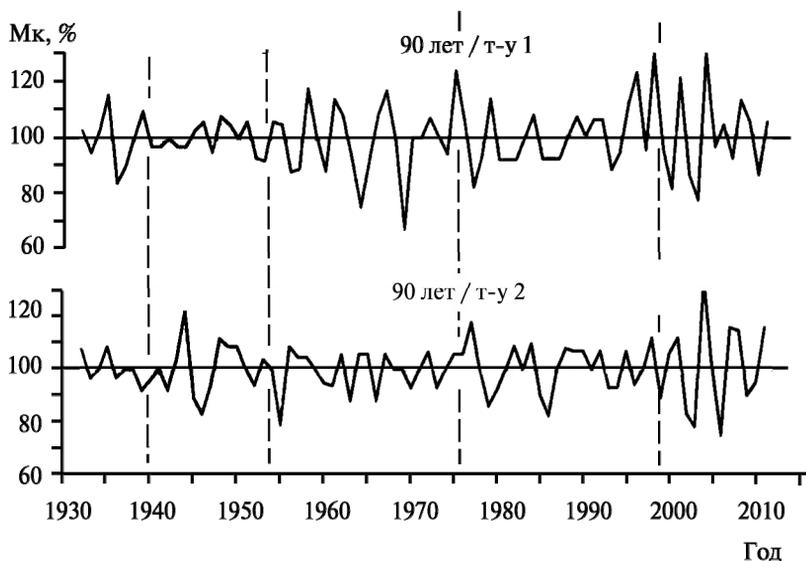


Рис. 4.9. Многолетний ход изменчивости индексного прироста в лесопарке имени 50-летия Октября [133]

Резкое увеличение промышленных эмиссий в воздушный бассейн началось, в сущности, с введением в эксплуатацию МАЗа, МТЗ и общим ростом промышленного производства в г. Минске. К середине 1950-х гг. его объем значительно превысил довоенный уровень. Как итог экологического воздействия промышленных поллютантов на сосну в исследованном экотопе ее радиальный прирост начал результативно сокращаться к середине 1970-х гг. с максимальным загрязнением до минимальных значений.

В среднем ширина годичного кольца за 1954–1976 гг. сократилась в два раза по сравнению с предшествующим периодом. Очевидной причиной послужило воздействие техногенных газообразных поллютантов на ассимиляционный аппарат сосны. В возникших экологических условиях потенциал ее стволовой продуктивности (максимально возможный радиальный прирост) сократился более чем в два раза.

При изучении влияния техногенных загрязнителей на растительные сообщества весьма важный отправной момент – учет продолжительности выбросов разными источниками. Фактор времени – начало воздей-

ствия промышленных эмиссий — имеет особое значение при анализе и оценке такой функциональной характеристики, как текущий радиальный прирост.

Чувствительность сосны к климатическим факторам в это время различалась по ее принадлежности к морфотопу. Сосна оказалась более чувствительной в ее погодичной изменчивости, располагаясь ниже по рельефу ($Kч = 0,33$), чем на относительно повышенном положении ($Kч = 0,20$).

Частичное оздоровление воздушной среды после ее максимального загрязнения в первой половине 1970-х гг. должно было бы привести к улучшению состояния сосны и увеличению ее стволовой продуктивности. Но этого не произошло, хотя в 1971–1980 гг. возник всплеск радиального прироста, за которым последовало дальнейшее угнетение древостоя, продолжавшееся до 1998 г. (см. рис. 4.8).

При снижении техногенной нагрузки (загрязнение) прогностическая оценка стабильности запасов соснового древостоя должна была возрасти до $S_n = 0,90–0,92$ (полная стабильность наступает при $S_j = 1,0$) по сравнению с $S_n = 0,68–0,80$ [120]. Однако ожидаемые перемены к лучшему не оправдались, но и существенных изменений к худшему (полной деградации насаждения) не произошло. Угнетение радиального прироста сохранилось на том же уровне (1,5 мм на тест-участке 1) или ниже (на 0,3 мм на тест-участке 2) при низкой чувствительности к климатическим факторам.

Причину продолжившейся в 1977–1998 гг. стагнации жизненного состояния сосны следует искать в погодно-климатических условиях данного временного отрезка с актинометрической аномалией. В эти годы радиальный прирост приобрел отрицательную корреляцию с рассеянной ФАР (статистически значимую на тест-участке 1 в месяцы с наиболее длительным фотопериодом) (табл. 4.12).

При актинометрической аномалии в 1977–1998 гг. преобладание рассеянной ФАР над прямой было наиболее значительным, чем до и после нее, и ее участие в физическом воздействии на растение при сокращении поступления прямой радиации оказывалось более результативным после 1998 г., при потеплении климата.

Преобладание рассеянной ФАР над прямой менее значительно: в месяцы с наиболее длительным фотопериодом на 17 % по сравнению с 55 % до актинометрической аномалии. Физическое воздействие на хвою прямой ФАР возросло, хотя перегрев хвои у сосны маловероятен.

Таблица 4.12

**Коэффициенты корреляции радиального прироста сосны
в лесопарке имени 50-летия Октября г. Минска с ФАР**

Тест-участок	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР								
	прямой			рассеянной			суммарной		
	Месяц								
	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX	V	VI–VII	V–IX
1954–1976 гг.									
1	08	–30	02	13	21	13	15	–18	08
2	05	02	01	08	30	16	03	18	10
1977–1998 гг.									
1	–07	30	04	–17	–55	–49	–22	–12	–21
2	–02	06	05	–32	–34	–34	–22	–20	–32
1999–2013 гг.									
1	–58	24	–20	40	11	–08	–37	37	–15
2	–46	–44	–53	01	50	36	–46	–17	–13

Возрастающая потребность в воде при увеличении эвапотранспирации могла быть компенсирована только почвенной влагой. Ее резервные запасы определяются осадками, режим выпадения их в анализируемое время изменялся мало. Погодичная изменчивость не привела к возникновению связи стволовой продуктивности сосны с этим метеофактором, который для этого древесного растения, являющегося двойным ксерофитом, оказался оптимальным в климатических условиях Беларуси.

Обратная отрицательная зависимость радиального прироста сосны от прямой солнечной радиации обнаружена и на верховых болотах Беларуси. Возросшую потребность в воде при повышении температуры ее слаборазвитая корневая система не в состоянии удовлетворить в условиях физиологической сухости (низкая температура болотных вод и гигрофильность сустрата и мохового покрова) и высокой влажности воздуха [64].

Подтверждением угнетения фактического радиального прироста и, следовательно, метаболизма сосны на верховом болоте прямой солнечной радиацией служат результаты кросс-корреляционного анализа его связи с этим лимитирующим фактором на верховых болотах Поозерья: «Мох» в Дисненском лесхозе, в ландшафтном заказнике «Межозерный» и урочище «Макомецкий лес» в Национальном парке «Браславские озера» [3].

Таблица 4.13

**Коэффициенты корреляции радиального прироста сосны
в лесопарке 50-летия Октября г. Минска с температурой воздуха и осадками**

Тест-участок	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$									
	с t °С					с осадками, мм				
	V	VI–VII	V– IX	X– IV		V	VI–VII	V– IX	X– IV	
тек.				лаг I	тек.				лаг I	
1954–1976 гг.										
1	–02	–11	01	22	23	–29	34	24	–26	04
2	–18	–06	–15	–16	–23	–19	–09	07	–44	–27
1977–1998 гг.										
1	–12	34	29	48	50	–02	–16	–20	–04	–19
2	–18	10	–10	40	29	08	27	25	14	28
1999–2013 гг.										
1	–76	–36	–48	11	–18	–17	10	40	–15	36
2	–34	–34	–26	39	–05	05	30	17	11	22

Возникшее противоречие между обратной связью радиального прироста сосны с ФАР и температурой и возросшей стволовой продуктивностью при потеплении климата можно снять, допустив улучшение минерального питания. Увеличение транспирации вовлекает в биологический круговорот минеральные ресурсы почвы. Потепление климата после 1998 г. вызвало активизацию микробиологической минерализации богатого листового опада и обогащение ресурсного потенциала почвы. Улучшение азотного и минерального питания сосны привело к увеличению стволовой продуктивности.

Выполненные исследования показали, что в условиях техногенного загрязнения воздушной среды не существует абсолютной нейтральности сосны, как и ели, к такому мощному фактору, как ФАР, что создало необходимость использования его для уточнения причин угнетения сосны в лесопарке имени 50-летия Октября на фоне погодно-климатических флуктуаций (температуры воздуха и осадков) во второй половине XX – начале XXI в.

Глава 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПЕРЕХОДНЫХ И ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ

5.1. Переходное болото как индикатор изменчивости погодно-климатических условий Белорусского Полесья

Переходные болота в Белорусском Полесье, хотя и имеют незначительное распространение по сравнению с низинными и верховыми, являются неотъемлемым компонентом его природного своеобразия. Изучение их динамического развития может внести свой вклад в понимание происходящих изменений в регионе, осложненных водно-земельной мелиорацией.

Более чем 200-летнее осушение и сельскохозяйственное освоение болот и заболоченных земель привели к тому, что этот мелиоративный фактор наряду с вырубкой и искусственным возобновлением лесов стал одним из ведущих в преобразовании природной среды Белорусского Полесья. Крупномасштабные водно-земельные мелиорации как завершающий этап мелиоративного освоения региона были выполнены в 1960–80-х гг., и мелиоративное освоение болот и заболоченных земель было завершено.

Возникшие при этом проблемы ресурсного и экологического порядка не исчезли. Их решению способствовала бы реконструкция современных природных условий региона, если бы не выполнялась практически повсеместно осушительная мелиорация, ответив на вопрос: что

собой представлял бы этот регион без активного антропогенного вмешательства в развитие породной среды? К тому же современное ее состояние — только промежуточный этап изменения под давлением данного фактора на фоне естественной динамики природных процессов.

Определенный интерес для дендроклиматических исследований представляли верховые болота, находящиеся за пределами возможного влияния мелиоративной сети на уровенный режим питающих грунтовых вод [89]. Переходные болота оказались не привлеченными для постановки целенаправленных исследований.

Произошедшие изменения в природе Полесья нередко объясняются влиянием заключительного этапа мелиоративных работ в 1965—1980 гг. Подчеркивание этого антропогенного фактора без выяснения естественного развития природной среды не способствует оптимальному решению возникших задач в области природопользования. Восстановить естественный ход ее изменений можно по многолетнему ходу радиального прироста лесных пород, выступающему в роли индикатора этих изменений.

Реконструировать развитие природной среды региона по динамике радиального прироста сосны можно только в случае, если болото сохранило свой естественный ход развития без пирогенного и мелиоративного фактора. Одно из таких — Круковское болото на междуречье Березины и Птичи, в 1,5 км западнее с. Круки, которое относится к переходному типу. Непосредственно у восточной окраины этого населенного пункта в овальной локальной котловине находится верховое болото со старейшими на Полесье соснами в возрасте 250—305 лет, привлеченными для дендроклиматического анализа.

Переходное болото сравнительно небольшой размерности (поперечником до 0,7 км) с сосняком сфагновым примечательно расположением на нем «болотных городков». Древостой сосны на них заинтересовал для дендроклиматических исследований. Болото сильно обводнено.

Мощность торфа в неуплотненном состоянии более 2,5 м. Очес под моховым покровом отсутствует, что является признаком его принадлежности к переходному типу [146]. Уровень вод даже в засушливые годы не опускается ниже мохового сфагнового покрова. Образцы древесины (керны) сосны отобраны возрастным буравом на высоте 0,5 м в апреле 2012 г. Сведения о тестируемых деревьях представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Сведения о тестируемых деревьях
на переходном Круковском болоте**

Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
155	1	24	—
130	11	22–32	15–22
100	7	24–32	15–22
90	10	22–32	15–22
70	9	24–32	15–22

Наблюдения на метеостанции Василевичи, привлеченные для исследования, характеризуют климатические условия нарастания стволовой массы сосны на болоте без антропогенного вмешательства в его водный режим. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны ориентирован на использовавшиеся временные отрезки: 1906–1940 гг. – влажная климатическая эпоха со среднегодовым количеством осадков 715 мм при средней температуре воздуха 6,4 °С, 1941–1976 гг. – похолодание (средняя температура 6,3 °С) в неустойчиво влажную эпоху, 1977–2011 гг. – потепление (6,8 °С, рост температуры безлиственного периода на 0,9 °С) при увеличении осадков.

Насаждение сосны на исследованном переходном болоте в отличие от болот верхового типа обладает сравнительно высокой стволовой продуктивностью. Независимо от возраста (от 70 до 155 лет) диаметр стволов изменяется в довольно узких пределах – от 22 до 32 см при высоте деревьев от 15 до 22 м. Значение коэффициента корреляции первого порядка (0,72–0,86) указывает на то, что погодные условия текущего года влияют на радиальный прирост древесины в следующем году. Межсерийный коэффициент корреляции (от 0,58 для возрастов 70 и 130 лет, 0,87 для возрастов 90 и 100 лет) показывает разную синхронность изменчивости прироста для возрастных серий всего насаждения.

Максимально возможный радиальный прирост, определенный по одному дереву каждой возрастной группы и отражающий потенциал стволовой продуктивности сосны на переходном болоте в конкретных погодно-климатических условиях, был выявлен при сокращении осадков и незначительном похолодании в 1941–1976 гг. (табл. 5.2).

Таблица 5.2

**Статистическая характеристика годовичных колец
у древесно-кольцевых хронологий сосны на переходном Круковском болоте**

Год	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексного прироста, %
		средний	максимальный	σ	
Возраст 130 лет					
1977–2011	0,40	1,0	2,5	0,28	22,4
1941–1976	0,32	1,1	3,3	0,31	15,6
1906–1940	0,35	0,8	3,2	0,30	17,7
Возраст 100 лет					
1977–2011	0,35	0,9	3,8	0,27	15,1
1941–1976	0,38	1,4	5,2	0,51	18,3
1922–1940	0,29	1,4	4,0	0,31	14,4
Возраст 90 лет					
1977–2011	0,28	1,1	2,8	0,27	14,7
1941–1976	0,30	1,7	7,0	0,73	14,0
Возраст 70 лет					
1977–2011	0,42	1,8	5,0	0,55	20,0
1949–1976	0,32	2,3	5,2	0,63	13,1

Дендрохронологии всех возрастных групп характеризуются низкой климатической чувствительностью в принятых временных отрезках. Коэффициент чувствительности, по А. Е. Дугласу, изменялся от 0,28 до 0,40 (см. табл. 5.2) и в большинстве случаев был больше 0,3, необходимый, чтобы считать насаждение чувствительным к изменчивости климата. Дисперсия (σ) индексного прироста, оценивающая амплитуду его погодичной изменчивости, отвечает показателю чувствительности при состоянии древостоя (при угнетении текущего прироста она больше).

Таким образом, сокращение осадков при похолодании климата в 1941–1976 гг. по сравнению с предыдущими и последующими временными отрезками оказалось благоприятным фактором для реализации потенциала стволовой продуктивности сосны на исследованном переходном болоте, приблизив ее к текущему радиальному приросту этой древесной породы на песчаных почвах Полесья. Дендрохронология старейшего 155-летнего дерева (рис. 5.1) отражает условия работы Западной экспедиции по осушению болот в 1873–1898 гг. [145].

Максимально возможное нарастание стволовой массы реализовано сосной при похолодании климата и сокращении осадков в 1941–1976 гг. Радиальный прирост в эти годы зависел от возраста древостоя. Так, у 130-летнего поколения он определен в 3,3 мм, 100-летнего – 5,2 мм,

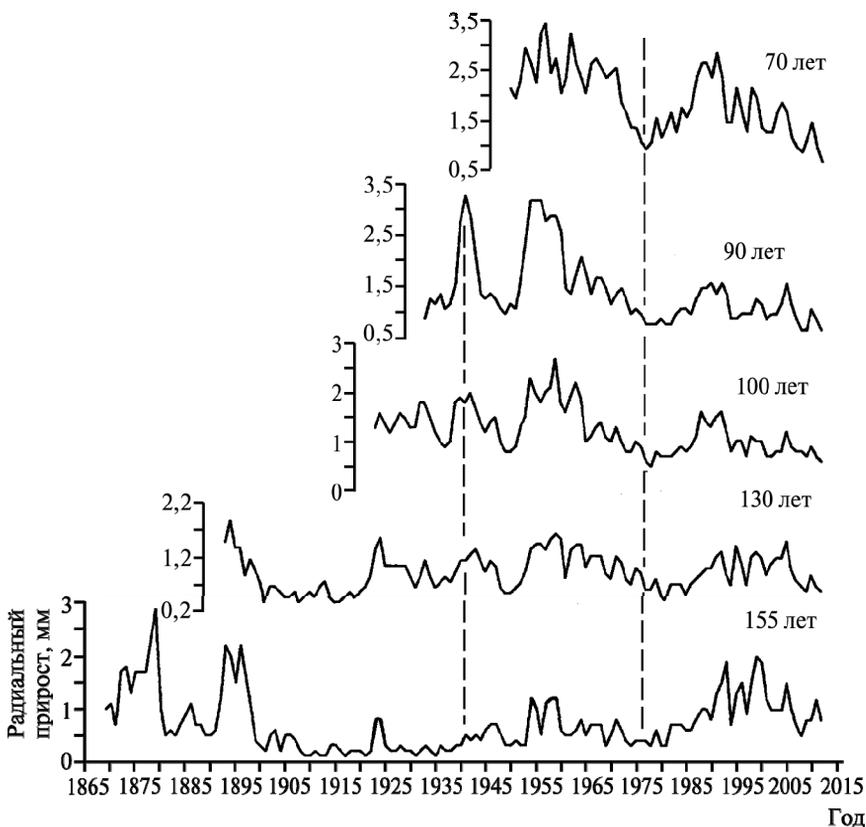


Рис. 5.1. Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны на переходном Круковском болоте [145]

90-летнего – 7,0 мм и 70-летнего – 5,2 мм. Средняя ширина годичного кольца для данных возрастных серий составила 1,1, 1,4, 1,7 и 2,3 мм в соответствии с его наибольшей дисперсией (σ) в эти же годы (0,31, 0,51, 0,73 и 0,63 мм) при наименьшей дисперсии индексного прироста, за исключением 100-летней возрастной группы.

Необходимо повторить, что до 1891 г. естественное осушение болот было вызвано наименее увлажненными условиями после засухи 1874 г. за весь период инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи. Среднегодовое количество осадков составило 526 мм. На начальном этапе работы Западной экспедиции шли дожди, и болота были

переполнены водою. В 1879 г. выпало 708 мм осадков. Затопление болот сопровождалось похолоданием.

Погодная обстановка в 1888–1901 гг. изменилась: среднегодовое количество осадков сократилось до 614 мм. Возникли засухи (особо значимая из них в 1892 г. — 495 мм осадков), породив предположение о влиянии осушения полесских болот на климат значительных территорий России. Начало XX в. ознаменовалось быстрым нарастанием увлажненности региона вплоть до рекордного выпадения осадков в 1906 г. (1097 мм). Однако это не прекратило дискуссии о климатических последствиях осушения полесских болот.

Динамика радиального прироста сосны на неосушаемом болоте с его экспрессией и падениями более полно отражает условия атмосферной увлажненности Полесья во время работы Западной экспедиции (см. рис. 5.1). Увеличение осадков и, следовательно, увлажненности болота с наступлением влажной климатической эпохи с преобладанием западной циркуляции воздушных масс, продолжавшейся до начала 1940-х гг., привело к угнетению не только старейшего 155-летнего дерева, но и 130-летней группы. По окончании этой эпохи, с резким сокращением осадков, начался радиальный прирост, но кратковременно (особенно заметно у 90-летней группы). Радиальный прирост в самые холодные 1940–1942 гг. отмечен также у ели в «островных» локалитетах «Ельнички», находящихся в этом же лесхозе [16]. Однако за увеличением последовало его угнетение в 1945–1953 гг.

Примечательно, что эта депрессия по времени совпала с самыми сухими годами XX в. с рекордно низким количеством осадков в 1946 г. (355 мм), а ее прекращение в 1953 г. — с аномальными осадками (905 мм). Очевидно, естественное осушение болота в условиях значительного недобора осадков также пагубно сказывается на продуктивности сосны, как и чрезмерное увлажнение.

Наилучшие лесорастительные условия (по увлажненности) существовали до 1965 г. с умеренными осадками после их обильного выпадения в 1953 г. (в среднем за год 573 мм) вплоть до наступления влажного десятилетия 1966–1976 гг. (в среднем за год 642 мм). После максимального угнетения в 1976 г. радиальный прирост у всех возрастных групп увеличился, достигнув наибольшего значения в 1985–1993 гг. у 100-, 90- и 70-летних групп. Продукционный процесс у 155-летнего дерева значительно активизировался в 1990–2005 гг.

Погодичная изменчивость индексного прироста (рис. 5.2) всех возрастных групп сосны на исследованном переходном болоте не имела статистически значимой зависимости от температуры воздуха за гидрологический год в течение анализируемых отрезков времени.

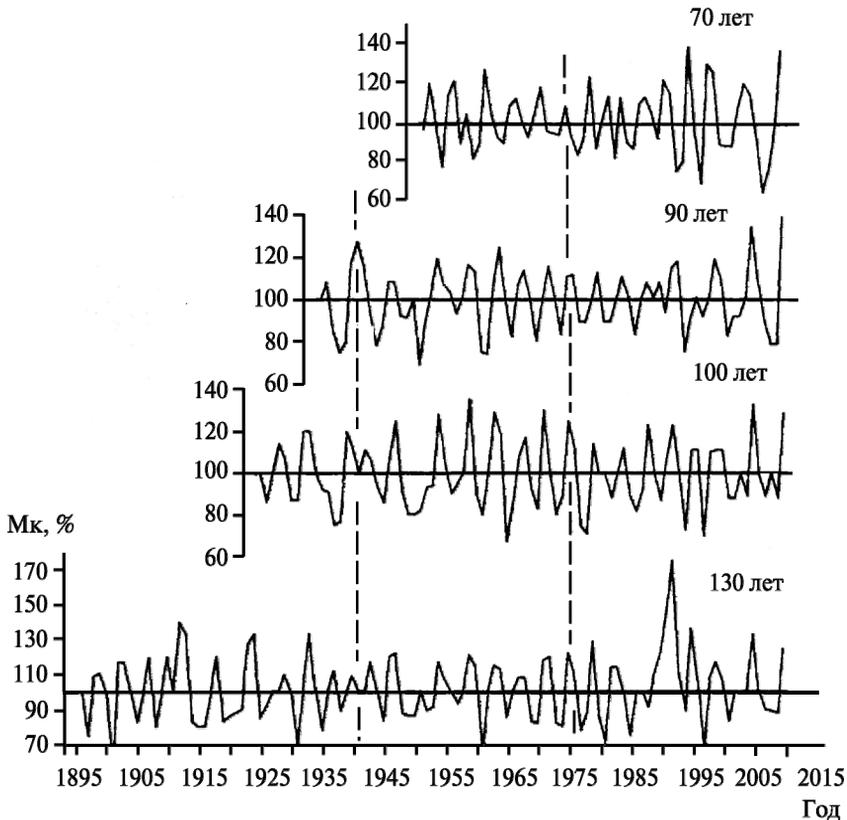


Рис. 5.2. Многолетний ход изменчивости индексного прироста сосны на переходном Круковском болоте [145]

Однако при похолодании климата в неустойчиво влажную эпоху (1941–1976 гг.) положительная корреляция этой связи за вегетационный период приобретала статистическую значимость, которая отсутствовала в предыдущий и последующий временные отрезки. Именно при похолодании климата положительная корреляция индексного при-

роста с осадками на следующий год (лаг 1 год) преобразовывалась в отрицательную.

В погодичной изменчивости фактический (мм) радиальный прирост также не имел статистически значимой корреляции с солнечной (прямой и рассеянной) радиацией за весь период инструментальных наблюдений на метеостанции Василевичи, начиная с 1955 г., как в год наблюдения, так и при фазовом сдвиге на 1 год.

Несмотря на незначительное распространение, переходные болота на Белорусском Полесье – неотъемлемый компонент его природного своеобразия. Впервые полученный массовый дендрометрический материал, отражающий их динамическое развитие, вносит свой вклад в понимание происходящих изменений в регионе, осложненных водно-земельной мелиорацией. Динамика радиального прироста сосны на нем полно отражает условия атмосферной увлажненности Полесья, начиная со времени работы Западной экспедиции по осушению болот.

5.2. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны на верховых болотах Белорусского Полесья

Проблема осушительной мелиорации верховых болот для лесовыращивания в Полесье, как и на всей территории Беларуси, неактуальна. Еще Л. П. Смоляк доказывал, что затраты на мелиорацию лесов на них не окупаются, а естественное резкое падение уровня грунтовых вод в засушливые годы снижает прирост сосны [146].

Верховые болота, как и болота других типов, выполняют две основные функции в природе: накопление органического вещества (торфа) и регулирование водного режима сопредельных территорий, особенно с песчаной литологической основой на Белорусском Полесье. В первом случае они служат кладбищем для природы, во втором – резервуаром воды, необходимым для этой же природы [147]. Вместе с тем они – неотъемлемый компонент ландшафтов Беларуси, который отражает состояние природной среды, диагностируя происходящие изменения в ней под влиянием антропогенных факторов (в первую очередь осуши-

тельной мелиорации). Их роль в природе велика, и природоохранное значение очевидно.

Согласно Закону Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды» верховые болота отнесены к природным территориям, подлежащим специальной охране. Закон Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-З «О мелиорации земель» запрещает проведение на них мелиорации.

Неблагоприятные условия для сосны на верховых болотах приобретали экстремальный характер (понижение температуры воздуха и увеличение осадков) после мощных вулканических извержений [3]. Обнаружение вулканического сигнала способствует более полному пониманию ресурсных и экологических проблем региона, возникших не только в результате осушительной мелиорации, но и естественного развития природной среды, включая влияние на нее вулканических извержений.

Произошедшие изменения на Полесье нередко объясняются влиянием на него заключительного этапа мелиоративного освоения в 1965–1980 гг. Постоянное подчеркивание этого антропогенного фактора не способствует оптимальному решению возникающих задач в области природопользования. Современные ресурсные и экологические проблемы связаны не только с завершением мелиоративных работ, но и всей историей естественного развития природной среды.

Восстановить летопись происходивших изменений в природной среде региона можно по многолетнему ходу изменчивости радиального прироста лесных пород, который выступает в роли индикатора. К сожалению, великовозрастные насаждения на Полесье после сплошных рубок в XIX и XX вв. не сохранились.

Вероятнее всего, их можно встретить на верховых болотах с мощностью торфа до 1,0 м в небольших по площади овальных понижениях на песчаных междуречьях. Такие болота, не способные к автономному регулированию водного режима, не могли быть освоены под сельскохозяйственные угодья и для торфоразработок, а древостой на них не представлял интереса для заготовки древесины [3; 147].

Белорусское Полесье достаточно далеко удалено от действующих вулканов. По этой причине влияние их извержений на природную среду региона не исследовалось, в то время как публикации по экологической ревизии результатов мелиоративных работ не поддаются учету. Вулканические извержения, особенно крупномасштабные, поставляют в атмосферу аэрозоли, которые влияют на радиационный режим и климат. Крупные извержения вулканов в Северном полушарии вызывают

снижение температуры и ведут к депрессии радиального прироста древесных растений на севере Евразии [20].

Выделение того или иного фактора во флуктуации радиального прироста сосны на верховом болоте затруднено постоянным переувлажнением, бедностью и высокой кислотностью субстрата (торфа). Влияние изменчивости геофизических и погодно-климатических условий ослаблено или не проявляется, будучи подчиненным превалярованию водного и эдафического факторов.

По этой причине предпринималось мало попыток привлечь радиальный прирост сосны на верховых болотах для дендрохронологических и дендроклиматических исследований. Т. Т. Битвинскас считал верховые болота бесперспективными для дендроклиматических исследований [5]. Использование их в оценке влияния вулканических извержений на природную среду болот в отдаленных регионах как научно-исследовательская задача вообще не возникла. Более того, изменчивость прироста может вызываться периодически повторяющимися пожарами и осушительной мелиорацией.

В нашем случае угнетенность древостоя не послужила препятствием для попытки привлечения информации о вулканических извержениях для объяснения флуктуаций радиального прироста как индикатора изменчивости природной среды экологически напряженного региона.

Сосны с наибольшим на Полесье возрастом (до 305 лет) нами выявлены на верховом болоте в долине р. Птичь вне зоны влияния мелиоративных работ на режим грунтовых вод [3; 147; 148]. Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. В радиальном приросте разновозрастных поколений сосны (общее количество деревьев – 58) обнаружен отклик на мощные вулканические извержения за последние 300 лет (рис. 5.3).

Изменчивость радиального прироста сосны, единственной лесообразующей породы на них, нарушается периодически повторяющимися пожарами и осушительной мелиорацией. В нем обнаружен и сигнал крупнейших вулканических извержений [3; 147; 148].

Депрессия в древесно-кольцевых хронологиях деревьев в возрасте от 85 до 305 лет наступала после извержения Геклы, Лаки, Тамборы, Кракатау, Катмая, Агунга, Святой Елены, Пинатубо и Эль-Чичона. Более молодые поколения сосны в возрасте от 85 до 140 лет активно снижали стволовую продуктивность сосны после вулканических извержений.

Сегодня верховые болота повсеместно находятся в ожидании двух бед: пожаров и осушительной мелиорации на сопредельных переувлажненных сельскохозяйственных угодьях. Мониторинг их состояния стал

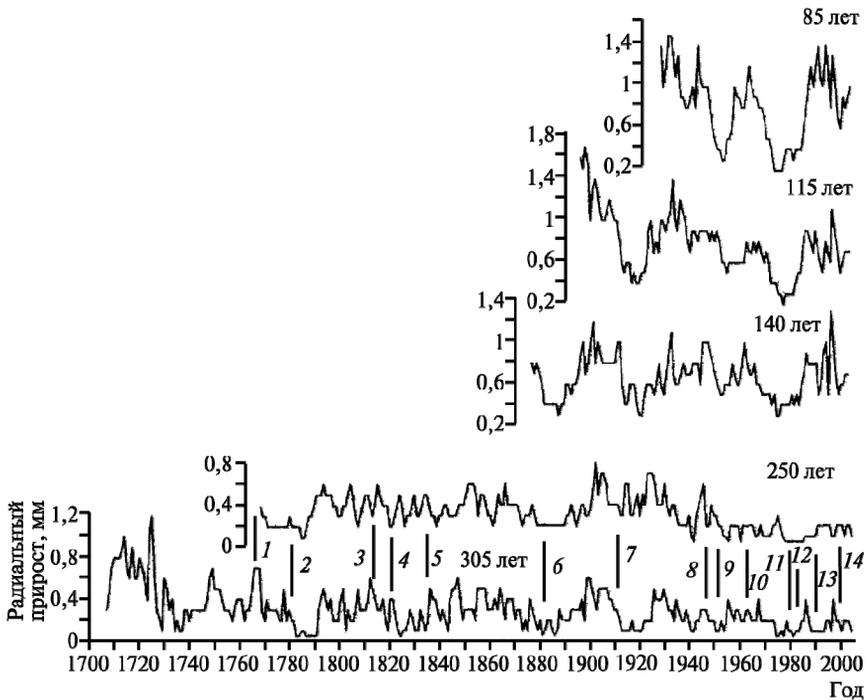


Рис. 5.3. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте вне влияния мелиоративных систем. Вертикальными линиями показаны извержения вулканов: 1 – Гекла; 2 – Лаки; 3 – Тамбора; 4 – Галунггунг; 5 – Косигуин; 6 – Кракатау; 7 – Катмай; 8 – Гекла; 9 – Ламингтон; 10 – Агунгой; 11 – Святой Елены; 12 – Эль-Чичон; 13 – Пинатубо; 14 – Гекла [3; 147; 148]

особенно актуален при возросшей антропогенной нагрузке в изменяющихся климатических условиях. Пожары на них стали практически ежегодной реальностью, масштаб проявления которой зависит не только от усилий по их предотвращению. Их частота определяется комплексом взаимосвязанных условий метеорологического порядка (прежде всего, засушливостью года) и антропогенными факторами – осушительной мелиорацией и небрежным обращением с огнем.

Годичные кольца уцелевших деревьев, растущих на болотной почве, покрытой золой и углями, приобретают почерневший или пепельный оттенок, сохраняющийся в течение одного или нескольких лет после

пожара. Именно такие кольца позволяют установить год пожара. К тому же при однобоком повреждении ствола внутри него «консервируется» наружное поврежденное кольцо.

Не на всех верховых болотах происходит подобная «запись» пожаров: как правило, древостой сосны погибает в огненной стихии. Из множества исследованных болот, находящихся на осушенных еще в XIX в. территориях, только на одном из них (урочище «Красная корчма» в Светлогорском лесхозе) в дендрокольцевой хронологии (по радиальному приросту 52 деревьев сосны в возрасте от 55 до 170 лет – старейшего возраста на горевших болотах) записана летопись болотных пожаров (рис. 5.4).

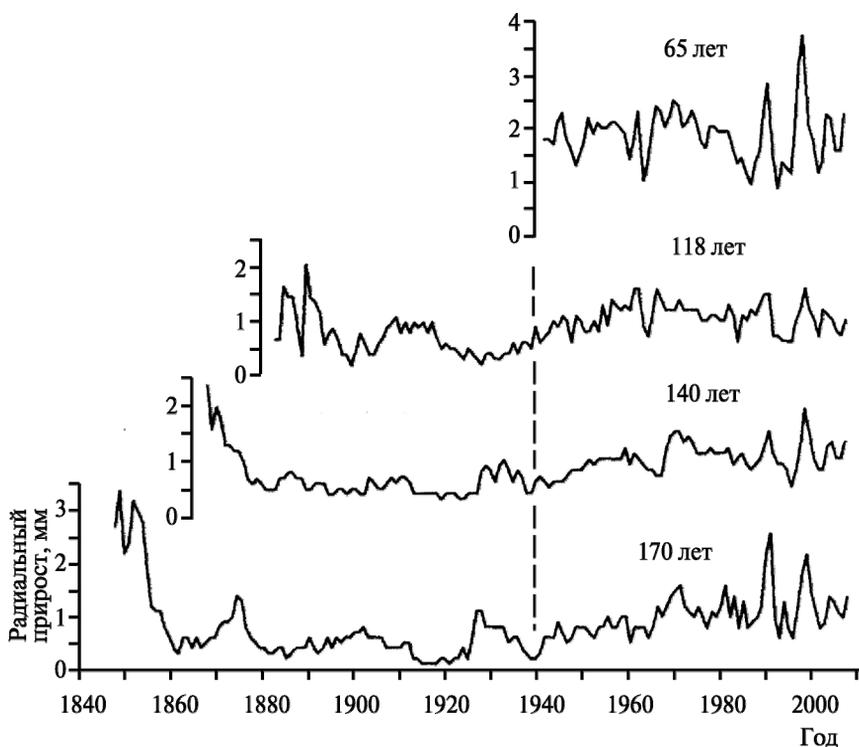


Рис. 5.4. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте с периодическими пожарами (урочище «Красная корчма»). Вертикальной штриховой линией показан 1940 г. – переход к неустойчиво влажной климатической эпохе [3; 147]

Пожары в 1839, 1868 и 1881 гг., после которых появлялось новое поколение сосны, продолжались и позднее. С наступлением неустойчиво влажной климатической эпохи после 1940 г. они приняли опустошительный характер [3; 147].

Остается ряд невыясненных вопросов о развитии верховых болот, оказавшихся на территориях с осушительной сетью и подвергшихся опустошительному пожару (с полной гибелью древостоя сосны). В частности, нет полной ясности, как развивается естественное возобновление сосны после пожара на верховом болоте, оказавшемся в зоне действия осушительной мелиоративной сети.

Единственным источником информации служит древостой, в стволах которого заключена летопись в виде годичных колец, зафиксировавшая происходящие изменения в возникшем лесном насаждении. В качестве объекта исследования выбрано верховое болото «Шапеецкий мох» на севере Октябрьского лесхоза (Гороховичское лесничество) [148].

«Шапеецкий мох» занимает овальное понижение (поперечником до 1 км с запада на восток и 1,5 км с севера на юг) южнее с. Вяжны на песчаном междуречье канализированных рек Ипа и Тремля. На севере, за водоотводящим каналом Речка, к нему примыкает прекратившая использование площадка по добыче торфа с сохранившейся густой сетью осушительных канав. К настоящему времени она зарастает густым березовым мелколесьем с отдельно стоящими соснами.

Сосна вселилась на верховое болото, по всей видимости, после пожара в 1950 г., о чем свидетельствует ее возраст (55–65 лет). После пожара в 1972 г. северо-восточная окраина болота заросла березой пушистой, образовавшей густое мелколесье высотой 10–12 м с диаметром стволов 10–16 см.

Болото представляет собой локализованный природный комплекс, относящийся к омбротрофно-болотно-подзолисту типу [6]. В научном и практическом планах оно интересно тем, что позволяет ответить на вопрос: что представлял бы из себя верховой тип болот после пожара и осушительной мелиорации при сохранении искусственно пониженного уровня грунтовых вод и естественного лесозарастивания? Что на нем не изменяются условия увлажнения, непосредственно показывает состояние осушительной сети, включая канал Речка, и сельскохозяйственное использование освоенных земель на мелиоративных объектах Ипа и Тремля.

Березовое мелколесье на самом болоте не имеет признаков угнетения и отмирания (сухостой), которые наступают при подъеме грунто-

вых вод. Его сформировавшийся физиономический облик указывает на то, что принимаемые решения о повторном заболачивании осушенных территорий для восстановления утраченного состояния верховых болот не всегда оправданы.

Маломощную (до 0,5 м) торфяную залежь после пожара оккупировал сосняк багульниково-сфагновый с возобновленным моховым покровом и кустарничковым (багульник) ярусом (вереск, голубика и черника редки). На незначительно приподнятом (на 0,2–0,3 м) плоском повышении с иллювиально-гумусово-железистым подзолом на кварцевых песках сформировался сосняк черничный (с участием багульника).

Иллювиально-гумусово-железистый подзол включает следующие горизонты: A_0 (0–4 см) – подстилка; A_1A_2 (4–12 см) – песок черный с белой присыпкой; A_2 (12–24 см) – песок белесый, рыхлый; B_h (24–42 см) – песок ржаво-бурый, плотный, глыбистый; B_gC_g (42–100 см) – песок кварцевый, мелкозернистый, сизоватый с охристыми пятнами, сырой, оплывает. Уровень воды во время отбора образцов древесины в октябре 2012 г. находился на глубине 50 см.

Многолетний ход изменчивости радиального прироста (мм) возрастных групп сосны представлен на рис. 5.5, индексного (%), определенного с применением пятилетнего скользящего сглаживания, – на рис. 5.6. Статистическая характеристика насаждения и годовых колец приведена в табл. 5.3.

Как оказалось, по своей стволовой продуктивности сосна на осушенной торфяной залежи не уступает ей на песчаных почвах Полесья, а на осушенном иллювиально-гумусово-железистом подзоле даже превышает. Для сравнения, средний размер годовичного кольца у этой древесной породы в 1945–1973 гг. на этих почвах составил 2,1 мм (сосняк черничный и сосняк мшистый) [6].

Судя по максимальному размеру годовичного кольца (у отдельных деревьев), после осушительной мелиорации сосна на верховом болоте реализует высокую потенциальную стволовую продуктивность. Наибольший размер годовичного кольца сосняк на торфяной залежи приобрел в 1955–1965 гг. после пожара при том состоянии осушительной сети, которое сохранялось в первые годы после эксплуатации торфяного месторождения.

Количество осадков в эти годы (в среднем за год 658 мм, за вегетационный период 366 мм, за безлиственный 292 мм) было равно средне-многолетним. Последовавшее угнетение радиального прироста в 1970–1977 гг. вызвано увеличением увлажненности: в среднем за год выпада-

ло 690 мм осадков (за вегетационный период 359 мм, за безлиственный 331 мм). Среди этого 8-летия наиболее увлажненными были 1973 (849 мм, за вегетационный период 546 мм осадков) и 1977 гг. (860 мм, за вегетационный период 494 мм).

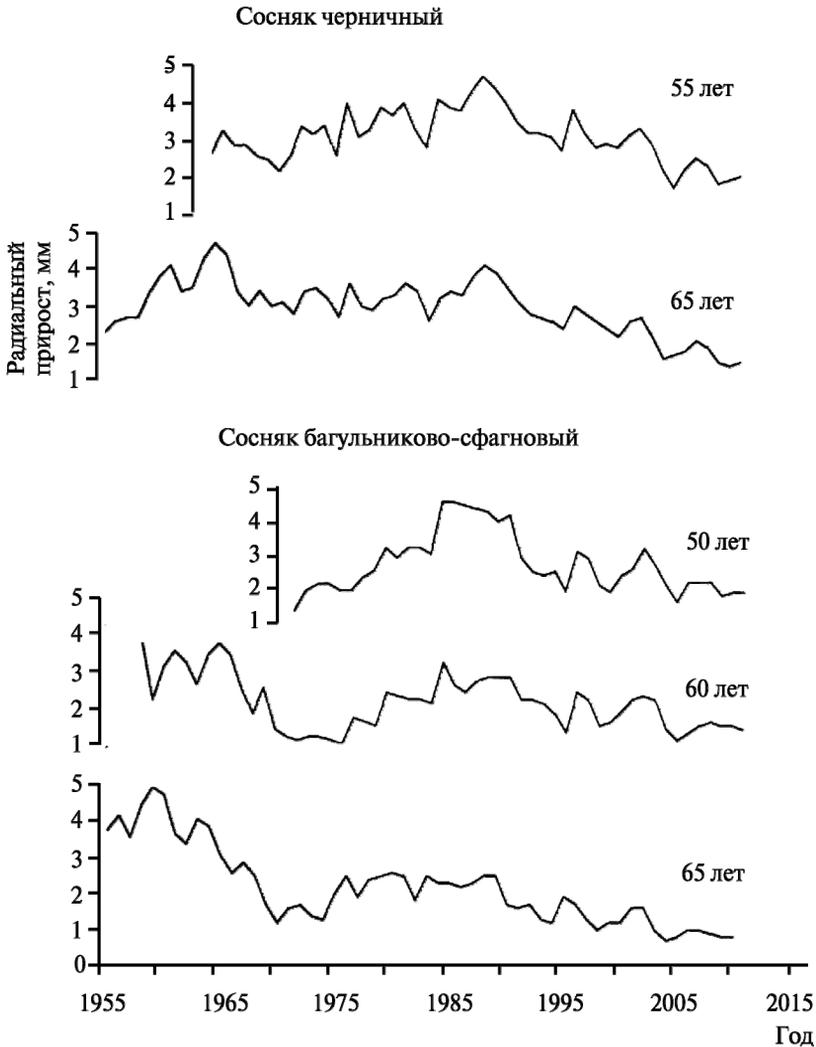


Рис. 5.5. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте «Шапецкий мох» [149]

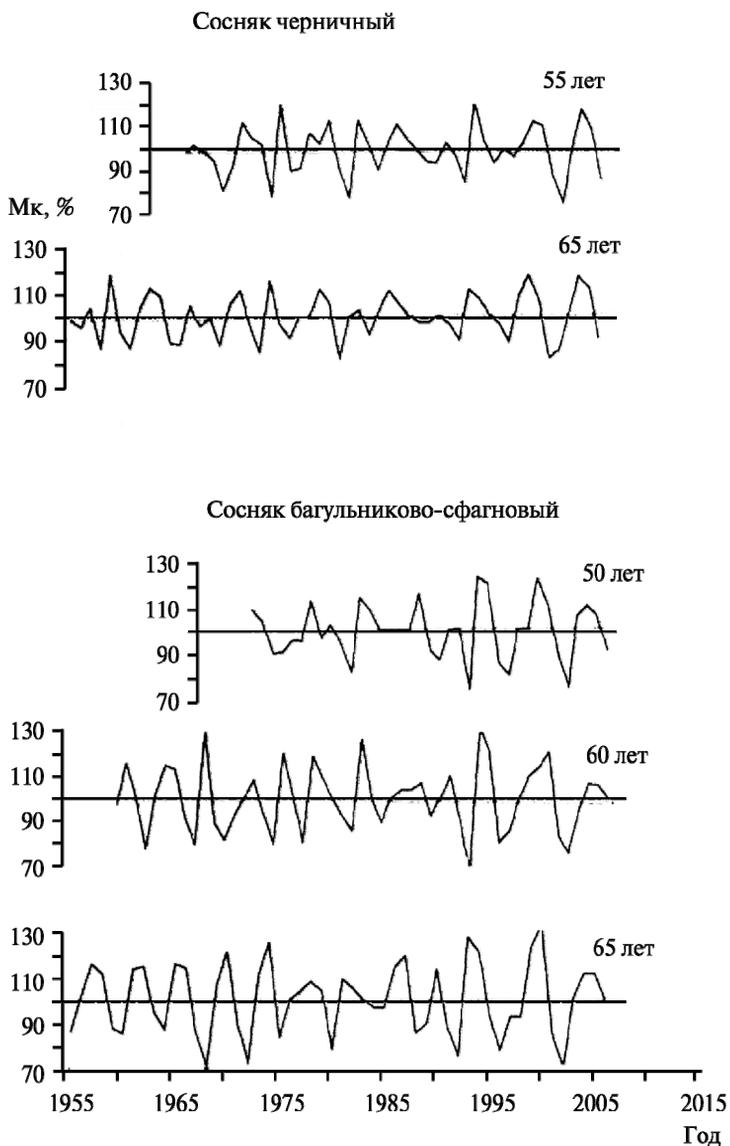


Рис. 5.6. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп сосны на верховом болоте «Шапецкий мох» [149]

**Статистическая характеристика насаждения сосны
на верховом болоте «Шапецкий мох»**

Возраст, лет	N	H, м	D, см	Кч	Радиальный прирост, мм			σ индексов радиального прироста
					средний	максимальный	σ	
Сосняк багульниково-сфагновый								
65	12	12–15	22–36	0,31	2,2	7,7	1,10	16,0
60	12	12–15	22–36	0,31	2,2	7,0	0,74	15,1
50	13	10–12	22–34	0,25	2,8	7,4	0,90	12,5
Сосняк черничный								
65	12	15–18	34–40	0,23	3,1	7,9	0,75	9,7
55	12	15–18	34–40	0,26	3,2	8,2	0,71	11,2

Примечание: N – количество деревьев; H – высота; D – диаметр; Кч – коэффициент чувствительности.

Нарастание стволовой массы у сосны на конкретном осушенном верховом болоте оказалось отзывчивым на изменение в выпадении осадков. За их сокращением следовало увеличение радиального прироста, особенно заметное у 50-летнего поколения сосны в 1984–1992 гг., увлажненность которой (в среднем за год 656 мм, за вегетационный период 354 мм, за безлиственный 302 мм) отвечала опять же среднемноголетним значениям. У сосняка черничного данная динамика в изменчивости радиального прироста выражена значительно слабее.

Независимо от возраста угнетение всех возрастных серий сосны наступило после 2003 г. с увеличением осадков: в среднем за год в течение 2004–2013 гг. их выпадение – 741 мм, за вегетационный период 416 мм, за безлиственный 325 мм. Радиальный прирост сократился до значений, свойственных сосне на неосушаемых верховых болотах. Это угнетение могло быть усугублено состоянием осушительной сети, уход за ней полностью прекратился.

Сосна на верховом болоте оказалась отзывчивой на изменение его увлажненности атмосферными осадками после осушения, маловлияющего на уровень режим болотных вод, регулирование которого осуществлялось мелиоративной сетью в зависимости от ее технического состояния (ухода).

Чувствительность сосны к изменчивости климатических факторов определялась принадлежностью ее возрастных серий к эдафотопу. Сосняк черничный на иллювиально-гумусово-железистом подзоле с грун-

товыми водами в первом метре от поверхности почвы оказался наименее метеочувствительным: коэффициенты чувствительности во все анализируемые отрезки времени наиболее низки (табл. 5.4). Дисперсия индексного прироста также указывает на эту крайне низкую зависимость его изменчивости от климатических факторов.

Таблица 5.4

Динамика коэффициента чувствительности возрастных групп сосны к изменчивости климатических факторов и дисперсии индексного прироста в анализируемые временные отрезки

Возраст, лет	Коэффициент чувствительности			Дисперсия индексного прироста (σ , %)		
	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.
Сосняк багульниково-сфагновый						
65	0,30	0,27	0,30	16,3	14,9	18,4
60	0,30	0,25	0,22	15,2	15,7	14,6
55	–	0,20	0,25	–	12,2	14,3
Сосняк черничный						
65	0,24	0,16	0,24	10,0	8,1	12,3
55	0,23	0,24	0,22	10,5	11,2	12,5

Хотя коэффициенты чувствительности возрастных серий сосняка багульниково-сфагнового в полтора раза превысили их значение для сосняка черничного (кроме 1954–1976 гг.), относить их к метеозависимым можно только условно: Кч во всех случаях не превышает 0,3, т. е. меньше значения, необходимого для того, чтобы считать их чувствительными к изменчивости климатических факторов.

Сосна на верховом болоте растет не только в условиях физиологической сухости, но и анаэробнозэдафотопы, что явилось причиной отрицательной корреляции кольца с прямой радиацией, статистически значимой только у 55-летнего поколения и у сосняка черничного (табл. 5.5).

Прямая солнечная радиация оказывает непосредственное физическое воздействие на температуру воздуха и фотосинтезирующий аппарат растений. Средняя температура вегетационного периода, включая май и месяцы с самым длинным суточным фотопериодом (июнь и июль), оказалась в статистически значимой связи с прямой и суммарной ФАР до потепления после 1998 г. Повышение температуры воздуха в месяцы безлиственного периода, наоборот, сопровождалось сокращением прямой и суммарной этой радиации (табл. 5.6).

Таблица 5.5

Коэффициенты корреляции радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте «Шапецкий мох» с прямой ФАР

Возраст, лет	Месяц	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$			
		1954–2013 гг.	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.
Сосняк багульниково-сфагновый					
65	V	–25	–08	01	10
	VI–VII	–10	26	–48	04
	V–IX	–26	–02	–44	05
60	V	–11	01	01	24
	VI–VII	–16	21	–36	19
	V–IX	–28	02	–34	–17
55	V	–09	–	10	10
	VI–VII	–43	–	–30	–15
	V–IX	–50	–	–27	–10
Сосняк черничный					
65	V	–24	–22	16	38
	VI–VII	–31	19	–37	–13
	V–IX	–42	07	–31	00
55	V	–10	–	16	47
	VI–VII	–57	–	–39	–28
	V–IX	–60	–	–35	–08

Таблица 5.6

Коэффициенты корреляции температуры воздуха и осадков с ФАР

Месяц	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР							
	с $t^{\circ}\text{C}$		с осадками		$t^{\circ}\text{C}$		с осадками	
	1954–2013 гг.		1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
С прямой								
V	43	–29	50	01	69	–44	37	–63
VI–VII	61	–54	65	–71	45	–66	38	13
V–IX	62	–42	68	–51	66	–64	20	21
X–IV	–17	–28	–14	–52	–44	–27	–36	–48
Год	25	–12	07	–41	14	–30	–43	–52
С рассеянной								
V	12	–10	11	02	06	–27	–08	68
VI–VII	–32	–08	–17	12	–25	–12	02	–12
V–IX	–20	–14	–07	11	01	–22	02	–15
X–IV	–44	–10	–17	29	–66	–65	–26	–12
Год	–41	–09	–07	48	–44	–26	06	–45

Месяц	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР							
	с $t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	с $t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	$t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	с $t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками
	1954–2013 гг.		1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
С суммарной								
V	<u>50</u>	–34	47	00	61	–50	36	–28
VI–VII	39	<u>–63</u>	52	–62	30	–47	36	–20
V–IX	<u>45</u>	<u>–52</u>	50	–35	60	<u>–70</u>	16	06
X–IV	–38	–30	–25	–38	<u>–68</u>	–54	–41	–42
Год	–01	–18	08	05	–12	–43	–30	22

Следовательно, увеличение притока солнечной радиации в годовом разрезе сопровождалось увеличением температуры в вегетационный период и ее уменьшением в безлиственный. Количество выпадавших осадков, определяемое облачностью, находилось в статистически значимой обратной связи с ФАР как в течение года, так и его периодов. Как известно, увеличение облачности ведет к росту рассеянной радиации, но к сокращению прямой.

Если рассматривать отдельно фазы похолодания и потепления климата (до и после 1976 г.), то в них сохраняются общие закономерности связи температуры воздуха и осадков с солнечной радиацией. Однако при потеплении климата в 1999–2013 гг. возникли некоторые отклонения. После 1998 г. температура воздуха и осадки утратили статистически значимую связь (прямую и обратную) с прямой и суммарной ФАР.

Хотя перегрев хвои в жаркое время для сосны не очень опасен, в то же время вероятность его в верховом болоте велика по причине микроклиматических особенностей этого экотопа (ослабленный ветровой режим и др.). Одна из возможностей для сопротивления подавлению фотосинтеза – улучшение условий охлаждения листа (хвои) за счет повышения эвапотранспирации. Возросшую потребность в воде слабо развитая корневая система сосны не в состоянии удовлетворить в условиях физиологической сухости (низкая температура болотных вод и гигрофильность сустрата и мохового покрова) и высокой влажности воздуха.

Неполная обеспеченность эвапотранспирации влагой из-за физиологической сухости и ограниченность минерального питания из-за анаэробноз торфяно-болотной почвы – причина статистически обратной зависимости радиального прироста сосны от прямой солнечной радиации как начального звена в цепи взаимосвязанных физических и фи-

биологических процессов. При потеплении климата после 1998 г. эта обратная связь радиального прироста сосны с прямой ФАР стала прослеживаться уже не у всех возрастных групп. Скорее это вызвано потеплением грунтовых вод и торфа начиная с мая месяца, приведшим к уменьшению физиологической сухости эдафотопа.

Некоторая активизация микробиоты в возникших условиях способствовала минерализации торфа и вовлечению в биологический круговорот азота и элементов минерального питания древесного растения. По этой причине существовала статистически значимая обратная связь радиального прироста с ФАР до потепления климата после 1998 г.

В условиях физиологической сухости и анаэробноз болотный эдафотоп не в состоянии обеспечить эвапотраспирацию влагой при увеличении температуры хвои. Данный фактор служит причиной статистически обратной корреляции радиального прироста сосны с температурой воздушной среды, за исключением мая, и осадками (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Коэффициенты корреляции радиального прироста сосны на верховом болоте «Шапеецкий мох» с температурой воздуха и осадками

Возраст, лет	Месяц	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		$c t^{\circ}C$	с осадками	$c t^{\circ}C$	с осадками	$c t^{\circ}C$	с осадками	$c t^{\circ}C$	с осадками
		1954–2013 гг.		1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
Сосняк багульниково-сфагновый									
65	V	04	-02	-07	36	-22	-19	04	-10
	VI–VII	-20	-20	01	-28	-04	30	-18	-40
	V–IX	-23	-15	-13	02	-16	06	-20	-10
	X–IV	-33	-14	-21	-25	06	04	-15	27
	Год	-32	-22	-11	-15	-06	08	-24	09
60	V	02	-10	-03	30	-17	-41	05	-32
	VI–VII	-12	-02	01	-18	15	54	-10	-42
	V–IX	-16	04	-13	05	06	31	-10	-35
	X–IV	-21	-19	-27	-24	18	05	-06	11
	Год	-21	-09	-18	-12	14	32	-10	-20
50	V	10	-28	–	–	02	-41	09	-14
	VI–VII	-20	18	–	–	21	32	-23	-28
	V–IX	-14	23	–	–	11	21	-11	-17
	X–IV	-17	-32	–	–	-02	-18	-08	-06
	Год	-21	-01	–	–	-01	10	-12	-17

Возраст, лет	Месяц	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$							
		$t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	$t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	$t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками	$t^{\circ}\text{C}$	с осад- ками
		1954–2013 гг.		1954–1976 гг.		1977–1998 гг.		1999–2013 гг.	
Сосняк черничный									
65	V	15	–22	06	15	–04	–50	16	–18
	VI–VII	–21	–05	14	–08	18	41	–11	–48
	V–IX	–23	–12	–02	–25	01	15	–20	–11
	X–IV	–23	–18	–10	–13	33	11	01	–10
	Год	–23	–22	09	–28	26	21	–10	–14
55	V	14	–34	26	06	–10	–56	09	–30
	VI–VII	–25	20	21	19	24	59	–23	–46
	V–IX	–21	18	25	–14	–01	30	–25	–26
	X–IV	–01	–32	70	–14	18	04	06	–02
	Год	–10	–09	63	–22	12	31	–06	–21

В климатических условиях 1977–1998 гг. с наибольшей дисперсией прямой ФАР и осадков по сравнению с другими анализируемыми временными отрезками возникла обратная статистически значимая связь радиального прироста с майскими осадками: потребность во влаге, обеспечивающей фотосинтез, обострилась, но условия ее всасывания корневой системой при низкой температуре торфа не улучшились. В июне и июле с самым длинным фотопериодом и высокими температурами радиальный прирост стал прямо зависеть от осадков.

Для сосны на верховом болоте выстраивается следующая цепь последовательно зависимых физических и физиологических процессов: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность эвапотранспирации влагой и минерального питания из-за физиологической сухости и анаэробноз торфяно-болотной почвы → сокращение транспирации → обратная статистическая зависимость радиального прироста с ФАР как начального звена этой цепи.

Рассеянная солнечная радиация, не оказывающая физического воздействия на температуру хвои, непосредственно обеспечивает энергией фотосинтез у сосны как светолубивого растения. Радиальный прирост сосны на осушенном верховом болоте, как и на песчаных почвах, оказался в прямой зависимости от рассеянной ФАР за весь период роста и развития насаждения (табл. 5.8).

Таблица 5.8

**Коэффициенты корреляции радиального прироста возрастных групп сосны
на верховом болоте «Шапецкий мох» с рассеянной ФАР**

Возраст, лет	Месяц	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$			
		1954–2013 гг.	1954–1976 гг.	1977–1998 гг.	1999–2013 гг.
Сосняк багульниково-сфагновый					
65	V	30	–24	01	33
	VI–VII	<u>43</u>	–03	40	07
	V–IX	<u>44</u>	–14	47	43
60	V	18	–18	13	09
	VI–VII	18	–01	–19	10
	V–IX	24	–08	08	44
55	V	28	–	10	26
	VI–VII	21	–	02	08
	V–IX	31	–	20	50
Сосняк черничный					
65	V	<u>42</u>	–06	–02	24
	VI–VII	<u>52</u>	12	13	55
	V–IX	<u>58</u>	17	19	74
55	V	27	–	–03	14
	VI–VII	32	–	–04	42
	V–IX	36	–	08	64

Как ранее показано, поступление солнечной радиации в экосистемы лесов на территории Беларуси изменяется в значительных пределах (до 40 % от среднего многолетнего значения) в зависимости от аэрозольного содержания атмосферы и ее циркуляции. Дефицита лучистой энергии, лимитирующего фотосинтез, не возникает, так как все выявленные Белгидрометом ее отклонения находятся выше порога светового насыщения, который, по А. А. Ничипоровичу, составляет 25–35 % от интенсивности полной солнечной радиации [104]. Однако в экстремальных условиях произрастания растений порог светового насыщения может отсутствовать. На верховых болотах именно такие условия экстремальны для сосны. Изменение этих условий в результате осушения и динамики климатических условий создали предпосылку для неоднозначной реакции насаждения на поступление ФАР в анализируемые временные отрезки.

5.3. Дендроклиматический мониторинг верховых болот в Центральной Беларуси

Верховые болота оказались перспективными для дендроклиматических исследований в целях получения информации о состоянии природной среды в различных регионах Беларуси, в частности Полесья. Расширение их перечня, вовлекаемого в экологический мониторинг за пределами данного региона, будет способствовать более полному пониманию современного состояния не только болотных, но и лесных ландшафтов Беларуси.

В этом плане особый интерес могут представлять озерно-болотные комплексы – соседство озер и болот. Один из таких комплексов расположен в ландшафтном заказнике «Селява» на территории ГЛХУ «Крупский лесхоз». Природоохранные территории должны быть привлекательны не только для рекреационных целей и охраны растительного и животного мира, но и для научных исследований.

Верховые болота в ландшафтном заказнике «Селява» – один из его структурных природных элементов. Ландшафты Беларуси невозможно представить без участия этого элемента в их системной организации. Пульсирующее развитие верховых болот на самом низком гипсометрическом уровне непосредственно связано с колебаниями первого от поверхности водоносного горизонта, которые, в свою очередь, определяются атмосферными осадками.

Гидрофильные свойства торфа и мохового покрова во многом сглаживают эти колебания, но рассматривать верховые болота как индикатор устойчивости природных условий на конкретных территориях неверно. Изменчивость климата, естественно, должна отражаться в водобеспеченности верховых болот, которая отражается на состоянии и продуктивности единственной древесной породы на них – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В качестве индикатора этих изменений выступает годичное кольцо. Привлекать радиальный прирост сосны, угнетенной переувлажненностью эдафотопом с кислым и бедным субстратом (торфом), как показали исследования, целесообразно для выявления динамики природной среды как в ее естественном развитии, так и под влиянием осушительной мелиорации [3].

Основная задача при этом заключается в обнаружении великовозрастных деревьев, дендрохронология которых была бы более продолжительной и включала бы не менее двух-трех столетий. К сожалению, сосны такого возраста на верховых болотах Беларуси встречаются крайне редко. Их находка – большая удача.

Исследованное верховое болото расположено в 1 км восточнее с. Гузовино на берегу оз. Селява в замкнутой котловине поперечником 0,5–0,7 км [149]. Близость озера, естественно, оказывает взаимозависимое влияние на уровень режим болотных вод.

Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый с редким участием голубики и клюквы мелкоплодной. Напочвенный кустричково-моховой покров восстановлен после пожара в 1972 г. Образцы древесины (керы) отобраны возрастным буровом на высоте 0,5 м в октябре 2009 г.

Сведения о тестируемых деревьях приведены в табл. 5.9. Среди них одно дерево оказалось в возрасте 250 лет. Его многолетний ход радиального прироста и групп сосны в возрасте 200, 135 и 115 лет (установлен при измерении ширины годичных колец) представлен на рис. 5.7. У деревьев более молодого возраста (по визуальному наблюдению) образцы древесины не отбирались. Индексный прирост, определенный с применением пятилетнего скользящего сглаживания, указан на рис. 5.8.

Таблица 5.9

**Сведения о тестируемых деревьях сосны
на Прошицком болоте**

Возраст, лет	Количество деревьев	Диаметр, см	Высота, м
250	1	30	14
200	12	18–24	10–14
135	18	20–27	9–14
115	18	18–28	8–14

Дендрохронология 250-летнего дерева, являясь уникальной по продолжительности, позволяет проследить изменение стволовой продуктивности сосны и, следовательно, увлажненность верхового болота за достаточно длительный временной период, начиная с 1750-х гг. Деревья такого преклонного возраста на других исследованных болотах в Центральной Беларуси и Поозерье не обнаружены [3].

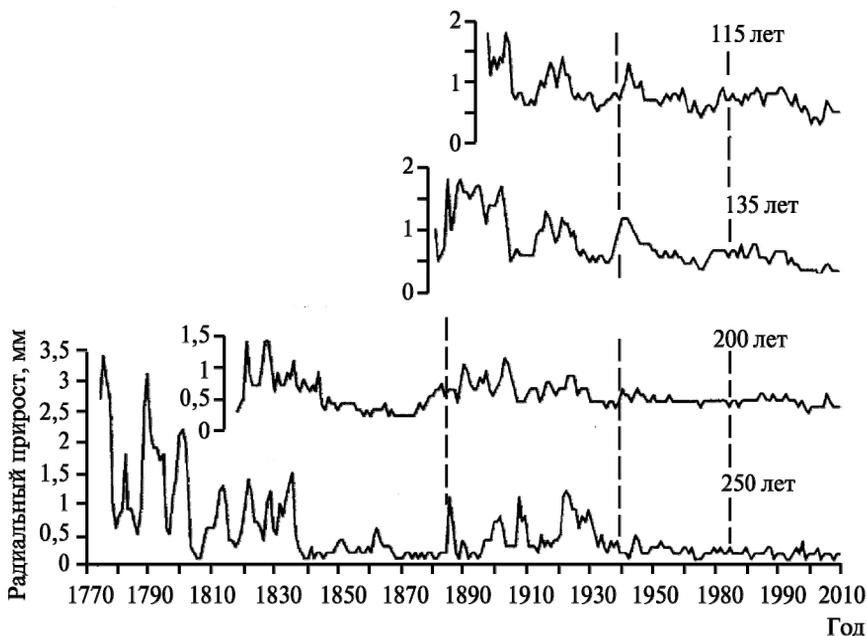


Рис. 5.7. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на Прошицком верховом болоте. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1884, 1940 и 1976 гг. [150]

Максимальный радиальный прирост (3,4 мм) в начале роста мафусаила верховых болот с наибольшей годичной изменчивостью уменьшался до минимального значения (0,5 мм) в 1802 г. Такую значительную дисперсию радиального прироста можно объяснить контрастностью погодно-климатических условий в последней четверти XVIII в.: чередованием засушливых лет, «великой зимы» 1780–1781 гг., сильнейших холодов и обильных осадков после извержения вулкана Лаки в 1783 г. В отдельные годы (1774–1777, 1789) радиальный прирост молодого древесного растения приближался к приросту на автоморфных почвах.

После депрессии в 1803–1804 гг. до окончания 1830-х гг. максимально возможный радиальный прирост сократился до 1,3 мм, что может быть объяснено возросшей обводненностью болота при меньшей контрастности погодно-климатических условий. В этом временном отрезке наиболее значимое угнетение прироста (до 0,4 мм) наступало после крупнейшего за историческое время извержения вулкана Майон в 1914 г. и взрыва Тамборы в 1815 г.

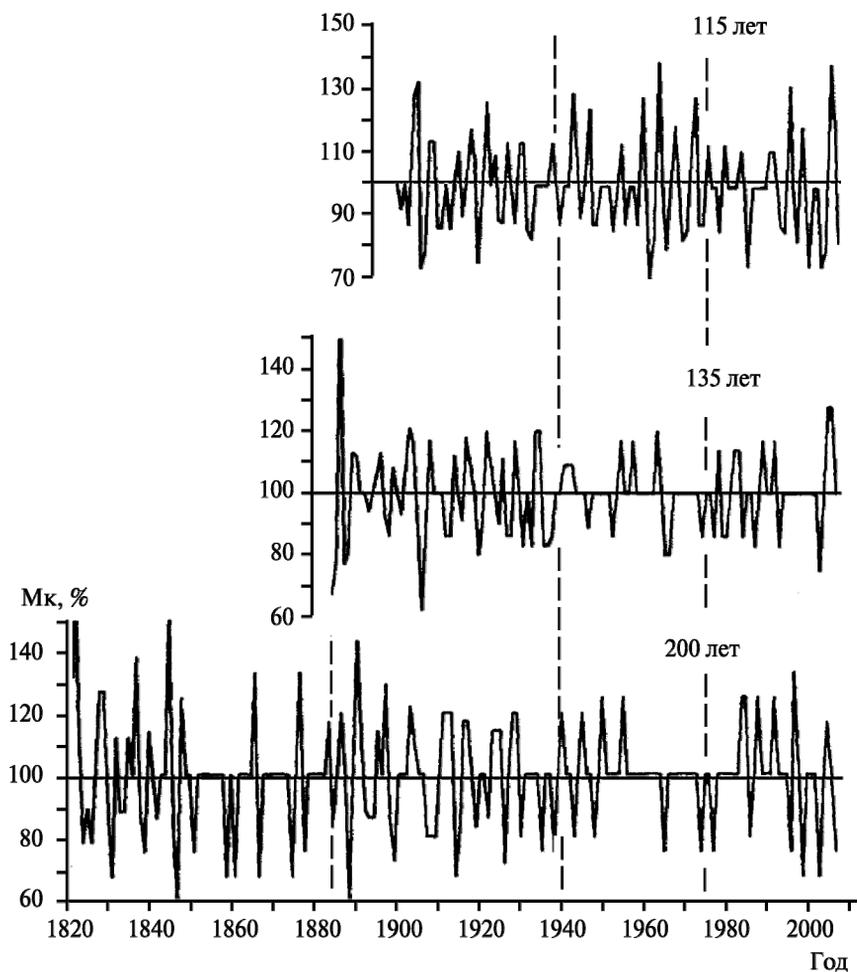


Рис. 5.8. Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп сосны на верховом болоте [150]

Резкое падение радиального прироста произошло в начале 1830-х гг. Угнетение 200-летней группы деревьев наступило несколько позднее — в начале 1840-х гг., после чего ухудшение лесорастительных условий для сосны на верховом болоте продолжалось до середины 1880-х гг.

По причине необнаружения великовозрастных (200 лет и более) деревьев в Центральной Беларуси и Поозерье радиальный прирост 200-летней группы сосен приходится сравнивать с такой же возрастной группой деревьев на валу «болотного городка», находящемся в Припятском Полесье. У этой возрастной группы деревьев наиболее активное нарастание стволовой массы закончилось к 1840 г., затем наступило угнетение радиального прироста до середины 1880-х гг.

Как оказалось, в изменчивости радиального прироста сосны на исследованном верховом болоте и на насыпном валу «болотного городка» с совершенно несхожими эдафотопами, кроме бедности субстрата, просматривается общая закономерность, свидетельствующая об ухудшении климатической ситуации в Беларуси в 1840–80 гг. по окончании малой ледниковой эпохи. Это ухудшение укладывается в максимальное похолодание 1857–1891 гг. на Русской равнине в холодный период 1573–1891 гг. [52].

Чувствительность сосны на исследованном верховом болоте к изменчивости климатических факторов и отклонения индексного прироста были наибольшими до 1840 г. (табл. 5.10).

Таблица 5.10

**Чувствительность к климатическим факторам
и стандартное отклонение индексного прироста сосны**

Возраст, лет	Коэффициент чувствительности					Стандартное отклонение				
	1818– 1840 гг.	1841– 1884 гг.	1885– 1940 гг.	1941– 1976 гг.	после 1976 г.	1818– 1840 гг.	1841– 1884 гг.	1885– 1940 гг.	1941– 1976 гг.	после 1976 г.
200	0,59	0,36	0,35	0,19	0,29	25,7	16,3	17,3	10,3	16,7
135	–	–	0,32	0,15	0,22	–	–	20,8	18,4	22,0
115	–	–	0,35	0,29	0,30	–	–	20,7	22,9	23,5

После 1884 г. радиальный прирост активизировался до 1903 г., что особенно заметно у 135-летнего поколения сосны. По наблюдениям на метеостанции Минск среднегодовое количество осадков в этот период составило 676 мм. За их обильным выпадением (910 мм в 1903 г.) последовало угнетение сосны в 1903–1912 гг. (758 мм).

Следующая волна (кроме 250-летнего дерева), до 1925 г., связана с некоторым улучшением условий роста насаждения на болоте (отсутствие метеонаблюдений не позволяет сделать более аргументированный вывод).

Увеличение обводненности болота в 1923–1940 гг. с увеличением осадков до 738 мм в среднем за год (978 мм – в 1927 г., 923 мм – в 1933 г.)

привело к продолжительной депрессии радиального прироста вплоть до его кратковременного «всплеска» после засушливых 1937 (588 мм осадков) и 1938 гг. (609 мм осадков) накануне неустойчиво влажной климатической эпохи.

Несмотря на относительно высокую чувствительность сосны к климатическим факторам ($0,32 < Kч < 0,35$) во влажную эпоху, статистически значимой корреляции индексного прироста с метеофакторами за 1882–1940 гг. не обнаружено (табл. 5.11).

Таблица 5.11

Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп сосны на Прошицком верховом болоте с метеофакторами

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$					
		$c t^{\circ}C$	с осадками	$c t^{\circ}C$	с осадками	$c t^{\circ}C$	с осадками
		1882–1940 гг.		1941–1976 гг.		1977–2006 гг.	
200	Безлиственный	07	–03	–02	–17	16	–14
	Май – июнь	–03	28	05	–31	–19	34
	Вегетационный	07	12	–03	–03	00	03
	Год	–03	09	–01	03	14	–07
135	Безлиственный	–05	–33	–32	–12	28	02
	Май – июнь	–21	21	17	–22	–09	21
	Вегетационный	–26	17	24	–08	33	11
	Год	–20	–02	–28	–18	35	10
115	Безлиственный	02	–20	–25	–07	21	08
	Май – июнь	–15	00	34	–29	25	16
	Вегетационный	–16	03	52	–34	27	08
	Год	–13	–08	00	–41	28	12

При неустойчивом увлажнении начиная с 1940 г. 250-летняя сосна и 200-летняя возрастная группа деревьев находились в постоянном угнетении. У 135- и 115-летних поколений после 1960 г. возникла слабо-выраженная «волна» радиального прироста, завершившаяся к началу XXI в. По времени она частично совпадает с потеплением климата. Подобное увеличение ширины годичных колец отмечено у сосны на верховых болотах на Полесье и в Поозерье [3].

Индексный прирост статистически значимо не коррелировал с температурой воздуха и осадками как при похолодании (до 1976 г.), так и при потеплении (после 1976 г.) климата (см. табл. 5.11). Отсутствие корреляции сохранялось и на следующий год (по этой причине данные анализа не приведены).

Привлечение фактического радиального прироста для установления его связи с метеофакторами показало, что только при похолодании в 1941–1976 гг. возникла его статистически значимая отрицательная корреляция с температурой воздуха в текущем и следующем годах (табл. 5.12) при низкой чувствительности к этим факторам.

Природное своеобразие верхового болота проявляется в его реакции на изменчивость поступления солнечной радиации. Для выявления связи радиального прироста сосны с ФАР привлечены наблюдения на метеостанции Минск, начатые в 1955 г.

Таблица 5.12

**Коэффициенты корреляции фактического (мм)
радиального прироста возрастных групп сосны
на Прошицком верховом болоте с метеофакторами**

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции, $r = 0, \dots$					
		с $t^{\circ}\text{C}$		с осад- ками		с осад- ками	
		1882–1940 гг.		1941–1976 гг.		1977–2006 гг.	
200	Безлиственный	–06	–10	–25	–24	–10	–38
	Май–июнь	–29	11	–26	–21	–15	21
	Вегетационный	–07	03	–13	20	–12	19
	Год	–10	–02	–26	00	–13	–12
135	Безлиственный	02	–27	–36	–35	–01	–20
	Май–июнь	–24	–13	–36	10	–15	09
	Вегетационный	03	–15	–22	05	–23	15
	Год	04	–28	–38	–22	–10	–02
115	Безлиственный	11	–20	–30	–16	–02	–15
	Май–июнь	–22	–07	–20	–18	11	12
	Вегетационный	06	–15	–15	–01	–14	12
	Год	07	–25	–26	–23	–08	–01

Фактический радиальный прирост 200- и 135-летних поколений сосны положительно коррелировал с рассеянной радиацией (табл. 5.13). Эта зависимость сохранялась и на следующий год. У 115-летней группы подобная связь отсутствовала. С прямой ФАР такой корреляции в текущем году у фактического прироста не обнаружено. Но на второй год (лаг 2 года) после текущего у 135- и 115-летних поколений возникала обратная зависимость от нее с высоким уровнем значимости (до 0,999 при $n = 52$). В целом за год эта обратная связь между приростом и солнечной радиацией сохранялась, но при меньшем уровне значимости ($P = 0,95$ для месяцев активного роста мая и июня и $P = 0,99$ за вегетационный период).

Таблица 5.13

Коэффициенты корреляции радиального (мм) прироста сосны на Прошицком верховом болоте с ФАР после 1954 г. в год наблюдения ($r = 0, \dots$) и в следующие годы (лаг 1, лаг 2, $r = 0, \dots$)

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции ($r = 0, \dots$) с ФАР					
		прямой		рассеянной		суммарной	
		r	лаг 2, r	r	лаг 1, r	r	лаг 2, r
200	Май – июнь	–20	–19	28	32	–08	–12
	Вегетационный	–14	–25	33	18	02	18
	Год	–21	–23	44	27	06	–13
115	Май – июнь	–23	–46	28	31	–12	–33
	Вегетационный	–22	–53	29	30	–09	–40
	Год	–36	–56	29	30	–14	–39
75	Май – июнь	–18	–41	25	24	–06	–32
	Вегетационный	–21	–50	15	21	–14	–40
	Год	–26	–52	14	20	–16	–42

Как отмечалось, прямая радиация определяет тепловой режим, скорость протекания физиологических процессов и регулирует обмен воздуха в насаждениях, однако ее высокое значение при безоблачном небе может прекратить фотосинтез. В ясную погоду спектр рассеянной радиации смещен в сторону коротких волн и наиболее богат фотосинтетически активной составляющей. Перегрев хвои в жаркое время для сосны не очень опасен, но вероятность его в верховом болоте велика по причине микроклиматических особенностей этого экотопа (ослабленный ветровой режим и др.).

Одна из возможностей для сопротивления подавлению фотосинтеза – улучшение условий охлаждения листа (хвои) за счет повышения эвапотранспирации [104]. Взросшую потребность в воде слабо развитая корневая система сосны не в состоянии удовлетворить в условиях физиологической сухости (низкая температура болотных вод и гигрофильность сустрата и мохового покрова) и высокой влажности воздуха.

Подтверждением угнетения фактического радиального прироста и, следовательно, метаболизма сосны на верховом болоте прямой солнечной радиацией служат результаты кросс-корреляционного анализа его связи с этим лимитирующим фактором на верховых болотах Поозерья: «Мох» в Дисненском лесхозе, в ландшафтном заказнике «Меж-

озерный» и в урочище «Макомецкий лес» в Национальном парке «Бра-славские озера». Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны в этих болотах и его дендроклиматический анализ опублико-ваны [3].

Сосна на верховом болоте растет на пределе своих физиологических возможностей в экстремальных экологических условиях. Одно из таких условий – прямая солнечная радиация. Отрицательная зависимость радиального прироста от прямой солнечной радиации с запаздыванием на два года – не что иное, как замедленная реакция на дополнительный слабоизученный лимитирующий фактор. При снятии лимитирующих факторов радиальный прирост сосны на верховом болоте может приближаться к его значениям на автоморфных песчаных почвах (как, на-пример, в конце XVIII в.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Географическое положение Беларуси в лесной зоне умеренного климатического пояса позволило провести дендроклиматические исследования, расширить знания о временной и пространственной изменчивости природной среды и проанализировать участие антропогенных факторов в ее динамике.

Современные динамичные климатические реалии Беларуси, на фоне периодических изменений климата в Северном полушарии, отражаются на состоянии природной среды.

Мы придерживались представления о современной изменчивости климата Беларуси как о временном проявлении его свойства, а не односторонней динамики, анализируя полученную дендроклиматическую информацию в относительно теплые и холодные периоды.

Цель исследований – изучение изменчивости продукционного процесса, отраженного в нарастании стволовой массы под влиянием естественных и антропогенных факторов, а также территориальных составляющих, проявляющихся в географических закономерностях явлений.

Можно сделать вывод, что современные динамичные климатические условия не привели к существенным изменениям в реализации хвойными лесами Беларуси (сосновыми и еловыми) биопродукционного потенциала в нарастании стволовой массы (радиального прироста) независимо от антропогенных факторов (техногенного загрязнения воздушной среды и осушительной мелиорации).

Во временной динамике нарастания стволовой массы древостоя как результата воздействия множества факторов экологического и биологического порядка важнейшее значение принадлежит изменчивости поступления прямой солнечной радиации.

В результате выполненных исследований выделены два самоорганизующихся (самоуправляемых) доминиона ельников, различающихся

по знаку статистической зависимости радиального прироста от солнечной радиации (ФАР). Первый из них с прямой статистической зависимостью объединяет ельники на иллювиально-гумусово-железистом подзоле, второй, с обратной зависимостью, — ельники на автоморфных супесчаных и суглинистых почвах. Под самоорганизацией понимается их рост и развитие по правилам, выработанным регулированием отношений с динамичной природной средой.

Выделение двух доминионов базируется на следующих основных положениях, в большинстве своем постулатах:

- поступление солнечной радиации в экосистемы лесов на территории Беларуси изменяется в значительных пределах (до 40 % от среднего многолетнего значения) в зависимости от аэрозольного содержания атмосферы и ее циркуляции;

- в этой изменчивости не возникает дефицита лучистой энергии, лимитирующего фотосинтез, так как все выявленные ее отклонения находятся выше порога светового насыщения;

- прямая солнечная радиация оказывает непосредственное физическое воздействие на температуру воздуха и фотосинтезирующий аппарат растений;

- рост температуры воздуха и хвои вызывает увеличение эвапотранспирационного расхода влаги, которая поставляется транспирационным током;

- транспирационный ток определяет интенсивность фотосинтеза;

- водные ресурсы иллювиально-гумусово-железистого подзола и других заболоченных почв с нахождением грунтовых вод в первом метре от поверхности песчаной почвы («сырые пески») не лимитируют транспирационный ток при любых погодных-климатических условиях;

- влажность оμβрогоризонта автоморфных почв, зависящая от атмосферных осадков, выступает в значении лимитирующего фактора;

- эвапотранспирация определяет минеральное питание, рост и урожай растений (для древесных растений лесохозяйственный урожай — радиальный прирост).

В результате последовательно зависимых процессов для доминиона с прямой статистической зависимостью радиального прироста от солнечной радиации образуется следующая цепь: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → увеличение транспирации → усиление транспирационного тока → нелимитируемое потребление водно-минеральных ресурсов питающих грунтовых вод и капиллярной влаги трихогоризонта в песчаных почвах → прямая статистическая зависимость радиального прироста от ФАР как начального звена этой цепи.

Для доминиона с обратной статистической зависимостью радиального прироста от солнечной радиации цепь последовательно зависимых процессов выстраивается иначе: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность эвапотранспирации влагой из-за ограниченности влагосодержания омброгоризонта автоморфных почв → сокращение транспирации → обратная статистическая зависимость радиального прироста от ФАР как начального звена этой цепи.

Знак статистической зависимости радиального прироста от солнечной радиации определяется использованием древостоем водно-минеральных ресурсов трихогоризонта (плюс) или омброгоризонта (минус). Сосновое лесопарковое насаждение в Минске на автоморфной почве в условиях техногенного загрязнения воздушной среды относится ко второму доминиону с обратной статистической зависимостью радиального прироста от солнечной радиации.

Выполненное исследование показало, что изменчивость климатических условий Белорусского Полесья в XIX и XX вв. зависит от циркуляции атмосферы в Северном полушарии и укладывается в циркуляционные эпохи Б. Л. Дзержевского. Водно-земельные мелиорации выполнялись при непостоянстве климатических условий. Изменчивость климата оказывала влияние на ход мелиоративного освоения болот и заболоченных земель региона и на дискуссию об экологических последствиях этого освоения, которая была более активной при наступлении периодов засушливых климатических условий.

Региональные эдафические особенности Белорусского Полесья, заключающиеся в преобладании почв с кварцево-песчаным литологическим профилем, отразились в реакции сосны — основной лесобразующей породы в этом регионе — на динамику погодно-климатических условий. Локальные различия (соседство автоморфных и полугидроморфных почв) определили неоднозначность связи ее радиального прироста с метеорологическими факторами (солнечной радиацией, температурой и осадками).

Современные поколения сосны развиваются в новых условиях влагообеспеченности песчано-кварцевого эдафотопы после завершения мелиоративных работ. Биопродукционный процесс в нарастании ствольной массы в ее насаждениях контролируется климатическими условиями даже при слабом водно-минеральном питании. Только обильные осадки в течение нескольких лет вызывают положительные возмущения в дендрометрических рядах этой древесной породы.

Биоценозы сосны в автоморфных кварцево-песчаных почвах Белорусского Полесья после осушительной мелиорации находятся и будут находиться в постоянном угнетении при альтернативных сценариях дальнейшего изменения климата (потепление или похолодание). При вероятности сокращения осадков не исключена их полная деградация в изменившихся гидрогеологических условиях при смене поколений лесов путем искусственного возобновления. Особо уязвимой в этом отношении может оказаться культура сосны.

Температура и осадки безлиственного периода (октябрь – апрель) приобрели важнейшее значение для радиального прироста сосняка черничного как на Полесье, так и на всей территории Беларуси, указав на возросшее значение этого периода для состояния и стволовой продуктивности хвойных лесов при потеплении климата.

Ельники в «островных» локалитетах Полесья представляют особую ценность как символ богатейшего биоразнообразия лесоболотного региона в центре Европы. Выполненный сравнительный анализ изменчивости радиального прироста ели в «островных» локалитетах на мелиорированных и немелиорированных территориях показал, что его изменчивость происходит под влиянием солнечной радиации, температуры и осадков.

При современном потеплении климата временная динамика радиального прироста ели стала определяться температурными условиями безлиственного периода (октябрь – апрель). Возникшие при потеплении климата после 1976 г. погодные условия безлиственного периода: аномально теплые и суровые (с маломощным снежным покровом или без него) позднелетние и зимние месяцы – привели к положительной реакции ели на изменчивость температурных условий безлиственного периода.

Радиальный прирост – объективный индикатор происходящих изменений в природной среде Полесья с его крупномасштабной осушительной мелиорацией. Он существенно нивелирует субъективный подход, связанный с личностным восприятием ее последствий. Как показало исследование, угнетение ели в приболотном экотопе на территории, где не выполнялась осушительная мелиорация, не свидетельствует об оптимальных условиях ее произрастания и экологическом благополучии. Приповерхностные грунтовые воды являлись и являются для нее лимитирующим фактором.

В условиях физиологической сухости и анаэробно-омбротрофный болотный эдафотоп не в состоянии обеспечить эвапотранспирацию влагой при увеличении температуры хвои. Данный фактор служит причиной статистически обратной корреляции радиального прироста со-

сны с температурой воздушной среды, за исключением мая, и осадками. В климатических условиях 1977–1998 гг. с наибольшей дисперсией прямой ФАР и осадков по сравнению с другими анализируемыми временными отрезками возникла обратная статистически значимая связь радиального прироста с осадками.

Для сосны на верховом болоте выстраивается следующая цепь последовательно зависимых физических и физиологических процессов: возрастание поступления солнечной радиации → рост температуры воздушной среды и хвои → неполная обеспеченность эвапотранспирации влагой и минерального питания из-за физиологической сухости и анаэробноз торфяно-болотной почвы → сокращение транспирации → обратная статистическая зависимость радиального прироста от ФАР как начального звена этой цепи. При потеплении климата после 1998 г. потребность во влаге, обеспечивающей фотосинтез, не обострилась, условия для ее всасывания корневой системой после осушительной мелиорации улучшились. Как следствие – прямая зависимость радиального прироста с осадками в месяцы с самым длинным фотопериодом (июнь и июль).

Саморегуляция отношений ели и сосны с погодно-климатическими факторами в условиях техногенного загрязнения воздушной среды и после осушительной мелиорации на Полесье стала более активной при потеплении климата после 1976 г. Дальнейшее потепление климата после 1998 г. – благоприятный фактор для ели и сосны в условиях техногенного загрязнения воздушной среды Минска: их радиальный прирост в насаждениях с обильным листовым подростом и кустарниками увеличился. Современный уровень техногенного загрязнения воздушной среды не следует рассматривать в качестве экстремального фактора для состояния хвойных насаждений.

Полученные материалы могут служить информационной основой для принятия решений о реконструкции существующих лесопарковых насаждений в целях сохранения естественного природного компонента в городском ландшафте, ведения лесного хозяйства вне техногенного загрязнения воздушной среды и при оценке влияния водно-земельных мелиораций на лесные биогеоценозы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Манько Ю. И., Гладкова Г. А.* Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. Владивосток : Дальнаука, 2001.
2. *Hüttl R. T., Schneider B. U., Farrell E. P.* Forests of the temperate region: gaps in knowledge and research needs // *Forest. Ecol. Management.* 2000. Vol. 132. P. 83–96.
3. Хвойные леса Беларуси в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ) / В. Н. Киселев [и др.]. Минск : Право и экономика. 2010.
4. *Бекетов А. Н.* О влиянии климата на возрастание сосны и ели // Тр. 1-го съезда естествоиспытателей в Петербурге. Отд.-ние ботаники, 1868. С. 111–163.
5. *Битвинкас Т. Т.* Дендроклиматические исследования. Л. : Гидрометеоздат, 1974.
6. *Киселев В. Н.* Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения. Минск : Наука и техника, 1987.
7. *Чубанов К. Д., Киселев В. Н., Бойко А. В.* Природная среда в зоне влияния промышленных центров: сосновые леса Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1989.
8. *Смоляк Л. П., Болботунов А. А., Романов В. С.* Влияние рельефа на изменчивость радиального прироста сосны // *Дендрохронология и дендроклиматология* : сб. ст. / Л. А. Кайрюкштитс (отв. ред.), Г. И. Галазий, С. Г. Шиятов. Новосибирск : Наука, 1986. С. 114–122.
9. *Петров Е. Г.* Водный режим и продуктивность лесных фитоценозов на почвах атмосферного увлажнения. Минск : Наука и техника, 1983.
10. *Болботунов А. А.* Влияние рельефа на формирование и продуктивность сосновых фитоценозов : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 1986.
11. Мастерхронологии как эталоны динамики радиального прироста при мониторинге лесов в зональном аспекте / А. А. Болботунов [и др.] // *Состояние и мониторинг лесов на рубеже XXI века : материалы междунар. науч.-практ. конф.*, Минск, 7–9 апр. 1997 г. Минск, 1997. С. 70–73.
12. *Русаленко А. И.* Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность. Минск : Наука и техника, 1986.
13. *Пугачевский А. В.* Ценопопуляция ели: структура, динамика, факторы регуляции. Минск : Наука и техника, 1992.

14. *Пучило А. В.* Особенности формирования и продуктивность лесных фитоценозов Новогрудской возвышенности : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 2002.

15. *Киселева Е. В.* Дендроиндикация природных процессов на территории Беларуси по данным пространственной и временной изменчивости радиального прироста ели европейской : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2002.

16. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Экология ели. Минск : БГУ, 2004.

17. *Яротов А. Е.* Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в биогеоценозах на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2008.

18. *Хомич В. С., Карабанов А. К., Камышенко Г. А.* Эколого-географические исследования для целей устойчивого развития Беларуси // Географические аспекты устойчивого развития регионов : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 апр. 2015 г. : в 2 ч. Гомель, 2015. Ч. 1. С. 6–23.

19. *Пугачевский А. В.* Принципы и пути адаптации лесного хозяйства к изменению климата на примере Беларуси // Леса Беларуси – Белорусское Поозерье : материалы XII Междунар. конф. молодых ученых, Беларусь – Литва, 30 сент. – 6 окт. 2012 г. / Упр. делами Президента Респ. Беларусь ; М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. Браслав ; Ингалина, 2012.

20. *Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа С. П.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Новосибирск : Наука : Сибир. издат. фирма, 1996.

21. *Демаков Ю. П.* Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола : Периодика Марий-Эл, 2000.

22. Теоретические и практические аспекты устойчивого природопользования: управление, принципы организации природно-хозяйственных систем, ландшафтное планирование / Ю. П. Демаков [и др.]. Йошкар-Ола : МарГТУ, 2004.

23. *Вишнякова Т. В.* Индикация тепловлагообеспеченности по радиальному приросту деревьев, применительно к исследованиям изменения климата отдельных регионов России : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2005.

24. *Клебс Г.* Произвольное изменение растительных форм / русский перевод // К. А. Тимирязев. Соч. М., 1939. Т. 6. С. 291–454.

25. *Комин Г. Е.* Цикличность в динамике прироста деревьев // Проблемы экспертизы растительных сообществ : сб. ст. / ВНИИ судеб. экспертиз. М. : Наука, 1972. С. 54–67.

26. *Тимофеев А. В.* Динамика сосны обыкновенной под влиянием естественных и антропогенных факторов в условиях лесостепи Поволжья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2003.

27. *Балябина А. Н.* Климатические факторы динамики радиального прироста хвойных деревьев в лесных фитоценозах Прибайкалья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2002.

28. Дендроклиматохронологическое обеспечение мониторинга лесов / А. А. Болботунов [и др.] // Состояние и мониторинг лесов на рубеже XXI века : материа-

лы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7–9 апр. 1997 г., Минск : БГТУ, 1997. С. 68–70.

29. *Ивашкевич Б. А.* Девственный лес, особенности его строения и развития // Лесное хоз-во и пром-сть. 1929. № 10. С. 36–41.

30. *Козин Е. К.* Массовые распады темнохвойных лесов как естественный этап возрастного развития // Бюл. Ботан. сада-ин-та ДВО РАН. 2013. Вып. 10. С. 4–14.

31. *Богатырев Л. Г.* Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.

32. Комплексные экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / *А. В. Бойко* [и др.]. Минск : Наука и техника, 1976.

33. *Смоляк Л. П., Петров Е. Г.* Водное питание и продуктивность сосновых фитоценозов / под ред. *И. А. Юркевича*. Минск : Наука и техника, 1978.

34. *Шиятов С. Г., Ваганов Е. А.* Методические основы организации системы дендроклиматического мониторинга в лесах азиатской части России // Сибир. экол. журн. 1998. № 1. С. 31–38.

35. *Ваганов Е. А., Плешиков Ф. И.* Система мониторинга лесов как основа их рационального использования и устойчивого развития // Сибир. экол. журн. 1998. № 1. С. 3–8.

36. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Использование ландшафтной привязки в лесоводстве в связи с усыханием ельников // Лесное и охотничье хоз-во. 2006. № 3. С. 26–29.

37. *Морозов Г. Ф.* Учение о лесе. Изд. 7-е. Л. : Гослесбуиздат, 1949.

38. *Гельтман В. С.* Географический и типологический анализ лесной растительности Беларуси. Минск : Наука и техника, 1982.

39. *Логинов В. Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск : ТетраСистемс, 2008.

40. Изменения климата Беларуси и их последствия / *В. Ф. Логинов* [и др.]. Минск : Тонпин, 2003.

41. *Веселовский К. С.* О климате России. СПб. : Изд. Императ. Акад. Наук, 1857.

42. *Fritts H. C.* Tree rings and climate / Academic Press Inc. (London) Ltd., 1976.

43. *Матвеев С. М., Нестеров Ю. А.* Эталонные дендрохронологические шкалы ЦЧР: построение, хранение, применение // Вестн. ВГУ. 2003. № 2. (Сер. «География и экология»). С. 77–85.

44. *Гортинский Г. Б.* Опыт причинного анализа факторов, определяющих погодичную динамику прироста древесины // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги : сб. ст. Л. : Наука, 1973. С. 204–208.

45. *Матюшевская Е. В.* Солнечнорадиационная обусловленность чувствительности «островных» ельников Белорусского Полесья // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 1. С. 78–83.

46. *Матюшевская Е. В., Киселев В. Н.* Применение актинометрических данных для объяснения современного состояния хвойных лесов Беларуси // Популяційна екологія рослін: сучасний стан, точки росту : зб. наук. праць : за матеріалами міжнарод. інтэрнет-симп. 2–4 квіт. 2012 р. Суми : Сум. нац. аграр. ун-т, 2012. С. 55–60.

47. Солнечная радиация как экологический фактор на верховых болотах / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2012. № 1. С. 52–58.

48. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Анализ изменчивости солнечной радиации над Припятским Полесьем во второй половине XX столетия применительно к целям и задачам дендроклиматических исследований // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития. Брест : Альтернатива, 2012. Вып. 5. С. 118–120.

49. Значение гелиорадиационного фактора для радиального прироста сосны на кварцевых песках Припятского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития. Брест : Альтернатива, 2012. Вып. 5. С. 121–124.

50. Материалы по радиационному режиму Белоруссии (дополнение к Справочнику по климату СССР. Вып. 7. Ч. 1). Обнинск : ВНИИГМИ–МЦД, 1977.

51. *Гетко Н. В.* Структурные и функциональные особенности ассимиляционного аппарата в техногенной среде : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск, 1991.

52. *Матюшевская Е. В.* Шестидесятилетняя динамика прямой фотосинтетической активной радиации в Припятском Полесье // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата : сб. науч. ст. междунар. науч. конф., Минск, 5–8 мая 2015 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2015. С. 300–302.

53. *Кононова Н. К.* Сезонные особенности колебаний циркуляции атмосферы и температуры воздуха на Европейской территории России в XXI веке : материалы междунар. науч. конф. «Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, следствия, прогнозы)», 26–27 июня 2012 г. Воронеж : Нар. кн., 2012. С. 58–62.

54. *Матюшевская Е. В.* Изменчивость фотосинтетически активной радиации за 1954 – 2013 гг. в центральной части Беларуси // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2015. № 3. С. 65–72.

55. Аэрозоль и климат / под ред. К. Я. Кондратьева. Л. : Гидрометеиздат, 1991.

56. *Логинов В. Ф., Бровка Ю. А.* Оценка радиационного воздействия аэрозолей и углекислого газа на температуру воздуха в Беларуси за период с 1881 по 2012 г. // Природопользование. 2013. Вып. 23. С. 12–23.

57. *Смольский Н. В.* К вопросу прогноза изменения природных условий в Полесье в связи с мелиорацией земель // Проблемы Полесья : сб. ст. АН БССР, Науч. совет АН БССР по проблемам Полесья. Минск : Наука и техника, 1972. Ч. 1. С. 5–14.

58. Сравнение двух типизаций циркуляционных процессов / А. В. Мещерская [и др.] // Тр. ГГО им. А. И. Воейкова. 2013. Вып. 568. С. 137–155.

59. *Шкляр А. Е.* Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве. Минск : Выш. шк., 1973.

60. *Матвеев Л. Г.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л. : Гидрометеиздат, 1984.

61. *Цельникер Ю. Л.* Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М. : Наука, 1978.

62. Радиальный прирост сосны на автоморфных почвах Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 2. 2007. № 3. С. 52–56.
63. Сосняки Беларуси. Ретроспектива и перспектива / В. Н. Киселев [и др.] // Лесное и охотничье хоз-во. 2004. № 1. С. 22–27.
64. Радиальный прирост сосны на верховом болоте в Центральной Беларуси в изменяющихся климатических условиях / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2008. № 3. С. 57–61.
65. *Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. К., Мотузко А. Н.* Основы ландшафтоведения : учеб. пособие для географ. специальностей высш. учеб. заведений. Минск : Выш. шк., 1986.
66. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / под ред. А. Н. Каштанова. М. : Колос, 1983.
67. *Юркевич И. Д., Гельтман В. С.* География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1965. С. 228.
68. *Юркевич И. Д., Голод Д. С., Адерихо В. С.* Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование. Минск : Наука и техника, 1979.
69. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Азональные лесные сообщества Белорусского Полесья с позиций учения о лесе Г. Ф. Морозова // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Пинск, 8–11 июня 2015 г. Ч. 1. Пинск : Полес. гос. ун-т, 2015. С. 135–138.
70. *Пугачевский А. В.* Растительные и лесные ресурсы Припятского Полесья // Природные ресурсы Полесья: оценка, использование, охрана : материалы междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Пинск, 8–11 июня 2015 г. Ч. 1. Пинск : Полес. гос. ун-т, 2015. С. 41–45.
71. *Юркевич И. Д., Ловчий Н. Ф., Гельтман В. С.* Леса Белорусского Полесья. Минск : Наука и техника, 1977.
72. *Лавров А. П.* Гидрохимические особенности подземного стока в южных частях Беларуси // Геология и гидрогеология Припятского прогиба. Минск : Наука и техника, 1963. С. 160–170.
73. Ельники Белорусского Полесья в современных климатических условиях / В. Н. Киселев [и др.] // Мелиорация. 2013. № 1 (69). С. 66–79.
74. *Багинский В. Ф.* Динамика и продуктивность модельных сосновых древостоев в Белорусском Полесье // Экопотенциал. 2015. № 3 (11). С. 14–24.
75. *Киселев В. Н., Чубанов К. Д.* Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья. Минск : Наука и техника, 1979.
76. *Мельник В. І.* Острівні ялинники Українського Полісся (еколого-ценотичні особливості та наукові основи охорони). Київ : Наук. думка, 1993.
77. *Бучинский И. Е.* Очерки климата Русской равнины в историческую эпоху. Л. : Гидрометеиздат, 1954.
78. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Климатические условия периода мелиоративного освоения Белорусского Полесья // Мелиорация. 2015. № 1 (73). С. 150–159.
79. *Воейков А. И.* Климат Полесья // Приложения к Очерку работ Западной экспедиции 1873–1898. СПб. : Тип. Император. Акад. Наук, 1899. С. 1–132.

80. *Дзердзевский Б. Л.* Общая циркуляция атмосферы и климат : избр. тр. М. : Наука, 1975.

81. *Кононова Н. К.* Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. М. : Воентехиниздат, 2009.

82. *Борисенков Е. П., Пасецкий В. М.* Тысячелетняя летопись необычных явлений природы. М. : Мысль, 1988.

83. Периодичность пожаров на верховых болотах Белорусского Полесья в XIX и XX веках / В. Н. Киселев [и др.] // Природные ресурсы Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий Беларуси: изучение, устойчивое использование. Минск : Белорус. дом печати, 2009. С. 141–145.

84. *Столянский И.* Девять губерний Западно-Русского края в топографическом, геогностическом, статистическом, экономическом, этнографическом и историческом отношениях. СПб., 1899.

85. *Зеленский И.* Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами Генерального штаба: Минская губерния / сост. И. Зеленский. СПб. : Воен. тип., 1864. Ч. 1–2.

86. *Тюрин А. М.* Датирование малого ледникового периода по естественно-научным данным [Электронный ресурс] : URL: http://new.chronologia.org/volume5/tur_mlp.html (дата обращения : 29.03.2011).

87. *Танфильев Г. Г.* Приложение к Очерку работ Западной экспедиции по осушению болот. СПб., 1899. С. 133 – 216.

88. *Киселева Е. В.* Внутривековые климатические эпохи и радиальный прирост ели европейской в условиях техногенного загрязнения (по результатам исследования в г. Минске) // Науч. и приклад. аспекты оценки изменений климата и использования климатических ресурсов : тез. докл. междунар. науч. конф., Минск, 31 окт. – 3 нояб. 2000 г. Минск, 2000. С. 58–60.

89. Верховые болота Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Проблемы сохранения растительного мира Евразии : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти А. В. Бардунова (1932–2006), Иркутск, 15–19 сент. 2010 г. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2010. С. 491–494.

90. Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий. Минск : Ротапринт АН БССР, 1978.

91. Ельники Брестского Полесья в изменяющихся климатических условиях / Е. В. Матюшевская [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2009. № 1 (59). С. 35–42.

92. Ельники Белорусского Полесья в современных климатических условиях / В. Н. Киселев [и др.] // Мелиорация. 2013. № 1 (69). С. 66–79.

93. «Островные» ельники Белорусского Полесья в современных климатических условиях [Электронный ресурс] : III Междунар. совещание по сохранению лесных генетических ресурсов Сибири. Красноярск, 23–29 авг. 2011 г. / Е. В. Матюшевская [и др.]. URL: <http://conf.nsc.ru/cfgrs2011/reportlist> (дата обращения: 23.08. 2011).

94. «Взрывы» в радиальном приросте ели в островных локалитетах Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Природные асыроддзе Палесья: асаблі-
васці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац. Брест : Альтернатива. Вып. 4.
С. 36–41.

95. *Сачок Г. И., Камышенко Г. А.* Факторы и модели изменчивости урожай-
ности сельскохозяйственных культур Беларуси. Минск : Беларус. навука, 2006.

96. Эконометрика / под ред. И. И. Елисеевой. Изд. 2-е. М. : Финансы и ста-
тистика. 2006.

97. *Дюшафур Ф.* Основы почвоведения : пер. с фр. М. : Прогресс. 1970.

98. *Смолянинов И. И., Климова О. А.* Как и чем питается лес. М. : Лесная
пром-сть. 1978.

99. *Головченко А. В., Полянская Л. М.* Сезонная динамика численности и
биомассы микроорганизмов по профилю почвы // Почвоведение. 1996. № 10.
С. 1227–1283.

100. *Киселев В. Н., Матюшевская Е. В.* Почвенный микрофлористический
фактор в изменчивости радиального прироста ели // Лесное хоз-во. 2009. № 2.
С. 22–23.

101. *Парфенов В. И.* О внутривидовой систематике *Picea abies* [L.] Karst //
Новости систематики высш. растений. Л. : Наука, 1971. Т. 8. С. 4–11.

102. *Парфенов В. И.* Обусловленность распространения и адаптации видов
растений на границе ареалов. Минск : Наука и техника, 1980.

103. *Алексеев В. А., Ловеллус Н. В.* Многолетняя динамика прихода фотосин-
тетически активной радиации и прирост древесины в южнотаежных древо-
стоях // Лесоведение. 1973. № 6. С. 24–30.

104. *Ничипорович А. А.* Световое и углеродное питание растений (фотосин-
тез). М. : Изд. АН СССР, 1955.

105. *Тимирязев К. А.* Жизнь растения. Изд. 15-е. М. : Сельхозгиз, 1949.

106. Полесье : энцикл. словарь. Т. XXIV. Издатели Ф. А. Брокгауз, И. А. Ефрон,
1898. С. 456–458.

107. *Киселев В. Н.* Лесные ландшафты на кварцевых песках Белорусского
Полесья // Лесное и охотничье хоз-во. 2009. № 3. С. 21–23.

108. *Былова А. М., Чернова Н. М.* Экологические группы растений по отно-
шению к свету и их адаптативные способности. М. : Дрофа, 2007.

109. Региональные эдафические и климатические особенности Белорусского
Полесья в изменчивости радиального прироста сосны. / В. Н. Киселев [и др.] //
Природопользование. Вып. 25. С. 66–74.

110. *Матвеев С. М., Нестеров Ю. А.* Эталонные дендрохронологические шка-
лы ЦЧР: построение, хранение, применение // Вестн. ВГУ. 2003. № 2. (Серия
«География и экология»). С. 77–85.

111. *Гортинский Г. Б.* Опыт причинного анализа факторов, определяющих
погодичную динамику прироста древесины // Структура и продуктивность ело-
вых лесов южной тайги : сб. ст. Л. : Наука, 1973. С. 218–222.

112. *Вихров В. Е., Колчин Б. А.* Основы и методы дендрохронологии // Сов.
археология. 1962. № 1. С. 91–112.

113. *Оппоков Е. В.* Режим Днепра в связи с вопросом о влиянии на него осушения болот // Метеоролог. вестн. 1901. № 2. С. 452–479.
114. Properties of boundary-line release criteria in North American tree species / B. F. Black [et al.] // *Annals of Forest Science*. 2008. № 66 (2).
115. *Lorimer C. G., Frelich L. E.* A method for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forest // *Canadian J. of Forest Research*. 1989. № 19. P. 651–663.
116. *Rubino D. L., McCarthy B. C.* Comparative analysis of dendroecological method used to assess disturbance events // *Dendrochronologia*. 2004. № 21. P. 97–115.
117. *Колесников Б. П.* Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956.
118. *Попова Э. П.* Азот в лесных почвах. Новосибирск: Наука, 1983.
119. *Степаненко И. И.* Вегетационная динамика формирования годичных слоев в удобренных сосняках // Науч. тр. Моск. гос. ун-та леса. 1998. № 289. С. 116–126.
120. «Болотный городок» как объект дендроклиматических исследований / В. Н. Киселев [и др.] // Вест. БДПУ. Сер. 3. 2011. № 1. С. 42–47.
121. *Борисенков Е. П., Пасецкий В. М.* Тысячелетняя летопись необычных явлений природы. М.: Мысль, 1988.
122. Сравнительный анализ радиального прироста сосны и дуба на Белорусском Полесье в условиях естественного режима грунтовых вод / В. Н. Киселев [и др.] // Природопользование. 2013. Вып. 23. С. 83–93.
123. Лесные ландшафты Беларуси: структурно-функциональная организация и устойчивость к техногенным нагрузкам / А. И. Алехно [и др.]; под общ. ред. Е. А. Сидоровича. Минск: Наука і тэхніка, 1992.
124. *Сарнацкий В. В.* Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009.
125. *La Marche V. C. Jr., Hirschboeck K. K.* Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions // *Nature*. 1984. Vol. 307, № 5947. P. 121–126.
126. *Федоров Н. И., Сарнацкий В. В.* Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим усыханием. Минск: Тэхналогія, 2001.
127. *Матюшевская Е. В., Киселев В. Н.* Вулканические катастрофы и их влияние на угнетение ели в Беларуси // Лесное и охотничье хоз-во. 2006. № 12. С. 28–30.
128. Влияние вулканических извержений на хвойные леса Беларуси / В. Н. Киселев [и др.] // Лесное и охотничье хоз-во. 2006. № 2. С. 27–31.
129. *Кулагин Ю. З.* Растительность и промышленное загрязнение. М.: Наука, 1974.
130. *Моисеева Н. А.* Исследование процесса деградации сосновых насаждений в городских условиях: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Белорус. технол. ин-т. Минск, 1980.
131. *Кравчук Л. А.* Лихеноиндикация загрязнения атмосферного воздуха городов Беларуси: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Минск, 2001.

132. *Матюшевская Е. В.* Радиальный прирост ели в техногенно загрязненной воздушной среде Минска при изменяющихся климатических условиях // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата : сб. науч. ст. междунар. науч. конф., Минск, 5–8 мая 2015 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2015. С. 294–296.

133. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны в условиях техногенного загрязнения / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 2. 2015. № 1. С. 21–25.

134. *Шульгин И. А.* Растение и Солнце. Л. : Гидрометеоиздат, 1973.

135. *Краўчук Л. А., Какарэка С. В.* Ліхенаіндыкацыйнае картаграфаванне Мінска // Вес. АН Беларусі. 1995. № 2. С. 23–28.

136. *Павлов И. Н., Губарев П. В.* Синхронность радиального прироста сосны обыкновенной в лесных культурах // Лесной и химические комплексы: проблемы и решения : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию С.-Петербур. гос. техн. ун-та. Красноярск, 2005. Т. 2. С. 249–261.

137. *Гетко Н. В.* Растение в техногенной среде. Минск : Наука и техника, 1989.

138. *Орлов А. Я.* Рост и отмирание корней сосны, березы и ели при периодическом затоплении почвенно-грунтовыми водами : сообщения // АН СССР, Лаборатория лесоведения. М. : Наука, 1962.

139. *Орлов А. Я., Кошельков С. П.* Почвенная экология сосны. М. : Наука, 1971.

140. *Сергейчик С. А., Сергейчик А. А., Сидорович Е. А.* Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде. Минск : Беларус. навука, 1998.

141. *Чуваев П. П., Кулагин Ю. З., Гетко Н. В.* Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений. Минск : Наука и техника, 1973.

142. *Сидорович Е. А., Рупасова Ж. А., Бусько Е. Г.* Функционирование лесных фитоценозов в условиях антропогенных нагрузок. Минск : Наука и техника, 1985.

143. *Чубанов К. Д., Киселев В. Н., Бойко А. В.* Природная среда в зоне влияния промышленных центров: основные леса Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1989.

144. *Яротов А. Е.* Дендрохроноклиматический анализ радиального прироста сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Теоретические и прикладные аспекты оценки изменений климата и использования климатических ресурсов : тез. докл. междунар. науч. конф., Минск, 31 окт. – 3 нояб. 2000 г. / БГУ, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии АН Беларуси ; Гос. ком. по гидрометеорологии. Минск : БГУ, 2000. С. 151–153.

145. Переходное болото как индикатор изменчивости погодно-климатических условий Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2014. № 1. С. 53–57.

146. *Смоляк Л. П.* Болотные леса и их мелиорация. Минск : Наука и техника, 1969.

147. Дендроклиматический мониторинг верховых болот Белорусского Полесья / В. Н. Киселев [и др.] // Географические аспекты устойчивого развития регионов : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 апр. 2015 г. : в 2 ч. Гомель : ГГУ, 2015. Ч. 1. С. 179–182.

148. Верховые болота как объект дендрохронологических, дендроклиматических и палеогеографических исследований / В. Н. Киселев [и др.] // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования и охраны : материалы II Междунар. науч. семинара, Минск, 24–25 сент., НАН Беларуси, ИЭБ, ББО. Минск : Колорград, 2015. С. 62–64.

149. Климатический отклик сосны на верховых болотах в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов / В. Н. Киселев [и др.] // Вес. БДПУ. Сер. 3. 2009. № 4. С. 45–49.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
Глава 2. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 60 ЛЕТ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ.....	21
2.1. Динамика фотосинтетически активной радиации в Припятском Полесье.....	21
2.2. Динамика фотосинтетически активной радиации в Центральной Беларуси	37
2.3. Изменчивость фотосинтетически активной радиации за 1968-2013 гг. в Белорусском Поозерье.....	48
Глава 3. ХВОЙНЫЕ ЛЕСА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.....	58
3.1. Азональные факторы в хронологии лесных сообществ Белорусского Полесья	58
3.2. Климатические условия мелиоративного освоения Белорусского Полесья	65
3.3. Сравнительный анализ радиального прироста ели на мелиорированных и немелиорированных территориях Белорусского Полесья	75
3.4. Радиальный прирост сосны на кварцевых песках Белорусского Полесья в изменяющихся климатических условиях.....	105
3.5. Сравнительный анализ радиального прироста сосны и дуба при естественном режиме грунтовых вод в изменяющихся климатических условиях Белорусского Полесья	123
Глава 4. ЕЛЬ И СОСНА В ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ г. МИНСКА И г. МОГИЛЕВА.....	146
4.1. Погодные экстремумы усыхания ели в XX в.	146

4.2. Дендрометрические хронологии ели в условиях техногенного загрязнения	152
4.3. Гелиорадиационный фактор в изменчивости радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения.....	160
4.4. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста ели в условиях техногенного загрязнения.....	167
4.5. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны в условиях техногенного загрязнения	176
Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПЕРЕХОДНЫХ И ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ	183
5.1. Переходное болото как индикатор изменчивости погодно-климатических условий Белорусского Полесья	183
5.2. Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны на верховых болотах Белорусского Полесья	190
5.3. Дендроклиматический мониторинг верховых болот в Центральной Беларуси	206
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	215
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ.....	220

Научное издание

Матюшевская Екатерина Викторовна

**ФАКТОРЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ
РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЕРЕВЬЕВ**

Ответственный за выпуск *Е. А. Логвинович*

Художник обложки *Т. Ю. Таран*

Технический редактор *Т. К. Раманович*

Компьютерная верстка *А. А. Микулевича*

Корректор *Л. С. Мануленко*

Подписано в печать 29.09.2017. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,48. Уч.-изд. л. 12,7. Тираж 100 экз. Заказ 630.

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.