

# ХВОЙНЫЕ ЛЕСА БЕЛАРУСИ

В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЯХ

*(дендроклиматический  
анализ)*

Минск  
«Право и экономика»

**В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская,  
А.Е. Яротов, П.А. Митрахович**

**ХВОЙНЫЕ ЛЕСА БЕЛАРУСИ  
В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЯХ**

**(дендроклиматический  
анализ)**

Минск  
«Право и экономика»  
2010

УДК 630\*182:581.5 (476)  
Х31

Авторы:  
В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская,  
А.Е. Яротов, П.А. Митрахович

Под общей редакцией В.Н. Киселева

Рецензенты:  
доктор географических наук, профессор П.С. Лопух  
(Белорусский государственный университет)  
доктор географических наук, профессор В.Б. Кадацкий  
(Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка)

Х31 **Хвойные леса Беларуси** в современных климатических условиях (дендроклиматический анализ). / В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович. // Под общей редакцией В.Н. Киселева. – Минск: Право и экономика, 2010. – 202 с.  
ISBN 978-985-442-800-0

*Дендроклиматология, древесно–кольцевые хронологии. ель, сосна, верховые болота, климат, солнечная радиация, вулканические извержения, мелиорация, загрязнение.*

В монографии изложены результаты изучения изменчивости радиального прироста современных поколений ели и сосны в различных физико–географических и экологических условиях. Анализ изменения климата на территории Беларуси выполнен применительно к цели и задачам дендроклиматического исследования. Много внимания уделено межландшафтным различиям в формировании радиального прироста ели в связи с ее периодическим усыханием. Впервые достаточно подробно исследован радиальный прирост сосны на верховых болотах в различных природных регионах Беларуси. Выявлены причины синхронных переломных моментов в изменчивости индексного прироста ели и сосны в различных экологических условиях на всей территории Беларуси. Доказано влияние вулканических извержений на состояние и стволовую продуктивность хвойных лесов Беларуси.

Для специалистов в области географии, экологии, лесного хозяйства и природопользования, преподавателям и студентам вузов.

Рис. – 64. Табл. – 64. Библиогр. – 289 назв.

ДК 630\*182:581.5 (476)

ISBN 978-985-442-800-0

© В.Н. Киселев, Е.В. Матюшевская, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович  
© Оформление. ИООО «Право и экономика», 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Стратегия лесного хозяйства Беларуси на ближайшую и отдаленную перспективу невозможна без учета направленной изменчивости состояния и стволовой продуктивности основных пород-лесообразователей (сосны и ели), природа которой остается неполно изученной. Более или менее ясно влияние климатических факторов (температуры и осадков) на радиальный прирост этих пород. Результаты научных исследований влияния антропогенных факторов (осушительной мелиорации и техногенного загрязнения среды) на лесную растительность противоречивы. Погодно-климатическими условиями не всегда возможно объяснить одновременное наступление периодов максимальной стволовой продуктивности и угнетения древостоя независимо от его возраста.

Не менее актуальным представляется создание банка данных об изменчивости радиального прироста современных поколений лесных пород. С вырубкой или естественной гибелью великовозрастных насаждений и отдельных деревьев, которых мало сохранилось на территории Беларуси, эта информация будет утрачена. Значение ее в перспективе для лесного хозяйства и мониторинга среды трудно переоценить.

К настоящему времени сложилась неблагоприятная экологическая ситуация для лесов Беларуси, приведшая к снижению их устойчивости и продуктивности в то время, как их социально-экономическое и экологическое значение возрастает. На ближайшую и отдаленную перспективу влияние быстро меняющихся экологических естественных и антропогенных факторов на лесные экосистемы не уменьшится. С этим обстоятельством необходимо будет считаться при принятии решений в области использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов.

Современные экологические проблемы лесного хозяйства Беларуси порождены не только двумя ведущими антропогенными факторами – осушительной мелиорацией (особенно в Полесье) и техногенным загрязнением воздушной среды в крупных городах и промышленных центрах, но и другими, влияние которых на леса остается слабо изученным. Получение новых данных в этом направлении является необходимым условием для принятия решений в области оптимального использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов.

Снижение экологической устойчивости лесов на территории Беларуси следует рассматривать как часть общей деградации и гибели лесов в Северном полушарии. В связи с этим приобретает актуальность выявление участия общепланетарных геофизических процессов в состоянии и продуктивности основных пород-лесообразователей как фона изменчивости этих показателей на региональном уровне под влиянием погодно-климатических условий и антропогенного воздействия. Беларусь достаточно далеко удалена от действующих вулканов, и по этой причине в экологических исследованиях по лесной тематике вулканическая проблематика не нашла отражения.

Геофизические факторы (извержение вулканов, замутненность атмосферы и др.) во влиянии на стволовую продуктивность насаждений остались практически неизученными. Монография посвящена устранению этого пробела. Радиальный прирост деревьев позволил выявить также и другие причины пространственной и временной изменчивости состояния и продуктивности хвойных лесов на территории Беларуси. Данное направление научных исследований представлялось также перспективным для объяснения синхронно наступающих периодов максимальной стволовой продуктивности и угнетения насаждений не зависимо от их географического положения, возраста, погодно-климатических, эдафических, биотических и антропогенных факторов.

Монография подготовлена по результатам НИР «Геофизические, климатические и антропогенные факторы во внутривековых циклах изменчивости состояния и продуктивности основных лесобразующих пород в ландшафтах Беларуси» (научный руководитель: В.Н. Киселев – доктор географических наук, профессор, профессор факультета естествознания Белгоспедуниверситета), выполненной в рамках ГПОФИ «Ресурсы растительного и животного



мира» на 2006–2010 гг. В исследовании и подготовке монографии участвовали сотрудники географического факультета БГУ: Е.В. Матюшевская – кандидат географических наук, доцент, А.Е. Яротов – кандидат географических наук, старший преподаватель и П.А. Митрахович – кандидат биологических наук, доцент.

## **1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 Зональная принадлежность территории Беларуси с позиций климатогенно-ривалитатной теории**

Проблема зональности, начиная с учения о зонах В.В. Докучаева, является ключевой в физической географии и природопользовании. В научном плане она призвана объяснить пространственную дифференциацию природной среды, в частности биоты, и историю ее формирования, в практическом – определить зональные системы земледелия и лесного природопользования.

Основу географической зональности образуют климатические процессы, связанные с радиационным и энергетическим (тепловым) балансом земной поверхности. Однако, идеального широтного распределения температурного режима, осадков, испаряемости, влажности воздуха и других климатических составляющих не существует из-за неравнозначности термических свойств суши и акваторий, смещения центров действия атмосферы, орографии, непостоянства циркуляции воздушных масс и других причин. Взаимодействие климатических составляющих настолько сложно, что попытки создания на их основе интегральной схемы географической зональности породили непрекращающиеся дискуссии.

Географическая зональность проявляется, прежде всего, в зональности почв и растительного покрова. Зональность почвенного покрова, хотя и является следствием зональности климата, более консервативна, чем зональность растительности. Почвенные зоны более устойчивы, они могут не соответствовать современным климатическим условиям, а быть историческим порождением былых климатов и растительного покрова.

Растительный покров в этом плане несравненно мобильнее, чем почвы. Каждый растительный вид занимает определенный ареал, который на равнинных территориях без изоляционных барьеров имеет климатическую детерминированность.

В природных системах растительность является наиболее сложным, синтетически объёмным компонентом, отражающим зональное изменение воздействующих экологических факторов. С учением о природных зонах связано представление о зональных биоценозах. Вся совокупность биоценозов какой-либо зоны образует географическое единство – зонобиом.

Зонобиом как экосистема крупнейшего географического ранга с единым зональным климатом должен занимать всю зону полностью. Однако, региональные различия (рельеф, режим осадков и стока, местный климат, почвы и др.) являются причиной того, что зонобиом формируется не на всём пространстве зоны, а только в её части. Зонобиом – не что иное, как совокупность растительных формаций. В формации господствующее положение занимает эдификатор – вид или группа видов, которые определяют её структуру и, в определённой мере, состав фитоценозов. В формации эдификатор имеет фитоценотическое господство. В границах зонобиома формация может занимать плакорные и неплакорные эдафотопы, дробясь на плакорные (зональные) и неплакорные (азональные) ассоциации (для лесов – соответствующие типы).

Климатогенно-ривалитатная теория [50] позволяет объяснить формационную структуру зонобиомов. Согласно этой теории, экстремальные климатические условия снижают жизнеспособность вида в большинстве отвечающих ему эдафотопов. Конкуренция со стороны других видов, для которых данные условия среды не являются экстремальными, вынуждает вид-эдификатор, ограниченный в своих экологических потребностях, использовать любые экологические оптимумы и все собственные биологические возможности в борьбе за фитоценотическое господство.

В центральной (срединной) части зоны способность вида-эдификатора формировать фитоценозы проявляется во всех эдафических позициях, как плакорных, так и неплакорных, формации. По мере удаления от этого оптимума к краевым полосам зоны эта способность эдификатора сужается. Его функции переходят к другому виду или группе видов. Именно здесь происходит взаимное проникновение видов-эдификаторов соседствующих зонобиомов и образование между ними переходных полос.

Под действием ривалитатных факторов вид-эдификатор у пределов зоны оттесняется в такие экологические оптимумы, которые обеспечивают ему высокую жизненность, конкурентоспособность и фитоценотическую устойчивость. Виды, господствовавшие в зонобиоме, в соседствующей природной зоне в результате конкуренции со стороны аборигенных эдификаторов вытесняются в оптимальные для них локалитеты (местообитания), формируя экстразональную растительность. Виды слабой конкурентной способности в пределах своей природной зоны оттесняются эдификаторами в неплакорные условия, где реализуют свой биологический потенциал в азональных сообществах.

Проблема зональной принадлежности территории Беларуси рассмотрена во множестве научных и учебных изданий, и к ней не следовало бы возвращаться, если бы сложилось более или менее однозначное представление о количестве природных зон и их дефиниции, тем более, что в географической литературе господствует зональная фитогеографическая терминология.

Так, в природно-сельскохозяйственном районировании земельного фонда СССР вся Беларусь, как и северная часть Украины, отнесена к тайге [203]. Исследуя ландшафтную структуру территории республики, Г.И. Марцинкевич и др. [146] расчленили её на 2 зоны: бореальную подтаежную (смешанно-лесную) и суббореальную полесскую (широколиственно-лесную).

Лесорастительное районирование Беларуси [50, 264, 265] учитывает то обстоятельство, что Беларусь лежит на стыке двух крупнейших растительных конгломераций Европы: бореальных хвойных и неморальных лиственных лесов. Зональная структура растительного покрова определяется соотношением и взаимозамещением прежде всего еловых и дубовых лесов, а также взаимосвязями бореальных и неморальных элементов в лесных фитоценозах. Согласно этому районированию, территория Беларуси принадлежит двум зонам; Евроазиатской темнохвойно-лесной (таёжной) и Европейской широколиственной. В первой из них выделены две подзоны: дубово-темнохвойных подтаёжных, ограниченная на юге северной границей ареала граба, и грабово-дубово-темнохвойных подтаёжных лесов; во второй – одна: грабовых дубрав (широколиственно-сосновых лесов) как северной полосы Европейской широколиственной зоны.

В подзоне дубово-темнохвойных лесов древостой плакорных эдафотопов представлен в основном елью (*Picea abies*). Дубравы (эдификатор *Quercus robur*) – в поймах и долинах рек, изредка на плакорах, на которых, кроме клёна, ясеня и липы, обычна ель. В подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов дубравы – полноправные компоненты лесных массивов.

Южная граница ареала ели климатически детерминирована [50, 105]. Лесорастительные подзоны выступают как широтно-климатические образования. Однако, приуроченность средней и северной полосы территории Беларуси к Евроазиатской темнохвойнолесной (таёжной) зоне вызывает уточнение в силу следующих обстоятельств. Ельники и дубравы в Беларуси как зональные формации замещают друг друга, хотя фитоценотическая устойчивость дуба к югу возрастает [50, 204]. Несмотря на конкурентные отношения, ель и дуб являются спарринг-эдификаторами.

Наиболее полное исследование белорусских лесов было проведено в послевоенный период, естественная фитоценотическая структура которых была нарушена рубками, пожарами и искусственным восстановлением. В XX столетии соотношение основных лесообразователей изменилось коренным образом: удельный вес ели уменьшился с 17,6 до 10,6 %, а широколиственных пород – с 11,7 до 3,8 %, мелколиственных – с 20,3 до 29,9 % [55]. Господствующей на территории Беларуси по-прежнему остаётся трансзональная формация сосны обыкновенной (50,4–52,9 %).

Зональность растительного покрова Беларуси в голоцене претерпела два крупных сдвига: перемещение к северу широколиственных лесов в атлантический период и смещение к югу

темнохвойных лесов в суббореале. Климатический фон, на котором происходит формирование зон, в историческое время отличался повышенной нестабильностью. В настоящее время климатическая обстановка для ели и дуба на территории Беларуси под воздействием естественных и антропогенных факторов становится неблагоприятной (продолжительные летние засухи, малоснежные зимы, зимнее потепление и летнее похолодание, поздневесенние и раннелетние заморозки, осушительная мелиорация и др.). Ухудшение экологической ситуации привело к снижению устойчивости ели и дуба, а также сосны, березы и ольхи чёрной, формирующих азональные сообщества [55].

Проблема устойчивости белорусских лесов в просматриваемой перспективе может еще более обостриться, так как не следует ожидать улучшения экологической обстановки. Лесное хозяйство вынуждено считаться с этим обстоятельством при искусственном восстановлении лесных массивов после рубок главного пользования и лесокультурных мероприятий на бросовых сельскохозяйственных и техногенно нарушенных землях, учитывая зональную принадлежность территории республики. Представляется более обоснованным относить Беларусь к двум европейским зональным доминионам – зоне смешанных (северная и средняя полоса) и широколиственных (Полесье) лесов, сохранив в их пределах лесорастительные подзоны, выделенные ранее геоботаниками.

В пользу такого подхода указывают и особенности почвенного покрова Беларуси. Основной массив дерново-подзолистых почв с фрагментами интразональных (дерновых и дерново-карбонатных) и экстразональных (бурых лесных и собственно подзолистых) больше соответствует зоне смешанных лесов, чем таёжных. Бурые лесные почвы свойственны Полесью, где они являются зональными, однако, преимущественно песчаная литологическая основа, пестрота гидрохимических и гидрогеологических условий во многом затрудняют объяснение хорологической дифференциации господствующих здесь азональных почв от подзолов до карбонатно-кальциевых солончаков.

Основные массивы карбонатно-кальциевых солончаков распространены именно в Полесье как зоне широколиственных лесов. Хотя их образование связано с региональными гидрогеологическими условиями (разгрузкой напорных вод мергельно-мелового водоносного горизонта) [91], они больше свойственны расположенным южнее зонам лесостепей и степей умеренных широт. Именно карбонатные солончаки позволяют подчеркнуть принадлежность Полесья к зоне широколиственных лесов.

Зональная принадлежность территории Беларуси указывает на необходимость создания, с целью повышения экологической устойчивости лесных массивов, смешанных насаждений и окончательного отказа от монокультуры ели, дуба и сосны.

## **1.2 Использование ландшафтной привязке в лесоводстве в связи с периодическим усыханием ели**

К настоящему времени в лесном хозяйстве Беларуси накопилось достаточно много вопросов, связанных с его современным состоянием и перспективой развития. Целый ряд естественных явлений или возникших в результате антропогенного воздействия не получили пока надежного аргументированного объяснения. Их познание может быть неопределенно долгим, но современные масштабы использования лесных ресурсов обогнали их изученность. В частности, нерешенной проблемой остается выяснение причин прогрессирующего снижения стволовой продуктивности хвойных пород (особенно ели [97]) и устойчивости их насаждений, начиная с 1950-х годов. Особую остроту приобрела проблема усыхания ели.

Ситуация с лесами на территории Беларуси является составной частью глобальной ресурсной и экологической проблемы деградации и гибели хвойных лесов в Северном полушарии. Озабоченность по этому поводу существует в России, Китае, Японии, Польше, Словакии, Германии, Швеции и других странах Евразии. Массовая гибель ценных пород отмечена в Северной Америке. Усыхают горные можжевеловые редколесья в горах Аравийского

полуострова. Деградация и отмирание лесов сопровождается потерями в экономике стран и негативными экологическими последствиями.

Усыхание лесов – это грандиозный своеобразный эксперимент, который ставит сама природа со сложными причинно-следственными связями естественного и антропогенного происхождения, как тревожный симптом изменения биосферы в неблагоприятную для человечества сторону. Выявление всех факторов, причастных к усыханию, и получение новых данных следует рассматривать как крайне необходимый этап в познании этого феномена [144].

О причинах деградации и отмирания лесов в Евразии и Северной Америке выдвинуто более 170 рабочих гипотез [288], но ни одна из них не получила всеобщего признания [144]. Согласно большинству гипотез леса в Европе должны были бы уже погибнуть, но отчасти происходит улучшение их состояния. Невозможность решить проблему деградации и гибели лесов, исходя только из исследования отдельных процессов, снизила доверие к лесным экологическим исследованиям [281].

О масштабах усыхания ели в Беларуси или на ее конкретных территориях можно судить, в основном, по площади погибших и поврежденных ельников, к сожалению, не имеющих ландшафтного адреса. Естественно, ель отмирает не повсеместно, а на конкретных формах рельефа с конкретными гидрогеологическими и почвенными условиями в определенных природных комплексах. Без адресной ландшафтной привязки нет полного представления о происходящих изменениях в лесном покрове.

Проблема соотношения естественных и антропогенных факторов во влиянии на состояние и продуктивность лесных биогеоценозов стала особенно острой к концу XX в. в связи со снижением их устойчивости. Нарастание стволовой массы древостоя есть суммарный результат действия многих факторов как экологического, так и биологического порядка. По этой причине выделение каждого из них связано со значительными методическими трудностями и не всегда осуществимо. При этом необходимо учитывать наличие территориальной составляющей, отражающей географические закономерности исследуемых явлений. Рациональное использование, воспроизводство и охрана лесных ресурсов обязаны учитывать также временную динамику продукционного процесса под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Все это заставляет рассматривать лес как часть природного комплекса, в котором все изменения в фитоценотической составляющей происходят в ее взаимосвязи с другими его компонентами. Уместно вспомнить, что создатель современного учения о лесе Г.Ф. Морозов рассматривал лес как географический ландшафт [162].

Для того, чтобы информация о состоянии лесов служила справочным материалом для нужд плановой, научной и хозяйственной работы, необходимы не только приводимые сведения о площади усыхающего древостоя в том или ином лесхозе, но и ее ландшафтная привязка. Здесь возникает целый ряд вопросов, на которые пока нет ответа. Прежде всего, на основной вопрос: как объединить лесоводственную и географическую составляющие в едином природном комплексе – ландшафте?

В.С. Гельтман предложил понятие о лесотипологическом комплексе, рассматривая его как экосистему с закономерным сочетанием типов лесных биогеоценозов, зависящем от характера рельефа, почвенных и гидрологических условий [50]. 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 смотря на трудоемкость работ, следует пытаться «привязывать» массивы и участки поврежденного и отмершего древостоя к конкретным ландшафтным условиям. Привлечение космической информации в этом плане будет полезно. Не следует пренебрегать эдафической сеткой П. С. Погребняка.

По **геоморфологическим условиям** выделяются 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, озо-камовые комплексы, золовые образования (барханы, одиночные материковые дюны и их группы, дюнно-грядовые и дюнно-грядовые гипертрофированные и другие образования, современные золовые поля и очаги дефляции);

- поймы рек и озер;

- эти же территории с проявлением карста или суффозии.

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

- 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** желательно указывать:

- 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 аazonальных почв** важно учесть, на каких осадочных породах они развиты:

- песчаных отложениях,

- 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, золовых образованиях;

- двухчленных (и более) грунтах (песчаные, подстилаемые супесями и суглинками или супесчаные и суглинистые, подстилаемые песками и другими рыхлыми грунтами);

- покровных лессовидных суглинках и лессах;

- верховых, переходных и низинных болот (привести сведения об их осушении).

Особую категорию образуют почвы с железистым и карбонатно-кальциевым конкреционными комплексами, а также загрязненные радионуклидами и тяжелыми металлами.

Для стратегии использования ели в лесном хозяйстве важно определить, в каких ландшафтах и их структурных частях данная явление будет происходить. Например, – на крупнохолмистых и локальных платообразных возвышенностях с дерново-подзолистыми почвами на лессовидных суглинках, подстилаемых моренными супесями и суглинками. Или, – на морено-зандровых равнинах с дерново-подзолистыми супесчаными почвами, подстилаемыми песками при глубине грунтовых вод более 2,0 м. Возможен и такой вариант – в «островных» локалитетах на аллювиальной равнине с иллювиально-гумусово-железистым подзолом при глубине залегания грунтовых вод 1,5 м (на мелиорированных территориях Полесья).

Подобные примеры можно продолжить. Только в этом случае будет ясен масштаб поражения ели, обеспечив принятии решений по дальнейшему использованию этой древесной породы в лесном хозяйстве. При этом важно отметить, к какой группе относятся поврежденные насаждения:

- к лесам I категории с водоохранными, защитными, санитарно-гигиеническими и оздоровительными функциями;

- к лесам II категории со сплошнолесосечными, постепенными и выборочными рубками;
- к лесам колхозов и других землепользователей (кроме Гослесфонда);
- к уникальным лесным массивам (по породному составу, возрасту и экологии).

Лесному хозяйству от землепользователей, производящих сельскохозяйственную продукцию или эксплуатирующих природные ресурсы, передаются отработанные земли (низкопродуктивные и эродированные угодья, отработанные торфяные месторождения, карьеры и др.) для рекультивации и лесовыращивания. Здесь могут возникнуть (и возникают) трудно решаемые задачи.

В частности, к настоящему времени не накоплен опыт лесовыращивания (нет ни ассортимента пород, ни технологии) на бесплодных взбугрениях с карбонатно-кальциевыми солончаками на мелиорированных массивах болотно-солончакового ландшафтно-мелиоративного комплекса [91]. Реалии использования этих земель в сельском хозяйстве таковы (невозможность получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур на этих своеобразных почвах), что их целесообразнее использовать для лесовыращивания. К тому же, такие почвы сформированы на кварцевых песках. Незнание полной (ландшафтной) информации о таких территориях и отсутствия опыта по их реабилитации может привести, в конечном итоге, к напрасным усилиям и затратам средств.

Нет необходимости подчеркивать экономическое и экологическое значение лесов своеобразного по природным условиям Белорусского Полесья. Экономическая конъюнктура может усилить или ослабить пресс на лесные ресурсы, не уменьшая при этом их природоохранное значение.

Литологической основой ландшафтов Полесья служат пески, среди которых кварцевые, по всей видимости, преобладают по площади распространения. Автоморфные почвы на них, т. е. почвы, только атмосферного увлажнения, отличаются исключительной бедностью. Малое содержание или полное отсутствие глинистых минералов не способствовало образованию почвенного поглощающего комплекса. К тому же, кварцевые пески обладают особыми водно-физическими свойствами: повышенной порозностью и высокой фильтрующей способностью. По существу, они – решето, в котором не задерживаются атмосферные осадки.

Генезис и плодородие заболоченных почв на белых кварцевых песках, хотя понятие «заболоченность» к ним мало применимо (степень их увлажнения зависит от глубины залегания приповерхностных вод), определяется химическим составом питающих грунтовых нередко напорных вод.

По своему географическому положению и гидрогеологическим условиям Белорусское Полесье относится к благоприятным регионам образования карбонатно-кальциевых солончаков [91]. 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 на мелиорированных массивах может превышать более 50 % их площади. Торфяник и сами солончаки подстилаются кварцевыми песками.

Быстрая сработка маломощной торфяной залежи и сплошное карбонатонакопление уже на всей освоенной площади приводит к образованию пустошей. В настоящее время такая экологическая угроза реально существует на крупнейших массивах болотно-карбонатно-солончакового комплекса, расположенных южнее Днепро-Бугского канала, по среднему течению Ясельды, в водосборах малых рек Ведричи, Щары и др. Нет экономического резона ежегодно перепашивать 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 позже.

Естественно возникает вопрос: почему мелиораторы вышли на эти земли, которые по своей природе требовали чрезвычайно осторожного вмешательства – создание луговых угодий с сохранением и восстановлением вырубленных еще в XX в. широколиственных лесов на таких

карбонатных почвах? Причина заключена в искаженной информации о потенциальном плодородии карбонатно-кальциевых солончаков, которые накануне крупномасштабного мелиоративного освоения Полесья были отнесены к наиболее плодородным дерново-карбонатным почвам.

Такие территории рекомендовались к освоению под пахотные угодья. Только в середине 1980-х гг. было приостановлено освоение Днепровско-Бугского массива – последнего немелиорированного массива таких «болот».

Вернуть лес на болотно-карбонатно-солончаковый комплекс будет трудно. Как правило, карбонатные взбугрения остаются бесплодными даже при прекращении их сельскохозяйственного использования. Единственным древесным растением, которое поселяется на таких землях, является береза. Она занимает узкую полосу вдоль осушительных канав или оконтуривает солончаки.

Уменьшение обводненности Полесья произошло не только под влиянием двухвековой осушительной мелиорации, но и по естественным причинам. В конце 1930-х гг. закончилась влажная климатическая эпоха [97]. После аномально холодных 1941-1943 гг. количество осадков сократилось. Это повлекло за собой уменьшению обводненности болот и, в целом, к снижению уровня грунтовых вод. Понижение грунтовых вод отразилось в увлажненности почв на кварцевых песках, которые заняты сосняками лишайниковыми и мшистыми.

Сосна в плужных бороздах на вырубках и на 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 таких 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 лесопромышленных целях. К сожалению, особенности природы Полесья не отражены на географических картах – на них нет ландшафтов на кварцевых песках. По своему литологическому содержанию почвы делятся обычно на рыхлопесчаные, песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые без указания их минералогического состава. В материалах лесоустройства, так же как и землеустройства, по этой причине почвы на кварцевых песках не отражены.

Для сохранения биоразнообразия и в интересах лесного хозяйства на мелиорированных водосборах Полесья возможно восстановление насаждений ели только в локалитетах с иллювиально-гумусово-железистым подзолом. Сохранившиеся после сплошных рубок в XIX и XX в. «островные» ельники в этом регионе занимают именно эти локалитеты, соседствуя с верховыми болотами, сосняками черничными или черноольшаниками в поймах малых рек. Однако культура ели на Полесье пока редка.

Естественно, исчерпывающая информация о ландшафтной приуроченности поврежденных или отмирающих насаждений ели – тот уровень познания данного стихийного бедствия, к которому следует стремиться. Но и отрывочные сведения будут полезны для дальнейшего ведения лесного хозяйства и в учебном процессе при подготовке специалистов в этой отрасли народного хозяйства и в экологии.

### **1.3 Факторы среды в изменчивости радиального прироста ели**

Еловые леса на территории Беларуси находятся на юге северобалтийской части ареала их эдификатора. Ель европейская, или обыкновенная (*Picea abies* (L.) Karst.), входит в состав рода *Picea* A. Dietr., представители которого по ископаемым остаткам известны с мелового периода. На современный ареал ели европейской большое влияние оказали четвертичные оледенения. В период максимального оледенения она сохранилась в нескольких убежищах: в Восточных Карпатах, на южном и восточном подножиях Альп, на западном и северо-западном побережье Скандинавского полуострова, а также восточнее г. Костромы ближе к Уралу.

Из всех этих рефугиумов ель распространялась по равнинной территории в соответствии с её способностью приспосабливаться к климатическим и эдафическим факторам [201]. На территорию Беларуси *P. abies* проникла ещё в ранний период послеледниковья, и уже в беллинге ей вместе с берёзой принадлежала ведущая роль в древесных формациях [77].

Несмотря на большое число работ по систематике этого рода, до настоящего времени нет его единой классификации [201]. Ель обыкновенная – филогенетически относительно молодой вид для которого характерна большая внутривидовая изменчивость. На сравнительно небольшой равнинной территории Беларуси встречается много биологических форм, различающихся экологическими, морфологическими и физиологическими свойствами [189].

Продолжительность жизненного цикла в онтогенетическом развитии деревьев ели европейской составляет 250-300 лет. Однако насаждения такого возраста, которые можно было бы использовать для экологических и дендроклиматических исследований, на территории Беларуси не встречаются. Жизнь большинства ельников проходила в период быстрого экономического развития республики, начиная с 50-х годов XX ст. К основным антропогенным факторам этого времени следует отнести промышленное загрязнение воздушного бассейна и осушительную мелиорацию. В связи с этим представилось важным выявить в дендрокольцевых хронологиях ответную реакцию на них еловых насаждений.

Ель образует обширные по площади насаждения – чистые или смешанные с сосной, осиной, берёзой, дубом и другими породами. Большая требовательность к составу и влажности почв позволяет ели создавать чистые насаждения только на супесчаных и суглинистых эдафотопях. Из-за чувствительности к заморозкам и медленного роста она не является пионером леса и может входить в состав других насаждений (например, сосновых) в качестве подлеска. Если почва ей благоприятствует более чем сосне (и дубу), под пологом которого она поселилась, то подлесочная стадия может стать угрожающей для приютивших её пород: ель может их вытеснить [161].

Следует отметить, что исследованные нами лесные массивы, в которых ель европейская является единственной или доминирующей породой, имеют вид природных. Однако относить их к лесам естественного происхождения нет оснований: во всех случаях просматривались прямолинейные фрагменты рядов деревьев, свидетельствующие в пользу их искусственного возобновления. Лесообразовательный процесс в них направлялся не только комплексом природных факторов, но и, возможно, санитарными рубками, рубками ухода и другими мероприятиями. В таких случаях увеличение роста древостоев и естественное изреживание (отпад) могли значительно изменять естественный ход радиального прироста.

Эффективное воспроизводство популяций ели обеспечивается её высокой репродуктивной способностью: численность всходов в семенной год достигает 2–3 млн./га [204].

Интенсивность и характер отпада деревьев определяется стадией формирования ценоза и носит циклический характер. Это связано с периодическими распадами достигших предельного возраста древостоев и с чередованием временных периодов с благоприятным и неблагоприятным сочетанием режимов среды. В период с благоприятным сочетанием факторов среды усиливается «низовой отпад», а в годы с критическими погодными условиями возрастает вероятность «верхового отпада», особенно в экстремальных почвенно-грунтовых условиях и в насаждениях с участием особей предельного возраста [204].

Ель европейская относится к видам-эдификаторам климаксовых сообществ, устойчивых к внешним воздействиям и способных к саморегуляции и естественному воспроизводству. При этом в коренных ассоциациях еловых лесов могут возникать стрессовые экологические ситуации, влекущие за собой гибель единичных особей, частичное или полное разрушение древостоев в результате влияния лимитирующих климатических и эдафических факторов, а также катастрофических воздействий (пожары, ветровалы) [204]. Проблемы формирования, повышения продуктивности и устойчивости ельников на территории Беларуси подробно проанализированы В.В.Сарнацким [218].

Наибольший интерес вызывают причины, в силу которых распространение ели в Полесье ограничено. Существует несколько точек зрения по этому вопросу, которые можно разделить на следующие группы: климатическая, эдафическая, биотическая и антропогенная. Большинство



исследователей связывает ограниченное распространение ели (только «островное») с комплексом условий, выдвигая тот или иной фактор в качестве ведущего. Наиболее полно анализ причин, вызвавших «островное» распространение этого таёжного вида в Полесье, сделан в работах В.И. Парфёнова [190], И.Д. Юркевича, Д.С. Голода и В.И. Парфёнова [265], В.С. Гельмана [50] и А.В. Кожаринова [105].

Ель – порода, чувствительная к заморозкам. Важно отметить, что она обладает чувствительной к внешним факторам хвоей.

Южная граница бореальной области (северобалтийской части ареала) сплошного распространения ели совпадает с изолиниями длительности периода с температурой воздуха выше 10 °С в 155 дней и выше 15 °С – в 100 дней, а также с изолинией суммы температур выше 10 °С, равной 2480 °С [265]. В западной части Полесья (до меридиана Баранович) граница ареала ели совпадает с изолинией числа дней с относительной влажностью более 80 %, равной 120. В центральной и восточной частях влияние недостаточной влажности воздуха на ель уменьшается [105].

В Полесье, где ель достигает климатической границы своего ареала, её фитоценотическая устойчивость снижается по причине преобладания песчаных и болотных эдафотопов с резким колебанием приповерхностных грунтовых вод и иссушением верхнего горизонта песчаных почв. Однако без жёстких климатических условий ель не имела бы здесь столь ограниченного распространения. Ель в Полесье занимает экотопы, где микроклимат трансформирован в сторону уменьшения летней температуры и увеличения влажности воздуха – в непосредственной близости от болотных массивов, черноольховых лесов, берегов рек и озёр [265].

В последнее время экологическая обстановка для ели в белорусской части ее ареала, как и для других древесных пород (дуба, сосны, берёзы и ольхи чёрной), стала неблагоприятной под воздействием естественных и антропогенных факторов (продолжительные летние засухи, малоснежные зимы, зимнее потепление и летнее похолодание, заморозки, осушительная мелиорация и др.), что привело к снижению её устойчивости [55]. Площадь, занятая повреждёнными (усыхающими) насаждениями ели, увеличивалась с 37,0 тыс. га с 01.10.1996 г. до 69,4 тыс. га к 10.05.1997 г. [218].

Как уже отмечалось, проблема устойчивости белорусских лесов в ближайшей перспективе может стать ещё более острой, и лесное хозяйство вынуждено считаться с этим обстоятельством при искусственном восстановлении лесных массивов после рубок главного пользования и проведении лесокультурных мероприятий на рекультивируемых землях, с учётом зональной принадлежности территории Беларуси. На пределах географического распространения виды находятся под постоянным воздействием отрицательных и положительных, более или менее сбалансированных факторов.

Наибольшему влиянию экологических (особенно антропогенных) факторов подвержены виды, произрастающие на границах географических ареалов. Именно в крайних условиях произрастания некоторые из них плохо выносят экстремальные условия среды: популяции их отмирают, исчезают отдельные места произрастания, ареал сокращается; для других видов подобные изменения среды способствуют их процветанию и расширению ареала. Локально-временные изменения границ распространения связаны, в основном, с вековыми колебаниями климата и его отдельных показателей [105].

Связь радиального прироста ели европейской с возрастом слабая. Погодичная динамика радиального прироста деревьев отражает собой не только многолетнюю изменчивость, обусловленную влиянием внешних факторов: в ней также фиксируются результаты внутривидовой конкуренции и другие сложные процессы, протекающие в природных сообществах. Однако осуществлено сравнительно немного попыток изучить радиальный прирост в связи с анализом строения древостоев при оценке факторов, определяющих их устойчивость к стрессовым погодным условиям.

В экологии еловых лесов анализируются такие факторы, как радиационный баланс, температура и влажность воздуха, осадки, ветер, почва. В небольшом числе работ в качестве влияющего фактора рассматривается солнечная активность.

Периоды депрессии и экспрессии прироста охватывают ряд лет с чётко выраженными минимумами и пиками, приходящимися на определённые годы. Дендроклиматические исследования, выполненные Лабораторией экспериментальной фитоценологии Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР на территории Центрального лесного государственного заповедника МСХ СССР (Нелидовский район Калининской области) показали, что снижение прироста происходит после засух с задержкой на два года и в годы с повышенным выпадением осадков, причём такая реакция древостоя пока не получила аргументированного объяснения.

Повышение радиального прироста приходится на годы с осадками, близкими к средней многолетней норме. Господствующие и угнетённые деревья интенсивнее снижают прирост в засушливые сезоны с сильным дефицитом осадков в экотопах, получающих дополнительное грунтовое увлажнение. В данном случае не снимается отрицательное воздействие сильных атмосферных засух и дефицита влаги в маломощном корнеобитаемом слое почвы ельников сфагновой группы. Температура воздуха не оказывает прямого влияния на величину радиального прироста ели [262].

Дендрометрические данные по радиальному приросту ели в заповедных лесах центра Русской равнины за последние сто лет не дают серьёзных оснований говорить о значительном влиянии на рост деревьев глобального потепления в средних широтах [147]. Его воздействие не проявляется и на северо-западной границе ареала ели европейской в Скандинавских горах Швеции. Радиальный прирост её клониальных групп в экотопе лес – альпийская тундра, увеличившийся в 1901-1937 гг., положительно коррелировал с температурами лета и ноября–декабря предыдущего года. После 1965 г. корреляция становится незначительной [281].

Непосредственной связи массовой гибели ценных пород деревьев, в том числе представителей рода *Picea*, с явлением глобального потепления климата не удалось проследить в Канаде. Очевидно только наличие зависимости между повышением среднегодовой температуры воздуха и появлением особо жестоких морозов. Глубокое промораживание почвы явилось ключевым фактором тяжёлого поражения деревьев [283].

Ситуация с ельниками на территории Беларуси, по-видимому, являлась составной частью глобальной экологической проблемы деградации и гибели хвойных лесов Северного полушария в XX ст. Как отмечалось, озабоченность по этому поводу существовала в России, Польше, Словакии. Массовая гибель ценных пород деревьев, в том числе хвойных, отмечена в Канаде. Сокращение площади сосновых лесов произошло в Восточном Китае и в Японии. Усыхали горные можжевеловые редколесья в горах Аравийского полуострова.

Состояние лесов в Северном полушарии определяет необходимость поиска ответа на вопрос: является ли их усыхание реакцией на потепление климата в XX ст. В частности, высказывалось предположение, что для массового усыхания древостоев ели должен быть некий один синхронизирующий фактор, имеющий решающее значение, и в такой роли могут выступать климат и погодные условия [285]. Следует отметить, что ель способна пережить очень длительные периоды без дождей, но при умеренном температурном режиме [204]. Её интенсивное отмирание следует рассматривать как результат комплексного синергетического воздействия различных абиотических и биотических факторов, среди которых загрязнение атмосферы, гидросферы и почв имеет определенное значение.

Проблема соотношения влияния естественных и антропогенных факторов на состояние и продуктивность лесных экосистем стала особенно острой к концу XX ст. в связи со снижением их устойчивости, в частности, на территории Беларуси [55]. Нарастание стволовой массы древостоя есть суммарный результат действия многих факторов как экологического, так и биологического порядка. По этой причине выделение каждого фактора связано со значительными методическими трудностями и не всегда осуществимо.

Как отмечалось, при этом необходимо учитывать наличие территориальной составляющей, отражающей географические закономерности исследуемых явлений. Представлялось также обязательным рассматривать изучаемый объект как часть географического ландшафта, в котором все изменения в фитоценотической составляющей происходят в её взаимосвязи с другими структурными компонентами природного комплекса.

В настоящее время нет единого мнения о причинах угнетения лесов в Евразии и Северной Америке [144]. На этот счёт существует множество гипотез: климатическая, биотическая, ценотическая, фитопатологическая, гелиоциклическая и др. Не исключается решающее значение для ухудшения состояния лесов загрязнение атмосферы и прямое воздействие на зелёные части деревьев оксидов серы и азота и их производных. Остальные факторы лишь усугубляют отрицательное воздействие.

#### 1.4 Факторы среды в изменчивости радиального прироста сосны

Сосновые леса Беларуси, расположенные практически в центре Европейского ареала распространения этой древесной породы, представляют несомненный интерес для дендрохронологических и дендроклиматических исследований. Они занимают 57,64% всей лесопокрытой площади, что составляет 4131,5 тысяч гектар. Отличительной чертой сосняков является практическое отсутствие в них великовозрастного (более 100 лет) древостоя, что отражено и в площади, занимаемой насаждениями того или иного класса возраста. Так, молодняки занимают 55,4, средневозрастные насаждения – 31,3, приспевающие – 10,7 % площади сосновых лесов. Спелых и перестойных сосняков мало – 2,1 % [50].

Продолжительность жизненного цикла сосны обыкновенной в онтогенетическом развитии составляет 150-500 лет. На территории Беларуси насаждения такого возраста практически не встречаются. Поиск великовозрастных отдельно растущих деревьев или их групп, отвечающих требованиям дендроклиматических и дендрохронологических исследований, представляет собой не простую задачу. Рост и развитие современных поколений сосны происходило в условиях интенсивного освоения лесных ресурсов, начавшегося ещё в середине XIX столетия, что позволяет выявить реакцию древостоя на естественные и антропогенные воздействия, отражённую в древесно-кольцевых хронологиях, не более чем за последние 150–200 лет [63].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), входит в состав рода *Pinus* L., представители которого по ископаемым остаткам известны с мелового периода и принадлежали к двум современным под родам – *Haploxyylon* и *Diploxyylon* [202]. Ископаемые остатки сосны обыкновенной отмечены в плиоценовых отложениях. Несмотря на большое количество работ по систематике данного рода, пока нет единой его классификации.

В роде сосна в настоящее время выделено около ста видов, произрастающих в Евразии и Северной Америке, на территории СНГ – 15 видов. Особенно широко распространена сосна обыкновенная. Обширная площадь произрастания обусловлена большой экологической пластичностью этого древесного растения, позволяющей ему существовать в самых разных экологических условиях, распространяясь от Крайнего Севера с коротким вегетационным периодом и абсолютным минимумом температуры воздуха (-60 °С) до южных районов с продолжительным вегетационным периодом и абсолютным максимумом температуры воздуха (+40 °С). Сосна растёт как на болотах, так и на сухих, бедных песчаных почвах.

На развитие современного ареала сосны обыкновенной основное влияние оказал ледниковый период [77]. При максимальном оледенении лесная растительность сохранилась в небольших по площади рефугиумах юга Европы, Карпат, Средней России, Среднего и Южного Урала и Средней Сибири. По сходству развития выделяется две большие группы (западная и восточная) изолированных многочисленных рефугиумов, в которых сосна пережила ледниковый период [202]. Развитие сосны в этих очагах происходило независимо под влиянием факторов внешней среды и естественного отбора [83]. Для западного очага, к которому приурочено происхождение сосны обыкновенной на территории Беларуси, специфичным было наличие влажного и теплого морского климата.

Ареал естественного распространения сосны обыкновенной на материке Евразии простирается от 70 до 37 ° с. ш. и от 7 з. д. до 143 ° в. д. Южнее сплошного ареала находятся изолированные друг от друга острова сосновых лесов в северной Монголии, Забайкалье, у истоков рек Большого и Малого Енисея, в Казахстане и Южном Урале. В европейской части южная граница проходит южнее Жигулей и лесостепи Украины до среднего Буга, по северному склону

Подольской нагорной равнины, по Карпатам заходит в Болгарию, Македонию и Сербию, дальше до Венеции, Ломбардских и Лигурийских Аппенин, опускаясь до 44 ° с. ш. По Приморским Альпам и Пиренеям она на западе, в Сьерра-Неваде на 37 ° с. ш., достигает своего предельного распространения

Ареал сосны обыкновенной, охватывающий огромную территорию в нескольких лесорастительных зонах: таёжной, лесостепной и степной, позволяет считать её интразональной древесной породой, которая испытывает на себе, хотя и в ослабленном виде, воздействие разнообразных по значимости зональных факторов.

Согласно ботанико-географическому районированию [50, 264], леса Беларуси относятся к двум областям Голарктического доминиона: Евразийской таёжной (хвойно-лесной) и Европейской широколиственно-лесной. В первой из них выделяются две подзоны: дубово-темнохвойных подтаёжных и грабово-дубово-тёмнохвойных подтаёжных лесов, во второй – одна: грабовых дубрав (широколиственно-сосновых лесов).

Сосновая формация является весьма широким сложным геоботаническим таксоном, который целесообразно разделить на субформации [264], отражающие климатические и почвенно-гидрологические условия. Хотя ей свойственна зональность, можно выделить три климатически замещающихся варианта сосняков, которые по существу и являются субформациями. В подзоне дубово-темнохвойных лесов на свежих, относительно богатых почвах – это сосняки с елью (южнотаёжные), в подзоне грабово-темнохвойных лесов – сосняки с дубом и елью (подтаёжные или предполесские), в подзоне широколиственно-сосновых лесов – сосняки с дубом и грабом (полесские).

Сосна является несомненным ксерофитом. Хвоя, имеющая длину 4–6 см, сохраняется на дереве 2–3 года, иногда 4–5 лет. Форма хвои, малая поверхность зелёных частей, толстая одревеневшая эпидерма, большая поверхность корневой системы, её глубина, экологическая пластичность – всё это подтверждает, что перед нами двойной ксерофит [161]: мало потребляющая влагу порода и умеющая ею пользоваться в условиях сухости, включая физиологическую.

Сосна обыкновенная - филогенетически относительно молодой вид, которому присуща большая внутривидовая изменчивость. На территории Беларуси расположенной в пределах Восточно-европейской равнины встречается много ее биологических форм, различающихся экологическими, морфологическими и физиологическими свойствами [202]. Все многообразие морф позволили Ф.И. Фомину [241] и Л.Ф. Правдину [202] выделить географические расы (климатипы) сосны обыкновенной на территории Беларуси: белорусскую, западную и полесскую.

Сосна белорусская занимает Белорусский район, и юго-восточный угол Южной Прибалтики. Западный климатип распространен в западной половине Западно-Полесского района и в Прибалтике. Полесская сосна растет в Полесском и на востоке Западно-Полесского района. На верховых и переходных болотах распространен почвенный экотип сосны болотной, анатомически мало отличающийся от сосны, растущей на дренируемых почвах. Первые дендрошкалы годовичных колец сосны на территории Беларуси были получены в 1980-е гг. А.И. Русаленко для установления закономерностей годовичного прироста деревьев в связи с влагообеспеченностью [213].

Простейшими составными элементами древостоя в естественных ненарушенных сосновых фитоценозах являются биогруппы, которые по пространственному строению делятся на одноярусные, двухъярусные и вертикально сомкнутые, а по возрастной структуре на абсолютно разновозрастные, условно-одновозрастные (амплитуда колебания возраста до 55 лет), разновозрастные (амплитуда возраста 45–90 лет) [211].

Корневая система у деревьев сосны обычно хорошо развита, с глубоко идущим основным корнем (стержневым) и широко расходящимися боковыми корнями и отличается большим разнообразием. Максимальная глубина корневой системы может достигать 5-6 м., но самыми длинными являются боковые, а не стержневые корни.

Сосна образует значительные по площади насаждения как чистые, так и в смеси с елью, дубом, берёзой бородавчатой, реже берёзой пушистой, осинкой и другими породами. Слабая

требовательность к плодородию почв позволяет ей создавать чистые насаждения на суглинистых, супесчаных и песчаных эдафотопях. Из-за высокой экологической пластичности сосна может являться пионером леса. Воспроизводство ее популяций обеспечивается большим количеством всходов, в хороший семенной год оно может составлять 1,0–2,2 млн./га [11].

Изреживание (отпад) древостоя связан со стадией развития насаждения и временной динамикой состояния среды [124], чередованием оптимальных и неблагоприятных периодов внешнего воздействия. К тому же, неблагоприятными факторами, стимулирующими отпад деревьев, являются и катастрофические: ветровалы и пожары. При ветровалах происходит в основном верховой отпад.

При низовых пожарах верховой отпад наблюдается в течение 8–10 лет, причём в первые два года наблюдается его максимум, а затем наступает плавное снижение количества усохших деревьев за счёт I–III класса Крафта [88]. Главную роль после первых двух лет в формировании отпада играют стволовые вредители (большой и малый лубоед, верховой короед и др.) и повреждение грибовыми болезнями (смоляным раком, окаймлённым трутовиком и т.д.) [1].

Как известно, в формировании радиального прироста участвуют многие факторы естественной и антропогенной природы. Годичный прирост деревьев – сложный биологический процесс, определяемый множеством условий: солнечной активности, климата, почв, возраста и др. Важнейшим фактором, воздействующим на биосферу, является лучистая энергия Солнца. Для протекания всех процессов, связанных с существованием и развитием органического мира, имеет значение не только постоянное поступление солнечной энергии, но и периодически возникающие в ней изменения.

Для всех самоорганизующихся природных систем Солнце рассматривается в качестве источника энергии [6, 37, 70, 136, 181, 213]. Все фотосинтезирующие организмы зависимы не только от непрерывно испускаемой Солнцем энергии, но и её периодических изменений. Воздействие солнечной активности на природные системы проявляется как тенденция при условии неустойчивого состояния самих систем либо в том случае, когда они подвержены воздействию большого количества факторов.

Системы регулирования в организме (сообществе организмов), функционирующие по принципу обратной связи, находятся в режиме автоколебаний. Как отмечалось, способность природных систем к авторегуляции приводит, в одних случаях, к гетерохронности определённых процессов, а в других – к синхронности и даже цикличности. В связи с этим, влияние активности Солнца, возможно, будет проявляться в синхронном проявлении периодических ритмических изменений, скорее всего, климатических факторов [39,158].

Воздействие солнечной активности на радиальный прирост деревьев происходит именно через климатические факторы. В изменчивости радиального прироста деревьев прослеживается цикличность как проявление универсального закона природы [267]. На ход изменчивости климатических параметров оказывают влияние крупные вулканические извержения. Эта проблема достаточно подробно рассмотрена В.Ф. Логиновым [132,135].

О цикличности природных процессов известно достаточно давно. Простая визуализация рядов хода радиального прироста деревьев позволяет выявить многолетние колебания различной периодичности, которые имеют ритмический или циклический характер. Было предпринято немало попыток обнаружения зависимости радиального прироста от солнечной активности, и в ряде случаев получены высокие коэффициенты корреляции между ними, но полной ясности в этом вопросе пока нет [27, 60, 108, 109, 129 и др.].

Цикличности посвящено большое количество работ. Интерес к колебаниям ширины годичных колец и их индексов во времени, основанный на возможности получения длительных и однородных древесно-кольцевых хронологий, обусловленных циклическими колебаниями климата, солнечной активности или другими факторами, не ослабевает. Однако, изучение цикличности природных процессов с привлечением этого показателя стволовой продуктивности сосновых лесов в центральной части Европейского субконтинента (территория Беларуси) пока не получило значительного развития.

*Солнечная активность.* В качестве одного из факторов влияющих на изменчивость

радиального прироста, а значит и на экологию сосны обыкновенной рассматривается солнечная активность [17, 128]. Метеорологические условия, в которых существует насаждение, достаточно тесным образом могут быть связаны с солнечной активностью, как с одним из проявлений ее воздействия на геофизический фон Земли [73, 134, 183, 217 и др.]. Таким образом, влияние солнечной активности на радиальный прирост деревьев можно рассматривать как опосредованное через климатические факторы.

По мнению В.Ф. Логинова [132] солнечная активность относится к так называемым малым силам Вселенной, действие которых порой достаточно трудно проследить, однако ее влияние на природные процессы может быть весьма существенным. Это представление имеют под собой теоретическую основу, заложенную основателем гелиобиологии А.Л. Чижевским [248], который сформулировал основное положение о подчинённости состояния земной среды от воздействия космических факторов.

На основании химического анализа древесины годичных колец В.А. Дергачёвым и Г.Е. Кочаровым [66] была прослежена тесная обратная зависимость концентрации  $^{14}\text{C}$  с солнечной активностью. Ими обнаружена корреляционная связь концентрации этого изотопа в древесине с напряжённостью магнитного поля Земли на протяжении последних семи тысяч лет и с изменением температуры воздуха. Таким образом, было подтверждено существование Маудеровского минимума солнечной активности в период с 1645 по 1715 гг.

Ритмические процессы присущи радиальному приросту сосны обыкновенной на территории лесостепи Русской равнины. Согласно математической модели его многолетнего хода в зависимости от солнечной активности в квазивековом (90-летнем) цикле ожидалось неуклонное возрастание прироста с 1980–1982 по 2000–2002 гг. [67].

В изменчивости радиального прироста сосняков Иркутской области существуют 12-летние циклы. Годы максимума прироста совпадают с годами минимума солнечной активности за период с 1888 по 1985 гг. На динамику радиального прироста благоприятное воздействие оказывают экологические факторы, обусловленные пониженной солнечной активностью [232]. Радиальный прирост древесных растений выступает в качестве индикатора не только погодно-климатических условий, но и солнечно-земных связей, как доказательство прямого или опосредованного воздействия солнечной активности на биосферу Земли [61, 71, 72, 143, 162, 199, 217 и др.].

Хотя причиной минимального прироста по диаметру можно считать недостаточное количество осадков в период апрель-июнь на фоне высоких температур воздуха, но его максимальные значения наблюдаются на фоне более высокой солнечной активности при достаточно чётком увеличении чисел Вольфа от февраля к сентябрю (от 78 до 120). В то же время, в годы с малыми показателями прироста они соответствуют более низкому уровню (60–74) [129].

Зависимость ширины годичных колец от солнечной активности прослеживается не всегда. В частности, изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной на болотах и суходолах северной тайги Западной Сибири, не связана с солнечной активностью [30].

Хотя история разработки астрогелиофизического аспекта дендроиндикации уходит к истокам изучения изменчивости прироста деревьев, его нельзя считать сформировавшимся, т. к. в этом направлении происходит лишь накопление фактов, и пока нет единого понимания многих его сторон и физического обоснования полученных результатов. По утверждению Н.И. Музалевской разнохарактерность материала, бесконечное разнообразие используемых методов анализа, эпизодичность исследований, как правило, на региональном материале, в которых эта связь выявлялась как побочный результат при решении других задач, привели к разноречивому толкованию связи «активность Солнца – прирост».

В этой связи следует обратиться к исследованию солнечно-земных связей, используя теоретическое наследие А. Л. Чижевского (1897–1964). Основоположник гелиобиологии, изучающей влияние активности Солнца на земные организмы, подчёркивал, что «развитие органического мира не есть процесс самостоятельный, автохтонный, замкнутый в самом себе, а представляет собой результат действия земных и космических факторов, из которых вторые являются главнейшими, так как они обуславливают состояние земной среды» [248].

Как отмечает Г. И. Сачок [219], литература по солнечно-земным связям весьма обширна, а

сама проблема является одной из сложнейших и запутанных в науках о Земле. Разноречивые толкования связи прироста деревьев с солнечной активностью можно объяснить разнохарактерностью материала и бесконечным разнообразием используемых методов анализа, а также эпизодичностью исследований на региональном материале, в которых эта связь выявлялась как побочный результат при решении других задач.

Как известно, организмы как биологические индикаторы в силу своей лабильности и резко выраженной селективности зачастую имеют огромную чувствительность к весьма слабым воздействиям, в том числе и к гелиофизическим факторам. Возможно, что воздействие солнечной активности на биосферу осуществляется через многие каналы, включая статическое электрическое поле Земли.

В ряде работ механизм гелиобиологических связей описывается следующей причинно-следственной зависимостью: солнечная активность – возмущение магнитосферы и ионосферы – возрастание напряжённости естественного магнитного поля Земли – реакция организма [38]. Реальность биологического действия солнечной активности, связанного с изменением электромагнитного поля Земли, доказана А. Л. Чижевским [248] и другими гелиобиологами. В частности, прирост камбия может зависеть от величины градиента его потенциала в 11-летнем цикле.

Влияние солнечной активности на биологические системы проявляется как более или менее ясно выраженная тенденция в ситуации, когда они находятся в неустойчивом состоянии и под воздействием очень большого числа всякого рода факторов. Системы регулирования в организме, построенные по принципу обратной связи, почти во всех случаях находятся в режиме автоколебаний. Эта закономерность прослеживается на всех уровнях организации, включая сообщества растений и животных. В далеко разнесённых географических районах колебания будут происходить с неодинаковыми частотами. Влияние солнечной активности, в принципе, может проявляться в синхронизации этих ритмов через периодические (11-летние) изменения, прежде всего, климатических факторов [39].

Солнечная обусловленность динамики стволовой продуктивности полностью никем не отрицается, однако ясных и бесспорных представлений о механизме связи «активность Солнца – прирост» нет. Влияние солнечной активности на прирост деревьев осуществляется через климатические факторы, но нельзя исключать и её возможное прямое влияние на растения.

*Климатические факторы.* Лесные экосистемы реагируют на изменения и колебания климата сложным образом. В частности, изменчивость годичного прироста у деревьев от основных метеорологических элементов (температуры и осадков) меняется не только зонально, но и прослеживается в пределах всех зон, в которых распространена порода-лесообразователь. [157].

Реакция древостоя на действующие климатические факторы наиболее ярко проявляется на границе ареала лесообразующей породы. У северной границы распространения таким лимитирующим фактором будет выступать температура, для зоны недостаточного атмосферного увлажнения – количество и периодичность выпадения осадков, для древостоя болот – переувлажнение и недостаточная аэрация почво-грунтов.

Основные подъёмы и депрессия радиального прироста сосны в лесах Литвы на эдафотопях с избыточным увлажнением совпадают с отклонениями от нормальных показателей погодноклиматических условий. Основная причина ритмичной и сходной с ритмичной изменчивости радиального прироста деревьев и древостоя заключена в изменчивости температуры начала вегетации и летних осадков. Ритмы прироста у сосны и ели в этих условиях близки к хэйловским циклам [230, 231] с 11-летними полуциклами.

Среди основных метеорологических факторов, определяющих погодичную изменчивость радиального прироста, наиболее часто определяется температура воздуха. К фактору, определяющему его временную динамику, относят количество атмосферных осадков.

Изучив многолетнюю динамику радиального прироста древесных пород хвойно-широколиственных лесов в различных условиях местообитания и её связь с климатическими факторами, Р. В. Сабилов и Ю. Ф. Железников [214] установили, что влияние отдельного

климатического фактора на формирование годичного кольца очень незначительно, но во взаимодействии с несколькими факторами значимость его повышается.

На основании этого был сделан вывод о том, что на юге Приморья не существует климатических факторов, жестко лимитирующих прирост, и синхронность в изменении размеров ширины годичного кольца не зависит от экотопа. Насаждения, произрастающие на границах ареалов своего распространения, имеют более выраженную реакцию на воздействие климатических факторов, представленных в минимуме [107].

У лиственных пород и сосны обыкновенной в лесных геосистемах зоны степей существует единство реакции на изменение природных условий не зависимо от многообразия и специфичности природных характеристик эдафотопов. Это единство отражено в очевидном совпадении хронологий абсолютных значений и аномальных отклонений радиального прироста. Для его формирования исключительно важным является выпадение осадков в определённую стадию фенологического развития сосновых насаждений и их нахождение в состоянии относительного покоя в оптимальных параметрах температурных воздействий. Сосна обыкновенная относительно спокойно реагирует на высокие июньские и июльские температуры, что находит отражение в её большом приросте по диаметру, однако низкие температуры зимы не способствуют увеличению роста по диаметру. К тому же, увеличения прироста происходило на фоне повышенной солнечной активности [129].

Очень важно установить, метеорологические условия, какого периода вегетации оказывают преимущественное влияние на радиальный прирост деревьев. Здесь существует множество выводов и предположений [147]. В частности, для популяций сосны обыкновенной на территории Восточной Европы, ограниченной  $40^{\circ}$  до  $63^{\circ} 83'$  с. ш., основным лимитирующим фактором являются холодные зимы [285], после которых летний прирост снижен.

Радиальный прирост сосен на верховом болоте Куресоо имеет отрицательную связь с температурой воздуха за тёплый период года. Увеличение осадков в гидрологическом году сопровождается уменьшением ширины годичного кольца [138, 139]. Е.А.Ваганов и А.В. Качаев [24], получив и проанализировав дендрохронологические ряды прироста сосны для трех болотных фитоценозов Томской области, установили наличие значительной корреляции в изменчивости прироста при отсутствии достоверных связей радиального прироста с климатическими условиями текущего года.

Однако выявлена хорошая и экологически оправданная связь радиального прироста с экологическими условиями прошлых лет. В Архангельской области, по данным Д.А. Усовой [237], суммарный прирост сосны в высоту за вегетационный период зависит от температуры предшествующего года и осадков. Наибольшим он был после года с высокими температурами в июне-августе. Ю.М. Алесковским и др. [3] было установлено, что годичный прирост в большей мере зависит от суммарных осадков за год, и в меньшей степени от осадков за отдельные месяцы. Наиболее сильно прирост связан с суммарными осадками за май-август (коэффициент корреляции  $r = 0,69$ ).

В северо-западной части европейского ареала сосны обыкновенной на территории Финляндии годичный прирост по высоте у сосны обыкновенной зависит от суммы температур предыдущего вегетационного периода и количества осадков августа предыдущего года. Для подзоны средней тайги динамика прироста и продолжительность роста стволов по диаметру в сосняках черничных определяется, главным образом, температурой воздуха вегетационного периода [189, 284].

Исследования сосны Банкаса (*Pinus banksiata*), проведенные в провинции Северная Альберта, в лесном национальном парке Буффало на территории Канады, показали положительную корреляцию с осадками июня текущего, а также с осадками июня-августа предшествующего года [283]. На примере исследования взаимосвязи радиального прироста сосен (*Pinus albicaulis*) с климатическими показателями территории бассейна р. Саутус-Салмон, штат Айдахо (США) авторами были получены следующие выводы: годичный прирост положительно коррелирует с осадками зимы и весны, и отрицательно с температурой мая [286].

На радиальный прирост сосны обыкновенной на болотах и суходолах северной тайги Западной Сибири воздействуют осадки апреля, температура июня, а так же оказывает на него



влияние амплитуда температур июня текущего и октября предыдущего года [30]. Как показали исследования А.И. Беякова [15], для увеличения радиального прироста сосны обыкновенной в лесных среднетаежных ландшафтах Архангельской области имеют значение высокие средние температуры периода с мая по август, а также осадки августа. На формирование годичных колец погодно-климатические условия оказывают влияние не только в текущем году, но и в последующем.

Ширина годичного кольца сосны обыкновенной в географических культурах южной тайги Красноярского края, в большей степени связана с изменениями термического режима [216]. Повышенная температура апреля и увеличение осадков июля положительно влияет на прирост большинства ее климатотипов.

Наиболее высокая корреляция параметров радиального прироста с осадками свойственна климатотипам из слабо увлажнённых районов – степных и лесостепных. Заметное увеличение радиального прироста сосны и лиственницы в различных типах леса при недостаточном увлажнении вызывается осадками мая-июня [166, 187], а высокие температуры августа текущего года оказывают на него небольшое отрицательное влияние [188].

В радиальном приросте сосны обыкновенной в условиях лесостепного Поволжья на примере древостоя Жигулёвского заповедника и пригородных лесов и лесопарков Тольятти А.В. Тимофеев [235] подчеркнул отрицательное влияние на него засух. Засухи вызываются аномально высокими температурами воздуха за вегетационный период и за июль. Их повторяемость и минимальная ширина годичных колец согласуются с соответствующими циклами солнечной активности, изменчивости температуры и осадков, среди которых наиболее чётко представлены: 11-, 22-, 33-, 44-летний. В целом, абсолютный радиальный прирост сосны находился под негативным влиянием засух в большей степени на протяжении XIX, нежели XX века [235].

Подводя итог анализу информации, полученной в России, Литве, Украине, Эстонии и в других странах, можно сделать вывод о множественности и региональности выводов о связи радиального прироста сосны с погодно-климатическими факторами, как это отражено в таблице 5.1.

*Почвенно-гидрологические факторы.* Изменчивость ширины годичных колец невозможно рассматривать без учёта почвенно-гидрологических условий произрастания насаждений.

Таблица 5.1 – Реакция сосны обыкновенной на климатические факторы среды (с указанием страны и года выполнения исследований)

Фактор	Зависимость радиального прироста сосны от фактора	Страна и год исследований
Солнечная активность	Обратная корреляционная зависимость	Россия, 1981
	С ростом солнечной активности прирост возрастает	Украина, 1992
	Годы максимума прироста совпадают с минимумами солнечной активности	Россия, 1992
Температура воздуха	Температура ограничивает рост деревьев	Литва, 1980
	Температура начала вегетации причина ритмичной и сходной изменчивости прироста на больших территориях	Литва, 1981
	Прирост определяется температурой вегетационного периода	Россия, 1983
	Положительная связь с температурой ноября, конца зимы и ранней весны	Россия, 1990
	Увеличение прироста при высоких температурах июня и июля	Украина, 1992
	Прирост зависит от климатических условий прошлых лет	Россия, 1992
	Высокие температуры августа оказывают слабое отрицательное влияние на прирост	Россия, 2002
Прирост сосен на болоте имеет отрицательную связь с температурой теплого периода года	Эстония, 1978	

	Отрицательное влияние высокой температуры конца лета и начала осени	Россия, 1990
	Влияние температуры июня текущего и октября предыдущего года	Россия, 1999
	Увеличение прироста при высоких температурах с мая по август	Россия, 2002
	Положительное влияние температуры апреля	Россия, 2002
	Низкие температуры зимы не способствуют формированию большого прироста	Украина, 2002
	Отсутствует достоверная связь с климатическими условиями текущего года	Россия, 2002
	После холодных зим прирост снижен	Швеция, 1998
Осадки	Положительная связь прироста на болоте с осадками календарного и гидрологического года	Эстония, 1978
	Осадки ограничивают рост деревьев	Литва, 1980
	Летние осадки вызывают ритмичную и сходную изменчивость прироста	Литва, 1981
	Наиболее тесная связь с осадками за май-август	Россия, 1982
	В зоне недостаточного увлажнения возрастает значение зимних осадков	Россия, 1981
	Положительное влияние увеличения осадков в конце лета и начала осени предыдущего года	Россия, 1990
	Зимние осадки не влияют на прирост	Россия, 2002
	Отрицательное воздействие осадков текущего года	Россия, 1990
	Прирост положительно связан с осадками зимы и весны	Россия, 2002
	Увеличение прироста связано с большим количеством осадков в августе	Россия, 2002
	Осадки мая-июня увеличивают прирост в условиях недостаточного увлажнения	Россия, 2002
	Положительное влияние осадков июля в южной тайге	Россия, 2002
	Минимальный прирост с недостаточным количеством осадков на фоне высоких температур воздуха	Украина, 2002
	Отсутствует достоверная связь прироста с осадками года	Россия, 2002

Рельеф редко непосредственно влияет на растительность, гораздо сильнее его косвенное воздействие. Влияние рельефа может сказаться на воздействии всех экологических факторов, так как от него зависят световой, тепловой, водный, воздушный и солевой режимы местообитания растительности. Чем сильнее выражены различия в рельефе (чем больше перепад высот), тем сильнее проявляется его влияние.

На границах природных зон (в маргинальных местонахождениях) возрастает значение экспозиции склонов. Нередки случаи, когда прирост по диаметру не зависит от рельефа географически близко находящихся насаждений в пределах одной и той же категории ландшафта [254]. Например, у древостоя сосняка зелёномошно-лишайникового, развивающегося в условиях дюнного рельефа в Карельской АССР, разные условия экотопа на дюнах и в междюнных понижениях в радиальном приросте не проявляются [51].

Сосна обычно занимает песчаные почвы, поскольку она наименее из всех древесных пород требовательна к богатству почв. Бедность песчаной толщи элементами питания оказывает наибольшее влияние на продуктивность сосняков в зоне смешанных лесов [185]. Это влияние выражается в подавлении роста и развития древесной растительности при недостатке элементов минерального питания в песчаных почвогрунтах [30, 159, 225]. Ортзандовые прослойки играют значительную роль в обеспечении деревьев минеральными веществами и влагой при глубоком залегании грунтовых вод [23, 159, 161, 185, 229].

Ведущее место в процессе формирования прироста сосновых древостоев на автоморфных подзолистых почвах лёгкого механического состава на территории Литвы принадлежит минеральному питанию. Внесение удобрений в подзолистую песчаную почву сказывается на интенсивности роста, не отражаясь на его динамике и продолжительности [32, 33, 111, 206, 260].

Для сосны обыкновенной в лесоболотных фитоценозах Томской области построена следующая цепь зависимости роста от почвенно-гидрологических условий: уровень грунтовых вод → аэрированность → скорость разложения органики → прирост [24].

Следует отметить, что наряду с зависимостью радиального прироста древостоев от локальных условий произрастания насаждений существуют сходные изменения в радиальном приросте сосны на больших географических пространствах, во многом определяемые почвенно-гидрологическими факторами [126].

Представления об оптимальной глубине залегания грунтовых вод в песчаных почвах, обеспечивающей наибольшую продуктивность сосновых насаждений, неоднозначны и зачастую противоречивы для одного и того же региона. Так, А.Д. Дубах [74] считал глубину залегания 0,7–1,0 м наилучшим уровнем грунтовых вод, обеспечивающим оптимальный рост сосны на минеральных почвах. Молчанов А.А. [155] в результате анализа, проведенного для различных природных зон, пришел к такому же выводу: для сосны на песках оптимальный уровень грунтовых вод 0,7–1,0 м, а для торфяных почв 0,5 м. Критическим для сосны на песках следует считать залегание грунтовых вод на глубине 3,0–3,3 м.

П.С. Погребняк [195] и Л. П. Брысова [22], рассматривая водное питание сосны на песках, указывают на потребление ее корневой системой почвенно-грунтовых вод на глубине от 1,0 до 6,0 м. По Н.С. Шингарёвой–Поповой [251] для бора черничного в возрасте 80 лет, расположенного в Ленинградской области на песчаных почвах, лучшим оказался уровень грунтовых вод 0,1–1,2 м.

По мнению Гарднера Р.В. [47] наиболее экономически целесообразно в песчаных почвах для степной зоны снижать уровень грунтовых вод до 1,2–1,5 м. Н.А. Воронков [43], исследуя древостой лесных фитоценозов степей и лесостепей, делает вывод, что потребность растений во влаге на песках с уровнем грунтовых вод 2,5–5,0 м. от поверхности в условиях Среднего Дона и Бузулукского Бора удовлетворяется практически полностью в течение вегетационного периода за счёт почвенной влаги и грунтовой воды. Поэтому, уровень грунтовых вод не глубже 1,5–1,2 м оптимален для сосны.

С повышением уровня грунтовых вод в зоне смешанных лесов запасы древесины в сосновых насаждениях 65-летнего возраста уменьшаются следующим образом: 5,5 м – 153 м<sup>3</sup>/га; 4,25 – 163; 3,42 – 258; 2,78 – 335; 1,63 – 344; 1,15 – 354; 0,81 – 180; 0,5 м – 102 м<sup>3</sup>/га [156]. В Белорусском Полесье лесные фитоценозы наибольшие значения прироста фитомассы имеют в том случае, если потребление влаги ими составляет 120–200 мм из грунтовых вод при их расположении на глубине 90–160 см от поверхности в течение вегетационного периода [18].

Согласно исследованиям Л. П. Смоляка и Е. Г. Петрова Е.Г. [225], наиболее благоприятный водно-воздушный режим почвы для лесных фитоценозов создается в том случае, когда верхняя граница капиллярной каймы грунтовых вод достигает поверхности почвы или хотя бы насыщенного корнями слоя 0–30 см. При этом оптимальном водно-воздушном режиме почвы и его постоянстве в течение всего вегетационного периода обеспечивается максимальная продуктивность древостоя сосны.

Противоречивы суждения о значении продолжительности и величины сезонного и многолетнего отклонений грунтовых вод от оптимальной глубины для структуры и продуктивности лесных фитоценозов. Сезонные колебания грунтовых вод не причиняют существенного ущерба растениям, поскольку весной затоплению подвергаются корни, ещё находящиеся в состоянии покоя, легко справляются с временным анаэробизмом [34, 184, 185].

Затопление сосновых насаждений в течение вегетационного периода сильно снижает прирост древесины, однако такое же подтопление насаждений в течение зимы и весны с последующим быстрым снижением уровня грунтовых вод (до июня) способствует увеличению до 10–14% ширины годичного слоя деревьев [218].

При высоком положении грунтовых вод в мокрых типах леса, резкое снижение уровня в весенний период, вблизи мелиоративной канавы, служит причиной уменьшения прироста по диаметру соснового древостоя. Подтопления или частичного затопления корней сосны негативно влияет на ширину годичного кольца [14, 153, 197]. Противоположное суждение: подтопление благоприятно влияет на таксационные показатели сосны в лишайниковом типе леса [193].

Очевидно, что для жизнедеятельности корней решающее значение имеют продолжительность и степень затопления. Наибольшую опасность представляют многолетние колебания грунтовых вод, которые могут привести к длительному (3–5 лет) затоплению корней или отрыву их от зоны грунтового увлажнения [68, 69]. Осушительные мелиоративные работы привели к увеличению радиального прироста сосны в некоторых типах леса в Архангельской области на десятый год после их проведения.

Влияние гидрологического режима на продуктивность сосновых насаждений в Беларуси исследовалось в основном в связи с оценкой влияния осушительной мелиорации на лесную растительность Полесья. Территория Беларуси относится к зоне неустойчивого атмосферного увлажнения [259], роль грунтового водного питания для сосны должна быть велика [93]. Большинство ее насаждений занимают песчаные эдафотопы с неустойчивым водным режимом. Как показали исследования по выявлению мелиоративного фактора в динамике стволовой продуктивности, потери запаса древесины в сосновых насаждениях при разной глубине залегания грунтовых вод вблизи осушенных болот и заболоченных земель незначительны – в пределах 0,2–2,0 % от наличного запаса [99].

*Возраст.* Как известно, древесные организмы характеризуются ростом, продолжающимся на протяжении всей жизни. Рост обуславливается деятельностью меристематических тканей: камбия и верхушечной меристемы, функционирование которых со временем ослабевает. Способность камбиальных клеток к делению определяет продуктивность камбия. В раннем возрасте продуктивность камбия возрастает, а с увеличением возраста постепенно падает. Оптимальные условия существования дерева замедляют падение продуктивности камбия и, по всей видимости, увеличивают продолжительность жизни дерева.

Среди основных факторов, участвующих в формировании годичного кольца выделяется следующие: возраст, происхождение и плодоношение дерева, внешние и почвенно-экологические условия [127]. Т.Т. Битвинскас [17] отдаёт предпочтение двум факторам, влияющим на ширину годичного кольца: изменению возраста и изменению климатических условий, которые определяют ход изменчивости ширины годичных колец и придают ему квазиколебательный циклический характер.

В зависимости от условий места произрастания годичный прирост деревьев до достижения определённого возраста увеличивается, затем по мере старения снижается. Апогей радиального прироста по диаметру в чистых насаждениях сосны высших классов бонитета наблюдается в 10–20 лет.

А.И. Русаленко [213] отмечает, что условия места произрастания оказывают только незначительное влияние на форму возрастной кривой и на величину снижения прироста у сосны. Кривая, описывающая зависимость ширины годичного кольца от возраста, имеет форму гиперболической с резким падением к 40 годам. У низкопродуктивных сосняков переходных болот возрастная кривая плавно снижается из-за меньшей абсолютной величины падения прироста.

*Техногенное загрязнение.* Сосна обыкновенная представляется весьма выгодным объектом для экологических исследований, так как имеет большую амплитуду условий произрастания в своем трансзональном ареале и обладает экологической пластичностью. Кроме этого, ей свойственны различные биологические реакции на всех этапах онтогенетического развития. Сосна может диагностировать уровень техногенного загрязнения атмосферного воздуха изменениями в росте ветвей, в размерности и сохранности хвои [10, 221, 249].

Возрастание концентрации в воздухе  $SO_2$  и  $NO_x$  от 0,05 до 0,36 мг/м<sup>3</sup> сопровождается пропорциональным увеличением повреждения сосновых насаждений [4, 16, 212]. Процесс повреждения заключается в снижении возраста хвои с 4 лет до 1 года, уменьшении ее длины, размерности и охвоенности кроны, массы хвои на один гектар, радиального годичного прироста [106, 163, 196,], сомкнутости крон в насаждении [194], увеличении количество пустых шишек [245], усыхающих и усохших деревьев [263].

Дендрохронологический метод отличается от других методов индикации загрязнения атмосферного воздуха и состояния лесных насаждений тем, что в качестве основного параметра

выступает годичный радиальный прирост деревьев. Колебание ширины годичного кольца хвойных пород позволяет достаточно точно оценить воздействие антропогенных факторов на лесную растительность [13, 151, 174].

Анализ многолетнего хода изменчивости радиального прироста деревьев с целью установления разного вида антропогенных воздействий невозможен без учета его естественной ритмики под влиянием гелиофизических, климатических и других факторов. Именно естественная динамика колебаний ширины годичных колец создает определённые трудности для выявления антропогенных факторов в стволовой продуктивности насаждений, особенно при недостаточно интенсивном их воздействии, например, при невысоких уровнях загрязнения воздуха [76].

До недавнего времени существовало представление, что загрязнение воздуха является новым антропогенным экологическим фактором, вследствие чего у биоты нет адаптивных механизмов приспособления к нему и наследственной устойчивости. Достижением эколого–физиологических и генетических исследований является положение, что газоустойчивость растений служит наследственным видовым признаком [52, 53, 116, 118].

В настоящее время выделяется два типа загрязнения природных систем: естественное биогеохимическое и антропогенное [35, 80, 85, 179]. Естественное загрязнение связано с биогеохимическим круговоротом материи и энергии в природе. Благодаря ему формируется низкий фоновый уровень загрязнения воздуха [255]. Все живые организмы адаптированы к нему и выработали способность выносить и немного большие воздействия благодаря запасу хемотолерантности.

Растения благодаря резервам хемотолерантности способны выносить загрязнение воздуха с превышением фоновых концентраций ингредиентов приблизительно в 5–10 раз. Антропогенное загрязнение, если оно превышает фоновые концентрации более чем в десять раз, может вызвать нарушение физиологических функций у продуцентов.

Дендрохронологический подход к оценке влияния антропогенных факторов позволяет не только оценить техногенное воздействие в данный момент времени, но определить начало этого воздействия и его масштабы, то есть даёт в руки исследователя возможность реконструкции динамики среды с высокой временной точностью, что практически невозможно с помощью других методов дендроиндикации. Таким образом, он позволяет осуществлять мониторинг лесных сообществ [96, 98, 169, 173, 174, 208, 281].

Неоднородность подавления радиального прироста на Европейском Севере можно рассматривать как ответную реакцию сосны обыкновенной на воздействие промышленных выбросов различной концентрации. Так, при умеренном загрязнении воздуха он снизился на 40–50, а при сильном до 80–85, соответственно увеличилась доля поздней древесины на 5–10 и 40–50 % [268, 269].

Потери прироста от загрязнения воздуха ТЭЦ установлено в южных регионах. На Левобережной Украине они составили в сухом бору 58–84, а в субори около 35–65 % [84]. Негативное влияние техногенного загрязнения на состояние и продуктивность сосновых насаждений отмечено и в зонах техногенного загрязнения в крупных промышленных центрах Беларуси и на сопредельных территориях [249]. Невысокий уровень этого загрязнения может иметь также мелиорирующий эффект для продуцирования сосны [221].

Неоднозначность и региональность результатов исследований по выявлению тех или иных экологических факторов в формировании радиального прироста и состояния насаждений сосны, по всей видимости, можно объяснить не только сильной дифференцированностью как самих факторов, так и стволовой продуктивностью, а также неполнотой изученности его изменчивости в пространстве и времени.

## **1.5 Методика исследований**

Организация рационального использования, охраны и воспроизводства биологических ресурсов обязана учитывать временную динамику продуктивного процесса под влиянием естественных и антропогенных факторов. В качестве индикатора, позволяющего оценить эти

изменения в лесных ландшафтах умеренного климатического пояса, выступает годичное кольцо древесных растений. Нахождение Беларуси в лесной зоне умеренного климатического пояса предоставило возможность провести дендроиндикационные исследования, результаты которых позволят расширить знания о временной и пространственной изменчивости природной среды в центральной части европейского субконтинента и пониманию участия антропогенных факторов в этом процессе.

При широком обсуждении многочисленных экологических проблем Беларуси основное внимание уделяется двум факторам, оказывающим наибольшее влияние, как на состояние природной среды, так и на социально-экономическую ситуацию в республике: осушительной мелиорации (особенно в Полесье) и загрязнению (в первую очередь радионуклидами). Об этом свидетельствуют многочисленные публикации, подводящие итог многолетнему изучению белорусских экологических и географических реалий.

Трансформация лесных экосистем, как правило, объясняется негативным влиянием антропогенных факторов (осушительной мелиорации, загрязнения, рекреационного пресса и др.) и, в меньшей степени, естественными причинами, например, изменениями климата и особенностями ценологических отношений. В радиальном приросте древесных растений в условиях сезонной ритмики умеренного пояса, в течение их онтогенеза отражается одновременное воздействие многообразных экологических факторов. Скрытая в динамических сериях годичных колец информация полезна для принятия решений в области использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также как косвенный показатель изменений климата.

Леса Беларуси, расположенной в центральной части Европейского субконтинента, представляют несомненный интерес для дендрохронологических и дендроклиматических исследований, которые, прежде всего, обеспечивают возможность проследить временную и пространственную изменчивость их состояния и продуктивности под влиянием гелиофизических, климатических и других факторов.

Это обстоятельство позволило выполнить анализ многолетних колебаний радиального прироста древостоя в условиях изменяющейся климатической среды за период инструментальных наблюдений. До этого периода полезным и единственно доступным способом выявления динамики климатических условий явилось изучение радиального прироста великовозрастных деревьев [17]. Особое значение приобрели дендрощкалы отдельных деревьев 130-летнего и большего возрастов, обнаруженные при полевых исследованиях. Фиксированное колебание условий экосреды более чётко (выше участие) показывают деревья высших рангов развития [108].

«Взрывы роста» вызываются восстановительными и возрастными сменами, а также явлениями развития самих древостоев. Многолетние колебания в динамических рядах годичных 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. Для дендроклиматических исследований учёт этого обстоятельства является необходимым [108, 109]. К сожалению, восстановить историю лесных объектов исследования, как правило, невозможно.

Прирост обычно определяется абсолютными значениями и их отклонениями от средней скользящей многолетней нормы. Единого мнения относительно причин и закономерностей временной и пространственной изменчивости прироста древесных растений нет, и поэтому особую ценность представляют данные, полученные в разных частях лесных границ за наиболее продолжительные отрезки времени. Трудность при выполнении обобщённых построений заключается также в том, что большинство авторов публикуют не данные измерений, а индексы, рассчитанные самыми разными способами [8]. По этой причине при анализе временных рядов дендрокольцевых хронологий мы отдали предпочтение фактическим значениям радиального прироста.

Из анализа прироста годичных колец деревьев следует, что диапазон изменчивости ширины годичного слоя у отдельных особей может достигать значительных величин, и, вместе с тем, он, безусловно, отличается у каждой из них в связи с целым рядом причин как внутреннего, так и внешнего происхождения. К первым относятся генетические особенности вида, возраст

модельного дерева, время его появления и т. п., ко вторым – комплекс фитоценологических, эдафических, климатических, гелиофизических и других факторов.

Для исключения индивидуальных особенностей отдельных деревьев проводится осреднение данных по нескольким модельным деревьям. При этом уменьшается диапазон колебаний прироста, характерный для отдельных особей, и увеличивается амплитуда колебаний, присущая всем деревьям выборки [128]. Этот принцип выявления значительных колебаний прироста принят нами в качестве отправного в дендроклиматических исследованиях. Кроме того, использовались данные и по отдельным деревьям или по немногочисленным (менее 10 особей) группам деревьев особенно больших возрастов, когда не было возможности получить массовый материал. Ряды годичных колец в этом случае рассматривались как уникальные по продолжительности и другим признакам.

Обобщая результаты дендроклиматических исследований в Урало-Сибирской Субарктике, Е. А. Ваганов, С.Г. Шиятов и В.С. Мазепа [27] пришли к следующим выводам. Целостной и завершённой концепции организации дендроклиматического мониторинга не существует. Ещё раньше Т.Т. Битвинкас [17] высказал мнение, что нет единых взглядов и подходов к методике использования дендрохронологической информации для суждения об изменчивости среды. Реакция лесных экосистем на изменение климата сложная. Реакция отдельных деревьев интегрально отражается в приросте (линейном, радиальном, хвой и т. д.) и отличается малым запаздыванием (в несколько лет или десятков лет, в зависимости от интенсивности ростовых процессов).

Ширина годичного кольца имеет чёткий физический смысл, поскольку представляет собой абсолютную скорость роста дерева по диаметру. Изменение климата на региональном уровне может усилить повреждающее действие техногенных выбросов в атмосферу, поэтому в дендроклиматических исследованиях следует, по возможности, избегать влияния антропогенных факторов.

Дендрохронологические и дендроклиматологические исследования способствуют значительному расширению знаний о сущности циклической динамики лесов [110] и пониманию значения космических явлений в биологических процессах на Земле. Характеристики цикличности роста являются одними из важнейших в дендрохронологических и дендроклиматических исследованиях. Начиная с исследований А.Е. Дугласа [275, 276, 279], в изучении радиального прироста деревьев большая часть исследователей придерживается мнения о климатологической обусловленности его изменчивости. В изменчивости радиального прироста существует цикличность как проявление универсального закона природы. Она может также вызываться короткопериодными отклонениями в метеорологической обстановке – засухами, обильными осадками и т. д. [122].

Для органического мира Земли существенна не только непрерывно излучаемая Солнцем энергия, но и её периодически возникающие изменения. Солнце всегда рассматривается в качестве источника лучистой энергии для самоорганизующихся экосистем. Энергия, получаемая биосферой от Солнца, изменяется незначительно. Вариации солнечной интегральной постоянной вне атмосферы крайне малы (порядка нескольких сотых процента), тогда как вариации метеорологической солнечной постоянной на полтора-два порядка больше [132]. Наблюдения на американских спутниках показали, что большая группа солнечных пятен вызывает уменьшение солнечного излучения на 1 % [263].

Продукционный процесс лесных пород в региональных климатических условиях может отражать изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений [27]. Большая часть колебаний климата в историческую эпоху, а отчасти за голоцен в целом, связанных с колебанием полярных льдов и горных ледников Северного полушария, вызывается изменениями прозрачности атмосферы вулканического характера, хотя они и осложняются автоколебаниями системы «атмосфера – океан – суша – полярные льды» [71].

Вместе с тем не исключается влияние вулканических извержений на радиальный прирост древесных пород. Так, в тысячелетних древесно-кольцевых хронологиях можжевельника

сибирского и лиственницы сибирской [27] отражены глобальные изменения в погодно-климатической обстановке, вызванные крупными извержениями Эль-Чичона (1259 г.), Кюве (1453 г.), Уайнапутина (1601 г.) и Лаки (1783 г.).

Информация о наиболее масштабных вулканических извержениях в XIX и XX столетиях (рисунок 1.1) использовалась для выявления возможной изменчивости радиального прироста сосны после этих извержений и последующего изменения погодно-климатических условий.

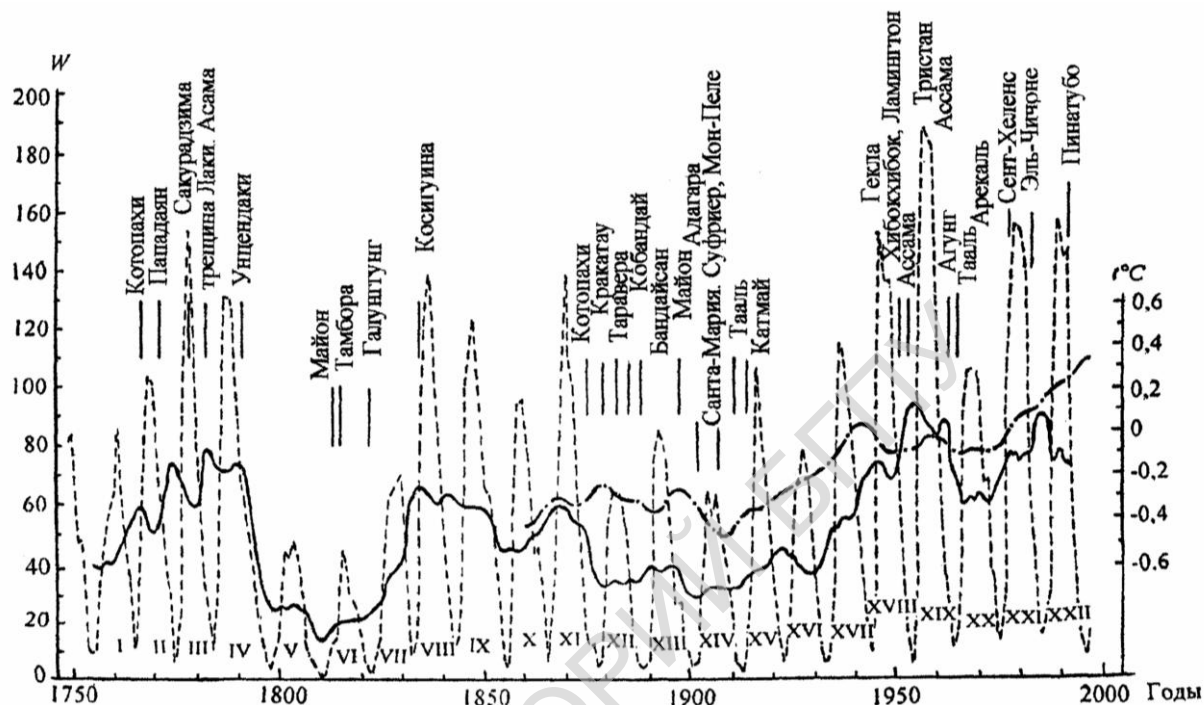


Рисунок 1.1 – Извержение вулканов и изменение солнечной активности. Наблюдаемые значения (штриховая линия) и 11-летняя скользящая (сплошная линия). Изменение глобальной аномальной температуры воздуха к базисному периоду 1951–1980 гг. (штрихпунктирная линия). W – числа Вольфа. I–XXII – Цюрихская нумерация 11-летних циклов солнечной активности.

Атмосферный аэрозоль является продуктом сложной совокупности химических и физических процессов. В зависимости от состава или источников выделяются следующие типы природных аэрозолей: продукты испарения морских брызг, поднятая в атмосферу минеральная пыль, вулканическая аэрозоль, частицы биогенного происхождения, дым от сжигания биоты на суше и продукты природных газофазовых реакций. Целесообразно различать атмосферный и стратосферный, преимущественно вулканический аэрозоль [12]. Существенная часть атмосферного аэрозоля сосредоточена на высотах 18–20 км (слой Юнге), и ведущее значение в его пополнении принадлежит вулканическим извержениям.

Сравнение средних годовых значений прямой солнечной радиации до и после крупных вулканических извержений взрывного типа за последнее столетие с большой достоверностью подтверждает наличие связи между извержениями и уменьшением прямой солнечной радиации при безоблачном небе по показаниям актинометрических станций [12].

Сокращение прямой солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, вызывается кратковременным (1–3 года) увеличением замутненности атмосферы после крупных вулканических извержений. Замутнение атмосферы аэрозолем вулканических извержений не только приводит к снижению прямой солнечной радиации, но и связано с циркуляцией атмосферы, что в свою очередь может отразиться на изменчивости радиального прироста насаждений, которые находятся на территории Беларуси, удаленной на значительные расстояния от действующих вулканов.



Для выявления причин изменчивости радиального прироста древесных растений целесообразно было проследить связь в цепи: вулканические извержения – климатические факторы (температура воздуха и осадки как важнейшие) – радиальный прирост, а также оценить роль антропогенных факторов в динамике стволовой продуктивности.

Результаты метеорологических наблюдений на конкретных станциях отражают не только региональную, но и мировую динамику климата. Важным для дендрохроноклиматических исследований является анализ изменений основных метеорологических показателей, определяющих первичную продуктивность (в нашем случае – ширину годичного кольца), – температуры воздуха и осадков. Наибольшее значение для наших исследований имели непрерывные наблюдения за температурой воздуха на станциях Минск с 1891 г., Горки и Василевичи – с 1881 г. Измерения осадков на этих же станциях, а также в Пинске, прерывались в первой половине XX ст. только на непродолжительные периоды. Кроме того, нами были привлечены сведения о климате Полесья и сопредельных территорий с 1875 г., опубликованные А.И. Воейковым в 1899 г. в «Приложениях к очерку работ Западной экспедиции 1873–1891 гг.» [41], в которых содержатся сведения о температуре воздуха и осадках за 1875–1897 гг. на станциях Горки, Василевичи и Пинск.

Этот ряд частично совпадает с рядом наблюдений Госкомгидромета Беларуси за 1891–1897 гг. Данное обстоятельство позволило рассчитать поправочный коэффициент для количества осадков, начиная с 1875 г., который оказался равным: для Горок – 1,15, Василевичей – 1,12, Пинска – 1,13. Таким образом, для анализа динамики климата была дополнительно привлечена информация об изменении температуры воздуха и осадков на длиннорядных станциях.

В целом, для выявления динамики климатических условий Беларуси, необходимой для дендроиндикационных исследований, использованы результаты инструментальных наблюдений на станциях Горки, Могилев, Минск, Брест, Пинск, Василевичи, Воложин и Верхнедвинск, которые расположены вблизи мониторинговых участков, – в Могилёве, Воложине и Верхнедвинске, непосредственно при анализе изменчивости радиального прироста.

Основные метеоданные были рассчитаны для гидрологического года, начало которого 1 октября, так как в нём наиболее полно проявляется ритмика природных процессов в умеренном поясе по сравнению с календарным годом. Для определения связи радиального прироста с режимом увлажнения, помимо гидрологического года, были выбраны другие периоды на основании следующих соображений: октябрь-апрель (безлиственный период) – происходит пополнение запасов почвенной влаги; октябрь-июнь – пополнение запасов почвенной влаги и её последующее использование древостоями при интенсивном росте (май-июнь); май-сентябрь являются месяцами вегетационного периода.

Как уже было отмечено, нарастание стволовой массы древостоев есть суммарный результат влияния многих факторов как экологического, так и биологического порядка. По этой причине выделение каждого из них всегда связано со значительными трудностями, а результаты исследования вызывают дискуссию.

Общеизвестно, что жизнеспособность дерева в насаждении определяется, прежде всего, его способностью сопротивляться отрицательным для роста и развития внешним воздействиям, как природным, так и связанным с техногенным загрязнением и другими антропогенными факторами. Эти индивидуальные генетические свойства обнаруживаются во внутривидовых конкурентных отношениях в однопородных насаждениях. Чтобы в значительной степени нивелировать значение этого фактора в интерпретации изменчивости радиального прироста, в дендроклиматологических исследованиях предпочтение отдаётся господствующим и согосподствующим деревьям в редкостойных насаждениях или отдельно растущим [17].

В пределах древостоя наиболее сильный климатический сигнал содержится в приросте деревьев, принадлежащих именно к этим классам Крафта, сильно угнетённые и повреждённые экземпляры непригодны для исследования. У редкостойных древостоев внутривидовая конкуренция за свет и питательные вещества значительно более ослаблена, чем в сомкнутых насаждениях. Предпочтение следует отдавать одновозрастным насаждениям. Направления, с которых берутся образцы древесины, не обязательно привязывать к сторонам света.

Наша методика исследования была основана на этих методических предпосылках и накопленном опыте дендроклиматических исследований. Отбор образцов древесины (кernов) проводился возрастным буровом на высоте 1,3 м у живых, хорошо развитых (господствующих и согосподствующих, по Крафту) деревьев. Образующееся при этом небольшое отверстие в стволе не оказывает отрицательного влияния на жизнённость хвойных видов, так как заполняется смолой, предохраняющей дерево от попадания спор грибов и микроорганизмов [253]. В местах взятия kernа отсутствовали сучья, посушины, трещины и другие повреждения, искажающие величину прироста. В бумажном контейнере kern доводился до воздушно-сухого состояния.

Ель, в отличие от сосны, имеет довольно рыхлую древесину, особенно у ослабленных деревьев, и kern при извлечении из трубчатого бурава, хотя и редко, распадался на отдельные фрагменты. Наклеивание на согнутую вдоль полосу бумаги облегчало его обработку. Дальнейшая работа с ним осуществлялась в соответствии с методами обработки образца древесины [239]. Измерение ширины годичных колец велось с помощью микроскопа МБС.

Проведение широкомасштабных дендроклиматических исследований не под силу отдельным небольшим коллективам [27]. Анализ большого количества образцов древесины – процедура весьма трудоёмкая [17]. На образцах древесины и спилах деревьев нами измерялась ширина колец, так как погодичная изменчивость ширины ранней и поздней древесины тесно связана с изменением годичного слоя в целом [56].

Известно, что при тесной зависимости прироста деревьев от местных условий наблюдаются сходные изменения прироста на больших пространствах [213]. В наших исследованиях предпочтение было отдано выбору учётных площадок (тест-участков) в центре и по флангам (западном и восточном) природных зон на территории Беларуси, что позволило получить надёжную информацию о ситуации с радиальным приростом при необходимом объёме полевых работ. Расстояния между тест-участками оказались меньше 200 км, рекомендуемых для дендроклиматических исследований [27]. На каждом тест-участке обязательным было описание почвенно-грунтовых условий и живого напочвенного покрова.

Применённые возрастные буравы имели рабочую часть 25, 30 и 40 см, при этом сердцевина деревьев диаметром ствола более 80 см оказывалась недостижимой. В этом случае для получения спилов использовались ветровальные и буреломные деревья, диаметр которых достигал 1,0 м, а возраст превышал 100 лет.

Величина радиального прироста у отдельных деревьев сильно варьирует. Т.Т. Битвинкас [17] статистическими методами определил, при каком количестве учётных деревьев получают более или менее достоверные результаты в расчётах средней ширины годичных слоев насаждения. Погрешность определения средней ширины годичного слоя изменяется от 10,6 % при 20 до 15,4 % при 10 и увеличивается до 21,8 % при 5 учётных деревьях. Оптимальным вариантом получения надёжной древесно-кольцевой хронологии на тест-площадке является отбор 15–20 буровых kernов, что не всегда возможно.

Для количественной характеристики годичных колебаний прироста древесных растений был привлечён наиболее часто используемый коэффициент чувствительности  $Kч$ . Он даёт оценку относительных различий в ширине или индексе прироста соседних колец, показывая степень воздействия, в основном, внешних факторов на изменение величины прироста [279]. Этот коэффициент был введён в дендрохронологию А. Е. Дугласом [276] и широко использовался американскими дендроклиматологами [279].

Обычно вычисляется среднее значение  $Kч$  для всего ряда или его отрезка по формуле:

$$K_r = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|, \quad (1.3)$$

где  $x$  – ширина годичного кольца или индекс прироста за год  $t$ ;

$n$  – длительность ряда.

Таким образом, среднее значение  $Kч$  определяется путём нахождения удвоенной абсолютной разности соседних значений ширины колец или индексов прироста, делённой на их сумму.

Значение коэффициента чувствительности колеблется в пределах от 0 (когда нет различий в ширине или индексах прироста соседних колец) до 2 (когда показатели одного из соседних колец равны 0). Серия колец считается чувствительной, когда средний коэффициент чувствительности больше 0,3 [279].

В рядах изменчивости фактических величин прироста деревьев содержатся самые различные неклиматические сигналы (изменение прироста с возрастом, почвенно-грунтовые условия, конкуренция соседствующих деревьев и др.). В дендроклиматологии разработана методика, позволяющая исключать или значительно снижать их влияние. Эта методика использована нами для выявления климатического сигнала в изменчивости радиального прироста. Она заключается в подборе для дендрокольцевой хронологии динамической нормы прироста, которая принимается за 100%.

Для каждого года производится вычисление отклонений текущего прироста от нормы. Этот новый стандартизированный ряд значений (модульных коэффициентов или индексов прироста), выраженный в процентах, отражает, в основном, изменение климатических условий [17, 108, 256]. Усреднение индексов прироста даёт возможность усилить климатический сигнал и в значительной мере подавить неклиматические сигналы, обусловленные индивидуальной реакцией на воздействие различных факторов.

Модульные коэффициенты вычислялись по формуле:

$$j = \frac{i \cdot 100}{i_{cp}}, \quad (1.4)$$

где  $j$  – годичный индекс, %;

$I$  – ширина годичного кольца;

$i_{cp}$  – средняя ширина годичных колец, определённая способом 5-летнего скользящего сглаживания (норма прироста).

Древесные породы обладают определённой стабильностью прироста, в связи с чем незначительное влияние какого-либо фактора в достаточной степени не проявляется и, как правило, не фиксируется при исследовании [213]. Для выявления влияния экологических факторов мы оперировали фактическими значениями радиального прироста как по каждому дереву (для выявления индивидуальной реакции), так и средними значениями по группе деревьев (для выявления групповой реакции или реакции насаждения). При этом особое внимание уделялось установлению связи максимальных и минимальных значений годичного прироста с экстремумами различных изменяющихся факторов как одному из важнейших методов выявления цикличности.

Многолетний ход изменчивости радиального прироста деревьев, последовательность наблюдений (измерений) в котором упорядочена графическим построением, является временным рядом, испытывающим воздействие внешних переменных. Одна из первоочередных задач в анализе временных рядов состоит в том, чтобы решить, не является ли наблюдаемый ряд реализацией последовательности независимых случайных величин. В подобном случае для проверки гипотезы о независимости уместно использование различного вида сериальных корреляций (иногда называемых автокорреляцией). Сериальная корреляция служит мерой взаимной зависимости между элементами последовательности наблюдений, подобно тому, как мерой зависимости между двумя множествами наблюдений служит обычный коэффициент корреляции [7]. Для оценки уровня синхронности между дендрохронологическими рядами на разнесенных полигонах так же привлекался коэффициент линейной корреляции Пирсона.

В дендрохронологии для аппроксимации возрастных кривых радиального прироста широко применяются методы скользящего сглаживания средних величин, хотя в северных и восточных районах России они не всегда себя оправдывали [256]. Применённый нами способ сопоставления осреднённых для одновозрастных групп деревьев фактических значений прироста с факторами среды является первичным и основным. Другие методы, в частности, определение модульных коэффициентов (индексов прироста), исключают неклиматические сигналы, дополняли его.

Корреляционный анализ связи радиального прироста с внешними факторами среды выполнялся с использованием пакета программ для автоматизации статистических исследований

SPSS. Для обнаружения зависимости индексного прироста от метеофакторов (температуры и осадков) вычислялся коэффициент линейной корреляции Пирсона. Его достоверность определялась по таблице 13П «Объём выборки, достаточный для достоверности коэффициента корреляции на трёх доверительных уровнях» [81].

В биометрических исследованиях считается достаточным, чтобы коэффициент корреляции отвечал уровню значимости  $P \geq 0,95$ . Кроме этого вычислялись коэффициенты ранговой корреляции. Числовое значение коэффициента Спирмена во всех случаях оказывалось незначительно (на 0,01–0,04) больше, а Кендалла меньше при одном и том же уровне значимости. По этой причине целесообразным оказалось использовать коэффициент линейной корреляции для выявления статистически значимой зависимости индексного прироста с климатическими факторами среды.

Кросс-спектральный анализ временных рядов  $x_t, y_t, t = \overline{1T}$ , которые в нашем случае образовывали статистические системы «метеоэлемент – радиальный прирост», позволил оценить зависимость между составляющими спектра с частотой  $\lambda$  ряда  $x_t$  и составляющими с частотой  $\lambda$  ряда  $y_t$ , а также сдвиг этих составляющих по фазе [243]. Длительные ряды разбивались на два и более отрезков. Последовательности, представляемые в виде серий, характеризующих прироста деревьев, можно рассматривать как квазислучайный процесс, так как одно годовое кольцо слабо зависит от прироста другого, на что указывает быстрый спад корреляционных функций.

Путём автокорреляционного анализа с применением пакета программ SPSS была проверена степень связности дендрохронологических рядов, при этом внутренней связи их членов выявлено не было: значения коэффициентов сериальной корреляции не выходили за пределы двух стандартных ошибок.

При оценке статистической надёжности коэффициентов корреляции, относящихся к рядам связных величин (числа Вольфа, солнечная радиация), число случаев  $n$  заменялось эффективным числом  $n'$  [199]:

$$n' = n \frac{1 - r_1}{1 + r_1}, \quad (1.5)$$

где  $r_1$  – коэффициент автокорреляции 1-го элемента ряда.

Предпочтение отдавалось групповому расположению тест-участков (пробных площадей) в пределах тест-полигонов: на наиболее высоких (элювиальный ландшафт по Б.Б. Полюнову [200], типы леса: ельник мшистый и сосняк мшистый), выравненных, пониженных (субаквальный ландшафт, типы леса: ельник черничный и сосняк черничный) и низменных (аквальный ландшафт, тип леса: сосняк багульниково-сфагновый) элементах рельефа.

Поскольку измерение колец и их анализ очень трудоёмки, выбор необходимого количества мониторинговых участков определялся предварительным анализом распространения еловых и сосновых насаждений и их возраста, с учётом информации об их состоянии. Предпочтение отдавалось тем участкам, на которых древостой большого возраста находился за пределами возможного антропогенного влияния или, наоборот, в крупных городах, а так же под влиянием осушительной мелиорации.

Исследования выполнялись в следующих лесхозах: Браславский (национальный парк «Браславские озера»), Дисненский, Сморгонский, Воложинский, Логойский, Минский, Червенский, Смолевичский, Брестский, Ганцевичский, Ляховичский, Светлогорский, Октябрьский и Калинковичский, а также в городах Минск, Могилев и Мозырь.

## 2 ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ

### 2.1 Актинометрическая индикация состояния атмосферы над Минском за последние 50 лет

Среди современных ресурсных и экологических проблем в лесном хозяйстве выделяется проблема, которая вызвана современными изменяющимися климатическими условиями, оказывающими влияние на состояние и стволовую продуктивность лесных биогеоценозов.

Региональные изменения климата отражают его глобальную динамику, поэтому исследования на региональном уровне могут быть полезны для понимания причин этого процесса. Изменение климата конкретных территорий имеет свои причинно–следственные особенности. Помимо температуры и осадков на рост и развитие древесных растений оказывает влияние поступление солнечной радиации, изменяющееся со временем в соответствии с аэрозольным содержанием атмосферы. Аналитический обзор о влиянии атмосферных аэрозолей на радиационный режим и климат сделан в монографии «Аэрозоль и климат» [12].

Атмосферный аэрозоль является продуктом сложной совокупности химических и физических процессов. В зависимости от состава или источников можно выделить следующие типы природного аэрозоля: продукты испарения морских брызг, поднятая в атмосферу минеральная пыль, вулканическая аэрозоль, частицы биогенного происхождения, дым от сжигания биоты на суше и продукты природных газозольных реакций. Целесообразно различать атмосферный и стратосферный (преимущественно вулканический) аэрозоль [12].

Особую остроту приобрела проблема антропогенного загрязнения атмосферы, которое ведет к ее прогрессирующей замутненности. Замутненность атмосферы вызывается парами воды, продуктами их конденсации и аэрозолями естественного и антропогенного происхождения. Увеличивающаяся со временем она должна вести к сокращению поступления к поверхности Земли лучистой энергии Солнца.

Солнечная радиация является одним из элементов климата, от которого зависят, прямо или косвенно, все без исключения физико–географические процессы. Она служит также источником лучистой энергии, используемой растениями в фотосинтезе для создания первичной продукции.

Приток солнечной радиации и ее перераспределение в атмосфере характеризует, прежде всего, прозрачность – способность пропускать электромагнитное излучение Солнца, включая видимый свет. Сокращение этого притока указывает на сокращение прозрачности атмосферы и на увеличение ее замутненности. Таким образом, результаты актинометрических наблюдений служат интегрированным показателем состояния атмосферы, как на глобальном, так и на региональном уровнях.

Актинометрические наблюдения позволяют проследить во времени приток прямой солнечной радиации и ее перераспределение в виде рассеянной и образования суммарной. Эта динамика, определяемая всеми естественными и антропогенными источниками, служит индикатором временной изменчивости поступления аэрозолей в атмосферу. В Беларуси крайне незначительны попытки привлечения результатов актинометрических наблюдений Белгидромета в качестве этого индикатора состояния атмосферы и изменения первичной (в первую очередь ствольной) продуктивности лесных экосистем.

Для выявления индикационного потенциала актинометрических данных привлечены результаты наблюдений Белгидромета на обсерватории Минск, начатые в 1954 г. Географические координаты ее: 53.00° с. ш., 27.60° в. д. Кроме Минска наблюдения с этого года проводились в Василевичах (на других метеостанциях они начаты значительно позднее).

Анализ временной изменчивости солнечной радиации за последние 50 лет выполнен для следующих периодов гидрологического года, начало которого 1 октября: мая–июня (активный рост древесных растений), мая–сентября (вегетационный период), октября–апреля (безлиственный период, период покоя). Данные периоды года выбраны прагматически для обеспечения дендроклиматических исследований [97]. Они имеют также большое значение для сельскохозяйственных культур и народного хозяйства в целом.

Статистическая обработка временных рядов изменчивости солнечной радиации выполнена с применением пакета прикладных программ SPSS. Путем автокорреляционного анализа была проверена степень их связности. Внутренней связи их членов не было выявлено (за исключением рассеянной и годичных прямой и суммарной): значение коэффициентов сериальной корреляции не выходило за пределы двух стандартных ошибок.

В атмосферу над Минском поступают аэрозоли не только от местных естественных источников, но и техногенных, лесных и болотных пожаров, а также с воздушными потоками, формирующимися за пределами Беларуси. Последние содержат аэрозоли различного

происхождения, включая испарение вод Атлантического океана и вулканические извержения, особенно Святой Елены (1980 г.), Эль-Чичона (1982 г.) и Пинатубо (1991 г.).

Майское извержения Святой Елены было крупнее, чем апрельское Эль-Чичона, но уступало по объему выброшенных в атмосферу аэрозолей. Частицы, извергнутые ей, были крупнее и вскоре выпали из атмосферы. При извержении Эль-Чичона выброс вещества был меньше, но большое количество его достигло стратосферы и ожидалось, что климатический эффект будет более значимым и температура у поверхности Земли понизится на 0,3–1,0 °С [263].

Годичное поступление прямой радиации на горизонтальную поверхность в Минске до 1976 г. (рисунок 2.1) было относительно однородным (в среднем 1726 МДж/кв. м) за исключением 1963 г. (2235 МДж/кв. м) с самым теплым вегетационным (16,8 °С) и самым холодным (-3,2 °С, без учета наиболее морозных зим 1940–1942 гг.) периодами в XX в.

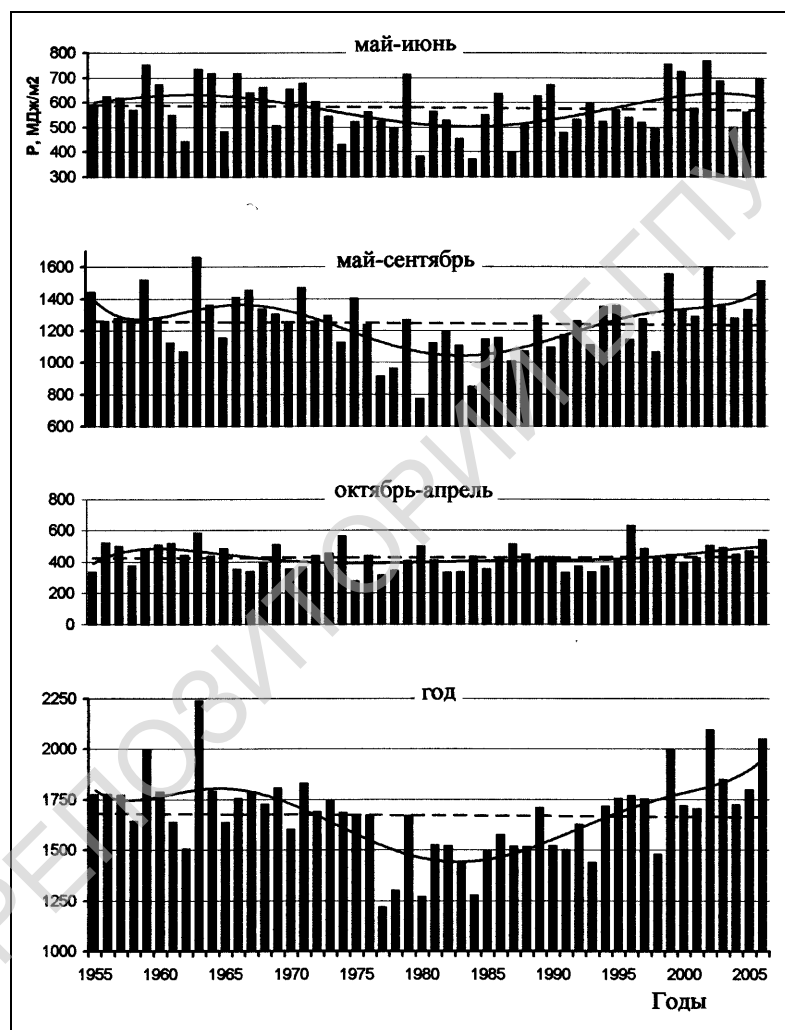


Рисунок 2.1 – Изменчивость прямой солнечной радиации на метеостанции Минск за последние 50 лет. Здесь и далее штриховая линия – линейный тренд, сплошная – полиномиальный (степень 6).

В 1977 г. ее приток скачкообразно (вниз) сократился на 454 МДж/кв. м по сравнению с 1976 г. (1668 МДж/кв. м), указывая на практически мгновенное уменьшение прозрачности атмосферы.

Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха в Минске было до 1975 г. по причине жилищного строительства с малыми котельными, промышленного производства и развития теплоэнергетики (по данным Белгидромета). Переход на централизованное теплоснабжение с ликвидацией около 600 малых котельных с неконтролируемым сжиганием топлива (в основном угля) и другие природоохранные меры (в частности газификация) привели к быстрому

оздоровлению атмосферного воздуха в городе. Однако приток прямой солнечной радиации в двадцатилетие до 1976 г. был значительно больше, чем в последующие годы.

По истечению следующих 20 лет, включая годы со спадом промышленного производства, с меньшим поступлением солнечного радиации, в годы с его увеличением и с интенсивными транспортными потоками прямая радиация опять достигла прежнего уровня. Вероятно, техногенное загрязнение воздуха в Минске не столь значимо, чтобы заметно повлиять на прозрачность атмосферы над городом.

По всей видимости, сокращение притока прямой радиации не зависило от регионального состояния атмосферы. При этом большое значение имеет местоположение метеостанции, которая находится на северо-восточной окраине Минска. Основные предприятия промышленности и теплоэнергетики, поставляющие поллютанты в атмосферу, расположены южнее. При господстве ветров западных румбов они не могут существенно повлиять на аэрозольную составляющую атмосферы

Нарастание прямой радиации до 1997 г. указывает на постепенное сокращение замутненности атмосферы. Приток прямой солнечной радиации в 1977–1997 гг. в среднем оказался на 189 МДж/кв. м, или на 11 %, меньше, чем в предшествующие годы (таблица 2.1). Основной вклад (167 МДж/кв. м) в это сокращение внес вегетационный период. Максимальное замутнение атмосферы в вегетационный период было в 1980 г. (770 МДж/кв. м, или 59 % от прямой радиации за 1955–1976 гг.) после майского извержения вулкана Святой Елены. В этот самый холодный (14,0 °С) во второй половине XX в. вегетационный период урожайность зерновых культур в Беларуси сократилась в 1,5–2,0 раза по сравнению с предшествующим годом.

Таблица 2.1 – Актинометрическая характеристика атмосферы над Минском за последние 50-лет.

Период года	1955–1976 гг.		1977–1998 гг.		1998–2006 гг.	
	МДж/кв. м	$\sigma$	МДж/кв. м	$\sigma$	МДж/кв. м	$\sigma$
<b>Прямая радиация</b>						
Май–июнь	600	92	527	89	655	99
Май–сентябрь	1312	162	1118	150	1403	127
Октябрь–апрель	436	83	405	73	461	46
Год	1748	182	1523	151	1864	158
<b>Рассеянная радиация</b>						
Май–июнь	586	37	579	61	549	48
Май–сентябрь	1293	58	1283	115	1225	84
Октябрь–апрель	707	66	679	95	698	52
Год	2000	87	1962	174	1923	119
<b>Суммарная радиация</b>						
Май–июнь	1186	89	1106	99	1214	75
Май–сентябрь	2605	132	2401	151	2628	71
Октябрь–апрель	1143	103	1084	107	1159	88
Год	3748	141	3485	172	3787	129

К 1998 г. атмосфера очистилась от аэрозольного загрязнения, что вызвало мгновенное увеличение притока годичной радиации до 1864 МДж/кв. м, или на 327 МДж/кв. м (на 21 %) больше, чем в среднем за 1977–1998 гг. Этот «скачок» был обязан вегетационному, а не безлиственному периоду. Рост прозрачности атмосферы отразился в увеличении годичной температуры: 1998–2006 гг. оказались самыми теплыми (в среднем 7,1 °С) за последние 50 лет (5,8 °С).

Линейный тренд не указывает на поступательное изменение притока прямой солнечной радиации, а полиномиальный отражает ее флуктуации, определяемые погодичной изменчивостью.

Полувековая динамика рассеянной радиации также отражает изменения в содержании аэрозолей в атмосфере (рисунок 2.2). По всей видимости, наибольшее загрязнение среды города в середине 1970-х гг. (по данным Белгидромета) не повлекло за собой увеличение ее замутненности: поток рассеянной радиации заметно снизился.

О максимальном замутнении атмосферы в 1983 г. можно судить по рассеянной радиации, которая имела наибольшее значение за вегетационный период (1516 МДж/кв. м) и за год в целом (2243 МДж/кв. м) после извержения Эль-Чичона в 1982 г. Атмосфера очищалась от вулканического аэрозоля до извержения Пинатубо в 1991 г.

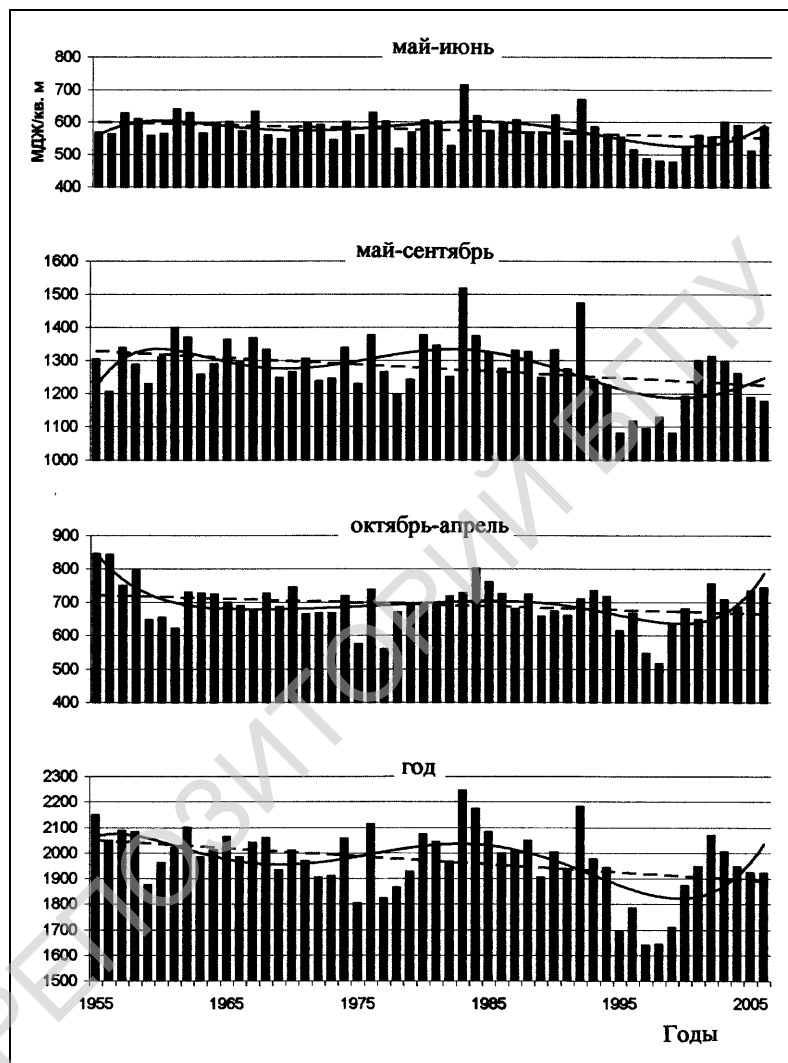


Рисунок 2.2 – Изменчивость рассеянной радиации на метеостанции Минск за последние 50 лет.

Следующее, но менее значимое замутнение атмосферы, если судить по рассеянной радиации за вегетационный период (1472 МДж/кв. м) и за год (2030 МДж/кв. м), наступило в 1992 г. Октябрь–апрель 1993 г. оказались одними из самых замутненных (1272 МДж/кв. м) за весь период наблюдений, что отвечает загрязнению атмосферы вулканическим аэрозолем Эль-Чичона и Пинатубо, которое прослежено на метеостанциях мировой сети [86]. Быстрое очищение атмосферы от аэрозоля закончилось к концу 1990-х гг., и приток прямой радиации оказался больше, чем в 1955–1976 гг. и в 1977–1998 гг. (см. таблицу 2.1). Линейный тренд иллюстрирует постепенное снижение рассеянной радиации, а полиномиальный на циклический характер ее годичной изменчивости.

Таким образом, положительные рекорды в многолетней изменчивости температуры приземного воздуха вызваны высокими значениями солнечной радиации. В целом, на широте



Минска рассеянной радиации в атмосфере было больше, чем прямой: за 1955–1976 гг. на 15, 1977–1998 гг. на 27 и за 1999–2006 гг. на 3 %. Для анализируемых периодов гидрологического года ее дисперсия (стандартное отклонение  $\sigma$ ) была значительно меньше за исключением 1977–1998 гг. (см. таблицу 2. 1). Однако их соотношение с течением времени менялось.

Рассеянная радиация после середины 1970-х гг. значительно преобладала над прямой до середины 1990 гг., указывая непосредственно на увеличившуюся аэрозольную замутненность атмосферы (рисунок 2.3). Особенно значимым это преобладание было в безлиственный период (таблица 2.2), в отдельные годы которого после извержения Святой Елены, Эль-Чичона и Пинатубо более чем в 2 раза. Самое значительное превышение рассеянной радиации над прямой в безлиственный период 1955 г. вызвано наименьшим притоком последней (331 МДж/кв. м).

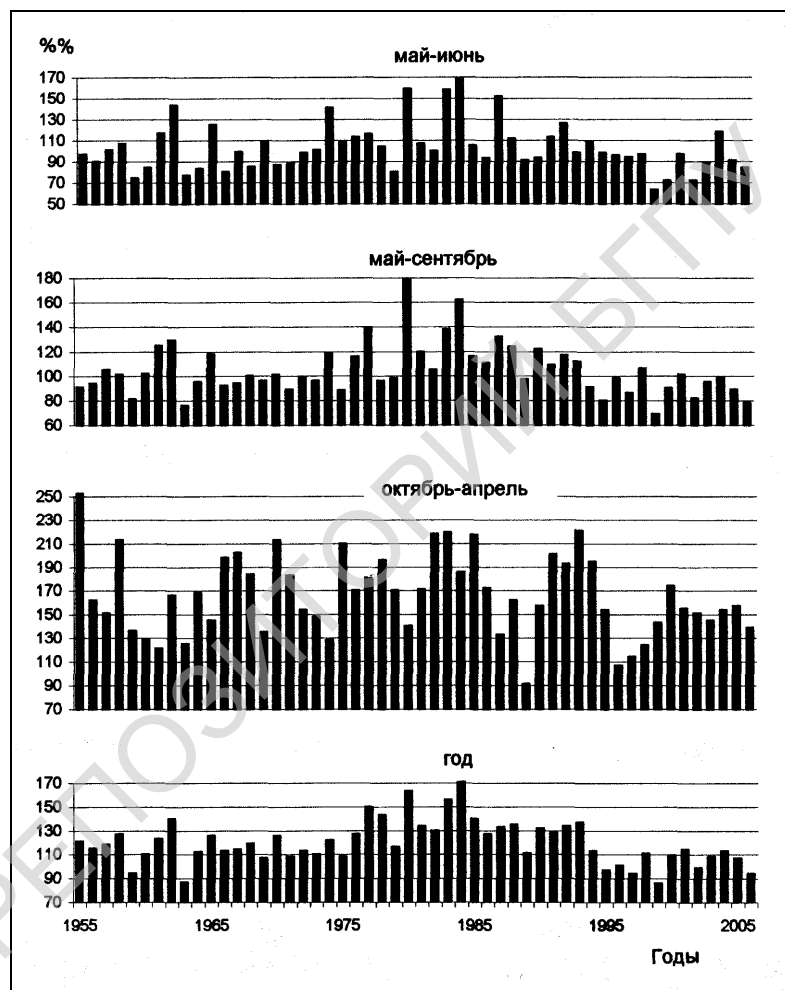


Рисунок 2.3 – Динамика отношения рассеянной радиации к прямой на метеостанции Минск за последние 50 лет.

Примечательно, что второго пика (4159 МДж/кв. м) суммарная радиация достигла в 2002 г., самом теплом (8,1 °С) за весь период инструментальных наблюдений Белгидромета за температурой воздуха и осадками, начиная с 1880-х гг. (рисунок 2.4). Вегетационный период был также самым теплым (17,2 °С). Но этот год оказался одним из самых засушливых (552 мм осадков, в т. ч. за вегетационный период выпало 227 мм). По показателям годичной прямой, рассеянной и суммарной радиации он незначительно уступал максимальным значениям 1963 г. (соответственно меньше на 143, 85 и 58 МДж/кв. м).

Таблица 2.2 – Отношение рассеянной радиации к прямой и суммарной на метеостанции Минск.

Периоды года	Годы		
	1955–1976	1977–1998	1998–2006
	Отношение рассеянной радиации (%)		
<b>к прямой</b>			
Май-июнь	99	110	84
Май-сентябрь	99	114	87
Октябрь-апрель	162	167	150
Год	115	128	103
<b>к суммарной</b>			
Май-июнь	49	52	45
Май-сентябрь	50	53	47
Октябрь-апрель	62	63	60
Год	54	56	51

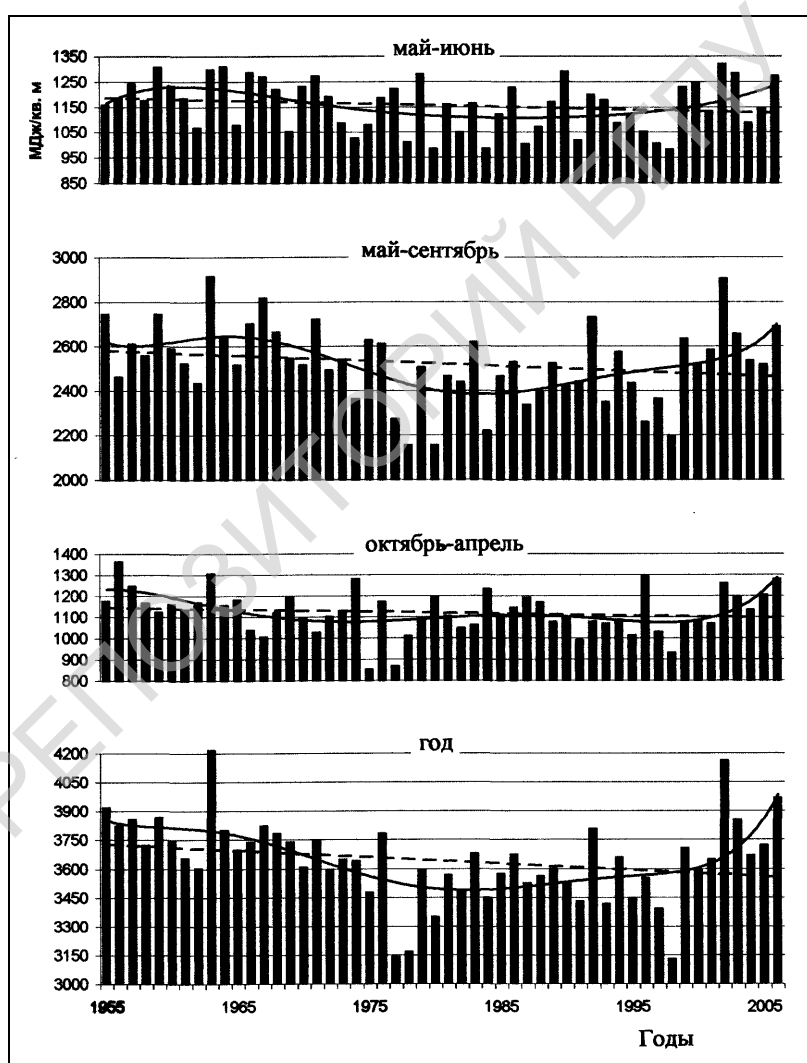


Рисунок 2.4 – Изменчивость суммарной радиации на метеостанции Минск за последние 50 лет.

В погодичной изменчивости суммарной радиации прослеживается 22-летний цикл, ограниченный ее минимумами в 1977 и в 1998 гг. В этом цикле ее среднегодовое значение (3485 МДж/кв. м) было на 263 МДж/кв. м, или на 8 %, ниже, чем в предыдущее 22-летие, и на 302 МДж/кв. м. чем в последующие годы. В минимум 1977 г. значение суммарной радиации было самым низким за последние 50 лет, сократившись на 643 МДж/кв. м по сравнению с 1976 г. (3781

МДж/кв. м). Однако полиномиальный тренд не подтверждает его существование. Линейный тренд иллюстрирует тенденцию к снижению суммарной радиации, которая, по всей видимости, прекратилась в наступившем XXI в.. полиномиальный – больше на ее падение, чем на цикличность.

Свой вклад в это сокращение внесли вегетационный (352 МДж/кв. м) и безлиственный (291 МДж/кв. м) периоды. При этом минимальное значение (1216 МДж/кв. м) суммарной радиации за май–сентябрь и за год (3138 МДж/кв. м) было достигнуто в 1977 г. Таким образом, 1976 год выступает в качестве переломного, при котором закончилось наибольшее поступление суммарной радиации, сменившееся ее 22-летним циклом. По окончании этого цикла скачкообразно (вверх) возросло ее значение в самые теплые годы последнего 50-летия. В 1999 г. приток суммарной радиации возрос на 578 МДж/кв. м по сравнению с 1998 г.

В полувековой изменчивости суммарной радиации за вегетационный период просматривается также 22-летний циклический характер до 1977 г., который не отразился в ее годичной изменчивости. Ее наибольшее поступление (2913 МДж/кв. м), как и за год (4174 МДж/кв. м), было в уже упоминавшемся самом теплом в XX в. 1963 г. Следует отметить наибольшую вариабельность суммарной радиации за май–июнь и октябрь–апрель по сравнению с прямой и рассеянной.

Вклад рассеянной радиации в суммарную составлял около половины ее значения (45–52 %), в вегетационный период больше (60–63 %). После середины 1970-х гг. при сокращении суммарной радиации увеличивался вклад в нее рассеянной в месяцы активного роста древесных растений, их вегетационного и безлиственного периодов (рисунок 2.5). Однако суммарный эффект оказался ниже: участие рассеянной радиации в годичной суммарной уменьшилось именно в 22-летнем цикле.

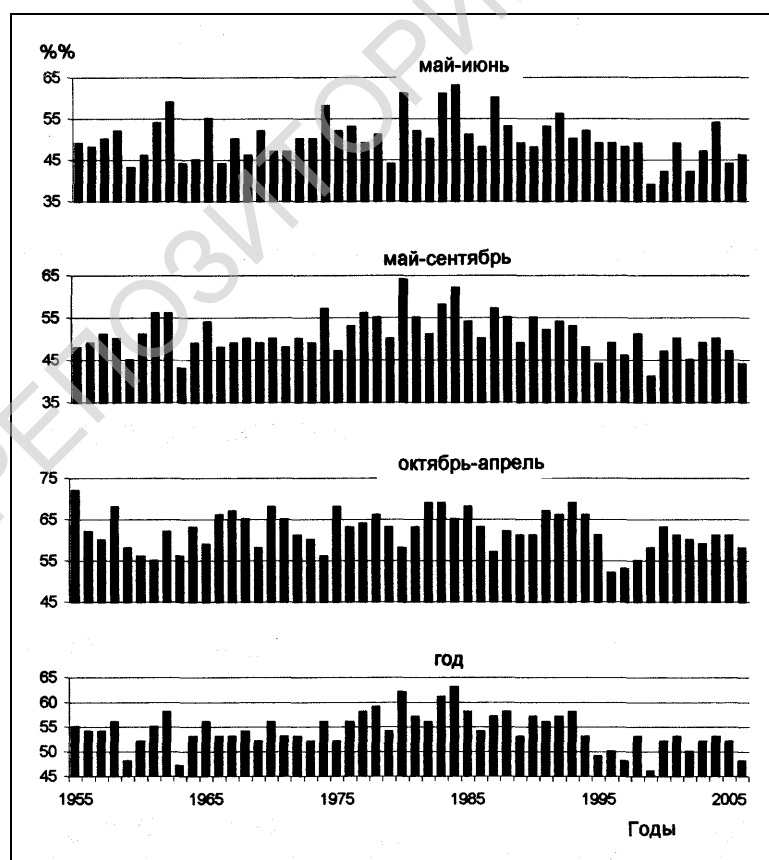


Рисунок 2.5 – Динамика отношения рассеянной радиации к суммарной на метеостанции Минск за последние 50 лет.

Средняя температура месяцев активного роста древесных растений мая и июня находилась в статистически значимой прямой связи с прямой и суммарной радиацией (таблица 2.3). Этот

метеофактор в вегетационном периоде также имел прямую связь с прямой и суммарной радиацией. Повышение температуры воздуха в месяцы безлиственного периода, наоборот, сопровождалось их сокращением.

Таблица 2.3 – Коэффициенты корреляции температуры воздуха и осадков с солнечной радиацией на метеостанции Минск.

Вид радиации	Периоды года	Коэффициенты корреляции $r = 0, \dots$	
		t °C	осадков, мм
Прямая	Май–июнь	<u>51</u>	<u>-46</u>
	Май–сентябрь	<u>65</u>	<u>-37</u>
	Октябрь–апрель	<u>-28</u>	<u>-44</u>
	Год	12	-32
Рассеянная	Май–июнь	-07	-33
	Май–сентябрь	-11	-14
	Октябрь–апрель	-35	-43
	Год	-20	-32
Суммарная	Май–июнь	<u>48</u>	<u>-59</u>
	Май–сентябрь	<u>62</u>	<u>-44</u>
	Октябрь–апрель	<u>-43</u>	<u>-60</u>
	Год	-01	-48

Примечание. Курсивом выделены значения коэффициента корреляции при уровне значимости  $P = 0,95$ , полужирным шрифтом – при  $P = 0,99$ , полужирным шрифтом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$  (для несвязных рядов,  $n = 52$ ).

Поскольку знаки в связи температуры воздуха с прямой и суммарной радиацией для вегетационного и безлиственного периодов были противоположны, то какой-либо их зависимости от годовых параметров этих энергетических источников не возникало. Следовательно, увеличение притока солнечной радиации в годовом разрезе сопровождалось увеличением температуры вегетационного периода и ее уменьшением в безлиственный. Солнечная радиация находилась в обратной связи с количеством выпадающих осадков, определяемым облачностью. Увеличение облачности ведет к росту рассеянной радиации, но к сокращению прямой.

Положительное влияние солнечной радиации (прямой и рассеянной) четко выражено для температурных условий вегетационного периода при сокращении атмосферных осадков. Их количество зависит от облачности. Уменьшение облачности ведет к поступлению солнечной радиации, что и определяет прямую зависимость от нее температуры.

Прозрачность атмосферы определяет и температуру безлиственного периода. Как показано, количество осадков находится в обратной связи с прямой и суммарной радиацией. Их выпадение в этот период так же определяется облачностью. Увеличение облачности в этот период сокращает приток прямой солнечной радиации, и осадки оказываются в обратной связи с ней и суммарной радиацией.

Термический режим атмосферы зависит от суммарной солнечной радиации. Парадокс заключается в том, что в холодную фазу (1940–1976 гг.) неустойчиво влажной климатической эпохи [97] значение суммарной радиации было больше (причем при более высоком уровне загрязнения воздуха), чем при потеплении климата в последней четверти XX в. Как известно, это потепление свойственно холодному периоду года. Вековое похолодание безлиственного и потепление вегетационного периодов сопровождалось уменьшением осадков (см. раздел 2.4, рисунок 2.18).

22-летний цикл в изменчивости суммарной радиации совпадает с высокими 21-м (число Вольфа  $W = 155$ ) и 22-м ( $W = 157$ ) 11-летними циклами солнечной активности в Цюрихской нумерации, ограниченными минимумами в 1976 г. ( $W = 12,5$ ) и в 1996 г. ( $W = 8,6$ ). По отношению

к ним цикл суммарной радиации имеет фазовый сдвиг на один год. Такое совпадение может быть случайным. Его соотношение проблематично и с 22-летним циклом Хейла, который последовательно включает четный и нечетный 11-летние циклы.

По всей видимости, 22-летний цикл суммарной радиации возник в результате динамичной природы нахождения в атмосфере паров воды, продуктов их конденсации и разнообразных аэрозолей от множества источников с многолетней, годичной и сезонной динамикой. После скачкообразного сокращения суммарной радиации в 1977 г. и появления ее 22-летнего цикла увеличилась чувствительность ели и сосны к погоднo-климатическим факторам, что отразилось в появлении статистически достоверной зависимости индексного прироста от температурных условий и осадков за безлиственный период [97, 270].

Анализ временной изменчивости прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации, позволивший проследить аэрозольное замутнение атмосферы над Минском за последние 50 лет, привел к следующим выводам. Приток прямой радиации резко сократился в 1977 г., и до 1998 г. атмосфера очищалась от аэрозольного загрязнения. Рассеянная радиация преобладала над прямой от середины 1970-х гг. до середины 1990-х гг. Сокращение суммарной радиации к началу XXI происходило за счет уменьшения рассеянной. Аэрозольные поступления в атмосферу в вегетационный (май–июнь) и безлиственный (октябрь–апрель) периоды между собой независимы. Аэрозольная замутненность атмосферы влияет на приток и перераспределение солнечной радиации, которая вызывает многолетнюю изменчивость погоднo-климатических условий.

## **2.2 Состояние атмосферы над Белорусским Полесьем за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи)**

Белорусское Полесье принадлежит Южной теплой неустойчиво влажной агроклиматической зоне [259]. Актинометрические наблюдения на метеостанции Василевичи (52.28° с. ш., 29.60° в. д.), расположенной в центральной части Припятского Полесья, в значительной степени отражают ситуацию с состоянием атмосферы над всем югом Беларуси. Метеостанция находится на территории с большими массивами интенсивно используемых в сельском хозяйстве торфяников в водосборах рек Ведричи, Ипы, Виши, Тремли, Вити, Турьи, Оресы, Неначи и др. Преобладающая часть мелиорированных земель расположена западнее метеостанции.

Ежегодная вспашка 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. К ним следует добавить пожары на верховых болотах и в лесах в начале 1970-х гг. Анализ временной изменчивости солнечной радиации, отражающей аэрозольную замутненность атмосферы над метеостанцией Василевичи, интересен еще тем, что города Гомель, Светлогорск, Речица и Мозырь с крупными промышленными предприятиями расположены на значительном удалении от нее. Для изучения состояния атмосферы в полесском регионе привлечены результаты регулярных (до 2000 г.) наблюдений Белгидромета на метеостанции Василевичи за прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиацией. Ее географические координаты: 52.28° с. ш., 29.60° в. д.

Анализ временной изменчивости ее параметров за последние 50 лет выполнен также для следующих периодов гидрологического года, начало которого 1 октября: мая–июня (активный рост древесных растений), мая–сентября (вегетационный период), октября–апреля (безлиственный период, период покоя). Данные периоды года, как отмечалось, выбраны прагматически для обеспечения дендроклиматических исследований необходимой информацией о погоднo-климатических условиях радиального прироста лесообразующих пород в регионе. Автокорреляционный анализ выявил внутреннюю связь между членами только рассеянной и годичной суммарной радиации. Из-за отсутствия результатов наблюдений после 1998 г. трендовый анализ не выполнялся.

Сравнение 50-летней изменчивости прямой солнечной радиации на метеостанциях Василевичи (рисунок 2.6) и Минск указывает на их общие признаки при наличии существенных различий.

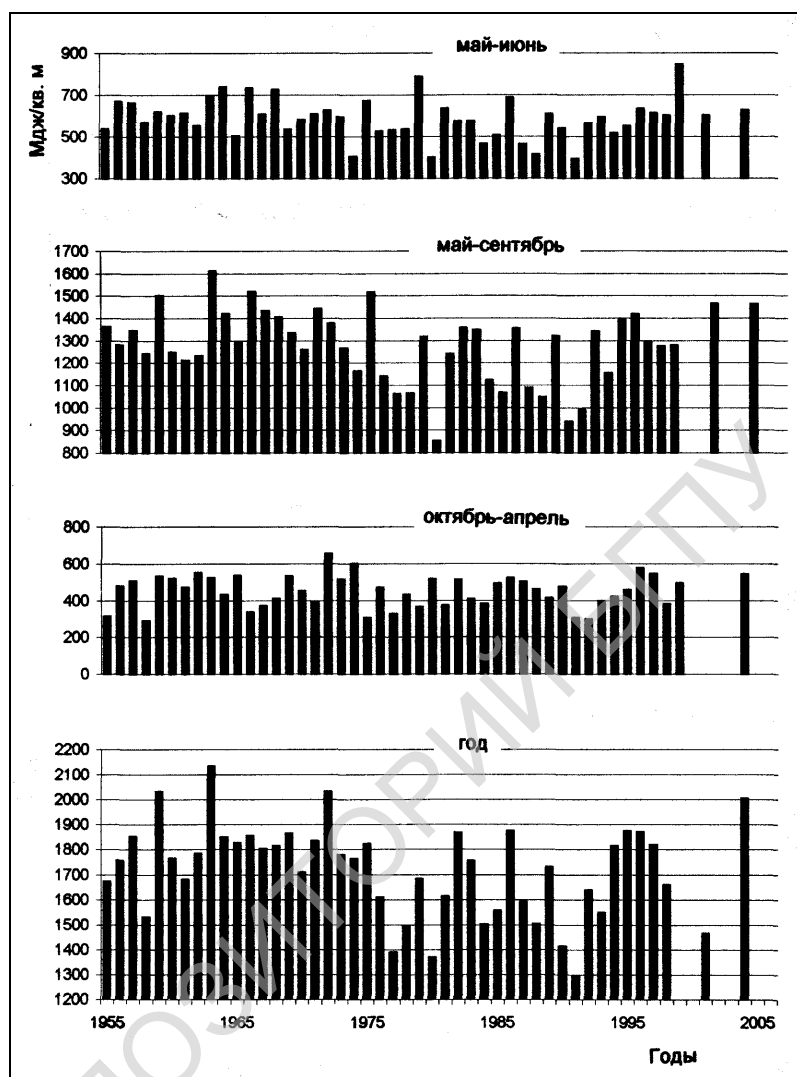


Рисунок 2.6 – Изменчивость прямой солнечной радиации за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).

Приток прямой солнечной радиации не что иное, как обеспечение атмосферы тепловой энергией. Самый теплый за последние 130 лет вегетационный период 1963 г. (17,7 °С) обязан ее рекордно высокому значению (1610 МДж/кв. м). За ним последовал и наиболее холодный, за исключением 1940–1942 гг. с аномально суровыми зимами, безлиственный период (-2,4 °С). При этом, 1963 г. оказался наименее влажным – 416 мм осадков, из которых в мае–сентябре выпало 169 мм, в октябре–апреле 247 мм (это также рекордно низкие показатели).

В одном из самых теплых 1959 г. (7,6 °С) с несколько меньшим поступлением прямой радиации (за вегетационный период 1500, за безлиственный период 532) осадков было незначительно больше – 457 мм (за май–сентябрь 189 мм, октябрь–апрель 268 мм, по сравнению с 1963 г. Одним из самых теплых оказался и 1972 г (7,1 °С, за вегетационный период 17,2 °С). Рекордно высокое значение (9,0 °С) годовая температура имела в 1975 г. благодаря вегетационному (17,4 °С) и безлиственному (3,0 °С, теплее он был только в 1990 г. – 3,4 °С) периодам. За май–сентябрь этого года приток прямой радиации был меньше только на 94 МДж/кв. м, чем в 1963 г.

В холодном 1980 г. (5,4 °С) средняя температура мая–сентября составила только 14,6 °С (ниже она была только в 1976 г. – 14,2 °С) при наименьшем поступлении прямой солнечной радиации (852 МДж/кв. м). В этот, к тому же влажный год (736 мм) за вегетационный период выпало 496 мм осадков, или на 31 мм меньше, чем в самый влажный этот период 1953 г.

Подобные «рекорды» свойственны также и двум месяцам активного роста древесных растений маю и июню. В 1979 г при наибольшей до конца XX в. прямой радиации (788 МДж/кв. м) их наивысшая средняя температура (18,2 °С) при наименьшем количестве осадков (45 мм) резко понизилась в следующем 1980 г. до самого низкого значения (13,1 °С) при наименьшем притоке прямой радиации (за вегетационный период 398 МДж/кв. м).

Неполнота наблюдений в начале XXI в. не позволила проследить наиболее значимые параметры метеорологических условий, зависящих от поступления прямой солнечной радиации.

Годичное поступление прямой радиации в Василевичах до 1976 г. (за исключением 1959, 1963 и 1972 гг.) образовало 22-летний цикл, который по времени отвечал самому высокому (число Вольфа  $W = 199,8$  в максимуме 1958 г.) 19-му и низкому ( $W = 106,9$  в максимуме 1969 г.) 20-му 11-летним циклам солнечной активности в Цюрихской нумерации. Однако такое совпадение могло быть случайным. При нем среднемноголетний приток прямой радиации (1807 МДж/кв. м) был максимален (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Актинометрическая характеристика атмосферы над Припятским Полесьем за последние 50 лет.

Период года	1955–1976 гг.		1977–1998 гг.		1998–2006 гг.	
	МДж/кв. м	$\sigma$	МДж/кв. м	$\sigma$	МДж/кв. м	$\sigma$
<b>Прямая радиация</b>						
Май–июнь	606	83	552	94	.	.
Май–сентябрь	1345	125	1195	163	.	.
Октябрь–апрель	462	98	434	78	.	.
Год	1807	135	1329	180	.	.
<b>Рассеянная радиация</b>						
Май–июнь	591	46	590	43	541	25
Май–сентябрь	1353	107	1316	76	1208	57
Октябрь–апрель	777	51	755	55	760	51
Год	2130	122	2071	110	1963	57
<b>Суммарная радиация</b>						
Май–июнь	1197	80	1142	111	.	.
Май–сентябрь	2698	149	2511	169	.	.
Октябрь–апрель	1239	94	1189	104	.	.
Год	3937	140	3700	190	.	.

В 1977 г. прямая радиация резко сократилась до 1388 МДж/кв. м или на 23 % по сравнению со средним значением в цикле. В 1977–1991 гг. ее изменчивость приняла более короткий циклический характер со значительным среднезначимым снижением до 1595 МДж/кв. м, что составило 88 % от предшествующего цикла. Основной вклад в это снижение внес вегетационный период (1154 МДж/кв. м). После 1991 г. поступление прямой солнечной радиации оказалось равным ее значениям до 1977 г.

Максимальная замутненность атмосферы была в вегетационный период 1980 г. после майского извержения вулкана Святая Елена, выбросы которого в течение двух недель накрыли все Северное полушарие. Следующее значительное сокращение прямой радиации в этот период года было в 1991г. после извержения Пинатубо. Извержение Эль–Чичона в 1982 г не вызвало на Полесье заметного снижения прямой радиации. По всей видимости, очищение атмосферы от аэрозольного вулканического загрязнения закончилось к 1993 г., после которого скачкообразно возросло поступление этой радиации.

Полувековая динамика рассеянной радиации (рисунок 2.7) отражает региональное поступление аэрозолей в воздушное пространство Полесья. В 1965 г. начался завершающий этап мелиоративных работ в регионе: реконструкция мелиоративной сети, закладка гончарного дренажа и навое освоение еще существовавших болот и заболоченных земель. Именно в этот год скачкообразно возросло значение годичной рассеянной радиации до 2328 МДж/кв. м. или на 11 % больше, чем в среднем за 1954–1964 гг. (1562 МДж/кв. м).

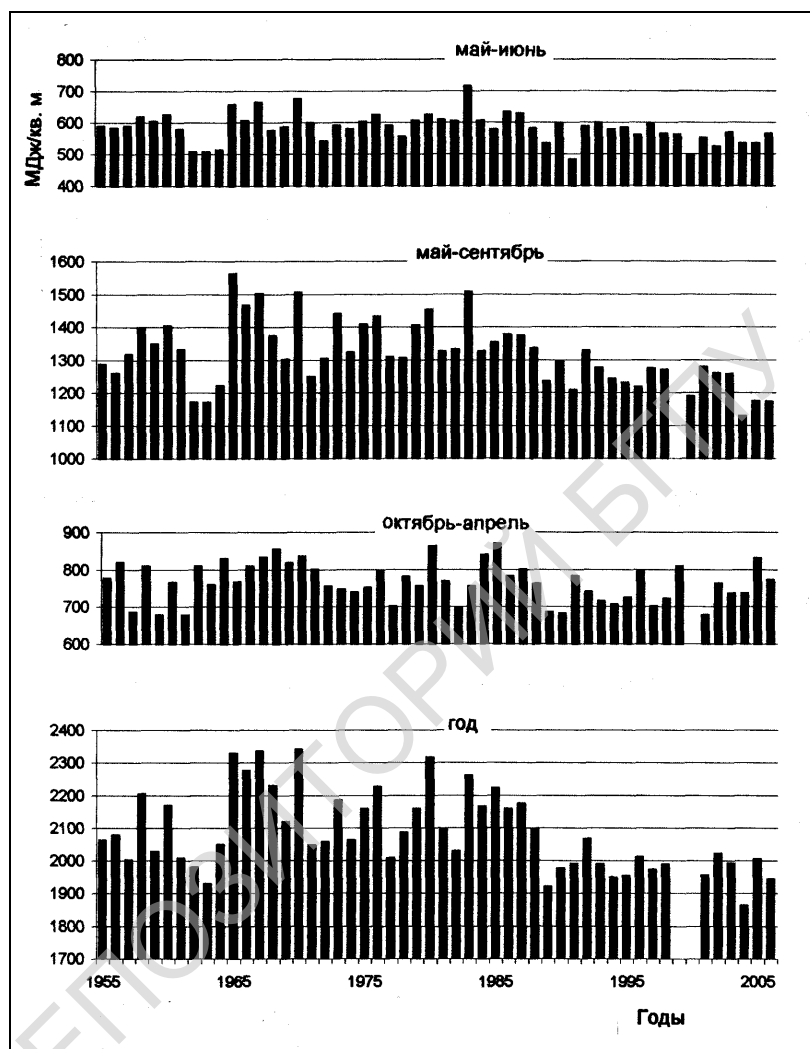


Рисунок 2.7 – Изменчивость рассеянной радиации за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).

Если судить по максимальному значению рассеянной радиации за первые шесть лет крупномасштабных мелиоративных работ (в среднем за год 2271 МДж/кв. м), то становится понятной причина развернувшейся острой дискуссии по поводу такого «преобразования» природной среды региона. В 1972 г. была завершена разработка прогноза об экологических последствиях осушительной мелиорации и утверждена государственная программа по исследованию ее влияния на природную среду региона [222]. Судя по уменьшению рассеянной радиации, темпы выполнения мелиоративных работ после этого года снизились.

Атмосфера быстро очистилась от «мелиоративного» аэрозоля после завершения крупномасштабных мелиоративных работ в середине 1980-х гг. В 1989 г. поступление рассеянной радиации сократилось на 177 МДж/кв. м по сравнению с предшествующим годом (2096 МДж/кв. м).

В целом, за 1965–1988 гг. среднемноголетнее количество рассеянной радиации было наибольшим (2172, в т. ч. за вегетационный период 1386 МДж/кв. м) по сравнению с 1989–2006 гг. (соответственно 1974 и 1236 МДж/кв. м). Дисперсионный «мелиоративный» аэрозоль явился



причиной 12 %-ного вклада в рассеянную радиацию. Здесь очевиден аэрозольно–радиационный эффект.

На широте Василевич годичной рассеянной радиации в атмосфере было на 12 % больше, чем прямой в 1955–1976 гг. и на 13 % в 1977–1998 гг., но ее дисперсия (стандартное отклонение  $\sigma$ ) значительно меньше (см. таблицу 2.4). Рассеянная радиация преобладала над прямой (таблица 2.5). Их соотношение с течением времени менялось. Рассеянная значительно превышала прямую после 1964 г. до 1992 г., указывая непосредственно на увеличившуюся замутненность атмосферы во время крупномасштабных мелиоративных работ (рисунок 2.8). Это преобладание было заметным в безлиственный период, но особенно значительным (в 2,5 раза) в 1991–1992 гг. после извержения Пинатубо, а в вегетационный период 1980 г. после извержения Святой Елены (в 1,65 раза). Как и в Минске, отношение рассеянной радиации к прямой (280 %) было велико в 1958 г.

Таблица 2.5 – Отношение рассеянной радиации к прямой и суммарной на метеостанции Василевичи.

Периоды года	Годы	
	1955–1976	1977–1998
	<b>Отношение рассеянной радиации (%)</b>	
<b>к прямой</b>		
Май–июнь	98	107
Май–сентябрь	101	110
Октябрь–апрель	168	174
Год	119	127
<b>к суммарной</b>		
Май–июнь	49	52
Май–сентябрь	50	52
Октябрь–апрель	63	64
Год	60	56

В изменчивости годичной суммарной радиации (рисунок 2.9) выделяются два временных отрезка, разграниченные ее минимумом в 1977 г. (2008 МДж/кв. м). В первый из них ее среднемноголетнее значение (3937 МДж/кв. м) было значительно больше (на 237 МДж/кв. м), чем во втором (см. таблицу 2.4), в основном за счет вегетационного периода. Во втором временном отрезке прослеживается 14-летний цикл, ограниченный минимумами 1977 г. и 1991 г. (1990 МДж/кв. м). По всей видимости, происхождение этого цикла обязано динамичной природе нахождения в атмосфере аэрозолей естественного и антропогенного происхождения от множества источников.

В 1986г., в котором случилась авария на Чернобыльской АЭС, суммарная радиация в Василевичах заметно увеличилась в основном за счет возросшего поступления прямой. Это увеличение не отмечено на метеостанции Минск. Однако дополнительный прирост рассеянной радиации в этот год не зафиксирован. Возможно, аэродисперсные выбросы разрушенного реактора существенно не отразились на общей динамике аэрозольной системы атмосферы.

Следует отметить нарастающее снижение суммарной радиации в вегетационный период от ее максимального поступления в середине 1965-х гг. до 1991 г. В вегетационный период 1992 г. произошел ее подъем на 119 МДж/кв. м, что отразилось и в годовом значении. Увеличение замутненности атмосферы изменяло ее вклад в суммарную (рисунок 2.10), который составлял около половины ее значения за исключением безлистненного периода (63–64 %). Полувековая изменчивость суммарной радиации определялась поступлением прямой.

После скачкообразного сокращения суммарной радиации в 1977 г. увеличилась чувствительность ели и сосны к погодно-климатическим факторам, что отразилось в появлении статистически достоверной зависимости индексного прироста от температурных условий и осадков за безлиственный период [97].

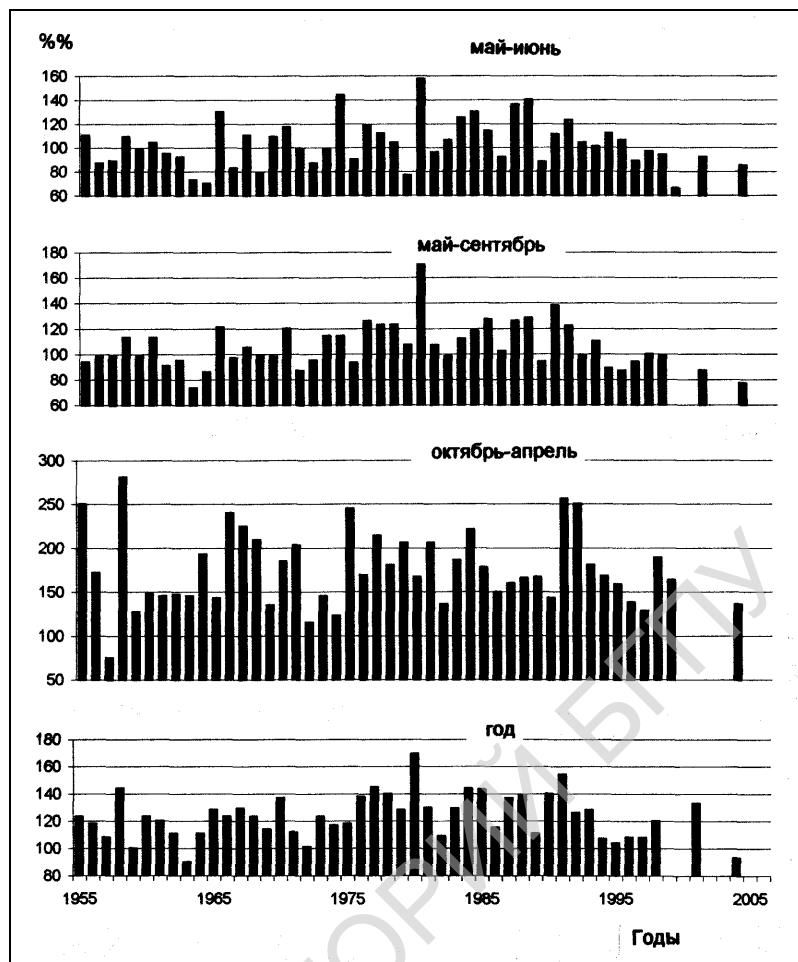


Рисунок 2.8 – Динамика отношения рассеянной радиации к прямой за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).

Средняя температура вегетационного периода, включая месяцы активного роста древесных растений май и июнь, оказалась в статистически значимой связи с прямой и суммарной радиацией (таблица 2.6).

Повышение температуры воздуха в месяцы безлиственного периода, наоборот, сопровождалось сокращением прямой и суммарной радиации. Поскольку знаки в связи температуры воздуха с прямой и суммарной радиацией для вегетационного и безлиственного периодов были противоположны, то какой-либо ее зависимости от годичных параметров этих энергетических источников не существовало.

Следовательно, увеличение притока солнечной радиации в годичном разрезе сопровождалось увеличением температуры вегетационного периода и ее уменьшением в безлиственный. Количество выпадавших осадков, определяемое облачностью, находилось в статистически значимой обратной связи с солнечной радиацией, как в течение года, так и его периодов (как и в Минске). Как известно, увеличение облачности ведет к росту рассеянной радиации, но к сокращению прямой.

Временная изменчивость солнечной радиации (прямой, рассеянной и суммарной) за последние 50 лет, по наблюдениям в Василевичах, отражает поступление в нее аэрозолей от естественных и антропогенных источников.

Анализ полувековой изменчивости солнечной радиации с использованием наблюдений на метеостанции Василевичи привел к следующим выводам. Наивысшее значение рассеянной радиации в 1965–1985 гг. вызвано региональными крупномасштабными мелиоративными работами. Температура вегетационного периода (май–сентябрь) и месяцев активного роста

древесных растений (май–июнь) напрямую зависела от прямой и суммарной солнечной радиации. Для безлиственного периода (октябрь–апрель) эта связь отрицательна. Между количеством осадков и прямой и суммарной радиацией существовала обратная связь.

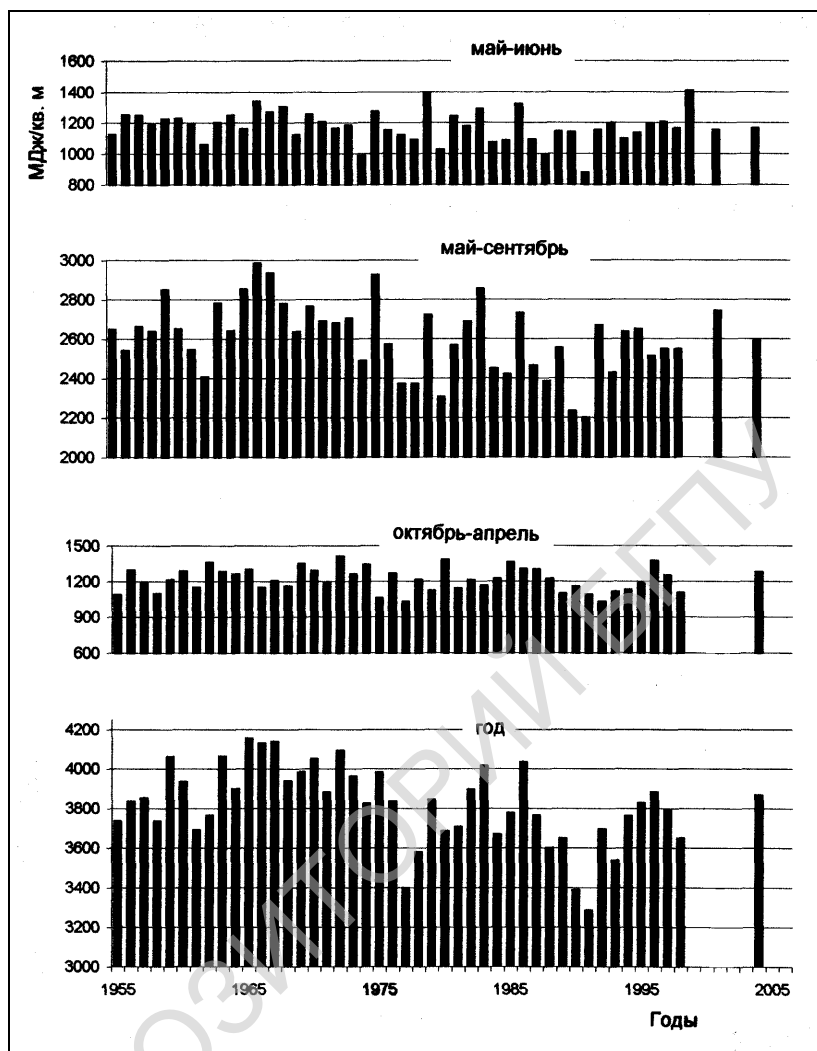


Рисунок 2.9 – Изменчивость суммарной радиации за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).

### 2.3 Особенности состояния атмосферы над Белорусским Поозерьем

Для выявления региональных особенностей аэрозольного состояния атмосферы на севере Беларуси привлечены самые продолжительные по сравнению с другими метеостанциями в этом регионе актинометрические наблюдения в Шарковщине, начатые в 1968 г. Данные о временной изменчивости солнечной радиации так же рассчитаны для следующих периодов гидрологического года, начало которого 1 октября: мая–июня (активный рост древесных растений), мая–сентября (вегетационный период), октября–апреля (безлиственный период, период покоя) для прагматического обеспечения дендроклиматических исследований. Региональные климатические особенности отражены в агроклиматическом районировании Беларуси [259].

Метеостанция Шарковщина находится в Северной умеренно теплой, влажной агроклиматической области, которая в физико-географическом отношении соответствует Белорусскому Поозерью. Климат этой области характеризуется низкой в сравнении с другими природными областями Беларуси температурой на протяжении всего года. В Шарковщине, как и на расположенной на 60 км севернее метеостанции Верхнедвинск, выпадает наименьшее в Беларуси количество осадков (< 600 мм).

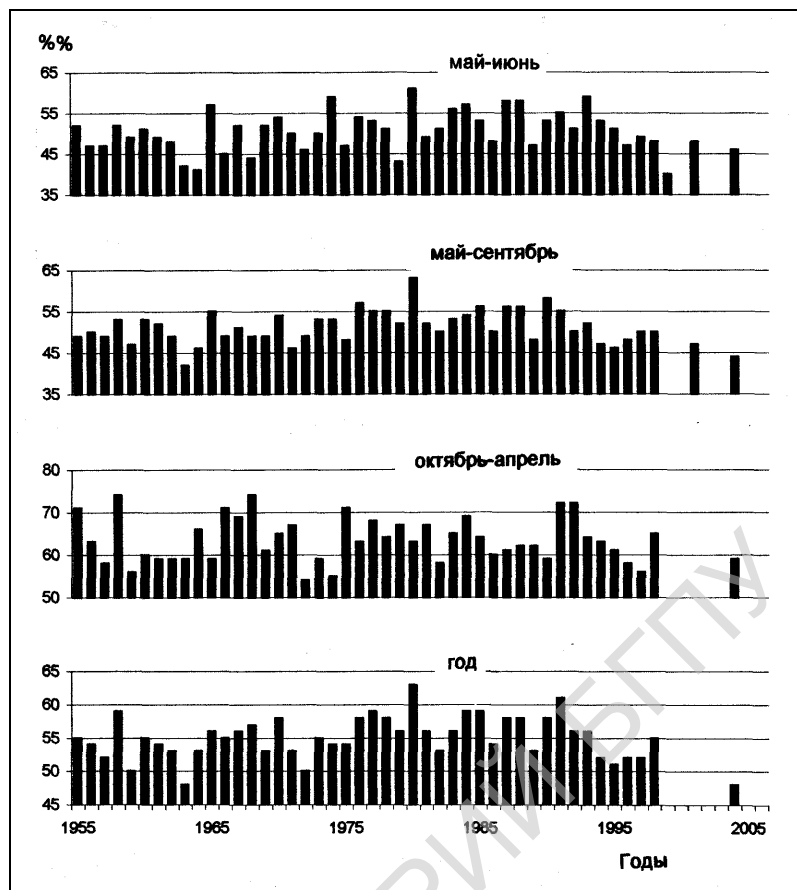


Рисунок 2.10 – Динамика отношения рассеянной радиации к суммарной за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).

Таблица 2.6 – Коэффициенты корреляции температуры воздуха и осадков с солнечной радиацией на метеостанции Василевичи.

Вид радиации	Периоды года	Коэффициенты корреляции $r = 0, \dots$	
		t °C	осадков, мм
Прямая	Май–июнь	<u>62</u>	-08
	Май–сентябрь	<u>64</u>	<b>-52</b>
	Октябрь–апрель	-27	28
	Год	02	07
Рассеянная	Май–июнь	-06	-08
	Май–сентябрь	-09	-07
	Октябрь–апрель	-47	-08
	Год	-32	-01
Суммарная	Май–июнь	<u>61</u>	<b>-38</b>
	Май–сентябрь	<u>56</u>	<b>-61</b>
	Октябрь–апрель	<b>-49</b>	<b>-31</b>
	Год	-11	-24

Примечание. Курсивом выделены значения коэффициента корреляции при уровне значимости  $P = 0,95$ , полужирным шрифтом – при  $P = 0,99$ , полужирным шрифтом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$  (для несвязных рядов,  $n = 47$ ).

Территория с преобладанием сельскохозяйственных угодий окружают Шарковщину с севера, востока и юга. Западнее ее простирается верховое болото «Мох», примыкающее с юга к национальному парку «Браславские озера» с лесами, верховыми болотами и озерными системами. В 20 км севернее ее 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 на то, что результаты актинометрических измерений отражают динамику состояния атмосферы, мало зависящую от поступления в нее местных аэрозолей. Ход поступления прямой солнечной радиации в Шарковщине за последние 40 лет (рисунок 2.11) идентичен ее изменчивости в Минске.

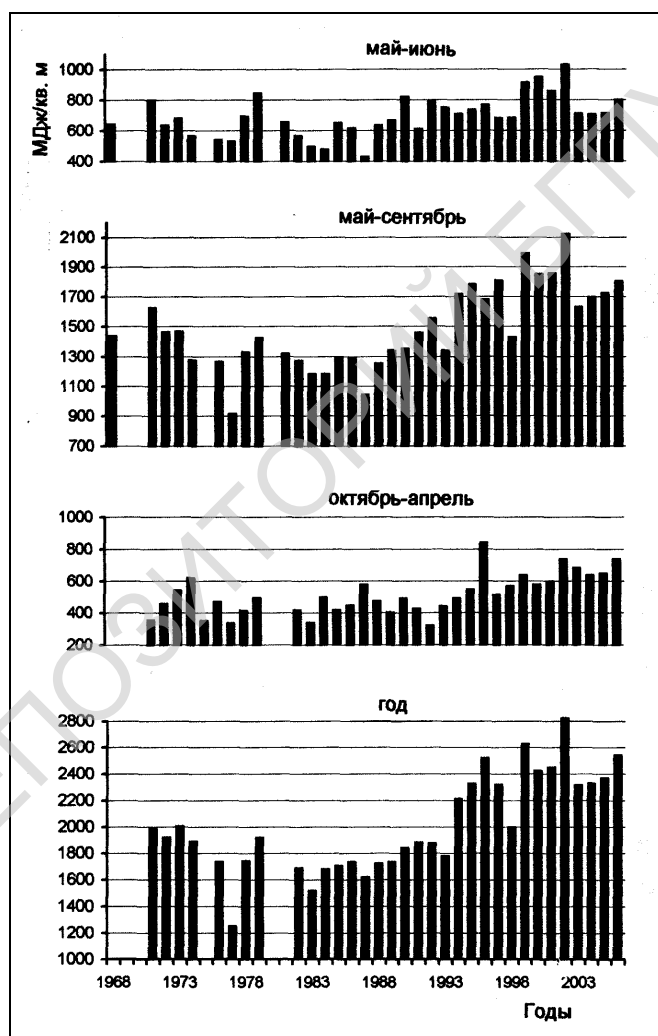


Рисунок 2.11 – Изменчивость прямой солнечной радиации за последние 30 лет (по наблюдениям на метеостанции Шарковщина).

Ее приток в 1977–1998 гг. оказался на 635 МДж/кв. м, или на 26 % меньше, чем в 1999–2006 гг. (таблица 2.7). Как и в Минске, ее минимальное годовичное значение (1249 МДж/кв. м) было в 1977 г., сократившись по сравнению с предшествующим годом на 485 МДж/кв. м. Это сокращение произошло в основном за счет вегетационного периода (на 349 МДж/кв. м). После кратковременного увеличения солнечной радиации следовало ожидать ее падение в 1980 г. после извержения вулкана Святая Елена, но за этот год и 1981 г. актинометрические данные

отсутствуют. Как и на всей территории Беларуси, на западе Поозерья 1980 г. был одним из самых холодных (4,2 °).

Нарастание прямой радиации до 1998 г. указывает на сокращение аэрозольной замутненности атмосферы. Однако до 1983 г. ее среднегодовой приток (1731 МДж/кв. м) был значительно меньше, чем в последующие годы (2405 МДж/кв. м), составляя от него только 72 %. По всей видимости, очищение атмосферы от аэрозоля в основном вулканического, поступившего и от извержения вулкана Эль-Чичон в 1982 г., завершилось в 1983 г. Максимальны приток прямой радиации за год (2851 МДж/кв. м) и за вегетационный период (2118 МДж/кв. м) был в 2002 г. Рекордно высокая температура этого года (7,2 °С) и его вегетационного периода (16,3 °С), а так же минимальное количество осадков (соответственно 477 и 152 мм), указывают на быструю отзывчивость погодно-климатической системы на ее обеспечение солнечной энергией.

Таблица 2.7 – Актинометрическая характеристика атмосферы над Шарковщиной за последние 30-лет.

Период года	1977-1998 гг.		1999-2006 гг.	
	МДж/кв. м	$\sigma$	МДж/кв. м	$\sigma$
<b>Прямая радиация</b>				
Май-июнь	655	112	834	123
Май-сентябрь	1378	230	1833	460
Октябрь-апрель	472	113	655	59
Год	1853	230	2488	181
<b>Рассеянная радиация</b>				
Май-июнь	593	44	549	29
Май-сентябрь	1318	75	1201	72
Октябрь-апрель	699	59	689	38
Год	2017	88	1890	88
<b>Суммарная радиация</b>				
Май-июнь	1248	107	1383	126
Май-сентябрь	2696	208	3034	202
Октябрь-апрель	1170	145	1344	50
Год	3866	277	4378	224

Динамика рассеянной радиации, заметно увеличившейся в вегетационный период 1977 г., более достоверно отражает изменения в содержании аэрозолей в атмосфере Поозерья (рисунок 2.12). Как в Минске и Василевичах, максимальное замутнение атмосферы наступило в 1983 г. после извержения вулкана Эль-Чичон в 1982 г. Поступление рассеянной радиации за вегетационный период (1462 МДж/кв. м) и за год в целом (2176 МДж/кв. м) достигло наибольших значений. Очищение атмосферы от поступившего вулканического аэрозоля происходило до извержения Пинатубо в 1991 г. На постепенный характер этого очищения указывает снижение рассеянной радиации за безлиственный период только к 1992 г., в котором она достигла наименьшего значения.

За извержением Пинатубо последовало быстрое увеличение рассеянной радиации в 1992 г. до 2142 МДж/кв. м, в т. ч. за вегетационный период 1460 МДж/кв. м. Атмосфера в безлиственный период оказалась также наиболее замутненной. После извержения Эль-Чичона и Пинатубо рассеянная радиация в Поозерье достигала одного и того же значения. После 1993 г. атмосфера быстро очистилась от вулканического аэрозоля, и поступление рассеянной радиации до 2005 г. находилось примерно на одном и том же уровне (за вегетационный период 1220, за год 1900 МДж/кв. м).

В атмосфере над Шарковщиной рассеянная радиация в вегетационном периоде и месяцах активного роста древесных растений не преобладала над прямой (таблица 2.8). В этом заключено существенное отличие Поозерья от средней полосы Беларуси (Минск) и Полесья (Василевичи). Особенно это отличие проявилось в 1999–2006 гг. За безлиственный период и за год в целом

отношение рассеянной радиации к прямой значительно сократилось. После поступления в атмосферу вулканического аэрозоля Эль-Чичона и Пинатубо преобладание рассеянной радиации над прямой возросло (рисунок 2.13).

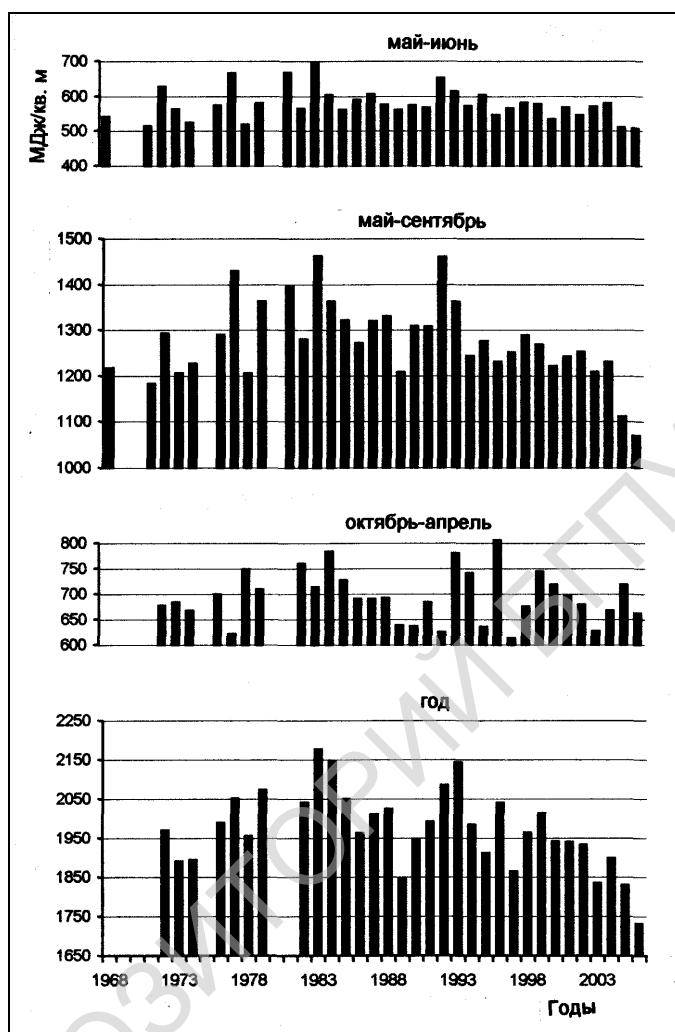


Рисунок 2.12 – Изменчивость рассеянной радиации за последние 30 лет (по наблюдениям на метеостанции Шарковщина).

Таблица 2.8 – Превышение солнечной радиации в Шарковщине и Василевичах над ее поступлением в Минске (МДж/кв. м)

Период года	Шарковщина		Василевичи		
	Годы				
	1977-1998	1999-2006	1955-1976	1977-1998	1999-2006
<b>Прямая радиация</b>					
Май-июнь	128	179	6	25	.
Май-сентябрь	259	430	33	77	.
Октябрь-апрель	67	194	26	29	.
Год	326	624	59	106	.
<b>Рассеянная радиация</b>					
Май-июнь	14	0	5	41	-8
Май-сентябрь	35	-24	60	33	-22
Октябрь-апрель	20	-9	70	76	62
Год	55	-33	130	109	40
<b>Суммарная радиация</b>					

Май-июнь	142	169	11	36	.
Май-сентябрь	295	406	93	110	.
Октябрь-апрель	86	185	96	105	.
Год	381	591	189	215	.

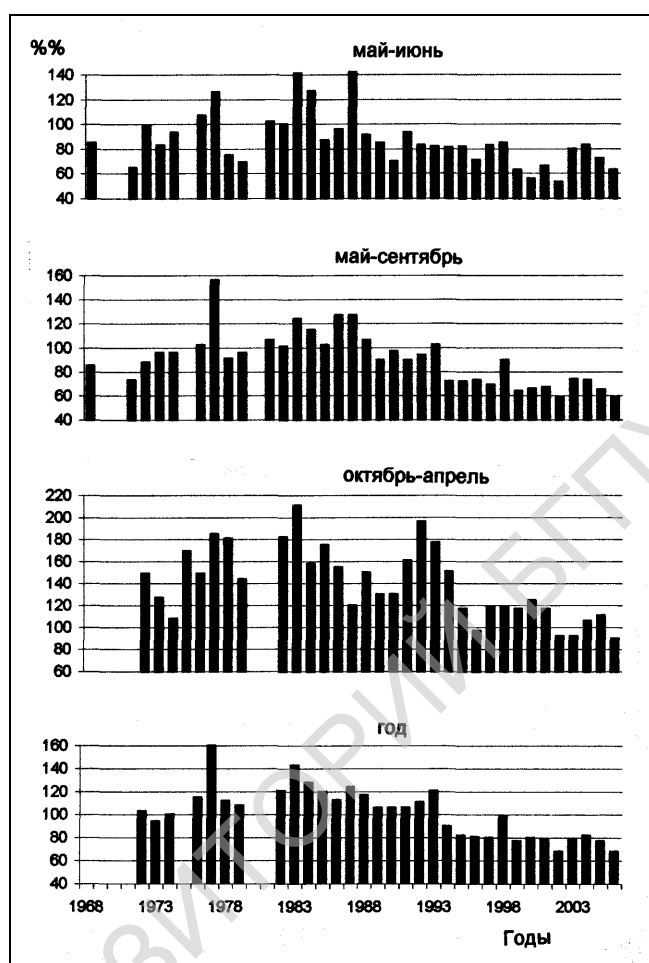


Рисунок 2.13 – Динамика отношения рассеянной радиации к прямой за последние 30 лет (по наблюдениям на метеостанции Шарковщина).

С прогрессирующим уменьшением рассеянной радиации увеличилось поступление суммарной (рисунок 2.14). Ее изменчивость в последней четверти XX в., в отличие от Минска и Василевич, не приобрела циклический характер. До 1988 г., в котором отмечено последнее снижение суммарной радиации за год и вегетационный период, ее среднемноголетнее значение было значительно ниже (за год на 512 МДж/кв. м, за вегетационный период на 338 МДж/кв. м), чем в последующие годы.

В целом, суммарной радиации за год и его анализируемые периоды, как и прямой, поступало больше, чем в Минске и Василевичах, при возросшей ее дисперсии (таблица 2.9). Это указывает на меньшую аэрозольную замутненность и, следовательно, на большую прозрачность атмосферы в Поозерье, чем в Центральной части Беларуси и в Полесье. Следует отметить, что в рекордно теплый 2002 г. с наивысшей температурой вегетационного периода (16,3 °С) суммарная радиация достигла максимального значения (4785 МДж/кв. м).

Вклад рассеянной радиации в суммарную за 30-летний период претерпевал значительные изменения (рисунок 2.15) и до 1998 г. включал около ее половины (48–52 %) за исключением безлиственного периода (60 %). После 1998 г. она составляла только 40 % суммарной, опять же за исключением безлиственного периода. Этот показатель на 10 % ниже, чем в Минске и



Василевичах. Наиболее вероятной причиной такого сокращения служит более прозрачное состояние атмосферы на севере Беларуси.

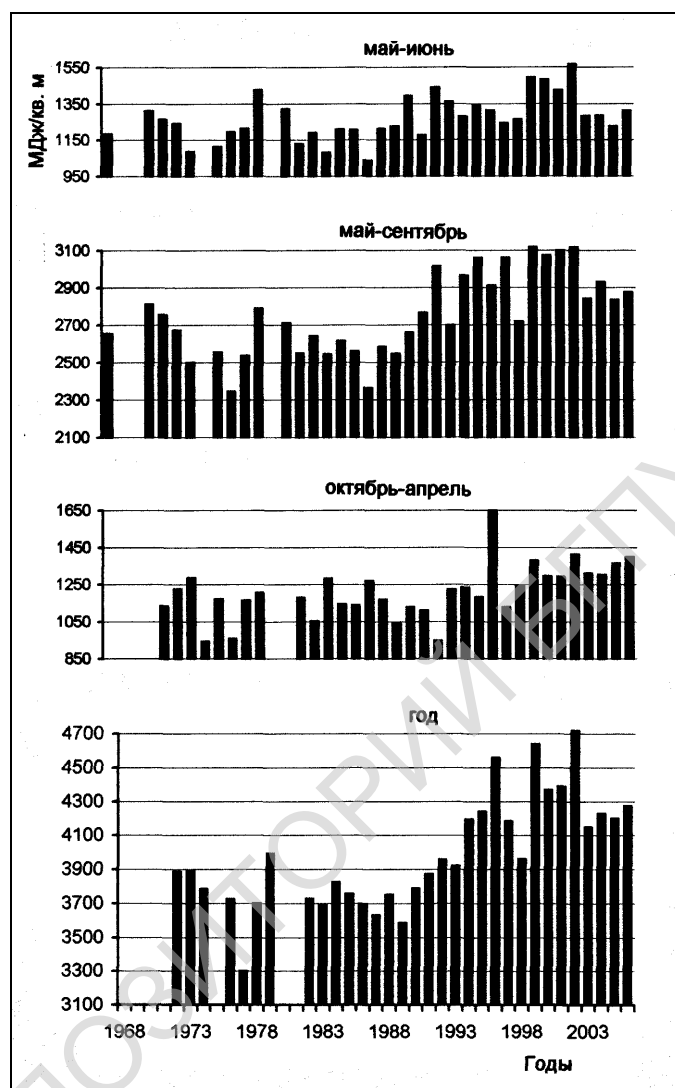


Рисунок 2.14 – Изменчивость суммарной радиации за последние 30 лет (по наблюдениям на метеостанции Шарковщина).

Таблица 2.9 – Отношение рассеянной радиации к прямой и суммарной на метеостанции Шарковщина.

Периоды года	Годы	
	1977–1998	1998–2006
	<b>Отношение рассеянной радиации (%)</b>	
<b>к прямой</b>		
Май–июнь	91	66
Май–сентябрь	96	66
Октябрь–апрель	148	105
Год	109	76
<b>к суммарной</b>		
Май–июнь	48	40
Май–сентябрь	49	40

Октябрь–апрель	60	51
Год	52	43

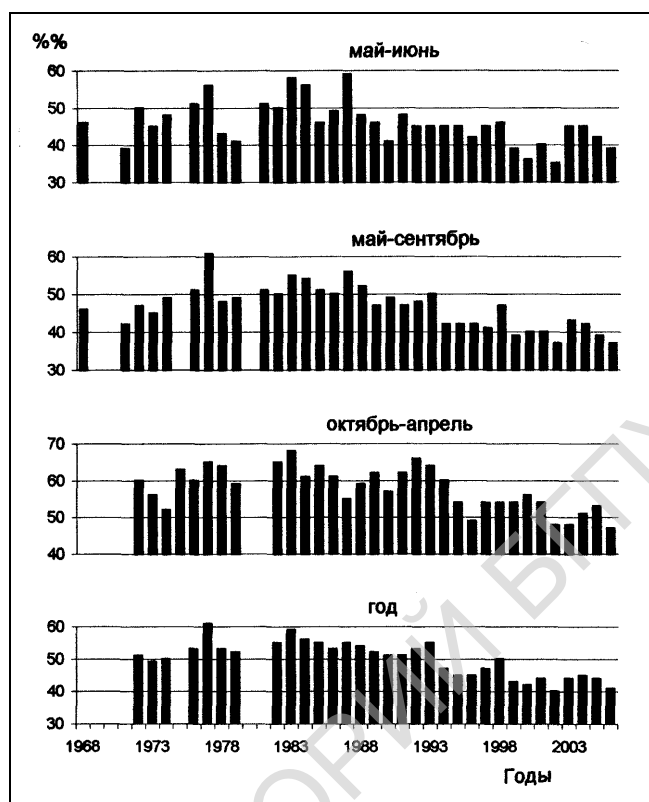


Рисунок 2.15 – Динамика отношения рассеянной радиации к суммарной за последние 30 лет (по наблюдениям на метеостанции Шарковщина)..

Средняя температура вегетационного периода находилась в статистически значимой прямой связи с прямой и суммарной радиацией (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Коэффициенты корреляции температуры воздуха и осадков с солнечной радиацией на метеостанции Шарковщина.

Вид радиации	Периоды года	Коэффициенты корреляции $r = 0, \dots$	
		t °C	осадков, мм
Прямая	Май–июнь	24	30
	Май–сентябрь	<b>60</b>	-17
	Октябрь–апрель	-27	-16
	Год	32	-08
Рассеянная	Май–июнь	<b>-36</b>	-10
	Май–сентябрь	-08	-12
	Октябрь–апрель	-34	-20
	Год	<b>-44</b>	-18
Суммарная	Май–июнь	<b>39</b>	<b>-37</b>
	Май–сентябрь	<b>66</b>	<b>-38</b>
	Октябрь–апрель	-12	-21
	Год	-14	-18

Примечание. Курсивом выделены значения коэффициента корреляции при уровне значимости  $P = 0,95$ , полужирным шрифтом – при  $P = 0,99$ , полужирным шрифтом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$  ( $n = 33$ ).

Как и на метеостанциях Минск и Василевичи, не обнаружена связь между этими факторами и годичной температурой воздуха. Количество выпадающих осадков при тенденции к снижению с увеличением солнечной радиации только за вегетационный период имело обратную связь с суммарной радиацией.

В изменяющихся погодно–климатических условиях в последней четверти XX в. с увеличением притока солнечной радиации индексовой радиальной прирост ели приобрел прямую зависимость от осадков безлиственного периода [97].

Таким образом, поступление солнечной радиации (прямой и суммарной) в атмосферу Поозерья, как и Центральной Беларуси и в Полесье, нарастало в последней четверти XX в., достигнув максимального значения в начале XXI в. В атмосфере над Шарковщиной рассеянная радиация в вегетационном периоде и месяцах активного роста древесных растений не преобладала над прямой. Только после извержения вулканов Эль-Чичона и Пинатубо значение рассеянной радиации увеличивалось.

Температура вегетационного периода (май–сентябрь) и месяцев активного роста древесных растений (май–июнь) имела прямую связь с прямой и суммарной солнечной радиации. Для безлиственного периода (октябрь–апрель) эта связь отрицательна. Количество осадков находилось в обратной связи с суммарной солнечной радиацией.

## 2.4 Изменение температуры и осадков

Обсуждение изменяющегося климата привело к ожиданию экологических угроз: затоплению равнинной суши в результате таяния материковых и полярных ледников, аридизации огромных территорий, включая образование к середине XXI в. пустыни на территории Беларуси, гибели лесов (перечень можно продолжить). Следует заметить, что подобные «прогнозы» не являются достижением последних лет.

Причина этих и других подобных бед видится, согласно активной пропаганде, в антропогенном усилении парникового эффекта атмосферы. Атмосфера пропускает солнечную коротковолновую радиацию (лучистую энергию), которая нагревает земную поверхность. Так как температура этой поверхности обычно выше температуры воздуха, возникает восходящий поток тепла.

Земная поверхность становится источником теплового, длинноволнового, излучения, которое почти полностью поглощается в атмосфере так называемыми парниковыми газами (углекислым газом, метаном, аммиаком, озоном и др.). Велика роль и водяного пара. При ясном небе до 20 % земного излучения может, проникая через атмосферу, уходить в космическое пространство. Именно при этом краткосрочном ослаблении парникового эффекта зимой наступают трескучие морозы, а в весенне-раннелетний период – заморозки, особенно на торфяниках с верхним подсушенным и, потону, теплоизоляционным слоем.

Это свойство атмосферы аккумулировать и возвращать к дневной поверхности тепловое излучение путем конвекции (перемешивания), повышая приземную температуру воздуха, и получило название парникового (тепличного, оранжерейного) эффекта, исказив смысл этого физического явления. Прозрачная крыша парника только удерживает нагретый легкий воздух, препятствуя его перемешиванию с холодным, тяжелым. Правильнее было бы называть парниковый эффект гомосферным (от «гомосферы» – 85-километрового слоя атмосферы с однородной смесью многих газов, в котором сосредоточено 99,999 % всей массы атмосферы) [220].

Наблюдающееся, начиная с середины XIX в., потепление в Европе побудило искать объяснение этого процесса. Активное начало таких исследований было положено в 1950-х гг. Главная причина потепления виделась в усилении парникового эффекта в результате

увеличивающегося производства энергии на основе углеродного топлива (угля, нефти и нефтепродуктов, сланцев др.). Оценки повышения температуры приземного воздуха в результате удвоения концентрации углекислого газа с 0,029 до 0,058 объемных процентов существенно отличались из-за различных моделей атмосферы, используемых в расчетах: от 1,5 до 3-4 °С. Эти же расчеты используются и сейчас для определения вероятных изменений температуры воздуха при потеплении климата.

Побочными следствиями развития углеродной энергетики будут: разогревание приземного слоя атмосферы, ускорение таяния ледников, подъем со все возрастающей скоростью уровня океан, более частые наводнения на равнинных территориях, разрушение вечной мерзлоты, сдвиг природных зон к полюсам и многие другие. До конца XX в. уровень океана, как ожидалось, должен был подняться на 1,5 м. Венеция, если не будет ограждена дамбами, окажется под водой, а Ленинград мог стать балтийской Венецией. А дальше в течение тысячелетия наступит необратимый распад оледенения полярных районов, уровень океана поднимется на 65 м, и воды затопят около 10 % суши – наиболее ценные и заселенные равнины Земли.

Вместо ожидаемого продолжения потепления в Европе, которую страшили потопом, наступило похолодание, продолжавшиеся до 1976 г. Венеция и Ленинград (ныне Петербург) к концу XX в. не утонули. Если кто в этом сомневается, может посетить эти города, а также государство Нидерланды, которые должны быть уже под водой.

Явное потепление климата в последней четверти XX в. и в начале наступившего XXI в. вернуло к поиску его причин. К тому же интерес этот подогреет теплой зимой 2006-2007 гг., хотя относительно медленный процесс потепления не мог вызвать такую погодную аномалию.

Перечень «виновников» столь заметного климатического процесса значительно расширился по сравнению с 1950-ми гг. Кого только, кроме теплоэнергетики, не обвиняют в вероятных экологических бедах. Среди этих «виновников» – коровы и овцы, которые в результате дыхания и пищеварения выделяют в атмосферу парниковые газы. Человек как биологический вид, тоже выделяющий эти газы, к виновникам потепления пока не причислен, хотя население Земли более чем удвоилось за последние 50 лет.

Самыми продуктивными производителями парниковых газов за всю геологическую историю Земли были гигантские динозавры мезозоя, которые, нетрудно предположить, погибли в разогретой ими же воздушной среде, образовав массовые захоронения (надеемся на скептическое отношение к этому утверждению). Сомнительно усиление парникового эффекта в результате поступление в воздушный бассейн метана (он же болотный газ), образующегося при гниении органического вещества в болотах и рисовых полях под действием метанобразующих бактерий при ограниченном доступе воздуха.

Из множества причин, главную из них сторонники антропогенного усиления парникового эффекта атмосферы опять видят в увеличивающемся содержании углекислого газа от сжигания углеродосодержащих топлив. Именно они возрождают 40-50-летней давности сценарии экологических бед, которые постигнут человечество. Однако антропогенная природа потепления вызывает сомнение [111, 274], нельзя исключать при этом политического аспекта [111].

Обнаруживаемая палеоданными синхронность изменений концентрации углекислого газа и повышения температуры воздуха за последние 160 лет можно интерпретировать как отражающую влияние приземной температуры на концентрацию этого газа. Более того, температура воздуха и концентрация углекислого газа в нем – «это две кошки, которые гуляют сами по себе» [113].

Существует иное представление о том, что в настоящее время нет убедительных доказательств влияния человеческой деятельности на климат больших территорий земного шара. Более того, данный сценарий развития климатической ситуации не является корректным, так как нет самого парникового эффекта, а климатическая система Земли находится в равновесном состоянии, что исключает возможность антропогенного воздействия на климат. Глобальный климат постоянен при неизбежных его локальных изменениях в разных пространственно-временных масштабах [22]. Здесь уместно вспомнить закон квантитативной компенсации.

Закон квантитативной (от лат. *quantitas* – количество) компенсации означает, что количественные соотношения в ходе того или иного явления на очень больших территориях

стремятся сохраниться путем периодических компенсаций, давая в среднем одну и ту же постоянную арифметическую величину или очень к ней близкую [248]. Иными словами, биосфера стремится к поддержанию средних значений физических, химических и биологических явлений на больших территориях.

Энергетические колебания в деятельности Солнца могут вызывать возмущения на Земле. В конечном итоге биосфера уравнивает эти возмущения, поддерживая необходимые условия существования жизни на планете. Если где-то происходит потепление, то в другом месте похолодание. За потеплением обязательно последует похолодание. Наблюдаемое потепление не является продолжительным и происходит на фоне глобального похолодания, связанного с изменением орбитальных параметров Земли, которое переломит нынешнюю тенденцию.

Наблюдения с применением космических аппаратов привели заведующего Лабораторией космических исследований Пулковской астрономической обсерватории РАН Х.И. Абдусаматова к выводу об определяющем влиянии на климат Земли космических закономерностей поступления энергии от Солнца, а не промышленная деятельность людей.

Современное потепление климата вызвано необычайно высоким и длительным повышением интегрального потока солнечного излучения (астрономической солнечной постоянной, измеряемой за пределами земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца). Подобное увеличение солнечного излучения в XX в. не наблюдалось в течение 600 лет. Светимость Солнца уже вступила в убывающую фазу векового цикла, и наблюдаемое потепление через 6-8 лет сменится медленным похолоданием, которое достигнет глубокого минимума в 2055-2060 гг.

Ожидаемые экологические угрозы, реальность которых оказывается преувеличенной, породили идею создания искусственного экрана из металлических пластин или аэрозоля серной кислоты для уменьшения притока солнечной радиации. Эта идея не нова: она возникла более 30 лет назад. Понятно, что при похолодании климата этот мусор в атмосфере придется собирать. Между прочим, были предложены и другие, не менее фантастические способы регулирования климата на планете: изменение размеров полярных шапок, искусственное извержение вулканов и им подобные.

Лес – природная система и, как все живое на Земле, зависит от энергии Солнца, а лесное хозяйство во многом определяется погодно-климатическими условиями. Стратегия лесного хозяйства заключена в ответе на вопрос: «Мы для климата или климат для нас?». Если мы существуем для климата, наши усилия будут направлены на поддержание его постоянства, борясь без очевидного успеха то с потеплением, то с похолоданием. Если климат для нас, то условия нашей повседневной жизни и деятельности, в т. ч. и лесное хозяйство, должны быть приспособлены к его непостоянству.

Изменение климата Беларуси достаточно подробно рассмотрено в специально посвященных этой проблеме работах [104]. При принятии решений в области использования лесных ресурсов необходимо считаться с особенностями регионального климата. С учетом масштаба деградации лесов проблема выявления причин их экологической неустойчивости становится более актуальной. Изменение климата может оказаться одной из причин этого явления. Информация о глобальном потеплении климата не может быть перенесена на локальные территории, что указывает на необходимость выполнения региональных климатических исследований применительно к интересам лесного хозяйства.

Климатические реалии последних лет не вписываются в пропагандируемое представление о потеплении климата. Поток суждений о возможном похолодании увеличивается. Какого бы сценария изменения климата не придерживаться, в планировании и ведении лесного хозяйства необходимо оперировать его среднестатистическими показателями.

Как правило, эти показатели рассчитываются как средние многолетние значения осадков и температуры воздуха за весь период инструментальных наблюдений или его временные отрезки, выбранные по определенным критериям. Белгидрометом уже накоплена обширная информация о погодно-климатических условиях Беларуси более чем за столетний период наблюдений. Наибольший научный и практический интерес представляют результаты наблюдений на тех

метеостанциях (Горки, Могилев, Василевичи, Минск и др.), которые не имеют длительных перерывов по историческим причинам.

Дендроклиматические исследования, выполненные нами с привлечением радиального прироста ели, позволили выявить в климате Беларуси за XX в. две эпохи (до и после 1940 г.): влажную и неустойчиво влажную [97]. В 1940–1942 гг. в динамике климата Беларуси произошло знаменательное событие: наступило кратковременное похолодание с самыми суровыми зимами в XX в. Средняя температура воздуха за эти три года составила в Минске 3,2, Горках 3,0 и Василевичах 4,5 °С (в пересчете на гидрологический год, начало которого 1 октября).

Это трехлетнее похолодание разделило климат Беларуси на две эпохи: первую – влажную, температурно относительно устойчивую (с небольшой амплитудой колебания годичной температуры) и вторую – относительно засушливую и температурно неустойчивую. Причем, переход от первой эпохи ко второй произошел резко, что выразилось в скачкообразном сокращении осадков.

Значительное сокращение осадков вызвало уменьшение водности рек, обмеление озер и обсыхание болот. На этот естественный процесс наложилось снижение почвенно-грунтовых вод, вызванное осушительной мелиорацией. Данное обстоятельство не учитывалось при экологической ревизии результатов мелиоративного освоения болот и заболоченных земель, особенно в Полесье. Этот фактор сказался и на состоянии лесных экосистем.

В последней из эпох, с меньшим количеством осадков, выделены две фазы (до и после 1976 г.): похолодания и потепления. В качестве реперного принят этот 1976 г.: как уже отмечалось, после него произошло резкое сокращение поступление прямой солнечной радиации. Дендроклиматические эпохи нашли свое отражение во временных отрезках гидрологического года, в течение которых происходит рост и развитие древесных пород: мая–июня (активный рост), мая–сентября (вегетационный период) и октября–апреля (период покоя).

Для исследования изменчивости регионального климата Беларуси привлечены результаты инструментальных наблюдений Белгидромета на длиннорядных метеостанциях: Горки, Могилев, Минск, Василевичи, Пинск и Верхнедвинск, начатые в 1880-х гг. Наиболее длительные по сравнению с другими метеостанциями измерения температуры воздуха и осадков, хотя и прерываемые по историческим причинам, дают более полное представление о происходивших изменениях в климате Беларуси. Осредненный по пятилетиям многолетний ход температуры воздуха и осадков дает наглядное представление об изменчивости климата в регионах.

Особенности регионального климата на востоке Центральной Беларуси в подзоне дубово-темнохвойных лесов (Оршано–Могилевский округ) представлены на рисунке 2.16.

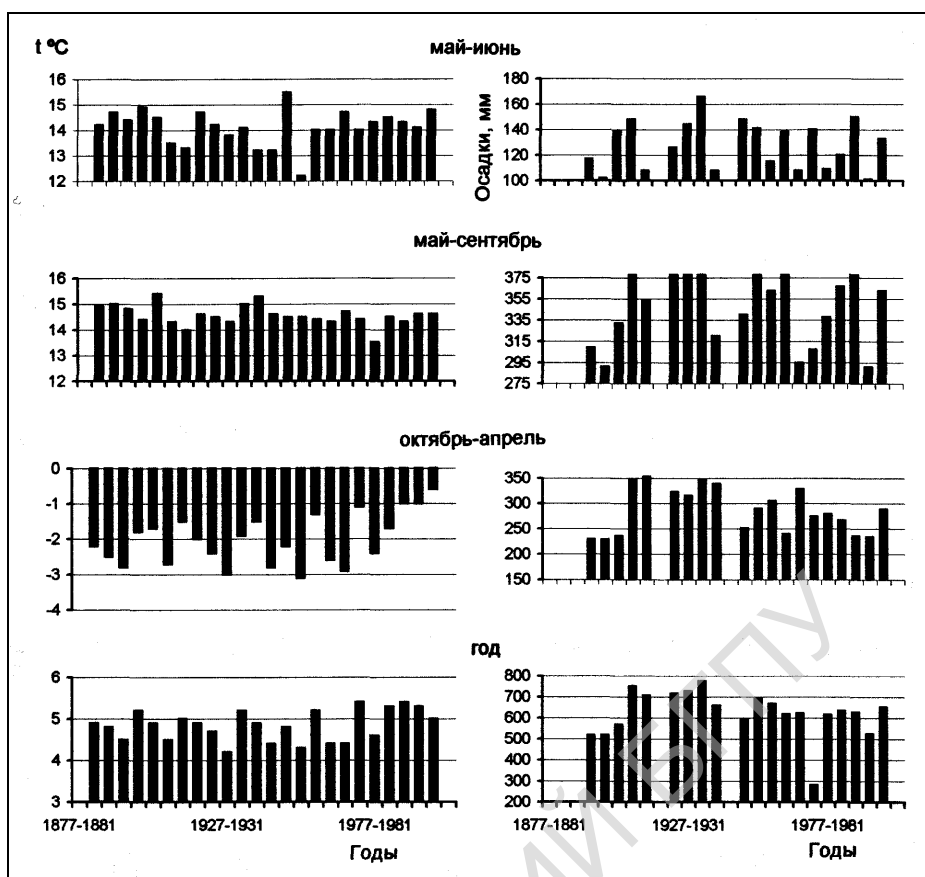


Рисунок 2.16 – Пятилетние изменения температуры ( $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и осадков на метеостанции Горки.

Во вторую климатическую эпоху количество осадков по измерениям на метеостанции Горки уменьшилось на 51 мм по сравнению с первой при одном и том же температурном фоне (таблица 2.11). Потепление после 1976 г. безлиственного периода сопровождается похолоданием вегетационного.

Таблица 2. 11 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Горки.

Годы	$t\text{ }^{\circ}\text{C}$				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1882–1906	14,5	14,9	-2,2	4,9	119	311	231	542
1907–1940	14,0	14,6	-2,1	4,8	136	385	348	733
Средние за первую эпоху	14,2	14,7	-2,1	4,8	131	360	308	668
<b>Вторая эпоха</b>								
1941–1976	13,8	14,5	-2,3	4,7	131	345	278	623
1977–2006	14,1	14,4	-1,9	4,9	127	347	270	617
Средние за вторую эпоху	14,4	14,3	-1,4	4,8	129	346	259	608
<b>Весь период наблюдений</b>								
1882–2006	14,1	14,6	-2,0	4,8	129	353	187	640
Примечание. Здесь и дальше I–XII – месяцы.								

В первую эпоху четко выделяются две фазы (до и после 1906 г.): теплая сухая и холодная сырая, во вторую (до и после 1976 г.) – холодная и теплая (обе неустойчиво влажные). В 1882–1906 гг. потеплел вегетационный период (май–сентябрь) на 0,2 °С и месяцы активного роста древесных растений на 0,3 °С со значительным сокращением годовых осадков на 126 мм (за вегетационный период на 49 и за безлиственный на 77 мм).

После этой фазы до 1940 г. вегетационный период стал более холодным на 0,3 °С, а средняя температура мая–июня сократилась на 0,5 °С. Эти годы были самыми влажными на востоке Беларуси при среднемноголетнем количестве осадков 733 мм.

В фазу похолодания второй эпохи (1941–1976 гг.) климат этой территории был наиболее холодным (средняя годовичная температура безлиственного периода -2,3 °С) с суровыми зимами 1940–1942 гг. После 1976 г., в фазу потепления климата, средняя температура октября–апреля возросла на 0,4 °С, а вегетационного периода осталась практически неизменной.

Выпадение осадков стало неустойчивым в вегетационном периоде при их сокращении в безлиственный и при общем годовичном недоборе в 51 мм по сравнению с 1907–1940 гг. Климат Могилева теплее, чем в горках на 0,7 °С, хотя расстояние между этими города всего 50 км. Эти различия, вероятнее всего, объясняются неполнотой наблюдений. Многолетний ход изменчивости его основных показателей, по всей видимости, был таким же, как и в Горках (рисунок 2.17).

Потепление в последней четверти XX в. обязано безлиственному периоду при похолодании вегетационного. Количество осадков в неустойчиво влажную эпоху сократилось на 97 мм по сравнению с 1907–1940 гг., которые на востоке Беларуси были наиболее влажными (таблица 2.12).

Погодно-климатические условия Минска, расположенного на юге Ошмянно–Минского геоботанического округа подзоны дубово–темнохвойных лесов несколько отличаются своими региональными особенностями. В ходе изменчивости температурных условий месяцев активного роста резко выражено потепление 1930-х гг., за которым последовало скачкообразное похолодание начала 1940-х гг. – «провал», разделивший климат Беларуси за историю инструментальных наблюдений на уже называемые две эпохи: влажную и неустойчиво влажную (рисунок 2.18).

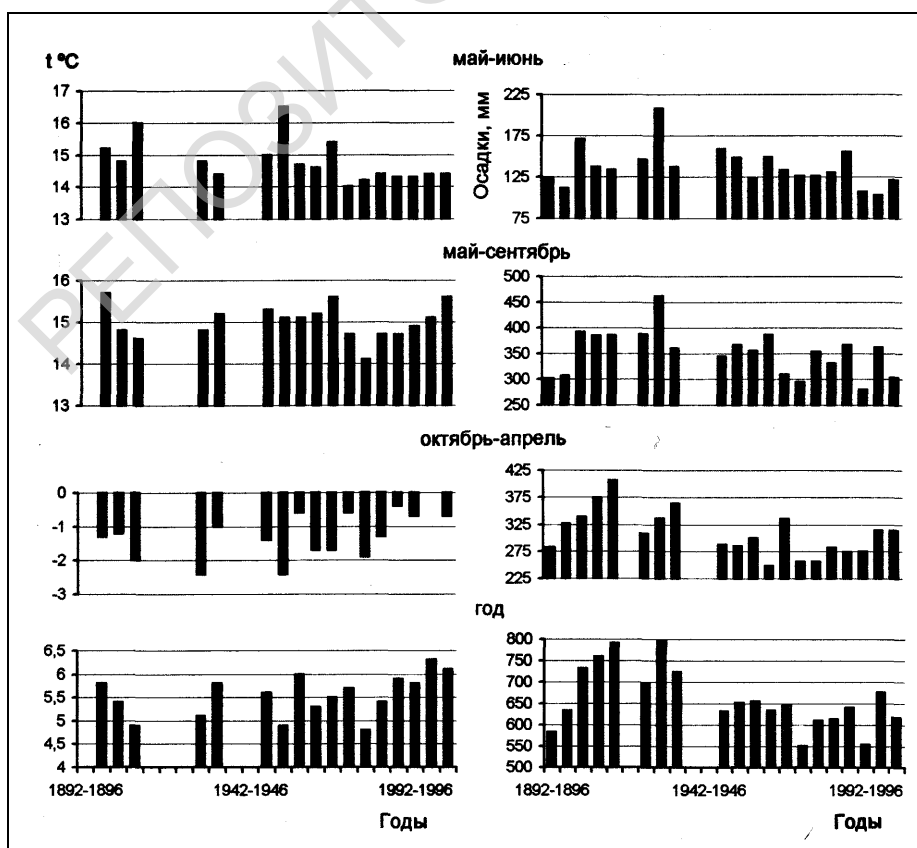


Рисунок 2.17 – Пятилетние изменения температуры ( $t$  °С) и осадков



на метеостанции Могилев.

Таблица 2.12 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Могилев.

Годы	t °C				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1891–1906	15,1	15,3	-1,4	5,6	137	360	329	689
1907–1940	15,2	15,0	-1,9	5,2	146	386	362	748
Средние за первую эпоху	15,2	15,1	-1,7	5,4	143	377	351	728
<b>Вторая эпоха</b>								
1946–1976	15,0	15,2	-1,4	5,5	140	344	282	626
1977–2006	14,3	14,9	-0,8	5,7	124	333	286	619
Средние за вторую эпоху	14,7	15,0	-1,1	5,6	132	338	284	622
<b>Весь период наблюдений</b>								
1891–2006	14,9	15,1	-1,3	5,5	136	354	311	665

После начала 1940-х гг. май и июнь несколько (на 0,2 °C) стал холоднее без потепления вегетационного периода (таблица 2.13). Незначительно (на 0,2 ) потеплее безлиственный период.

В фазу похолодания (1941–1976 гг.) климат в центральной части Беларуси по своим показателям был аналогичен холодному периоду 1907–1940-х гг. с наиболее низкими средними значениями средней температуры месяцев активного роста древесных растений (14,0 °C), вегетационного (14,8 °C) и безлиственного (-1,3 °C). А также года в целом (5,4 °C). При этом количество осадков уменьшилось на 102 мм. В фазу потепления (после 1976 г.) осадков за год в среднем стало выпадать больше на 46 мм.

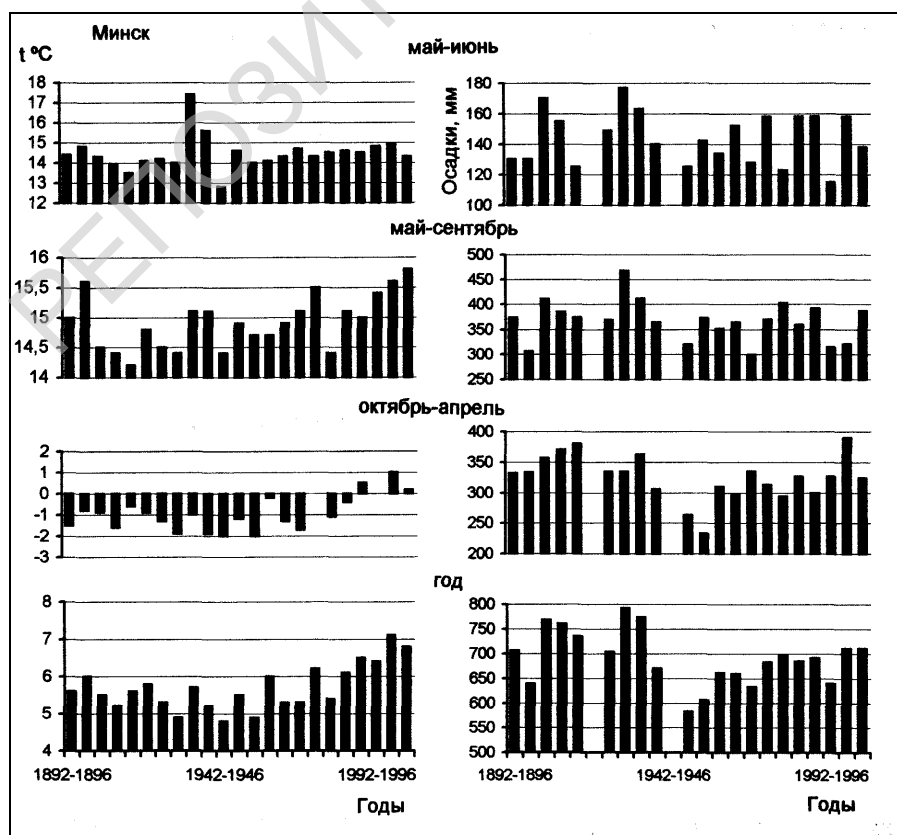


Рисунок 2.18 – Пятилетние изменения температуры (t °C) и осадков

на метеостанции Минск.

Таблица 2.13 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Минск.

Годы	t °С				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1892–1906	14,5	15,0	-1,1	5,7	143	363	341	704
1907–1940	14,7	15,0	-1,3	5,4	14,9	397	348	741
Средние за первую эпоху	14,7	14,8	-1,1	5,6	147	388	348	736
<b>Вторая эпоха</b>								
1941–1976	14,0	14,8	-1,3	5,4	140	353	286	639
1977–2006	14,8	15,0	0	6,2	144	357	328	685
Средние за вторую эпоху	14,3	15,0	-0,8	5,7	144	356	300	653
<b>Весь период наблюдений</b>								
1892–2006	14,5	14,9	-0,9	5,7	143	368	320	688

В изменчивости температуры вегетационного периода после самого холодного пятилетия 1912–1916 гг. (14,2 °С) прослеживаются три «волны» тепла, включающие 5-6 пятилетий, с постепенным увеличением их «гребня» в 1937–1941 гг. (15,1 °С), 1972–1976 гг. (15,5 °С) и 2002–2006 гг. (15,8 °С), разделенные его «обрушением» в 1942–1946 гг. (14,4 °С) и в 1977–1981 гг. (14,4 °С). В целом, за две последние «волны» тепла средняя температура вегетационного периода увеличилась до 15,1 °С, или на 0,3 °С по сравнению с предшествующим временем (14,8 °С). Однако предпоследняя «волна» тепла была на 0,4 °С холоднее последней (15,4 °С).

В динамике температурных условий пятилетий безлиственного периода, по всей видимости, отразился вековой цикл с ассиметричными ветвями: спада и подъема, разделенных батифазой 1942–1946 гг. Ветвь подъема оказалась менее холодной (-0,5 °С), чем спада (-1,2 °С).

Динамика годичной температуры определялась, в основном, ее изменениями за безлиственный период, с которым она оказалась в синфазе. Нарастающее потепление климата после краткосрочного похолодания начала 1940-х гг. во многом обязано повышению температуры безлиственного периода. Климат стал теплее (6,2 °С) по сравнению с досороковыми годами (5,6 °С). Однако до 1976 г. он, после «провала» начала 1940-х гг., был несколько холоднее (5,4 °С), чем за все предшествующие и значительно холоднее за все последние пятилетия.

Во временном распределении осадков обнаруживается общая закономерность: их среднее количество во всех анализируемых случаях уменьшилось после первой половины 1940-х гг. (в неустойчиво влажную эпоху) за май-сентябрь – с 384 до 356 мм, октябрь-апрель – с 348 до 303 мм и гидрологический год – с 736 до 653 мм, оставаясь неизменными за май-июнь. Причем, с наибольшей вариабельностью оказались осадки месяцев активного роста.

С целью выявления динамики климата Белорусского Полесья исследованы основные метеорологические показатели (температура воздуха и осадки) на станциях, расположенных в этом регионе: Василевичи (восток), Пинск (центральная часть) и Брест (запад). Наблюдения на этих метеостанциях, созданных в конце XIX ст., в основном охватывающие период развития природной среды на послемелиоративном этапе, до 1945 г. не отличались полнотой (за исключением Василевич, где они практически не прерывались). Привлечены также сведения А. И. Воейкова [41] о климате Полесья (осадки пересчитаны с поправочным коэффициентом 1,3).

Изменение климата Полесья в XX ст. происходило после осушения болотных массивов, в разные периоды при различной интенсивности использования этих территорий в сельском и лесном хозяйстве. Взгляд на средорегулирующую роль болот в природе претерпел существенные изменения. Однако до сих пор не утратило актуальности утверждение американского географа Г. Марша в 1866 г. о том, что осушение озёр, болот и других скоплений влаги на земной

поверхности уменьшает водную поверхность страны, вследствие чего должно уменьшаться и количество испарений. По его мнению, осушение вод, проводимое в значительных количествах, должно влиять как на влажность и температуру атмосферы, так и на снабжение водой обширных пространств.

Болота и заболоченные земли Полесья распространены довольно неравномерно. Восточнее рек Случи и Уборти они занимают около 5% территории, будучи приурочены к поймам малых рек и локальным понижениям. Последние только в некоторых случаях имеют площадь в несколько тысяч гектаров. Наиболее крупные болотные массивы сосредоточены в западной части Полесья, общая заболоченность которой приближается к 60 % [91].

В климате Полесья, принадлежащего к подзоне широколиственно–сосновых лесов, также выделяются две внутривековые климатические эпохи, разделённые скачкообразным понижением годичной температуры воздуха в 1940–1942 гг., так же, как и в средней полосе Беларуси: в Василевичах – до 3,8 °С в 1942 г. (рисунок 2.19). В каждой из этих эпох четко выделяются две фазы (таблица 2.14).

Относительно засушливому климату 1879–1906 гг., по всей видимости предшествовал холодный и сырой климат. Еще в середине XX в. у жителей сел Повитье и Радостово, расположенных на юге Брестской области, сохранились 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.

Середина XIX в. была знаменательна тем, что в ней приобрела кульминацию последняя холодная стадия малого ледникового периода, который продолжался почти 300 лет. Следующее наводнение 1861 г. открывает, по всей видимости, самое сырое в двухвековой летописи природы Полесья десятилетие с непрерывными холодными дождями [21].

До 1891 г. осушение болот Западной экспедицией выполнялось в наименее увлажненных погодных условиях. За весь период инструментальных наблюдений – среднегодовое количество осадков составило 534 мм. Окончание работ экспедиции уже было при иной метеорологической обстановке. Осушение болот сопровождалось нарастающим увеличением осадков, которое завершилось их рекордным выпадением в 1906 г. (1097 мм в Василевичах).

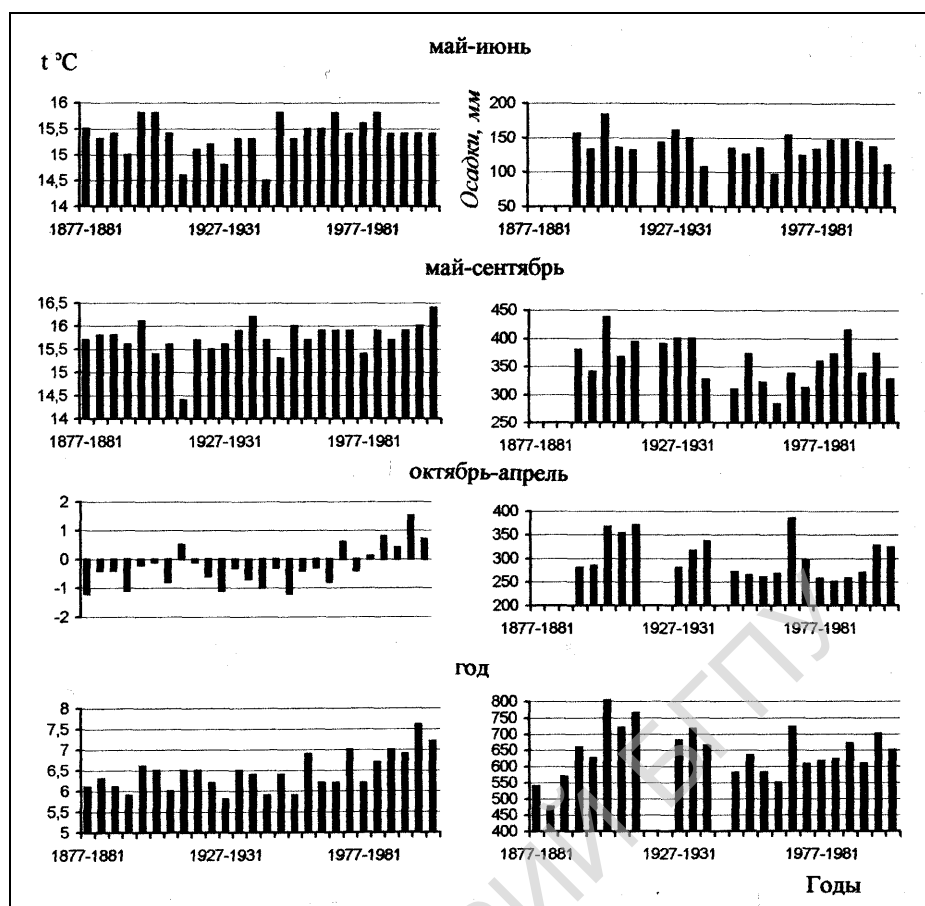


Рисунок 2.19 – Пятилетние изменения температуры ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и осадков на метеостанции Василевичи.

Таблица 2.14 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Василевичи.

Годы	$t^{\circ}\text{C}$				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1879–1906	15,4	15,7	-0,6	6,2	149	367	296	617
1907–1940	15,3	15,6	-0,3	6,4	144	384	324	715
Средние за 1879-1040 гг.	15,3	15,6	-0,5	6,3	144	382	317	660
<b>Вторая эпоха</b>								
1941–1976	15,4	15,8	-0,5	6,3	126	318	285	603
1977–2006	15,5	15,8	0,4	6,8	141	374	269	643
Средние за вторую эпоху	15,4	15,8	-0,1	6,5	133	342	278	620
<b>Весь период наблюдений</b>								
1879–2006	15,4	15,7	-0,2	6,4	137	358	297	641

Для центральной части Полесья такого увеличения осадков не прослеживается, однако их наибольшее количество (Пинск, 991 мм) пришлось на 1879 г. – на начальный этап работы Западной экспедиции. Такое изменение климата, так же, как и его динамика в течение всего XX в., не может быть связано с осушительной мелиорацией: причина заключена в естественном ходе его изменчивости. Кратковременное скачкообразное похолодание 1875–1877 гг. инструментально зафиксировано только в Пинске [41]: в 1877 г. среднегодовая температура воздуха составила 5,5

°С (за весь период наблюдений в XIX и XX столетиях холоднее было только в 1893 г. – 5,3 °С и в 1929 г. – 5,0 °С).

Первая эпоха сопровождалась увеличением осадков, особенно заметным в восточной части региона в период работы Западной экспедиции, и может быть определена как влажная. После температурного «провала» 1940–1942 гг. количество осадков в Полесье резко уменьшилось, и вторая климатическая эпоха оказалась относительно засушливой. Второй эпохе принадлежат рекорды по выпадению наименьшего количества осадков: в Василевичах – 355 мм (1946 г.), Гомеле – 387 мм (1960 г.), Пинске – 434 мм (1966 г.) и Бресте – 431 мм (1991 г.).

Как показали наблюдения в Василевичах, 1907–1940 гг. были влажными. В среднем за год выпадало 708 мм осадков. При похолодании в 1941–1976 гг. количество осадков уменьшилось до 603 мм, а при последующем потеплении увеличилось до 643 мм. Однако при сокращении осадков на юге Беларуси фазе похолодания климата принадлежат два экстремальных гидрологических события. Первым из них является летнее паводковое наводнение 1962 г., при котором были затоплены поймы рек Припяти, Днепра, Сожа, Птичи и др., исключив возможность сенокосения. Второе событие – осенне-зимнее наводнение 1974–1975 гг., случившееся в конце холодной фазы климата. Эти наводнения были вызваны обильными осадками не только в Беларуси, но и в Карпатах.

Осенне-зимнее наводнение 1974-1975 гг. привело к осознанию необходимости мероприятий по защите населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий от половодья и паводковых наводнений. Изменение погодно-климатических условий в центральной части Полесья, по всей видимости, не отличалось от их динамике на востоке региона (рисунок 2.20).

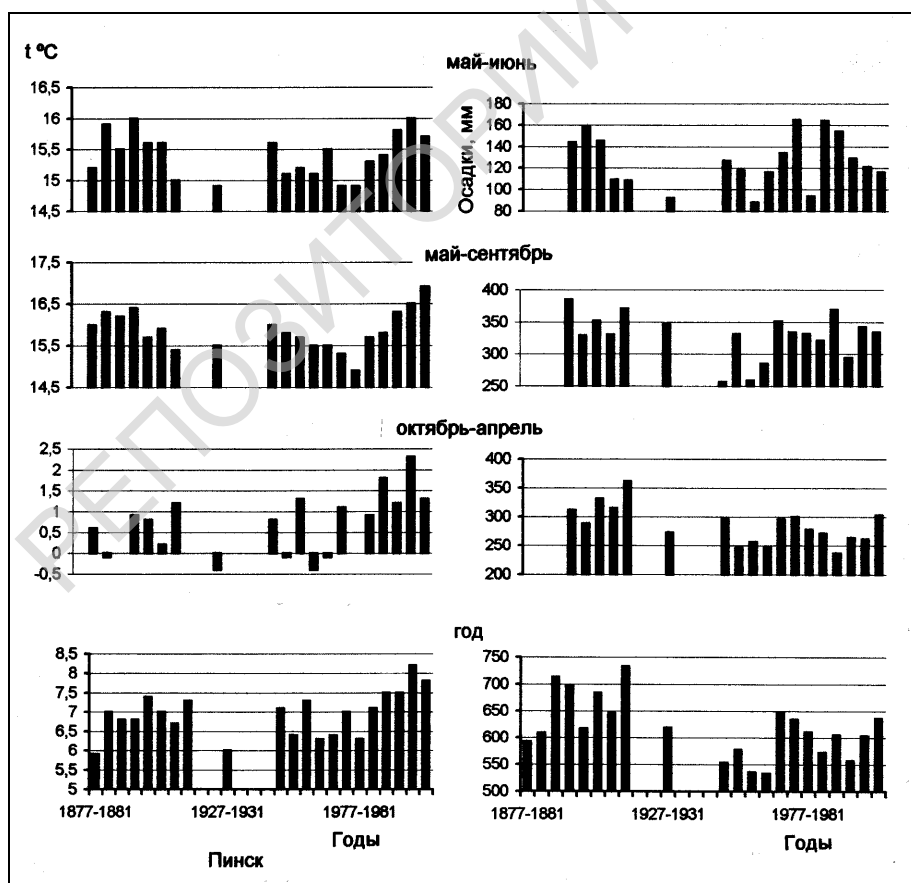


Рисунок 2.20 – Пятилетние изменения температуры ( $t$  °С) и осадков на метеостанции Пинск.

Здесь также прослеживаются две климатические эпохи со своими фазами похолодания и потепления. Благодаря потеплению в последней четверти XX в. вторая эпоха незначительно (на 0,3 °С) стала теплее, чем первая (таблица 2.16).

Таблица 2.16 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Пинск.

Годы	t °C				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1876–1906	15,7	16,2	0,4	7,0	.	.	.	681
1907–1940	15,2	15,5	0,3	6,6	119	360	312	672
Средние за первую эпоху	15,4	16,0	0,4	6,9	137	382	311	678
<b>Вторая эпоха</b>								
1945–1976	15,2	15,6	0,5	6,8	124	304	272	576
1977–2006	15,5	15,8	1,2	7,2	134	332	265	593
Средние за вторую эпоху	15,3	15,7	0,8	7,0	128	317	266	583
<b>Весь период наблюдений</b>								
1876–2006	15,3	15,8	0,7	7,0	129	339	284	625

На Белорусском Полесье в 1962 и 1974 гг. количество осадков не было значительным, чтобы вызвать затопление не только пойм, но и первой надпойменной террасы. По наблюдениям на метеостанции Василевичи в 1962 г. выпало 649 и в 1974г. 618 мм осадков.

При потеплении безлиственного периода (на 0,4 °C) средняя температура мая–сентября незначительно (на 0,2 °C) понизилась. Осадков стало выпадать меньше на 95 мм, что составляет 86 % от их количества в первую влажную эпоху. В климате Прибужья (запад Полесья) в неустойчиво влажную эпоху также выделяются две фазы: похолодания и потепления (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Брест.

Годы	t °C				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Вторая эпоха</b>								
1945–1976	15,2	16,0	1,2	7,3	133	330	276	606
1977–2006	15,6	16,2	2,3	8,0	123	331	254	585
Средние за вторую эпоху	15,4	16,1	1,7	7,6	128	331	265	596

Наблюдения, хотя и неполные до 1945 г., на метеостанции Верхнедвинск позволяют сделать следующие выводы об динамике климата Поозерья с Западно–Двинским геоботаническим округом подзоны дубово–темнохвойных лесов. В многолетнем ходе изменчивости осадков выделяются те же эпохи, что и в средней полосе Беларуси и в Полесье (рисунок 2.21). Осадков во вторую эпоху стало выпадать несколько меньше (таблица 2.18).

Потепление после 1976 г. сопровождалось ростом температуры не только безлиственного периода, но и вегетационного за последние три пятилетия. Самым теплым оказалось предпоследнее пятилетие – средняя температура 1977–2001 г. составила 6,5 °C.

В первую эпоху самым увлажненным было пятилетие 1902–1906 гг. со среднегодовым количеством осадков 696 мм. Несколько меньше (686 мм) их выпадало в 1932–1936 гг. В начале фазы похолодания климата во вторую эпоху меньше всего осадков (в среднем за год 536 мм) пришлось на 1947–1951 гг. Окончание этой фазы завершилось также малой увлажненностью: среднегодовое количество осадков в 1972–1976 гг. составило только 539 мм. При потеплении климата два пятилетия отличились наибольшим выпадением осадков; 695 мм в 1972–1976 гг. и 704 мм в 1997 – 2001 гг.

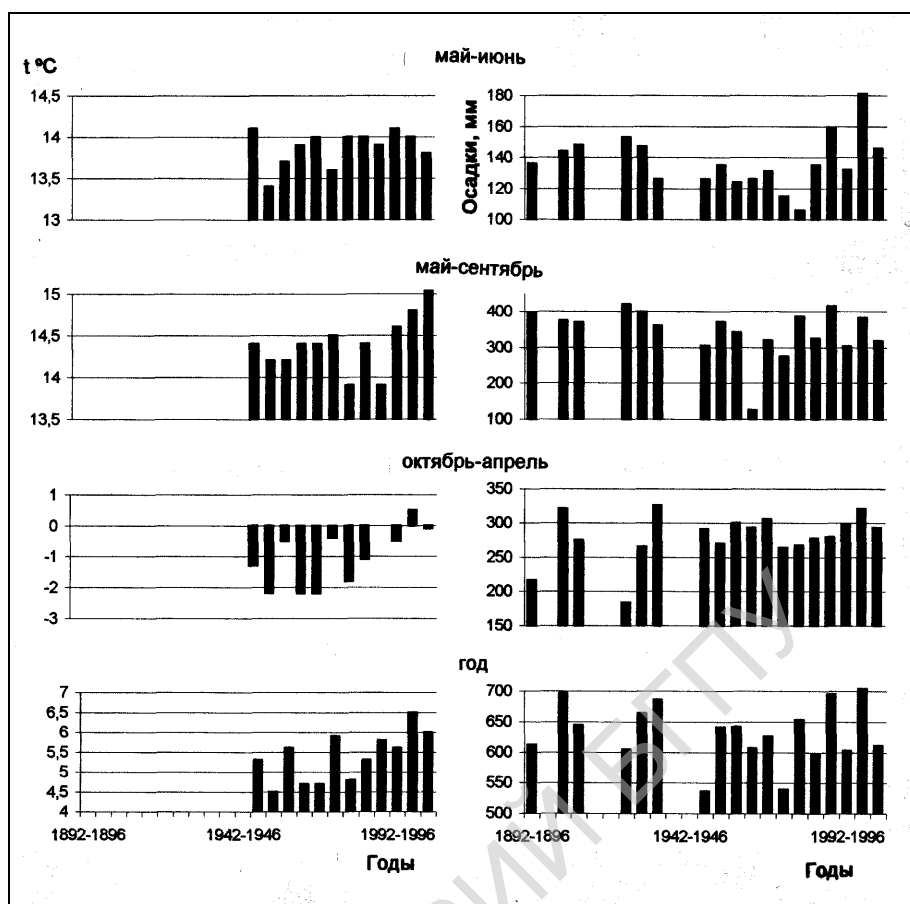


Рисунок 2.21 – Пятилетние изменения температуры ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и осадков на метеостанции Верхнедвинск.

Таблица 2.18 – Показатели изменчивости климата по наблюдениям на метеостанции Верхнедвинск.

Годы	$t^{\circ}\text{C}$				Осадки			
	V-VI	V-IX	X-IV	Год	V-VI	V-IX	X-IV	Год
<b>Первая эпоха</b>								
1892–1940	.	.	.	.	135	371	273	644
<b>Вторая эпоха</b>								
1946–1976	13,8	14,4	-1,5	5,1	127	325	286	601
1977–2006	14,0	14,5	-0,5	5,6	143	354	290	644
Средние за вторую эпоху	13,9	14,4	-1,0	5,4	135	340	288	622
<b>Весь период наблюдений</b>								
1892–2006	13,9	14,4	-1,0	5,4	135	351	283	629

Динамике климата во всех природных регионах Беларуси свойственны общие закономерности, единообразно проявляющиеся независимо от их географических особенностей. Эти общие закономерности вписываются в общую картину существования двух климатических эпох на всей территории Беларуси со своими фазами похолодания и потепления.

### 3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ НА ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ

#### 3.1 Периодичность пожаров на верховых болотах Белорусского Полесья

Верховые болота, как и других типов, выполняет две основные функции в природе: накопление органического вещества (торфа) и регулирование водного режима сопредельных территорий, особенно с песчаной литологической основой. Вместе с тем, они являются неотъемлемым признаком устойчивости экологической ситуации, прежде всего, в лесных регионах.

Верховые болота со своим багульниково-сфагновым покровом и ягодными растениями (клюквой и голубикой) под угнетенной сосной должны отражать устойчивое состояние природной обстановки. Потеря их естественного облика служит диагностирующим признаком происходящих изменений в физико-географических условиях и экологическом состоянии природной среды.

Как известно, верховые болота повсеместно находятся в ожидании двух бед – пожаров и осушительной мелиорации на сопредельных переувлажненных сельскохозяйственных угодьях. Они обладают высокой горимостью. При пожарах вместе с кустарничково-моховым покровом погибает сосна, в дендрокольцевой хронологии которой заключена информация о происходящих изменениях в ее местонахождении.

Мониторинг состояния верховых болот стал особенно актуален сейчас при возросшей антропогенной нагрузке на них в изменяющихся климатических условиях. По реакции сосны, основной лесобразующей породой на них, можно получить информацию о благоприятности или неблагоприятности тенденций в изменении климата и других условий внешней среды не только для самих болот, но и лесного фонда в целом.

Пожароопасность на них возрастает с появлением сухих лет. Недобор осадков в такие годы приводит к снижению приповерхностных грунтовых вод, что отражается на состоянии и продуктивности лесных сообществ. Фиксирование лесоболотных пожаров в историческом аспекте позволяет реконструировать периодичность погодно-климатических изменений и, соответственно, состояние лесов.

Пожары на болотах, особенно омбротрофных (от греческого *ombros* – дождь) верховых, в наши дни стали практически ежегодной реальностью, масштаб проявления которой зависит не только от усилий по их предотвращению. Их частота определяется комплексом взаимосвязанных условий метеорологического порядка (прежде, засушливостью года) и антропогенными факторами – осушительной мелиорацией и небрежным обращением с огнем.

Летопись пожаров запечатлена в сохраняющихся после очередного возгорания обуглившихся или почерневших годовых кольцах сосны – единственной лесобразующей породы на верховых болотах Беларуси. Годовые кольца уцелевших деревьев, которые растут 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 одностороннем повреждении ствола внутри него «консервируются» наружное поврежденное кольцо.

Не на всех верховых болотах происходит подобная «запись» пожаров: как правило, древостой сосны погибает в огненной стихии. Из исследованных болот в Полесье (гидрологический заказник «Выгонощенский», Брестский, Ганцевичский, Калинковичский, Октябрьский и Светлогорский лесхозы) только на двух удалось проследить периодичность возникновения опустошительных пожаров и время появления современных поколений сосны на них.

Первое из них расположено в урочище «Красная корчма» на междуречье канализированных малых рек Ипы и Жердянки (в 10 км западнее Светлогорска). В настоящее время его занимает разновозрастный сосняк багульниково-сфагновый. Метровая торфяная залежь подстилается кварцевыми песками. Среди современного 20-летнего густого поколения сосен сохранились отдельные деревья в возрасте от 55 до 170 лет, диаметром от 22 до 36 см и высотой от 12 до 18 м.



Образцы древесины (керна) были отобраны возрастным буровом в октябре 2008 г. у 52 здоровых, без внешнего повреждения деревьев.

Другое из репрезентативных верховых болот принадлежит восточной окраине одного из крупнейших болотных массивов в Полесье – Выгонощенского. Верховые мелкозалежные болота здесь («Качайка», «Гроды», «Подвеликий лес») никогда не осушались, сильно обводнены и местным населением используются для сбора клюквы. Из-за частых пожаров возраст сосны на торфопокрытой территории не превышает 30 лет. Великовозрастные деревья сохранились только на «островах» без выгоревшего торфяного слоя, незначительно (на 10–20 см) приподнятых над поверхностью болот. На таких «островах» с багульниково-сфагновым сосняком образцы древесины в количестве 44 керна были отобраны в сентябре 2007 г. у великовозрастных (185 лет) ветровальных (последствие урагана) деревьев и у сохранившегося после пожаров древостоя в возрасте от 60 до 145 лет.

Ширина годичных колец измерялась на микроскопе МБС. Для выявления зависимости пожаров от климатических условий применен основной метод в дендрохронологии – сопоставление. Для характеристики климатических условий привлечены результаты наблюдений на метеостанциях Белгидромета.

В периодичности возникновения болотных, как и лесных, пожаров необходимо учитывать исторический аспект, от которого во многом зависела экологическая ситуация как в прошлом, так и в настоящее время. До XIX в. леса Полесья находились под охраной «Устава на волоки» – законодательного акта, действовавшего в Великом Княжестве Литовском, а затем Речи Посполитой и предусматривавшего их использование в качестве охотничьих угодий.

Территория нынешнего Светлогорского лесхоза входила в состав Пинско-Березинского Полесья с труднопроходимыми болотами и нетронутыми лесными массивами [79]. После второго раздела Речи Посполитой в 1793 г. эта территория отошла к Российской империи, но продолжал действовать запрет на рубку леса [186]. Стратегические в экономическом и военном отношении интересы России определили необходимость освоения лесных ресурсов Полесья. Основные причины вырубki лесов заключались в безлесье осваиваемой степной части Украины, потребности Черноморского флота и экспорте леса в Сардинию, Мальту и Марсель [228]. За сплошной бессистемной вырубкой леса с накоплением огромных масс валежника последовали пожары, охватившие огромные территории.

Согласно дендрокольцевой летописи, старейшее 170-летнее поколение сосен в исследованном верховом болоте в урочище «Красная корчма» появилось после 1839 г. с аномально сильной засухой [21]. О масштабах этого пожара можно судить по почернению годичных колец до 1849 г. Радиальный прирост сосны в эти годы был максимальным (более 3,0 мм) даже при катастрофическом наводнении 1845 г. (рисунок 3.1). На других верховых болотах Полесья также обнаружен «взрыв» радиального прироста именно в эти годы.

Следующий пожар случился в 1868 г., также при аномально сильной засухе. После него появилось современное 140-летнее поколение сосен с максимальным (до 2,5 мм) текущим приростом в последующие годы. Этот пожар «отметился» почерневшими кольцами у 170-летних сосен.

Болото горело и в 1881 г. (черные кольца у 140-летних сосен), после которого появилось 116-летнее поколение. Этот год был одним из самых сухих в череде засушливых 1879–1892 лет. В течение его выпало только 369 мм осадков (здесь и дальше в пересчете на гидрологический год, начало которого 1 октября), причем за весенние месяцы апрель и май всего лишь 18 мм – самый низкий показатель за всю историю инструментальных наблюдений, начиная с 1878 г. в этом регионе. Следует отметить, что в это время (1873–1898 гг.) осушение болот выполняла Западная экспедиция под руководством И.И. Жилинского и Е.В. Оппокова.

Наращение стволовой массы сосны на омбротрофном верховом болоте, естественно, определяется не только удобрением верхнего торфяного слоя зольными элементами, но и, главным образом, тем климатическим фоном, в течение которого на нем происходит то или иное событие.

Болота с окончания XIX в. и до 1940-х гг. развивались в течение влажной климатической эпохи, при которой среднегодовое количество осадков составляло 725 мм [97]. Их превышение над этой нормой приводило к угнетению сосны. Максимальная депрессия радиального прироста наступила с 1912 по 1924 гг. при среднегодовом количестве осадков 760 мм. В условиях влажного климата кратковременная повышенная стволовая продуктивность древостоя возникала после пожаров в засушливые годы. Так, пожар 1925 г., отмеченный в хронологии 170- и 140-летних поколений сосен почерневшими кольцами до 1930 г., отразился в увеличении радиального прироста.

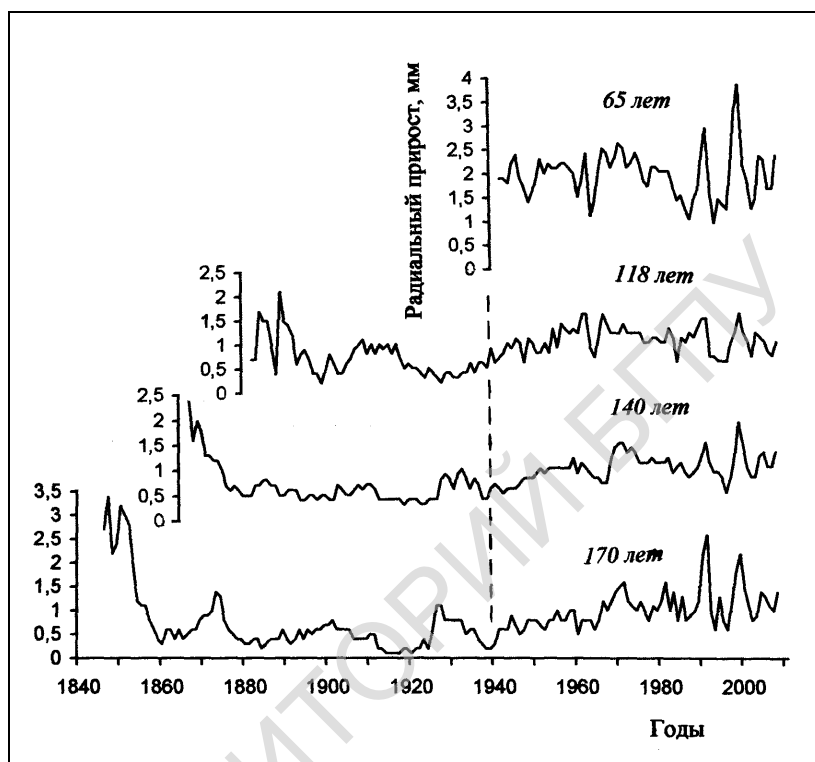


Рисунок 3.1 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте в урочище «Красная корчма». Вертикальной штриховой линией показан 1940 г.

После 1940 г. с наступлением неустойчиво влажной климатической эпохи (среднегодовое количество осадков 625 мм) ситуация коренным образом изменилась. Радиальный прирост сосны у всех возрастных групп увеличился. Наибольшее значение он приобрел у 65-летнего поколения древостоя, появившегося с началом этой эпохи (см. рисунок 3.1).

В дендрокольцевой хронологии этого поколения, как и у 116-летних сосен, зафиксированный пожар 1959 г. не привел к заметному изменению радиального прироста. В условиях неустойчивого увлажнения и после реконструкции в 1960-е гг. осушительной сети в водосборах Ипы и Жердянки, радиальный прирост стал определяться условиями атмосферного увлажнения. Его депрессия в 1963–1964 гг. обязана существенному недобору осадков (416 и 459 мм).

Экспрессия прироста у всех возрастных групп произошла в 1990 г. с 811 мм осадков (за вегетационный период 518 мм). Подобное увеличение стволовой продуктивности в 1999 г. также связано с высокой увлажненностью – за год выпало 788 мм осадков (за вегетационный период 457 мм). Угнетение древостоя наступило после засушливого 1992 г. (456 мм осадков). Последний пожар двадцатилетней давности был уже в изменившихся климатических условиях. Следует отметить пожароустойчивость верхового болота, выражающуюся в возрождении багульниково-сфагнового покрова и появлении нового поколения сосны.

Выгонощенский болотный массив также сформирован на кварцевых песках, обладающих особыми водно-физическими свойствами, прежде всего высокой порозностью. При условии

увлажнения атмосферными осадками в мелкозалежных болотах не создаются устойчивые анаэробные условия, подавляющие развитие корневых систем и, следовательно, угнетение древостоя. Растения больше страдают от избытка воды в почве, чем от недостатка кислорода.

Кривая радиального прироста великовозрастных сосен на этом массиве имеет сложное изменение во времени (рисунок 3.2) и не напоминает кривую большого роста с максимальным размером годовичных колец в возрасте 20–40 лет.

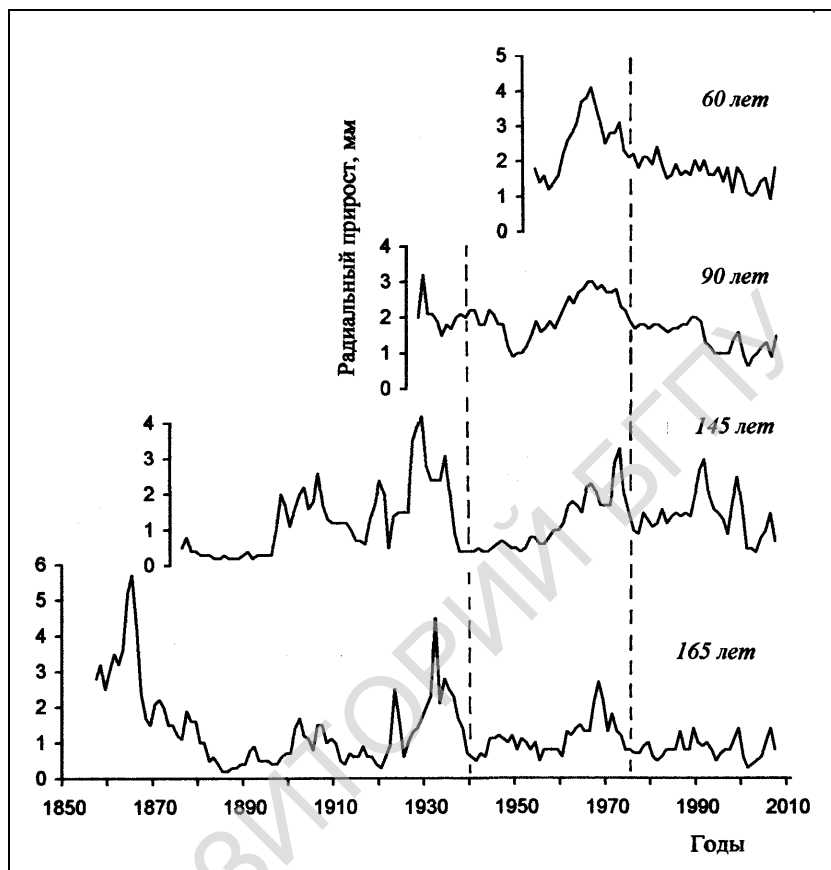


Рисунок 3.2 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховых болотах Выгонощенского массива. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Максимальный радиальный прирост 165-летних сосен пришелся на 1860-е гг., когда на Полесье шли беспросветные холодные дожди с сильнейшим наводнением 1861 г. [21]. Ширина годовичных колец в 1864–1865 гг. (5,2–5,7 мм) превысила его современное значение на автоморфных песчаных почвах [226]. Такое увеличение стволовой продуктивности сосны в болотном экотопе могло быть только после предшествующего пожара. В годы с сильными засухами (1868 и 1874 гг.) наступало угнетение радиального прироста до минимальных значений (0,1 мм) точно так же, как и в засушливом 1886 г. (499 мм осадков).

В целом, во влажную климатическую эпоху, наступившей после 1940 г., радиальный прирост сосны на сырых кварцевых песках был более значим, чем в условиях сокращения осадков. Особенно это характерно и для 1931–1933 гг., когда в среднем за год выпало 746 мм. осадков.

Наибольшее угнетение древостоя в фазу похолодания климата (1940–1976 гг.) наступило в ее первую половину (до 1960 г.) с наибольшим недобором осадков (в среднем за год 561 мм). При их увеличении (до 593 мм) во вторую половину этой фазы (1961–1975 гг.) состояние насаждений улучшилось, отразившись в увеличении стволовой продуктивности. С потеплением климата (после 1976 г.) с одновременным сокращением суммарной солнечной радиации состояние всех возрастных групп сосен ухудшилось (см. рисунок 3.2).

В изменявшихся климатических условиях XIX и XX вв. уменьшение увлажненности верхового болота на кварцевых песках сопровождалось угнетением сосны. Понижение грунтовых вод в данном случае приводило к неизбежному угнетению ее насаждений, не смотря на «взрывы» радиального прироста после пожаров.

Подводя итог дендрохронологическому и дендроклиматическому анализу изменчивости радиального прироста сосны на омбротрофных верховых болотах с учетом периодически возникающих пожаров, следует отметить его значение для реконструкции происходивших изменений в природной обстановке полесского региона в течение двух последних столетий. Именно за эти столетия юг Беларуси превратился в напряженный по экологическому состоянию регион. Связывать это превращение только с крупномасштабной осушительной мелиорацией по сути неверно. Дендрокольцевая реконструкция развития верховых болот может оказаться полезной для принятия решений в природоохранной сфере региона.

### **3.2 Верховые болота как индикатор изменчивости природной среды в восточной части Белорусского Полесья в XVIII–XX веках**

Происшедшие изменения в природе Полесья в настоящее время нередко связываются с влиянием на нее мелиоративных работ на их заключительном этапе в 1966-1980 гг. Постоянное подчеркивание этого антропогенного фактора не способствует решению возникающих проблем с охраной и воспроизводством 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.

Отдельные попытки осушения болот предпринимались еще в XVIII и в первой половине XIX вв. Наиболее масштабные мелиоративные работы были выполнены Западной экспедицией И.И. Жилинского в 1873-1898 гг. в восточной части Полесья. За 25 лет в восточной части Полесья было прорыто 4367 верст каналов и осушено около 1,5 млн. десятин болот и заболоченных земель. На завершающем этапе (1966-1980 гг.) переустройство осушительных систем и новое мелиоративное освоение переувлажненных земель уже осуществлялось с привлечением немалого исторического опыта и результатов исследований по оценке влияния выполненных работ на природную среду региона [91].

Это осушение и вырубка лесов породили ряд проблем экологического порядка (изменение погодно-климатических условий и водности рек, образование небольших по площади «сахар» и др.), дискуссия по которым стала наиболее активной именно на завершающем этапе преобразования природной среды. Хозяйственная значимость мелиоративных работ не вызывала сомнений. Их экологическая ревизия обострилась именно на заключительном этапе, когда экономический эффект не отвечал ожидаемым результатам, а трансформация природной среды стала очевидной.

Хвойные леса из современных поколений сосны и ели сформировались уже после широкомасштабного осушения в последней четверти XIX в. По этой причине следовало бы ожидать изменения в природе региона именно в то время, а не на этапе их завершения во второй половине XX в. По всей видимости, ресурсные и экологические проблемы связаны не только с завершением мелиоративных работ, но и со всей их предшествующей историей.

Как представляется, в XX в. и наступившем XXI в. естественное развитие природы региона происходило на фоне ее наследованной антропогенной трансформации. В частности, мелиоративные работы в 1950-1960-х гг. не оказали существенного влияния на продуктивность лесных массивов и на синхронность изменений текущего прироста древостоя (типы леса – сосняк черничный, с. долгомошный, с. мшистый) как в предполагаемой зоне снижения грунтовых вод, так и за пределами этой зоны [99].

Трансформация природной среды была вызвана, прежде всего, изменением гидрогеологических условий в результате повсеместного (на сопредельных с осушаемыми болотами территориях с некоторым запаздыванием) понижения приповерхностных грунтовых вод. Это понижение не только определило дальнейшую экологическую судьбу лесных экосистем, но и

оказало заметное влияние на сельское хозяйство, переводя его с переосушенных песчаных почв (бывших «мокрых песков») на торфяники и мелиорированные заболоченные земли.

Восстановить летопись происходивших изменений в природной среде региона можно по многолетнему ходу изменчивости радиального прироста лесных пород, который выступает в роли свидетеля этих изменений. К сожалению, великовозрастные насаждения на Полесье после сплошных рубок в XIX и XX вв. практически не сохранились. Вероятнее всего их можно встретить на верховых болотах 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, а древостой сосны на них не представлял интереса для заготовки древесины.

Сосны с наибольшим на Полесье возрастом нами выявлены на верховом болоте у с. Крюки Светлогорского района. Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Среди 37 деревьев, у которых в 2005-2006 гг. на высоте 0,5 м возрастным буровом отобраны образцы древесины, оказались: 1 – в возрасте 305 лет (вероятно, это предельный возраст сосны на верховых болотах Полесья), 6 – 250, 8 – 140, 15 – 115 и 7 – 85 лет. У всех возрастных групп диаметр ствола 12-14 см при высоте деревьев в 10-12 м. Великовозрастные экземпляры отличались от молодых (115 лет и меньше) зонтикообразной кроной. Именно по этой жизненной форме осуществлялся поиск великовозрастных деревьев (их оказалось немного). Древостой на других исследованных болотах в Светлогорском, Октябрьском и Калинковичском лесхозах, как правило, не превышал 100-120 лет. Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны представлен на рисунке 3.3.

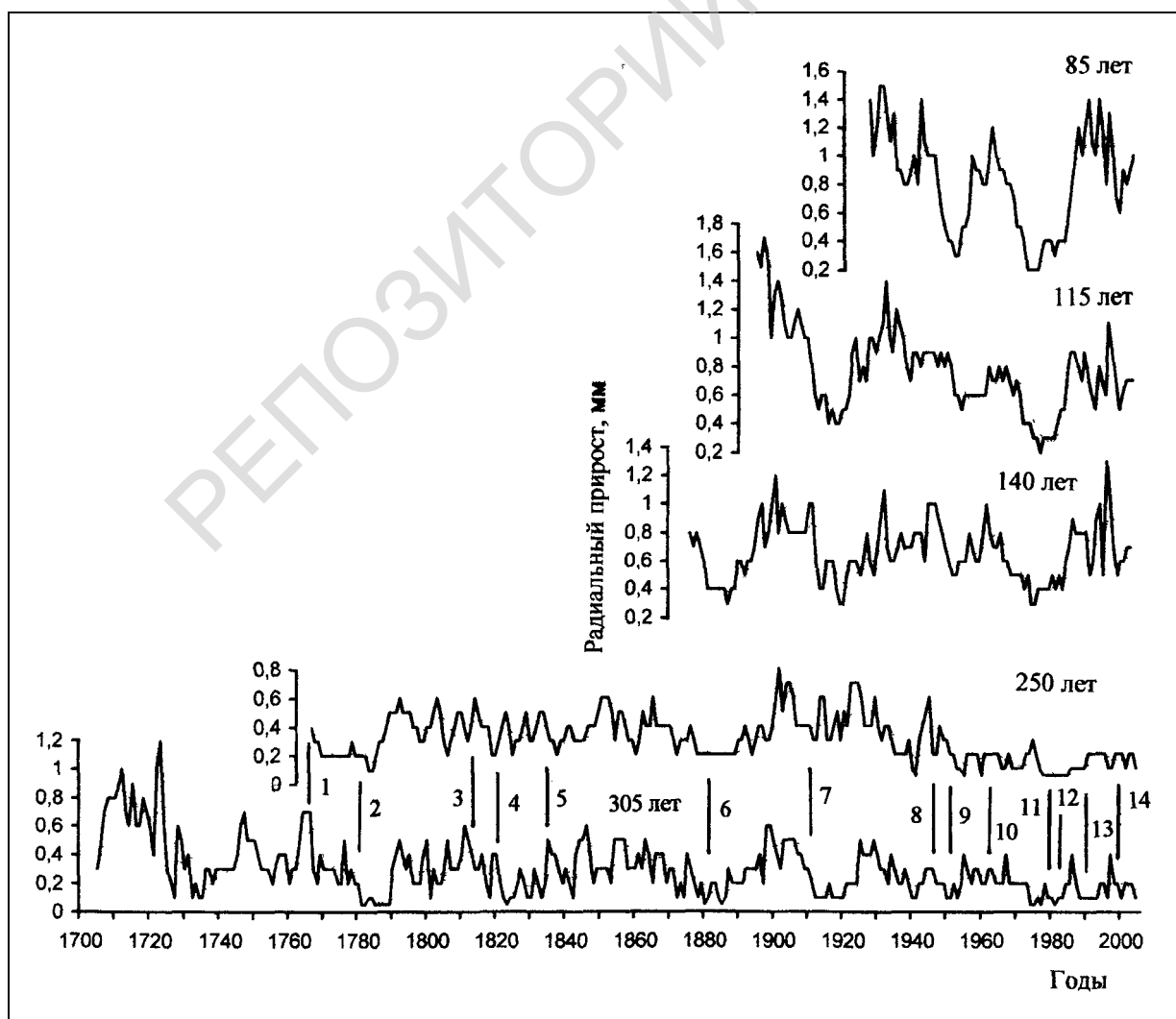


Рисунок 3.3 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп

сосны на верховом болоте у села Крюки. Вертикальными линиями показаны извержения вулканов: 1 – Геклы, 2 – Лаки, 3 – Тамборы, 4 – Голунгунга, 5 – Косигуины, 6 – Кракатау, 7 – Катмай, 8 – Геклы, 9 – Ламингтона, 10 – Агунга, 11 – Святой Елены, 12 – Эль-Чичина, 13 – Пинатубо, 14 – Геклы.

Как известно, сосна обладает широким диапазоном толерантности к экологическим факторам. Ее реакция на их изменчивость определяется географическим положением, включая региональные и локальные условия. Выделение того или иного фактора во флуктуации радиального прироста сосны на верховом болоте затруднено постоянным переувлажнением, бедностью и высокой кислотностью субстрата (торфа).

Превалирование водного и эдафического фактора в стволовой продуктивности сосны не исключает влияние вулканических извержений на изменчивость радиального прироста. Хотя это влияние из-за природных особенностей экотопа ослаблено, оно проявляется в циклическом появлении депрессии после их извержения (более подробно влияние вулканических извержений на хвойные леса Беларуси рассмотрено в разделе 4.1).

Угнетение древостоя 305-летних сосен на исследованном верховом болоте после 1730-х гг., по всей видимости, связано с нарастанием увлажненности и ухудшением погодно-климатических условий. Наибольшая депрессия радиального прироста (0,05 мм) в 1780-е гг. последовало после извержения Сакурадзимы в 1779 г., Ассамы в 1782 г. и Лаки в 1783 г. Извержение Тамборы в 1815 г. вызвало угнетение прироста в 1817 г. а Гулингунга в 1822 г. – более продолжительную трехлетнюю депрессию до 1826 г.

Продолжительная депрессия радиального прироста у 305-, 250- и 140-летних сосен последовала за извержением Кракатау в 1883 г. На извержение Катмая в 1912 г. и Лассен–Пик в 1915 г. сосна на болоте отреагировал своим угнетением, особенно глубоким у 115-летних сосен. Депрессия радиального прироста, особенно заметная у менее возрастных поколений сосны, в 1950-е гг. вызвана извержениями Геклы в 1947-1948 гг. и Ламингтона в 1951 г. (с палящей тучей). Извержение Арекаля с огромной палящей тучей и Святой Елены в 1980 г. и Эль-Чичона в 1982 г. привели к продолжительной депрессии радиального прироста. Крупномасштабное извержение Пинатубо в 1991 г. не было столь результативным в радиальном приросте сосны на болоте.

Отражение извержения вулканов, как нигде проявившееся на исследованном болоте, по всей видимости не затушено последствиями пожаров и осушительной мелиорацией. На болоте не обнаружены признаки пожаров и об их вероятном отсутствии свидетельствуют сохранившиеся великовозрастные (250–305 лет) деревья.

В многолетнем ходе стандартизированных индексов радиального прироста, определенных с применением пятилетнего скользящего сглаживания (рисунок 3.4; для 305-летнего дерева они не рассчитывались), выделяются кратковременные периоды (до 1780 г., 1879-1890 гг. и др.) без их изменчивости. Коэффициент чувствительности ( $Kч$ ) сосны к климатическим факторам [278] во временные отрезки, указанные на рисунке 3.4, изменялся от 0,33 до 0,57.

При похолодании и сокращении осадков в 1941-1976 гг. не сохранялась эта относительно высокая чувствительность насаждения к климатическим факторам ( $0,15 < Kч < 0,32$ ). Однако кросскорреляционный анализ не выявил статистически значимой зависимости фактического (в мм) радиального прироста и его индексов (в %) от температуры воздуха и осадков за гидрологический год и его вегетационный и безлиственный периоды, как за весь период роста и развития насаждения, так и за климатические эпохи.

Пока предпринималось мало попыток привлечь радиальный прирост сосны на верховых болотах в дендрохронологических и дендроклиматических исследованиях. В нашем случае ее угнетенность не послужила препятствием для получения информации об изменении природной среды Полесья после работы Западной экспедиции. Осушение, прежде всего, сказалось на водном режиме территории, что привело к уменьшению обводненности верховых болот в локализованных понижениях на песчаных междуречьях. А это, в свою очередь, на улучшении лесорастительных условий.

Средний радиальный прирост деревьев 305- и 250-летнего возраста в XVIII и XIX вв. был равен 0,3 мм. Позднее он также составил 0,3 мм, не смотря на его незначительное увеличение с возросшей вариабельностью в первой половине XX в.. Причина этого постоянства заключена не только в гидрофильности и бедности эдафотопа, но и в возрасте древостоя. Следует отметить, что Мафусаил полесских сосновых лесов благоденствовал в первой четверти XVIII в., на что указывает его максимальный радиальный прирост, вероятнее всего, в засушливых погодноклиматических условиях.

Между появлением 250-летних сосен и 140-летнего поколения существовал достаточно длительный (более 100 лет) временной разрыв, для которого не обнаружены деревья данного промежуточного возраста. По всей видимости, это связано с высокой обводненностью болота, которая исключала возможность массового появления всходов сосны. В частности, в XIX в. произошло несколько знаменательных событий, иллюстрирующих его погодноклиматические условия: максимальная обводненность региона при холодной стадии Фернау [97], крупнейшие наводнения в 1845 и 1861 гг., непрекращающиеся холодные дожди в десятилетие 1860-х гг., перенаполнение болот водой и затопление сенокосов и пашен в дождливые 1876-1879 гг. [41, 78]. Эпизодически возникающие засушливые годы не могли существенно повлиять на состояние природной среды региона в этот период.

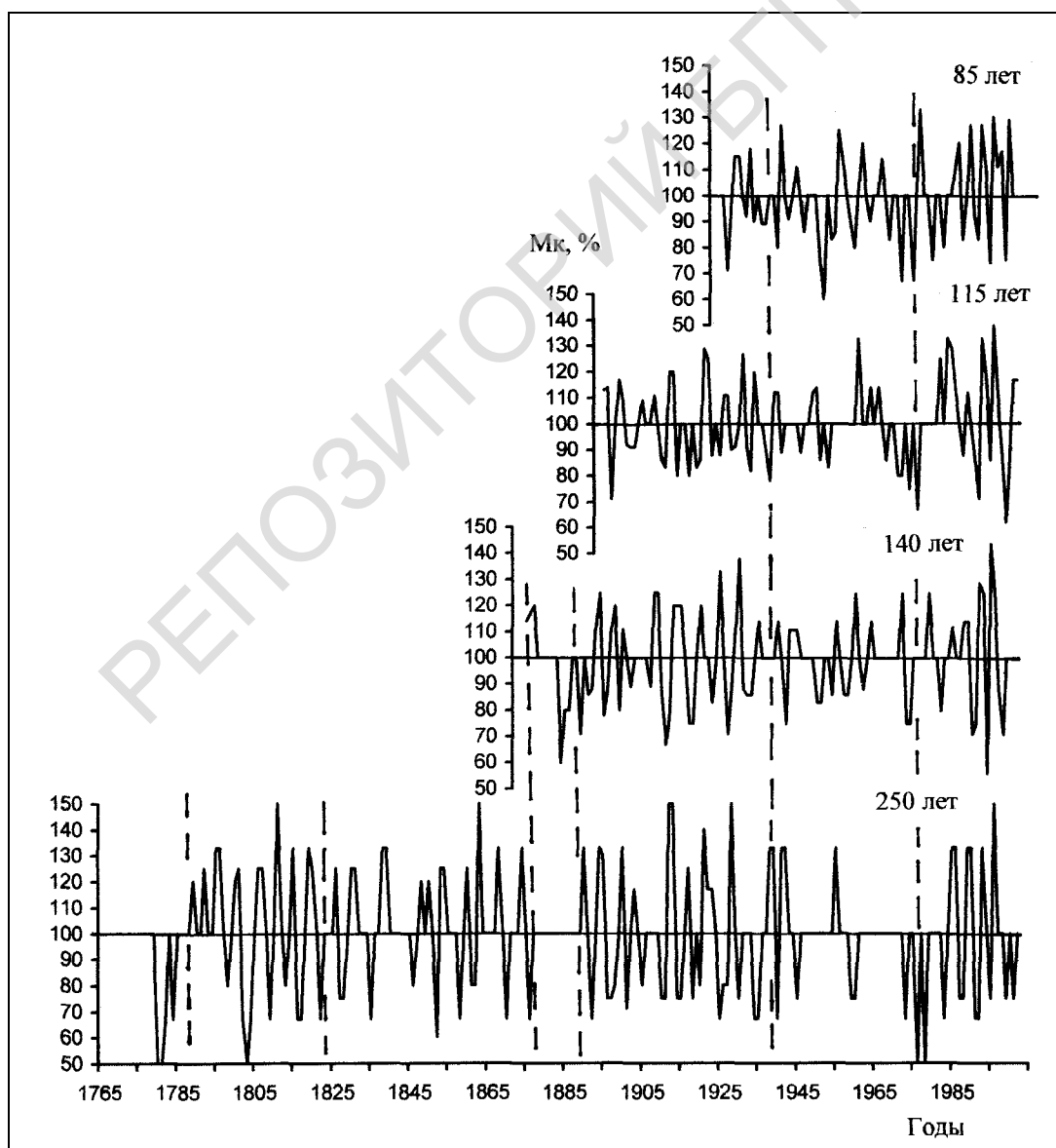


Рисунок 3.4 – Многолетний ход изменчивости индексов (Мк) радиального прироста возрастных групп сосны на верховом болоте. Вертикальные штриховые линии делят ряды на отрезки, различающиеся по их структуре.

Работа Западной экспедиции проходила в условиях нарастающей увлажненности Полесья вплоть до рекордного выпадения осадков в 1906 г. (в Василевичах 1115 мм). На завершающем этапе во второй половине XX в., наоборот, количество осадков сокращалось. Как представляется, осушение болот в последней четверти XIX в. привело к повсеместному понижению приповерхностных грунтовых вод. «Подсыхание» верховых болот создало условия для появления на них новых поколений сосны с большей стволовой продуктивностью в создавшихся лесорастительных условиях.

Текущий радиальный прирост у этих поколений значительно превысил 0,3 мм при возросшей его вариабельности. Среднегодовалая ширина годичных колец у 140-летней группы деревьев составила 0,68 (стандартное отклонение  $\sigma = 0,20$ ), у 115-летней – 0,78 ( $\sigma = 0,30$ ) и у 85-летней – 0,82 мм ( $\sigma = 0,35$  мм). Одновременно прекратилось угнетение ели в островных локалитетах (тип леса – ельник черничный) на территории нынешних Светлогорского и Октябрьского лесхозов [3].

В западной части Полесья, где не проводилось осушение болот Западной экспедицией, длительное (в XIX и в первой половине XX в.) угнетение сосны на верховых болотах и «островных» ельников продолжалось до начала 1940-х гг. – до сокращения осадков при наступлении неустойчиво влажной климатической эпохи. Увеличение стволовой продуктивности сосны на верховом болоте у с. Крюки выступает как индикатор произошедших изменений в водном режиме той части Полесья, в которой накануне XX в. были выполнены крупномасштабные осушительные работы.

В изменяющихся погодно-климатических условиях XX в. наиболее значимая депрессия радиального прироста, как отмечалось, наступала в 1910-е гг., в первой половине 1950-х и в середине 1980-х гг. после извержения вулканов у минимумов солнечной активности в 11-летних циклах (извержения вулканов каким-то образом связано с солнечной активностью). Выявленный Т.Т. Битвинским [17] 22-летний цикл в изменчивости ширины годичных колец у сосны на верховом болоте, особенно четко проявился у 85-летней группы деревьев. Вероятнее всего природа данной цикличности связана не с солнечной активностью, а с извержением вулканов и вызываемыми ими погодными аномалиями в конкретные годы различающиеся по увлажненности эпох.

Как правило, за извержением вулканов следует кратковременное похолоданием с увеличивающимся выпадением осадков. При влажном климате увеличение осадков приводит к возросшей и продолжительной переувлажненности болотного экотопа, которая при более низких температурах еще больше угнетает стволовую продуктивность древостоя. Так, падение радиального прироста в 1910-е гг. вызвано перебором осадков (в среднем за год 743 мм, в 1916–1917 гг. – 772 мм) при влажной климатической эпохе (716 мм).

С наступлением неустойчиво влажной эпохи (612 мм осадков) угнетение сосны в первой половине 1950-х гг. связано с засушливыми годами: 1950-м (546 мм), 1951-м (495 мм), 1952-м (487 мм) и 1954-м (482 мм осадков). На возникновение наиболее значимой депрессии прироста в середине 1970-х гг. могло оказать влияние подтопления болота при осенне-зимнем наводнении 1974-1975 гг. Подтверждением тому, что в условиях неустойчивого увлажнения осадки стали лимитирующим фактором в изменчивости стволовой продуктивности сосны, служит его экспрессия в 1997 г. (707 мм) и депрессия в 2000 г. (588 мм).

Первый опыт привлечения кольцевой хронологии разновозрастного древостоя на верховом болоте оказался полезным для получения новой информации об изменении природной среды региона до и после крупномасштабной осушительной мелиорации. Необходимость охраны верховых болот на Полесье с великовозрастным (до 300 лет и более) древостоем сосны очевидна не только для экологического мониторинга, так и для принятия решений в области природопользования.

### **3.3 Радиальный прирост сосны на верховом болоте в западной части Полесья вне зоны влияния мелиоративной сети на уровенный режим грунтовых вод**



В антропогенной динамике ландшафтов региона под влиянием осушительной мелиорации наибольший интерес представляют небольшие по площади (несколько десятков гектар) верховые болота в замкнутых, овальных в плане, понижениях на междуречьях канализированных рек, заболоченные поймы которых освоены под пахотные и другие сельскохозяйственные угодья. Данные болота не способны к саморегулированию уровненного режима грунтовых вод, автономность которого в этом элементе ландшафта не может быть сохранена. Мощность торфяной залежи в таких болотах на Полесье обычно не превышает одного метра.

Прежде всего, необходимо было выявить многолетнюю изменчивость радиального прироста сосны на верховых болотах в замкнутых понижениях вне зоны влияния осушительной мелиоративной сети на их уровненный режим. Таких болот на Полесье практически не сохранилось. В качестве тест-полигона использовано верховое болото в квартале № 205 Брестского лесхоза, расположенное в 0,5 км западнее озера Белого и 0,3 км севернее дороги к турбазе «Озеро Белое».

Болото занимает понижение, вытянутое с севера на юг, в пределах Прибугской равнины. Верховой (сфагновый) торф, мощностью до 1,0 м, сменяется пушицевым (0,15 м), который подстиляется мелкозернистым песком. На период исследования (май 2001 года) грунтовые воды находились на глубине 0,3 м. Болото неоднократно горело, последний низовой пожар случился в 1987 г.

Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Кроме багульника и сфагновых мхов обычны тростник, клюква болотная, вереск обыкновенный, редко встречается голубика и пушица. Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буровом на высоте 0,5–0,7 м у 45 деревьев, сведения о которых приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Сведения о тестируемых деревьях сосны на Брестском болотном тест-полигоне

Возраст, лет	Количество деревьев, шт	Высота, м	Диаметр, см	Коэффициент чувствительности
215	1	25	18-20	-
165	13	20-25	18-20	0,13
85	6	18-22	16-18	0,20
70	11	18-22	16-18	0,16
65	7	18-22	16-18	0,19
55	7	15-18	14-16	0,19

Для дендроклиматического анализа привлечены сведения Белгидромета о метеорологических условиях (температура воздуха и осадки) на метеостанции Брест, расположенной в 30 км севернее тест-полигона. Многолетний ход изменчивости радиального прироста древостоя сосны на верховом болоте представлена на рисунке 3.5.

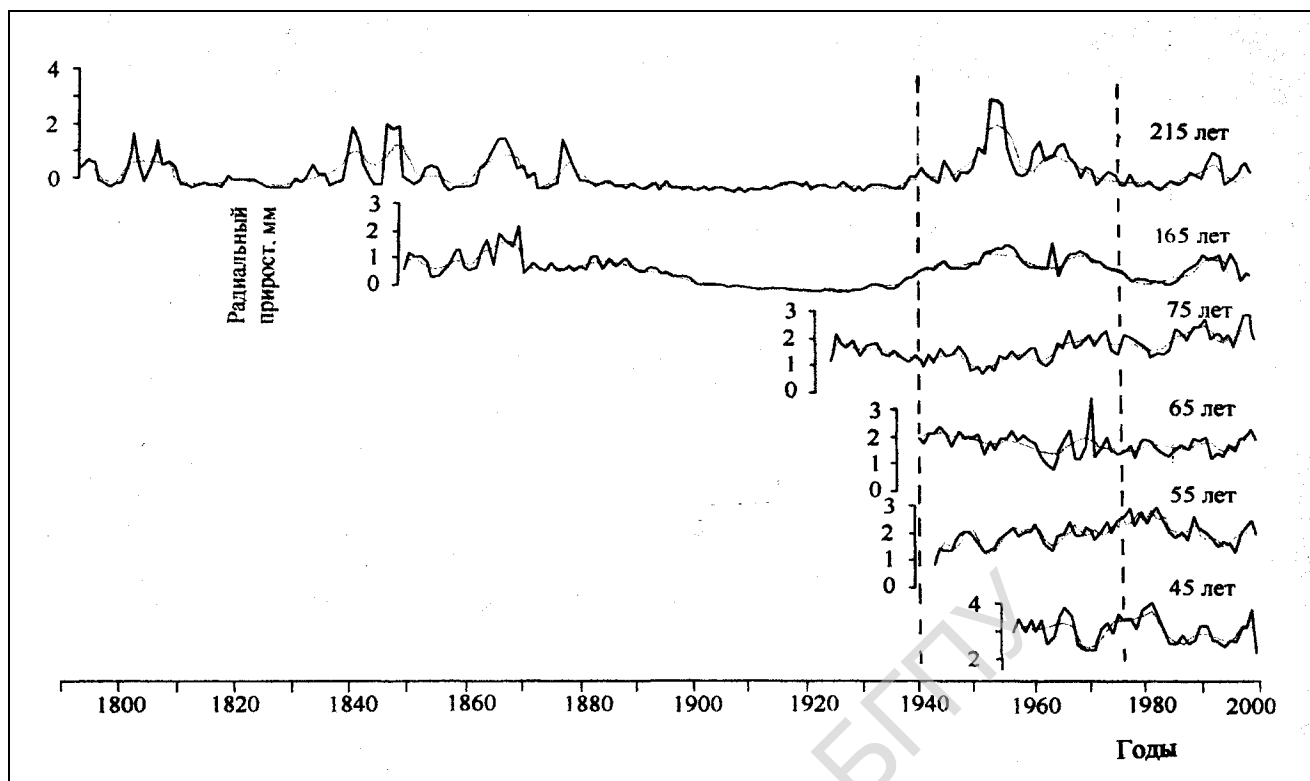


Рисунок 3.5 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосен на верховом болоте Брестского полигона. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Информация, заключённая в дендрокольцевой хронологии 215-летней сосны, интересна тем, что она дополнила представление о состоянии природной среды Белорусского Полесья при отсутствии регулярных метеорологических наблюдений. Её возраст превышает возраст старейших насаждений сосны на верховых болотах Беларуси в 180–185 лет, определённых Смоляком Л.П. [223].

В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста старейшего дерева на верховых болотах Полесья выделяется несколько этапов и переломных моментов, отвечающих географическим условиям региона. Для первого этапа, закончившегося в 1812 году, свойственно значительное колебание ширины годичных колец от 0,2 до 1,1 мм. В нём отражена, по всей видимости, их значительная погодичная зависимость от увлажнённости верхового болота в условиях холодного климата. Конец XVIII и в первое десятилетие XX в. характеризовались необычно суровыми, так называемыми «наполеоновскими зимами» и небывалыми летними засухами [21].

Во втором этапе (1813–1840 г.) наступило угнетение древостоя сосны (размер годичных колец от 0,1 до 0,4 мм), которое оказалось одновременным с резким ухудшением (начиная с 1820-х гг.) условий произрастания лесов в горах Евразии, приведшее к их значительной гибели. В горных районах материка в 1840 г. проявился наиболее глубокий экстремум в приросте лесов, который маркирует кульминацию второй волны холодной стадии Фернау [128].

От сильной засухи на Полесье в 1839 г. в условиях холодного климата начался отсчет третьего этапа развития соснового насаждения на верховом болоте, который продолжался около 40 лет и закончился в 1880 г. Неизбежное осушение болота в результате летних засух 1839 и 1868–1869 гг. вызвало быструю реакцию 215-летней сосны на улучшение условий увлажнённости, которая зафиксирована в увеличении радиального прироста (до 2,4 мм).

Годы наводнений (1845 и 1874 гг.) и затяжных холодных дождей (конец 1859-х – начало 1860-х гг.) отмечены глубокой депрессией (до 1,1–0,2 мм) в многолетнем ходе изменчивости радиального прироста дерева. В целом, неустойчивая климатическая обстановка на Полесье на фазе максимального развития квазивекового цикла солнечной активности в XIX в., выразилась в чередовании влажных и сухих лет, соответственно, переувлажнении и осушении болот, что

вызвало наивысшую изменчивость прироста дерева.

После 1880 г. наступил четвёртый более длительный, продолжительностью 60 лет, этап постоянного угнетения сосны, при котором ширина колец изменялась от 0,1 до 0,5 мм. У местных жителей сохранились воспоминания об этом периоде, как очень сыром, при котором болота были переполнены водой. Этот отрезок времени принадлежал климатической эпохе – влажной, температурно устойчивой (с небольшой амплитудой колебаний годичной температуры), с более интенсивной зональной циркуляцией воздушных масс по сравнению с меридиональной [95].

Пятый этап роста и развития сосны (1940–1976 гг.) проходил в условиях похолодания климата и сокращения атмосферных осадков по сравнению с предшествующим периодом. Именно в этом этапе сосна уже в возрасте более 150 лет, значительно увеличена радиальный прирост, который достиг максимального значения (3,2 мм) в 1945–1956 гг.

Ведущее значение атмосферного увлажнения подтверждено изменчивостью радиального прироста старовозрастного дерева и в последующие годы. Увеличение обводнённости верхового болота в результате обильного выпадения осадков только в 1960 г. (692 мм) и в 1962 г. (724 мм) привело к резкому уменьшению прироста до 0,7-1,0 мм. Сокращение осадков в последующие годы положительно сказалось на стволовой продуктивности сосны. При наступлении кратковременного периода (1970–1980 гг.) повышенной увлажнённости Прибужья произошло очередное угнетение сосны, которое прекратилось к 1990-м гг. Определённую роль при этом сыграло осенне-зимнее затопление этой территории в 1974–1975 гг. Во влажный 1995 г. (784 мм) сосна уже в 210-летнем возрасте отреагировала депрессией (0,5 мм) на увеличение обводнённости экотопа.

Поведение сосны на верховом болоте служит индикатором развития процессов заболачивания (наступления периодов повышенной обводнённости) и прекращения этого процесса (наступление осушения в результате сокращения атмосферных осадков). Каждое из старовозрастных деревьев является хранителем информации о состоянии природной среды этого региона, приповерхностные грунтовые воды в котором, определили не только развитие болотообразовательного процесса в целом, но и первичную, в том числе стволовую, продуктивность болотно-лесных экосистем.

Одной из главных причин, согласно которой на верховых болотах Полесья не сохранились старовозрастные насаждения сосны, являлись и по-прежнему являются пожары, особенно в засушливые годы. Такие опустошительные пожары, как отмечалось нередко были в XIX и XX вв.

Как представляется, оценка экологических последствий крупномасштабной осушительной мелиорации в Полесье будет некорректной без учёта естественная ритмика увлажнённости этого региона в результате изменения климатических условий. Такая ритмика выявляется исследованием изменчивости состояния тех лесных экосистем (в нашем случае лесного верхового болота), которая определяется глубиной залегания грунтовых вод именно вне вероятного влияния мелиоративных систем на их уровенный режим.

В дендрограмме группы 165-летних сосен присутствуют те же циклы изменчивости прироста, выявленные у 215-летнего дерева. Значительная флуктуированность ширины годичных колец, существовавшая в 1840–1860-х гг., прекратилась после засухи 1868-1869 гг. в течение одного года. Продолжительное угнетение этой возрастной группы сосен наступило после начавшегося резкого падения прироста (до 0,7 мм) в 1872 г. Для сравнения укажем, что в 1971 г. ширина годичных колец достигала 2,4 мм.

Угнетение группы 165-летних сосен продолжалось до 1940-х гг. Наименьший радиальный прирост (0,3 мм) за весь период их жизни пришёлся на 1913–1917 гг. Хотя продолжительное угнетение древостоя приурочено к фазе спокойного Солнца в квазивековом цикле, по всей видимости, солнечная активность не оказывала прямого влияния на состояние насаждения.

О том, что атмосферные осадки, определив увлажнённость болота, являлись ведущим фактором в изменчивости стволовой продуктивности сосен 165-летнего возраста так же, как и более старое поколение, указывает на увеличение ширины годичных колец после 1940 г. В целом, динамика изменчивости их радиального прироста синхронна, а угнетение древостоя в 1975–1985 гг. не может быть связана ни с каким-либо антропогенным фактором, в частности с осушением болот (тем более в данном случае его не было).

Существование этапов длительного угнетения (до 1940-х гг.) сосен 215- и 165-летнего

возрастов, их активного роста во второй половине XX в. отразилось в формировании специфической жизненной формы деревьев с двухъярусной кроной. Первый ярус кроны на высоте 10–12 м образуют засохшие сучья первого порядка (редко второго порядка). Такую размерность имели деревья к концу угнетения.

С улучшением лесорастительных условий начался достаточно активный рост угнетенных сосен. Одна из ветвей взяла на себя функции главного побега, рост которого в итоге завершился образованием новой кроны на высоте 20–24 м. «Старая крона» отмерла, причём образовался не прямой ствол, а изогнутый под тупым углом, на высоте этой отмершей кроны. Именно эта жизненная форма служит индикатором различных климатических условий.

Молодые поколения (85, 70, 65 и 55 лет) сосен развивались, в основном, при климатических условиях второй половины XX в. Изменчивость их радиального прироста отражает состояние среды региона именно в условиях неустойчивого увлажнения при сокращении осадков. Минимальная ширина годичных колец у 65-летнего поколения и старше – практически одинакова (0,8-0,9 мм), максимальная у 165-летнего поколения (2,3 мм) и одна и та же у остальных поколений сосны (2,9 мм), как это показано в таблице 3.2. Только у средневозрастных (55 лет) групп деревьев сосны радиальный прирост, как минимальный (2,1 мм), так и максимальный (4,0 мм) значительно превосходил свои параметры у более возрастных поколений.

Средний радиальный прирост ( $\bar{x}$ ) и его стандартное отклонение ( $\sigma$ ) имеют тенденцию к увеличению при большем возрасте древостоя. Таким образом, на верховом болоте, осушение которого произошло в результате сокращения атмосферных осадков, появившееся в этих условиях поколение обладает гораздо большей стволовой продуктивностью, чем те, которые уже росли на этом болоте. Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста возрастных групп сосен на Брестском болотном тест-полигоне приведен на рисунке 3.6. Кросскорреляционный анализ их связи с метеофакторами привёл к следующим результатам.

При похолодании климата в 1940-1976 гг. у всех поколений сосен, кроме 215-летнего возраста, выявлена реакция только на температурный фактор, причём эта реакция оказалась неоднозначной. Для старовозрастного (165 лет) поколения температурные условия вегетационного (май-сентябрь) и безлиственного (октябрь-апрель) периодов оказались противоположны по значимости.

Таблица 3.2 – Статистические показатели радиального прироста (мм) возрастных групп сосен на Брестском болотном тест-полигоне

Возраст, лет	Минимум	Максимум	Среднее ( $\bar{x}$ )	Стандартное отклонение ( $\sigma$ )
165	0,8	2,3	1,46	0,37
85	0,8	2,9	1,81	0,47
70	0,9	2,9	1,78	0,40
65	0,9	2,9	1,96	0,41
55	2,1	4,0	2,99	0,49

В вегетационный период индексы радиального прироста имели прямую зависимость от его температуры второго предшествующего года (при лаге опережения два года,  $r = 0,48$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,99$ ) и обратную от текущего года ( $r = -0,42$ ,  $P = 0,95$ ). В безлиственный период – наоборот: отрицательную корреляцию в первом случае ( $r = -0,47$ ,  $P = 0,99$ ) и положительную в последнем ( $r = 0,50$ ,  $P = 0,99$ ).

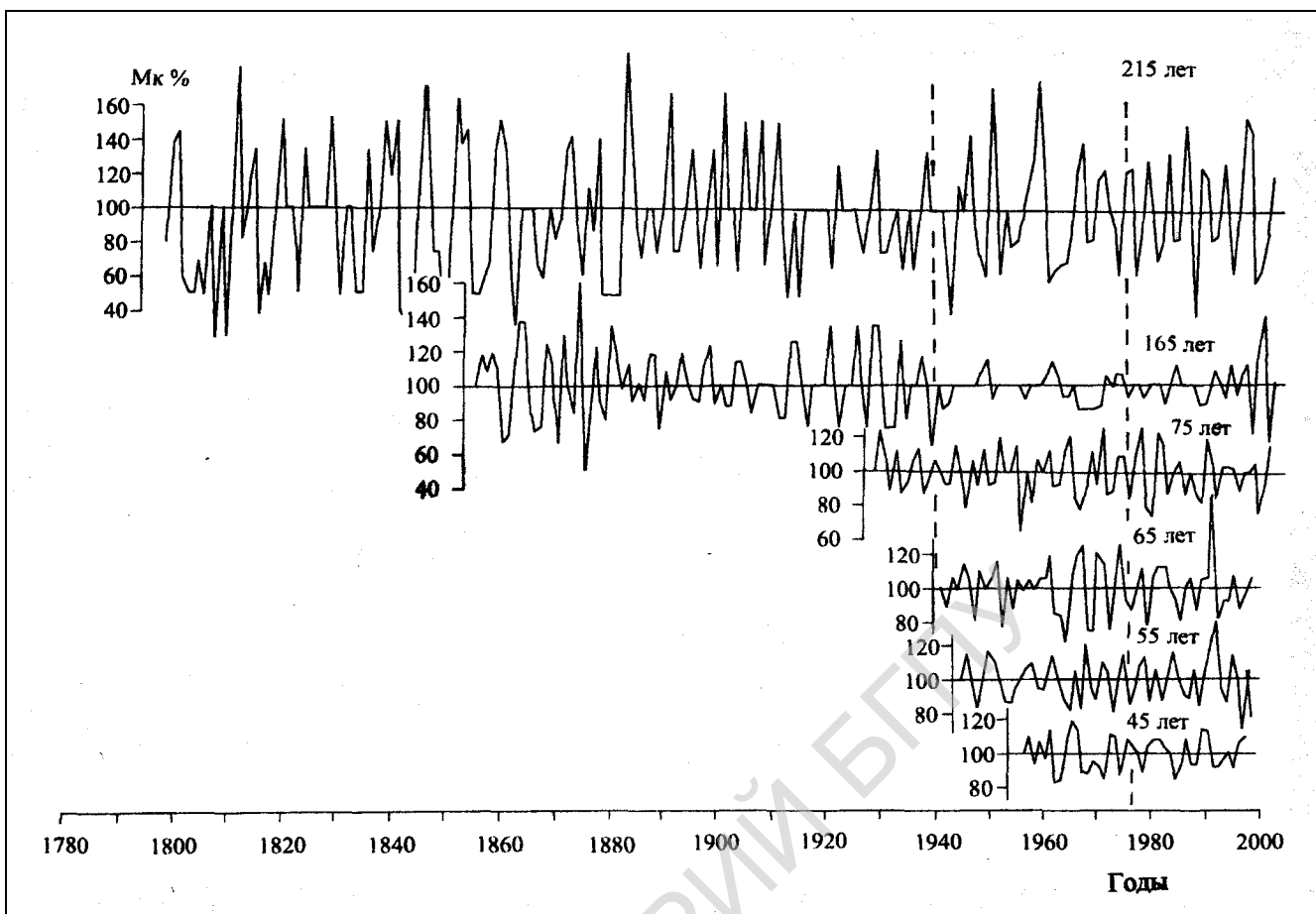


Рисунок 3.6 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста возрастных групп сосны на Брестском болотном тест-полигоне.

У группы 85-летних сосен максимальный радиальный прирост был при более высокой температуре текущего года ( $r = 0,37$ ,  $P = 0,95$ ). У 70-летнего поколения сосен нет однозначной реакции на температурные условия вегетационного и безлиственных периодов, а так же за гидрологический год в целом. Если за вегетационный период предшествующего года зависимость индекса радиального прироста отрицательная ( $r = -0,50$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,99$ ), то за текущий год связи между этими параметрами нет.

При отсутствии связи индексов радиального прироста с температурой безлиственного периода в предшествующие годы, они прямо зависели от этого метеофактора в текущем году ( $r = 0,38$ ,  $P = 0,95$ ). У 65-летних сосен индексы радиального прироста обратно зависели от температуры вегетационного периода в предшествующий год ( $r = -0,37$ , при  $n = 30$ ,  $P = 0,95$ ).

Неоднозначная реакция на вышеуказанный метеофактор и у 55-летнего поколения сосен. И в этом случае прослеживается своеобразная ритмика. В частности, если индексы радиального прироста имели отрицательную корреляцию с температурой вегетационного периода в текущем году ( $r = -0,64$ , при  $n = 31$ ,  $P = 0,95$ ), то прямая корреляция обнаружена с температурой предшествующего безлиственного периода ( $r = 0,46$ ,  $P = 0,95$ ). Изменение знака связи индексов прироста с температурой характерно и для гидрологического года в целом. Подобное явление в климатических условиях 1940-1976 гг. обнаружено так же и в зависимости индексов прироста у группы 70-летних сосен от осадков за безлиственный период. Если за предшествующий год связь между ними была обратной ( $r = -0,40$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,95$ ), то в текущем году прямой ( $r = 0,42$ ).

В целом, следует отметить, что атмосферные осадки при похолодании климата в 1940-1976 гг. не были значимы для всех поколений сосен, за исключением приведённого эпизода у 70-летнего поколения. Потепление климата в последней четверти XX в. оказался для всех поколений сосен на верховом болоте тем фоном, при котором зависимость индексов радиального прироста от температурного фактора в основном исчезла, а от атмосферных осадков незначительно выросла.

В отличие от предшествующих лет похолодания (1940-1976 гг.) индексы радиального прироста приобрели в отдельных случаях только положительную корреляцию, удовлетворяющую уровню  $P = 0,95$ , от температуры воздуха текущего безлиственного периода (165-летние насаждения,  $r = 0,44$ ), в последующем (70-летнее поколение,  $r = 0,46$ ) или в предшествующем (65-летнее поколение,  $r = 0,43$ ) году. У индекса радиального прироста нет ярко выраженной зависимости от атмосферных осадков: отмечены только эпизоды как прямой, так и обратной корреляции.

Кросскорреляционный анализ связи индексов радиального прироста с метеофакторами фаз похолодания и потепления позволил с достаточной детальностью проследить особенности этой связи при определённом климатическом фоне, когда происходит рост и развитие древостоя сосны на верховом болоте. Изменчивость индексов радиального прироста сосен разных поколений на верховом болоте за всю климатическую эпоху имеет общие закономерности в условиях неустойчивого увлажнения атмосферными осадками после их резкого уменьшения в начале 1940-х гг.

В целом, температура воздуха гидрологического года, вегетационного и безлиственного периодов во второй половине XX в. с неустойчивой климатической обстановкой, в качестве экологического фактора, оказалась более значимой, чем атмосферные осадки. В изменчивости индексов радиального прироста прослеживается как прямая, так и обратная корреляция с этими метеофакторами, удовлетворяющая уровню значимости  $P = 0,95$ , а так же изменение знака связи между анализируемыми параметрами через один-два года.

### **3.4 Радиальный прирост сосны на верховом болоте мелиорированного водосбора в Полесье**

Современное динамическое развитие болотно-лесных экосистем Полесья, отражающее промежуточный этап их изменений, происходит под воздействием, в основном, естественных, в том числе климатических, факторов, осложнённых осушением болот и заболоченных земель.

Экологические последствия мелиоративных работ должны были наиболее ярко отразиться в радиальном приросте хвойных пород (в нашем случае сосны) там, где «домелиоративный» уровень грунтовых вод находился у дневной поверхности в верхней части песчаного почвенного профиля, а сама лесная экосистема имела небольшую размерность по площади, исключающую возможность автономной регуляции уровня режима приповерхностного водоносного горизонта. Такими экосистемами оказались верховые болота в понижениях диаметром до 1,0–1,5 км с маломощной (до 1,0 м) торфяной залежью на песчаных водораздельных равнинах.

В качестве тест-полигона использовано верховое болото в урочище «Мох–Озёрский» в Светлогорском лесхозе Гомельской области. Его выбор был обоснован предварительным сбором информации о состоянии верховых болот на мелиоративных водосборах. Названное верховое болото занимает блюдцеобразное замкнутое понижение диаметром 1,5 км и расположенное в 2,5 км на северо-восток от села Язвин и в 4 км на юг-юго-запад от села Погонцы. Исследование торфяной залежи с зондированием через 50-100 м выполнено 8 апреля 2002 года. Мощность верхового сфагнового торфа (ангустифолиум-торфа) не превышает 1 м. Ниже, на подстилающих песках, залегает маломощный слой (от 10 до 15 см) пушицево-сфагнового торфа. На период исследования грунтовые воды находились на глубине 10 см.

Отличительной особенностью данного верхового болота в блюдцеобразном понижении от других подобных болот служит оз. Синее, расположенное на его северо-восточной окраине. Озеро, поперечником 200-300 м, овальной формы, имеет сплаvinу шириной 5-10 м. Наличие болота, снеговое весеннее питание определяет низкую минерализацию воды водоёма (17,8 мг/л).

Содержание «макрокомпонентов» составляет:  $\text{HCO}_3^-$  – 68 % величины общей минерализации,  $\text{Cl}^-$  – 5 %, катионы представлены кальцием и магнием. Химический состав воды озера Синее приведен в таблице 3.3.

Содержание сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ниже чувствительности метода измерения. Фосфаты и микроэлементы ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) в водной массе не выявлены. Болото является постоянным

источником гуминовых кислот, которые обуславливают, кислую реакцию воды (рН 4,9) и являются причиной высокого показателя окисляемости водной массы (22,5 мг/л) и цветности воды (100° хромово-кобальтовой шкалы).

Таблица 3.3 – Химический состав воды озера Синее по состоянию на 11.04.2002 г. (мг/л).

рН	НСО <sup>3-</sup>	Сl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Сумма ионов	Окисляемость	Цветность, град.
4,9	12,2	0,9	-	3,8	0,9	0,0	0,0	17,8	22,5	100

Гидрохимические особенности водной массы (типичный дистрофный водоём) определяют в нём очень слабое развитие жизни или даже полное её отсутствие. Зондирование торфяной залежи через 10-20 м от сплавины выявило крутое заглубление озёрной воронкообразной котловины. Образцы торфа для определения его ботанического состава отбирались непосредственно на сочленении сплавины с торфяной залежью и непосредственно со сплавины. В последнем случае пройденная мощность залежи составляет 3,0 м. Определение ботанического состава торфа выполнено в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной Академии Наук Беларуси.

В строении торфяной залежи, отражающей изменение природной среды данного региона, выделяется несколько этапов: переходное болото (2,5–3,0 м) → верховое (2,5–1,8 м) → низинное (1,8–1,5 м) → переходное (1,5–0,9 м) → верховое (0,1–0,9 м). Виды и группы видов травянистых и древесных растений, указанные в таблице 3.3, дают полное представление о смене растительности как на самом воронкообразном понижении, так и на прилегающих землях.

Вызывает особый интерес появление низинного тростниково-осокового болота, оставившего слой торфа с корой ольхи внутри торфяной залежи верхового типа. Как представляется, такая смена торфогенеза могла произойти только при изменении химического состава питающих вод. Для замкнутой малоразмерной котловины это событие, возможно, было только при длительном затоплении прилегающих территорий. В настоящее время верховое болото занято разновозрастным насаждением сосны обыкновенной. Преобладающий тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Кроме того, на торфяно-болотной почве растут голубика, пушица и клюква.

Таблица 3.4 – Строение торфяной залежи на верховом болоте в урочище «Мох-Озерский»

Глубина, м	Торф	Степень разложения, %	Ботанический состав	
			виды и группы видов	%
0,1-0,5	Ангустифолиум-торф	5 - 10	Sphagnum angustifolium Sphagnum magellanicum Пушица	90 5 5
0,5-0,9	Ангустифолиум-торф	10	Sphagnum angustifolium Sphagnum magellanicum Пушица	75 25 ед.
0,9-1,0	Пушицево-сфагновый (засолён)	40 - 45	Пушица Сфагновые мхи Кора сосны Хитин	70-85 10-25 5 ед.
1,0-1,5	Пушицевый	40	Пушица Сфагновые мхи Кора сосны Осоки	80 20 ед. ед.

			Тростник	ед.
1,5- 1,6	Тростниково-осоковый	35	Тростник Осоки Вахта Кора сосны Кора ольхи Сфагновые мхи Хитин	65 35 ед. ед. ед. ед. ед.
1,6-1,8	Тростниково-осоковый (зазолён)	40	Тростник Осоки Сфагновые мхи Хвощ Хитин	55 40 5 ед. ед.
1,8-2,0	Ангутифолиум-торф	15	<i>Sphagnum angustifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i> Зелёные мхи Шейхцерия	50 40 5 5
2,0-2,5	Шейхцериено-сфагновый	25	<i>Sphagnum angustifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i> Зелёные мхи Шейхцерия Кора ели и сосны Наяды Мшанки	40 5 5 45 ед. ед. ед.
2,5-3,0	Шейхцериено-сфагновый переходный	30	<i>Sphagnum angustifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i> Шейхцерия Осоки Хитин Гипновые мхи Кора сосны	15 10 40 30 5 ед. ед.

Для дендроклиматических исследований привлечены образцы древесины, отобранные в 2000 году у 20 деревьев возраста 80 лет (диаметр 14–16 см, высота 8–10 м) и в 2003 году у 17 деревьев возраста 55 лет (диаметр 10–12 см, высота 6–8 м). Данное количество деревьев позволило получить достаточно высокую точность определения средней ширины годичных колец для каждой возрастной группы – 10–12 %. Многолетний ход изменчивости текущего радиального прироста сосны и его индекс на верховом болоте «Мох-Озерский» представлены на рисунке 3.7.

У 55-летнего поколения сосен минимальная (1,1 мм) и максимальная (4,4 мм) ширина годичных колец почти в два раза больше, чем у 80-летней группы деревьев (0,6 и 2,4 мм соответственно). С уменьшением возраста средний размер годичных колец (2,4 мм) оказался почти в 2 раза больше (1,3 мм), а вариабельность увеличилась в полтора раза ( $\sigma = 0,64$  мм в первом случае и  $\sigma = 0,42$  мм во втором случае).

Таким образом, в восточной части Полесья просматривается та же закономерность, что и в западной: радиальный прирост сосен на верховом болоте увеличивается с уменьшением возраста древостоя. В нем четко выделяются две наиболее значимые депрессии: после извержения Геклы в 1947 г. и Эль-Чичона в 1982 г. Для дендроклиматического анализа привлечены наблюдения на метеостанции Василевичи после 1945 года, то есть во вторую климатическую эпоху с неустойчивым увлажнением после сокращения осадков по сравнению с 1892–1939 гг. [95].



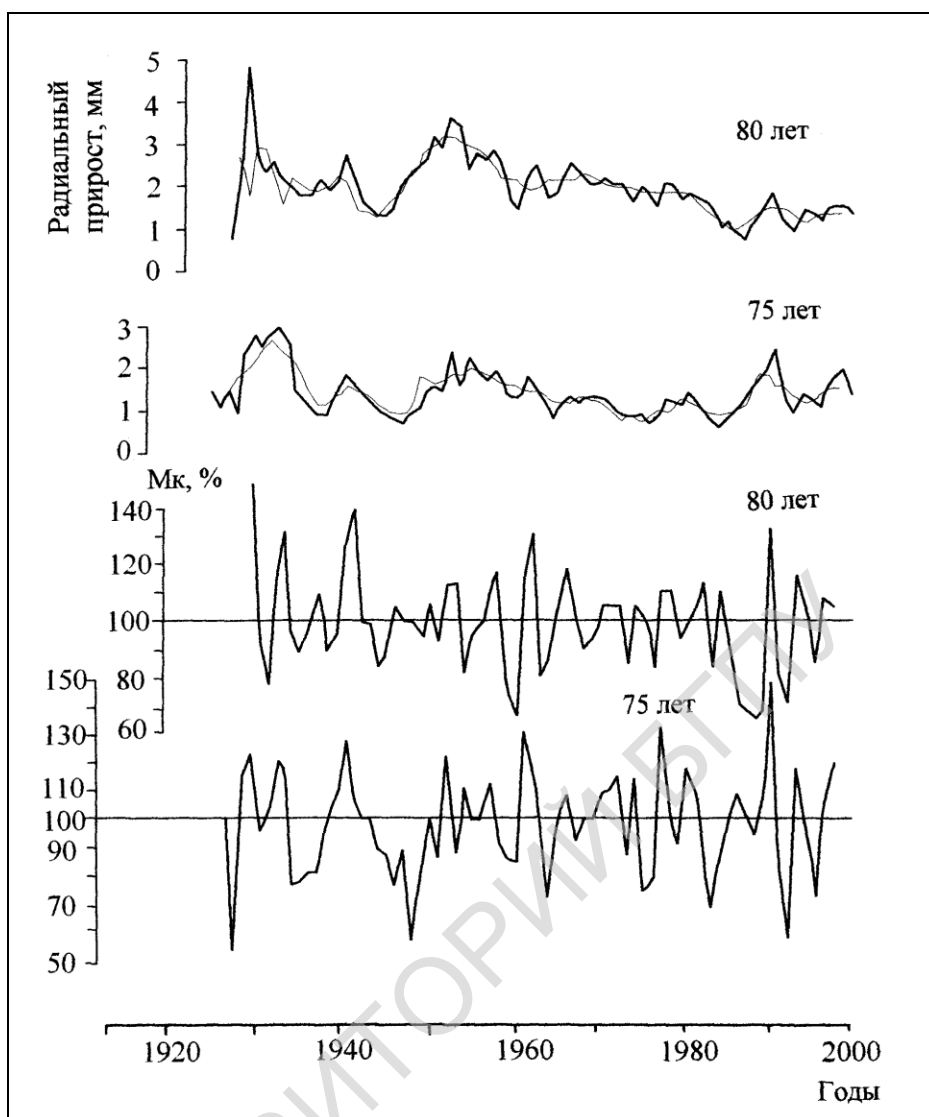


Рисунок – 3.7 Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны и его индексов у сосны на верховом болоте в урочище «Мох–Озерский»

В экстремальных экологических условиях верхового болота 80- и 55-летние поколения сосен слабо реагировали на изменение температуры воздуха и осадков. Только у 80-летних сосен обнаружена прямая корреляция индексов радиального прироста с температурой гидрологического года при запаздывании на один год ( $r = 0,35$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,95$ ). Осадки предшествующего безлиственного периода были положительно значимы для индексов радиального прироста ( $r = 0,50$ , при  $n = 21$ ,  $P = 0,95$ ).

При потеплении климата в последней четверти XX в. температурные условия вегетационного периода оказались уже значимы для насаждения сосны на верховом болоте. К тому же индексы радиального прироста 80-летних сосен оказались в обратной зависимости от температуры мая-сентября в предшествующий год ( $r = -0,59$ , при  $n = 22$ ,  $P = 0,99$ ).

У 55-летнего поколения деревьев возникла двухлетняя ритмика, отмеченная у насаждений сосны на верховом болоте в западной части Полесья. Обратная связь индексов радиального прироста ( $r = -0,52$ , при  $n = 24$ ,  $P = 0,99$ ) с температурой вегетационного периода при фазовом опережении в два года сменялась их прямой зависимостью от этого метеофактора в текущем году.

Температурные условия безлиственного периода и гидрологического года в целом по-прежнему не были значимы для двух поколений сосен. При избыточном увлажнении болотного эдафотопы индексы радиального прироста имели прямую зависимость ( $P = 0,99$ ) от атмосферных осадков предшествующего вегетационного периода: у сосен 80-летнего возраста  $r = 0,60$ , у 55-

летнего –  $r = 0,51$ , но уже при запаздывании на два года.

Такая связь между сравниваемыми параметрами определила зависимость модульных коэффициентов прироста за гидрологический год (у 80-летних сосен  $r = 0,69$ , при  $P = 0,999$ , у 55-летних сосен  $r = 0,58$ , при  $P = 0,99$ ). Кроме того, у старшего поколения обнаружена отрицательная корреляция ( $r = -0,45$ ,  $P = 0,99$ ) с осадками при при лаге запаздования в три года.

Реакция насаждений сосны на верховом болоте в восточной части Полесья на метеофакторы фазы потепления климата в последней четверти XX в. определялась зависимостью индексов её радиального прироста в течение всей неустойчиво влажной климатической эпохи 1943–2000 гг. Причём очевидна двухлетняя ритмика изменения знака связи этого показателя с температурой вегетационного периода (у 55-летнего поколения). Подобная закономерность прослеживается и в связи индексов радиального прироста с осадками гидрологического года (снова у 55-летней группы сосен).

В целом, несмотря на жёсткие почвенно-грунтовые и гидрологические условия, сосна на верховом болоте в восточной части Полесья может реагировать на изменение климатических условий точно так же, как и на западе этого региона, но в измененных гидрогеологических условиях. В этой реакции очевидно запаздывание, в основном, до двух лет. Мелиоративный фактор, вызванный понижением грунтовых вод в результате осушения болот и заболоченных земель в поймах малых и проточных ложбинах, в изменчивости радиального прироста деревьев не выявлен.

### **3.5 Радиальный прирост сосны на верховом болоте в центральной части Беларуси в изменяющихся климатических условиях**

Погодно-климатические условия – температура воздуха и атмосферные осадки применительно к лесным экосистемам являются одними из важнейших, от которых зависит состояние и стволовая продуктивность древесных растений. Именно это их значение служит отправным моментом в дендроклиматологии, использующий радиальный прирост (годовое кольцо) для установления его зависимости от метеорологических факторов.

Климат за период роста и развития современных поколений леса не является постоянным: изменчивость – его свойство, которое может превратиться в однонаправленный процесс в сторону потепления или похолодания.

Временные ряды метеорологических параметров, характеризующие погодно-климатические условия, в таком случае разбиваются на отрезки, в пределах которых состояния климата сопровождается свойственному ему погодными условиями, отличающихся от погодных условий других отрезков. Именно такой подход был применен для изучения экологии ели в связи с ее периодическим массовым усыханием [100].

Как известно, динамика климата вызывает изменения в водном режиме верховых болот и в состоянии лесных экосистем на них. Значение этих болот в экологии лесных насаждений, особенно в сопредельных ландшафтах с песчаной литологической основой, велико: совместно с атмосферными осадками они выступают в роли регулятора водного режима территории, поддерживая уровеньный режим грунтовых вод. Крупномасштабная мелиорация в Беларуси не обошла стороной эти болота, которые оказались в зоне влияния осушительных систем, не говоря уже о самом факте их осушения.

Вероятные изменения в экосистемах лесных верховых болот происходят на фоне динамичных климатических условий. По этой причине выделить антропогенный (осушение) и естественный (климат) факторы в развитии болотных экосистем затруднительно, а их трансформации можно объяснить, исходя из цели и задач исследования.

Попытка обнаружения климатического сигнала в изменчивости состояния лесных верховых болот в Центральной Беларуси нами предпринята с привлечением радиального прироста сосны на верховом болоте, расположенном на севере Червенского района, южнее с. Дубовый Лог. Болото занимает овальное понижение поперечником около 1,0 км среди моренно-зандровой равнины. Как отмечалось, верховые болота небольшой размерности не способны к автономному регулированию

своего водного режима.

Образцы древесины (керны) отобраны в 2004 г. на высоте 0,5 м у 8 деревьев в возрасте 190 лет, 14 – 165 лет и 10 – 125 лет. Высота деревьев – от 8 до 12 м, диаметр – от 12 до 16 см. Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Для дендроклиматического анализа привлечены наблюдения на обсерватории Минск, расположенной в 45 км западнее болота.

Изменение увлажненности болота отразилось в многолетнем ходе радиального прироста сосны. После начала 1940-х гг. стволовая продуктивность этого древесного растения в трех возрастных группах заметно увеличилась, достигнув максимального значения в 1960-е гг. (рисунок 3.8).

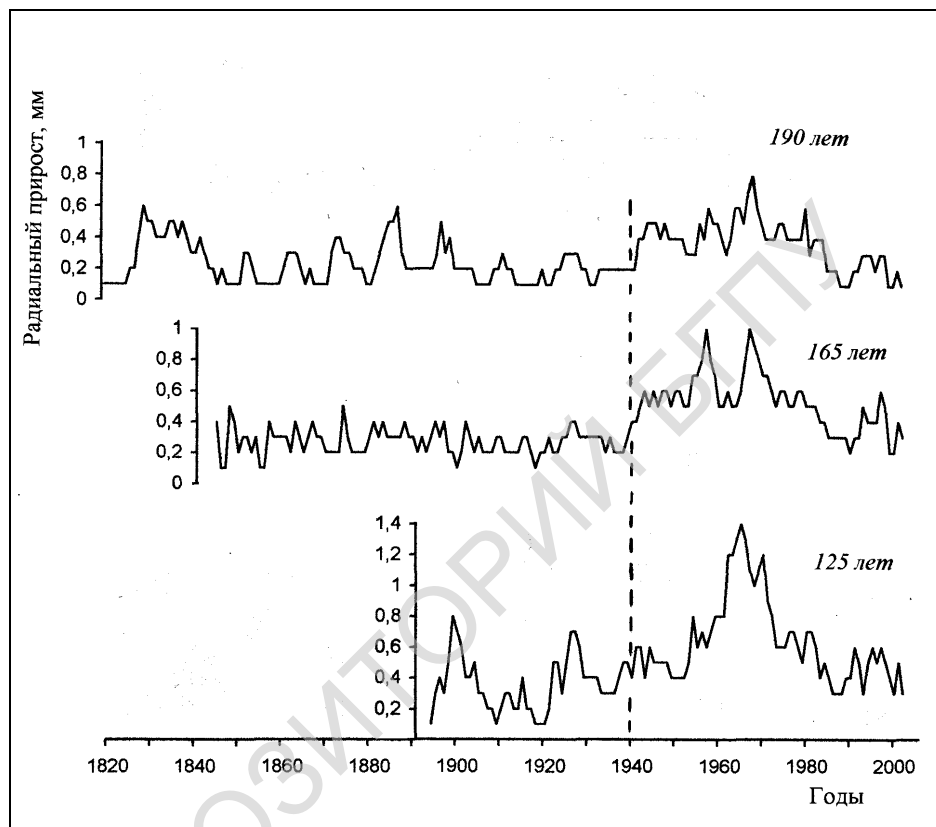


Рисунок 3.8 – Многолетний ход изменчивости текущего радиального прироста сосны на верховом болоте. Вертикальной штриховой линией показан 1940 г.

По всей видимости, угнетенное состояние древостоя в последней четверти XX в. вызвано увеличением осадков при потеплении климата. Так, причиной депрессии радиального прироста в 1989-1990 гг., очевидно, служит значительное количество осадков (729 и 760 мм). Последняя депрессия прироста в 1999-2000 гг. последовала за рекордным выпадением осадков в 1998 г. (978 мм, в т. ч. за безлиственный период 614 мм).

В условиях влажной климатической эпохи (до 1940 г.) угнетение сосны вызвано высокой обводненностью болота, а ход его изменчивости отражает циклический характер этой обводненности. Находясь в угнетенном состоянии, сосна в течение нескольких последовательных лет не реагировала на погодичную и сезонную изменчивость в осадках. В ее возрастном приросте, определенном с применением пятилетнего скользящего сглаживания, обнаруживаются временные отрезки (до 10 лет) без изменения этого показателя влияния метеофакторов на стволовую продуктивность древесного растения (рисунок 3.9).

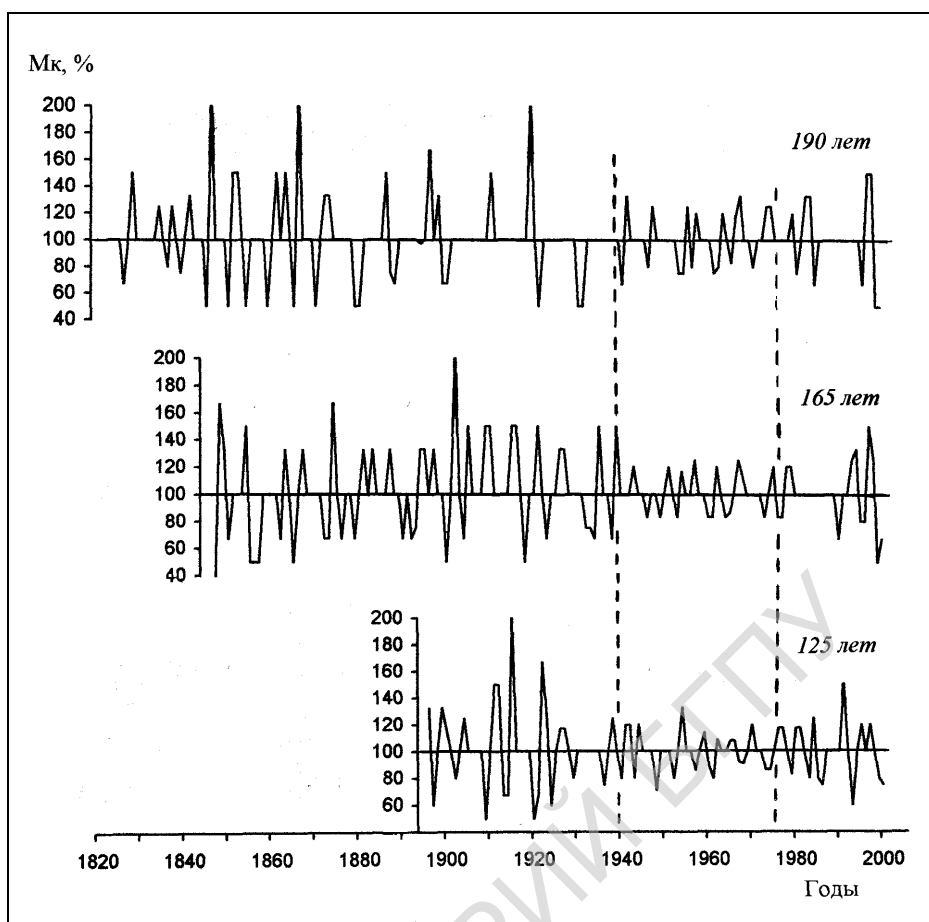


Рисунок 3.9 – Многолетний ход изменчивости индексного (Мк, %) прироста сосны на верховом болоте. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Кросскорреляционный анализ не выявил статистически значимой связи индексного прироста деревьев трех возрастных групп с температурой воздуха и осадками в течение влажной климатической эпохи (ветвь спада векового цикла похолодания) и при потеплении климата в последней четверти XX в.: коэффициенты корреляции во всех случаях оказались в пределах двух стандартных ошибок.

Следует отметить, что при переходе через переломные моменты в 1940 и 1976 гг. менялась структура временных рядов индексного прироста. Только при похолодании климата (1940-1976 гг.) обнаружена его неустойчивая связь с метеофакторами. Обратная зависимость этого прироста от осадков месяцев активного роста и вегетационного периода проявлялась непосредственно в год их выпадения (у 125-летней группы) или при запаздывании на два года (у 190-летней группы) (таблица 3.5). Индексный прирост напрямую зависел от осадков при условии обратной связи с температурой воздуха.

Таблица 3.5 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексного прироста возрастных групп сосны на верховом болоте с температурой воздуха и осадками в 1945-1976 гг.

Возраст, лет	Период	с температурой воздуха	с осадками			
			лаг, лет			
			0	1	2	3
190	Май-июнь	-11	26	18	<b>-48</b>	-21
	Май-сентябрь	-10	-05	11	<b>-44</b>	08
	Октябрь-апрель	01	-06	-33	29	-12

	Год	-04	-04	-10	-16	-01
165	Май-июнь	<b>-35</b>	<b>49</b>	09	<b>-34</b>	<b>-34</b>
	Май–сентябрь	<b>-43</b>	<b>36</b>	-26	-23	-16
	Октябрь-апрель	06	-08	00	-08	15
	Год	-15	-15	03	-26	-05
125	Май-июнь	08	<b>-45</b>	-30	16	<b>39</b>
	Май–сентябрь	23	<b>-36</b>	-01	01	<b>-41</b>
	Октябрь-апрель	-30	-01	08	18	-22
	Год	-27	<b>-40</b>	05	25	24
Примечание: Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ ( $n = 32$ ).						

Подобная связь с метеофакторами, по всей видимости, объясняется в невозможности удовлетворить увеличивающуюся потребность сосны со слабо развитой корневой системой на верховом болоте во влаге при повышении температуры воздуха. В изменчивости температуры гидрологического года в XX в. в Беларуси обнаружен вековой цикл похолодания, синфазный похолоданию безлиственного периода (октябрь-апрель).

Применение дендроклиматического метода позволило получить информацию для индикации состояния лесных болотных экосистем в изменяющихся климатических условиях. Увеличение текущего (в мм) радиального прироста сосны на верховом болоте после 1940 г. вызвано сокращением осадков при наступлении неустойчиво влажной климатической эпохи. Индексный (в %) прирост находился в неустойчивой связи с температурой воздуха и осадками.

### 3.6 Климатический отклик сосны на верховых болотах на западе подзоны грабово–дубово–темнохвойных лесов

Не смотря на сравнительную однородность экотопа верховых болот, на радиальный прирост сосны оказывают влияния региональные и локальные условия: положение в рельефе, изменчивость в выпадении осадков и температуре приземного воздуха, размерность самого болота, мощность торфяной залежи, изменения в уровне грунтовых вод, осушительная мелиорация разных сроков выполнения и др.

Отсюда, естественно, возникает научный интерес и практическая значимость сравнительного анализа радиального прироста сосны на верховых болотах, различающихся по географическому положению.

В качестве тест-полигонов для проведения дендроклиматических исследований использованы верховые болота крупнейшего лесного массива в средней полосе Беларуси – Налибокской пуши в северной части подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов и верховые болота на юге этой подзоны (в 4–6 км юго-западнее Ганцевич), принадлежащие восточной окраине одного из крупнейших болотных массивов в Полесье – Выгонощенского. Расстояние между полигонами – 110 км (по меридиану).

На верховом болоте (мощность торфяного слоя 0,6 м) со старой осушительной сетью в центральной части Налибокской пуши (водосбор Желто-Неманского канала) образцы древесины (керны) сосны отобраны на высоте 1,3 м в мае 2008 г. Грунтовые воды находились на поверхности мохового покрова. Тип леса – сосняк багульниково-сфагновый. Возраст древостоя 110 лет.

Другой тест-участок выбран в южной части пуши на удалении в 0,8 км от осушенных в середине 1970-х гг. сельскохозяйственных угодий. Майский уровень грунтовых вод находился на глубине 0,7 м. Тип леса тот же – сосняк багульниково-сфагновый.

Возраст древостоя – 90 лет. Здесь сохранились следы недавних пожаров: обуглившиеся стволы деревьев и выгоры в торфяной залежи. Более великовозрастных деревьев на верховых болотах не было обнаружено. Кроме того, образцы древесины были отобраны у крупномерных

сосен (возраст 175 лет) и елей (возраст 90 лет) на южном берегу озера Кромань. Сведения о тестируемых деревьях приведены в таблице 3.6.

Верховые мелкозалежные болота юго-западнее Ганцевич («Жачайка», «Гроды», «Подвеликий лес») никогда не осушались, сильно обводнены и местным населением используются для сбора клюквы. Из-за частых пожаров возраст сосны на торфопокрытой территории не превышает 30 лет. Великовозрастные деревья сохранились только на «островах», незначительно приподнятых над поверхностью болот.

На таких «островах» с багульниково-сфагновым сосняком образцы древесины были отобраны в сентябре 2007 г. у великовозрастных (185 лет) ветровальных (последствие урагана) деревьев и у сохранившегося после пожаров древостоя в возрасте от 60 до 145 лет. Почва – слаборазвитый иллювиально-гумусово-железистый подзол на кварцевых песках с маломощными (8–10 см) подочесом (8 см) горизонтами А<sub>1</sub>А<sub>2</sub>, А<sub>2</sub>, и В<sub>н</sub>. Вода находилась у поверхности мохового покрова.

Таблица 3.6 – Сведения о тестируемых деревьях.

Порода	Возраст, лет	N	D, см	H, м	Кч			σ		
					до 1939 г.	1940-1976 г.	после 1976 г.	до 1939 г.	1940-1976 г.	после 1976 г.
Налибокская пуца										
Ель	90	8	42	32	-	0,29	0,37	-	13,6	16,9
Сосна	110	20	34	26	0,32	0,19	0,36	15,0	7,7	16,8
	90	17	30	16	-	0,38	0,41	-	13,6	16,9
	175	6	80	34	0,30	0,25	0,29	10,7	12,0	17,6
Юго-западнее Ганцевич										
Сосна	60	14	24	18	-	0,27	0,40	-	10,7	20,3
	90	16	30	20	-	0,20	0,23	-	9,5	13,8
	145	10	36	24	0,31	0,23	0,36	23,8	17,8	25,3
	165	4	44	28	0,30	0,18	0,32	27,4	17,2	26,7
Примечание: N – количество деревьев, D – средний диаметр, H – средняя высота, Кч – коэффициент чувствительности, σ – стандартное отклонение.										

Многолетний ход изменчивости фактического (в мм) радиального прироста возрастных групп деревьев представлен на рисунках 3.10 и 3.11.

Значительная часть лесных ландшафтов Полесья, включающие болота, сформирована на кварцевых песках. При условии увлажнения атмосферными осадками почвы на кварцевых песках отличаются исключительной бедностью: при отсутствии глинистых минералов у них не может сформироваться почвенный поглощающий комплекс.

При особых водно-физических свойствах этих песков, прежде всего высокой порозности, в них не создаются анаэробные условия, подавляющие развитие корневых систем и, следовательно, угнетение древостоя. Растения не страдают от избытка воды в почве, но очень сильно страдают от недостатка кислорода [223].

Кривая радиального прироста великовозрастных сосен имеет сложное изменения во времени и не напоминает кривую большого роста с максимальным размером годичных колец в возрасте 20-40 лет. Максимальный радиальный прирост 175-летних сосен на «островах» среди верховых болот пришелся на 1860-е гг., когда на Полесье, как уже неоднократно отмечалось, шли беспросветные холодные дожди с сильнейшим наводнением 1861 г. Ширина годичных колец в 1864–1865 гг. (5,2–5,7 мм) превысила его современное значение на автоморфных песчаных почвах [226]. В годы с сильными засухами (1868 и 1874 гг.) наступало угнетение радиального прироста до минимальных значений (0,1 мм) точно так же, как и в засушливом 1886 г. (499 мм осадков).

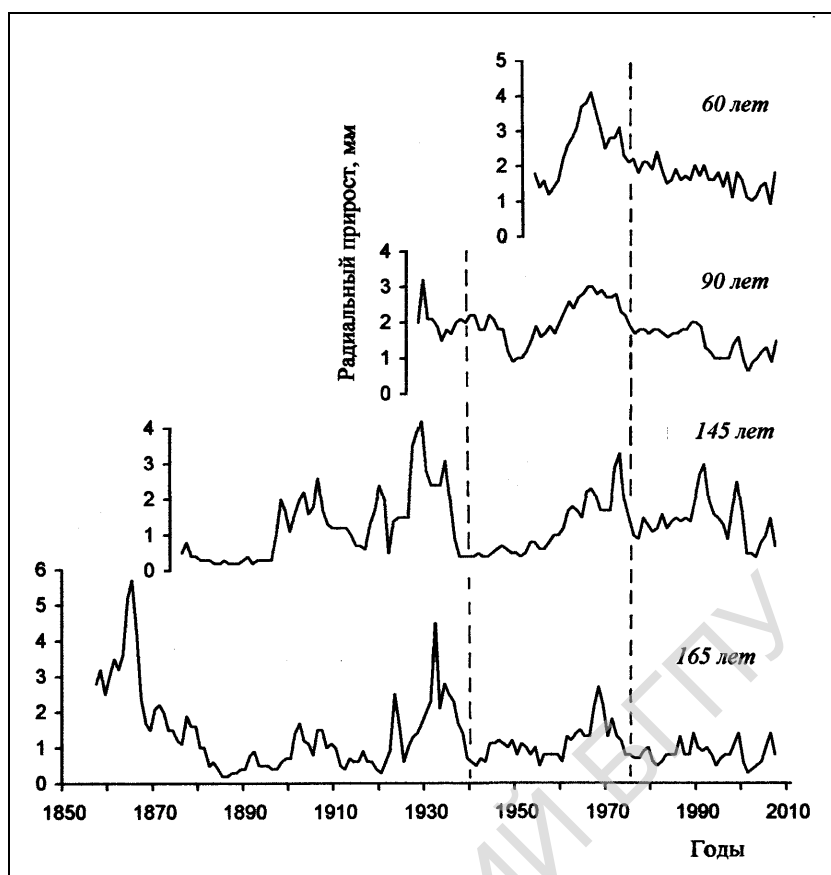


Рисунок 3.10 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны на верховых болотах юго-западнее Ганцевич. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

В целом, во влажную климатическую эпоху, когда на Полесье осадков выпадало на 100 мм больше по сравнению с неустойчиво влажной (605 мм), радиальный прирост сосны на сырых кварцевых песках был более значим, чем в условиях сокращения осадков. Особенно это характерно и для 1931-1933 гг., когда в среднем за год выпало 746 мм. осадков.

Наибольшее угнетение древостоя в фазу похолодания климата (1940-1976 гг.) наступило в ее первую половину (до 1960 г.) с наибольшим недобором осадков (в среднем за год 561мм). При их увеличении (до 593 мм) во вторую половину этой фазы (1961-1975 гг.) состояние насаждений улучшилось, отразившись в увеличении стволовой продуктивности. С потеплением климата (после 1976 г.) с одновременным сокращением суммарной солнечной радиации состояние всех возрастных групп сосен ухудшилось.

В изменявшихся климатических условиях XIX и XX вв. уменьшение увлажненности эдафотопы атмосферными осадками сопровождалось угнетением сосны в ее «островном» нахождении среди болот на сырых кварцевых песках. Понижение грунтовых вод в данном случае приводит к неизбежному угнетению ее насаждений.

Хотя корреляционный анализ не выявил статистически значимой зависимости индексного (в %) прироста сосны на верховых болотах юго-западнее Ганцевич с температурой воздуха и осадками, его временная изменчивость отражает связь с ними. В многолетнем ходе индексного прироста (в %), определенного с применением 5-летнего скользящего сглаживания (рисунок 3.12), отражены переломные моменты в 1940 и 1976 гг., при переходе через которые меняется дисперсия (стандартное отклонение  $\sigma$ ) модульных коэффициентов (см. таблицу 3.6). Соответственно меняется чувствительность сосны к климатическим факторам. Наименьшая чувствительность сосны к климатическим факторам проявилась при похолодании климата в 1940-1976 гг. с одновременным сокращением осадков.

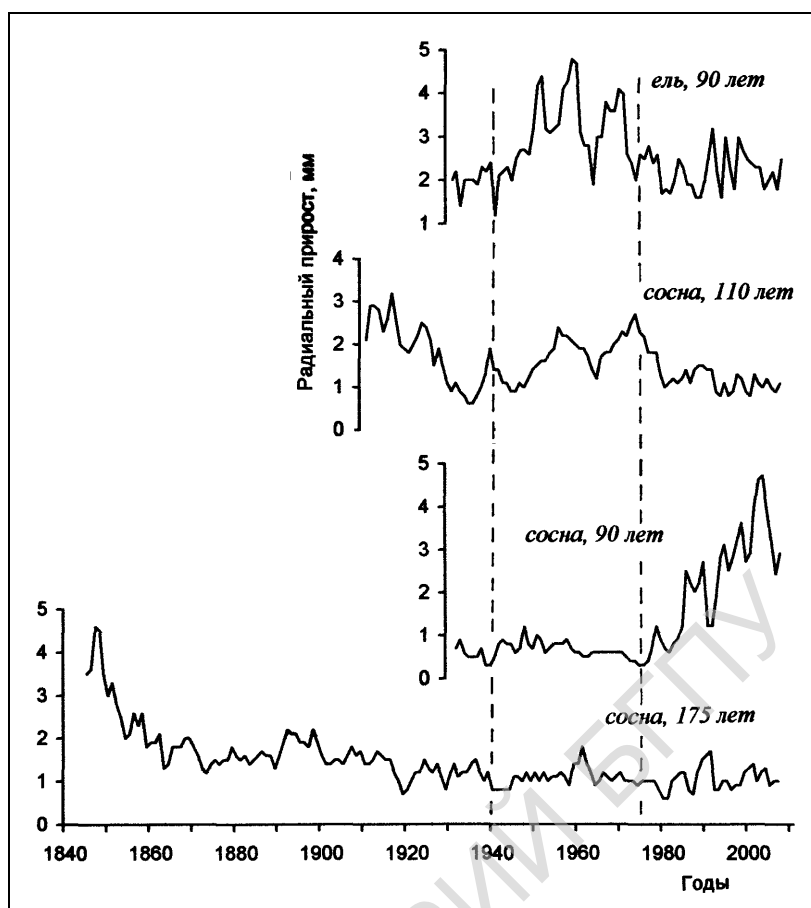


Рисунок 3.11 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп сосны и ели в Налибокской пушце.

Появление 175-летнего поколения сосен на берегу озера Кромань, по всей видимости, также связано с наводнением, но в 1845 г. В дальнейшем, в течение почти 150 лет малоамплитудные изменения в радиальном приросте сглаживались близостью озера. В индексном приросте (рисунок 3.13) так же четко фиксируются переломные моменты в 1940 и 1976 гг., при переходе через которые также менялась его дисперсия и чувствительность сосны к климатическим факторам (см. таблицу 3.6).

Статистически значимая зависимость индексного прироста от метеофакторов возникала не на всех отрезках временных рядов. В Налибокской пушце она отсутствовал у старейшего поколения сосен (таблица 3.7). Индексный прирост ели, как и в большинстве регионов Беларуси [100], продемонстрировал прямую связь с температурой безлиственного периода (октябрь-апрель) только при потеплении климата.

У 110-летнего поколения сосен на староосушенной территории (бывшая Графская пушча) прямая связь с осадками сохранялась при любых климатических условиях. Наибольшие значения радиального прироста пришлись на годы со значительными осадками: 1940 (729 мм), 1955 (738 мм) и 1973 (849 мм). Исключением из этого не является и потепление климата после 1976 г., при котором состояние насаждения все-таки ухудшилось.

Стволовая продуктивность у 90-летних сосен, находящихся вблизи осушенных в 1970-е гг. сельскохозяйственных земель, при потеплении климата, наоборот, увеличилась, хотя перед этим, при похолодании, она была минимальной (менее 1,0 мм). Причина этого угнетения заключена в негативном воздействии низких температур воздуха за безлиственный период на индексный прирост (коэффициент корреляции  $r = -0,48$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,99$ ) и отрицательной связью с осадками в месяцы активного роста – мая и июня ( $r = -0,41$ ,  $P = 0,99$ ).



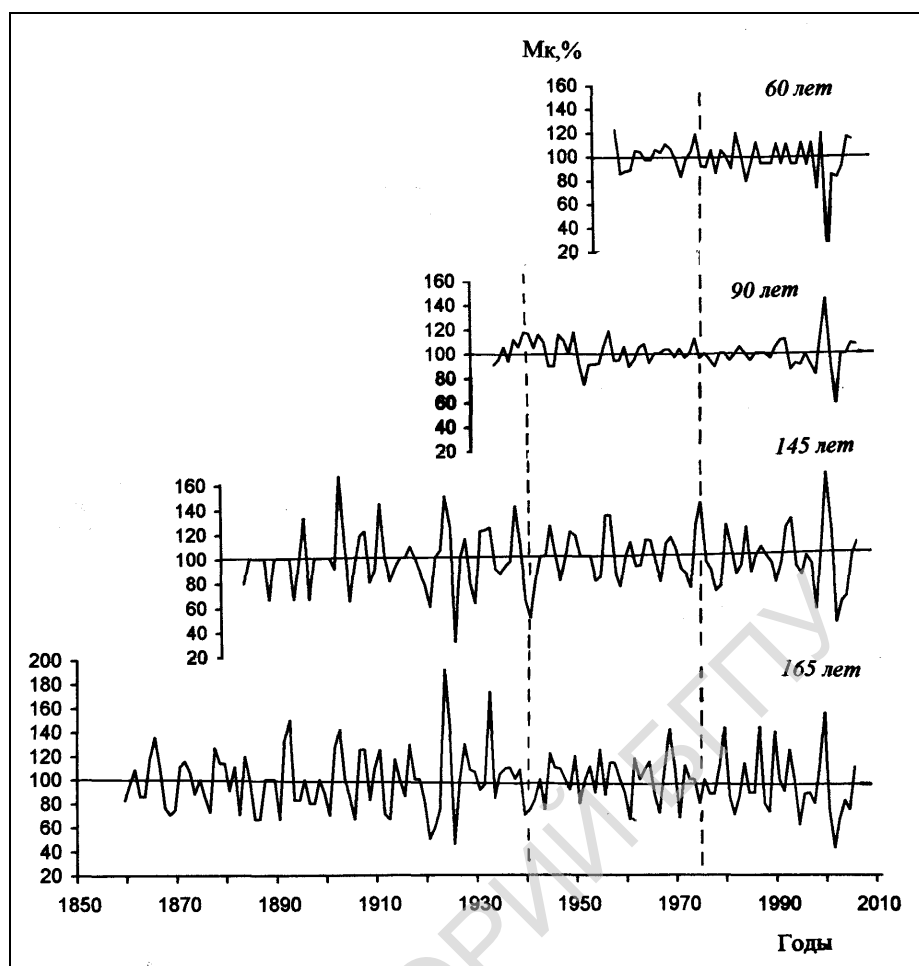


Рисунок 3.12 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп сосны на верховых болотах юго-западнее Ганцевич.

Фаза похолодания в Центральной Беларуси была неоднородной по увлажненности. В ее первую половину (до 1960 г.) в среднем за год выпадало 614 мм, во вторую половину (1961-1976 гг.) – 741 мм осадков (по наблюдениям на метеостанции Минск). Отклик на эту неоднородность у индексного прироста 175-летних и 90-летних сосен оказался также неоднородным, если судить по его дисперсии.

По всей видимости, переломные моменты в 1940 и 1976 гг. служат общим признаком в изменении чувствительности сосны и ели к климатическим факторам. Эти моменты проявились на исследованных полигонах в насаждениях, занимающие экотопы с различающимся набором экологических факторов, включая антропогенные (осушительную мелиорацию). Они также свойственны ели и сосне практически на всей лесопокрытой территории Беларуси.

Во временных отрезках дендрометрических рядов, ограниченных этими моментами, изменчивость текущего радиально прироста подчинена локальным эдафическим, гидрологическим и погодно-климатическим условиям. Без привлечения переломных моментов не может быть получена достоверная информация о современном экологическом состоянии лесов и происходящих в них изменениях.

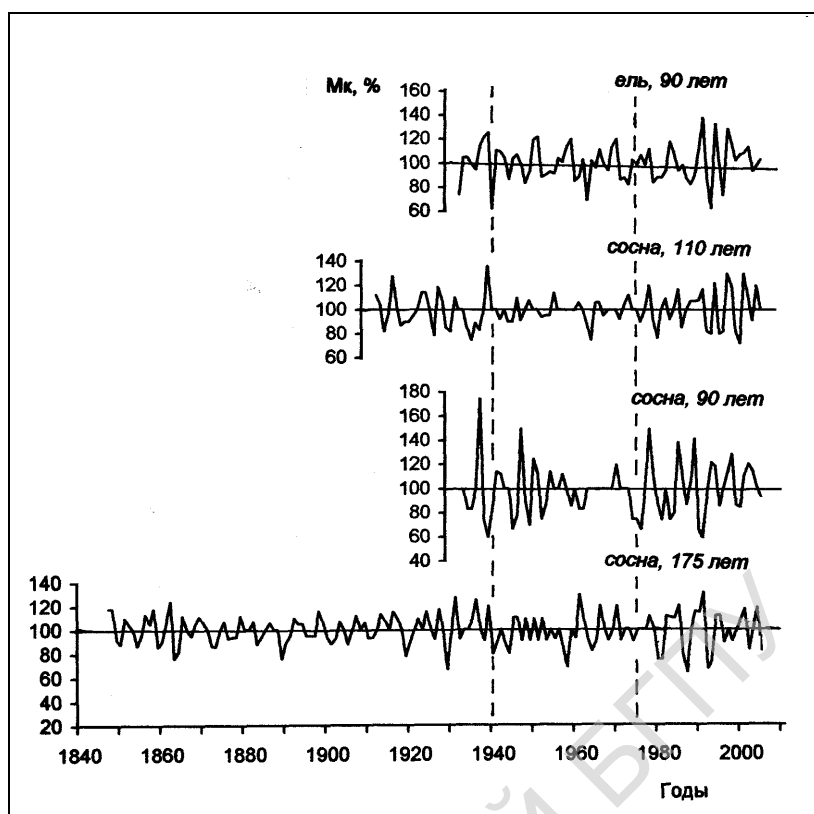


Рисунок 3.13 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп сосны и ели в Налибокской пушце.

Таблица 3.7 – Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп ели и сосны в Налибокской пушце с температурой воздуха ( $t$  °C) и осадками.

Порода	Возраст, лет	Период	Коэффициенты корреляции (0,...)					
			до 1939 г.		1945-1976 гг.		после 1976 г.	
			с $t$ °C	с осадками	с $t$ °C	с осадками	с $t$ °C	с осадками
Ель	90	Май-июнь	-	-	-18	-36	-31	36
		Май-сентябрь	-	-	-23	-28	13	-10
		Октябрь-апрель	-	-	04	21	<b>43</b>	23
		год	-	-	-10	-11	<b>39</b>	09
Сосна	110	Май-июнь	-14	<b>55</b>	-13	<b>38</b>	-37	<b>56</b>
		Май-сентябрь	-10	<b>42</b>	-20	30	-04	<b>42</b>
		Октябрь-апрель	-13	-05	<b>39</b>	10	13	23
		год	-12	<b>37</b>	30	<b>39</b>	09	<b>47</b>
	90	Май-июнь	-	-	30	-41	-01	08
		Май-сентябрь	-	-	11	-18	-08	26
		Октябрь-апрель	-	-	<b>-48</b>	09	-22	18
		год	-	-	-35	-11	-21	32
	175	Май-июнь	-18	01	07	12	16	16
		Май-сентябрь	-25	26	02	25	17	17
		Октябрь-апрель	23	04	27	-03	09	09
		год	15	19	22	23	19	19

Примечание: Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при  $P = 0,99$ . Выборка  $n$  равна количеству лет за отрезок времени в каждой дендрошкале.

### 3.7 Дендроклиматический мониторинг лесных верховых болот на северо-западе подзоны дубово–темнохвойных лесов

Верховые болота Поозерья, являющиеся неотъемлемым компонентом ландшафтов севера Беларуси, представляют несомненный интерес для дендроклиматических исследований в системе экологического мониторинга лесов. Для выявления причин изменчивости радиального прироста сосны на них в XIX и XX вв. привлечен древостой в южной части болота «Мох» в Дисненском лесхозе, расположенном западнее г. Миоры.

Это болото, занимая крупное овальное понижение диаметром до 8 км, находится восточнее озер Нобисто и Обстерно, севернее озер Важа, Сумовка и др., на севере дренируется рекой Хоробровка, вытекающей из Нобисто.

Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буровом на высоте 0,5 м в октябре 2003 г. у 34 деревьев в разновозрастном насаждении (тип леса – сосняк багульниково-сфагновый), среди которых оказалось 8 экземпляров в возрасте 200 лет, 16 – 170 лет и 10 – 90 лет. Высота древостоя – 8-10 м, диаметр – 12-16 см. Для сравнения использованы образцы древесины 16 деревьев возраста 100 лет на верховом болоте (тип леса тот же), расположенном в ландшафтном заказнике «Межозерный» в национальном парке «Браславские озера».

Осушение болот непосредственно у Браславских озер в 1930-е гг. привело к снижению уровня воды в них, что не могло не сказаться на водном режиме исследованного верхового болота в заказнике, расположенном между озерами Снуды (на западе) и Волосо (на востоке). Тем более, что в самом заказнике сохранилась старая осушительная сеть. Многолетний ход изменчивости текущего (в мм) радиального прироста, осредненного по разновозрастным группам деревьев, представлен на рисунке 3.14, индексного (в процентах), определенного с применением 5-летнего скользящего сглаживания, – на рисунке 3.15.

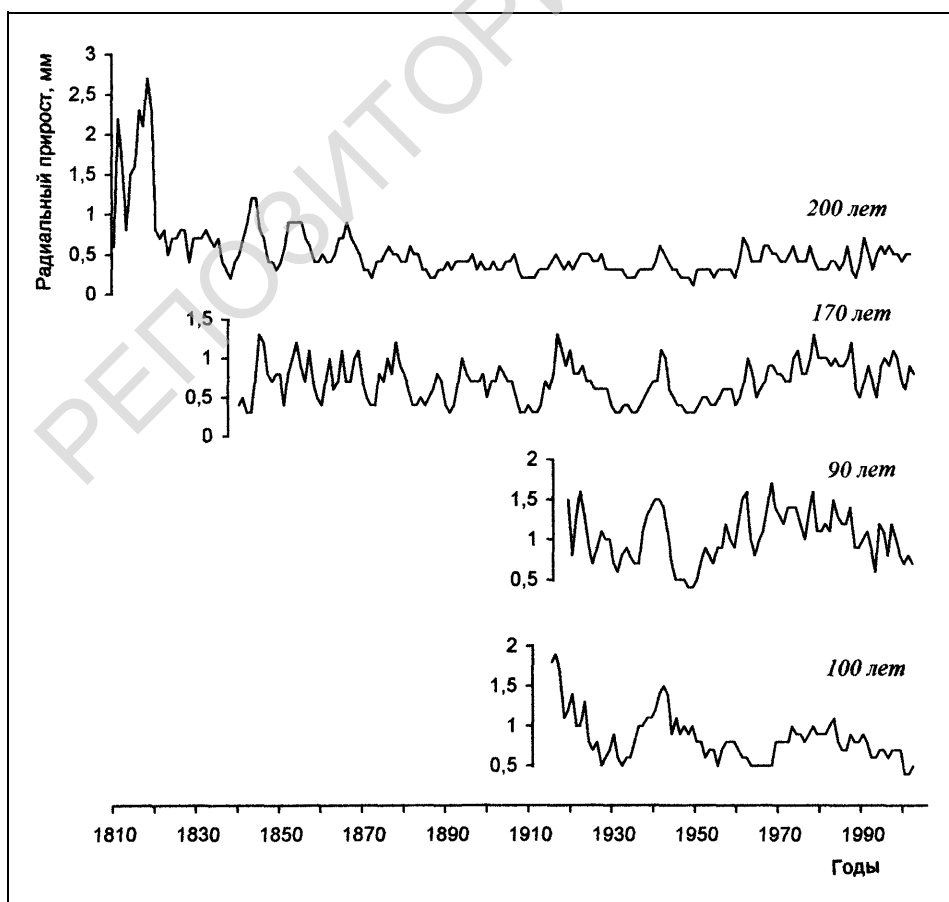


Рисунок 3.14 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны на верховом болоте «Мох».

Сосна на верховом болоте «Мох» продемонстрировала достаточно высокую для этого экотопа чувствительность к изменчивости климатических факторов. Коэффициент чувствительности у 200-летних и 170-летних сосен оказался равным 0,44, а у 95-летних – 0,35. При потеплении климата он увеличился до 0,54 только у самой старшей возрастной группы.

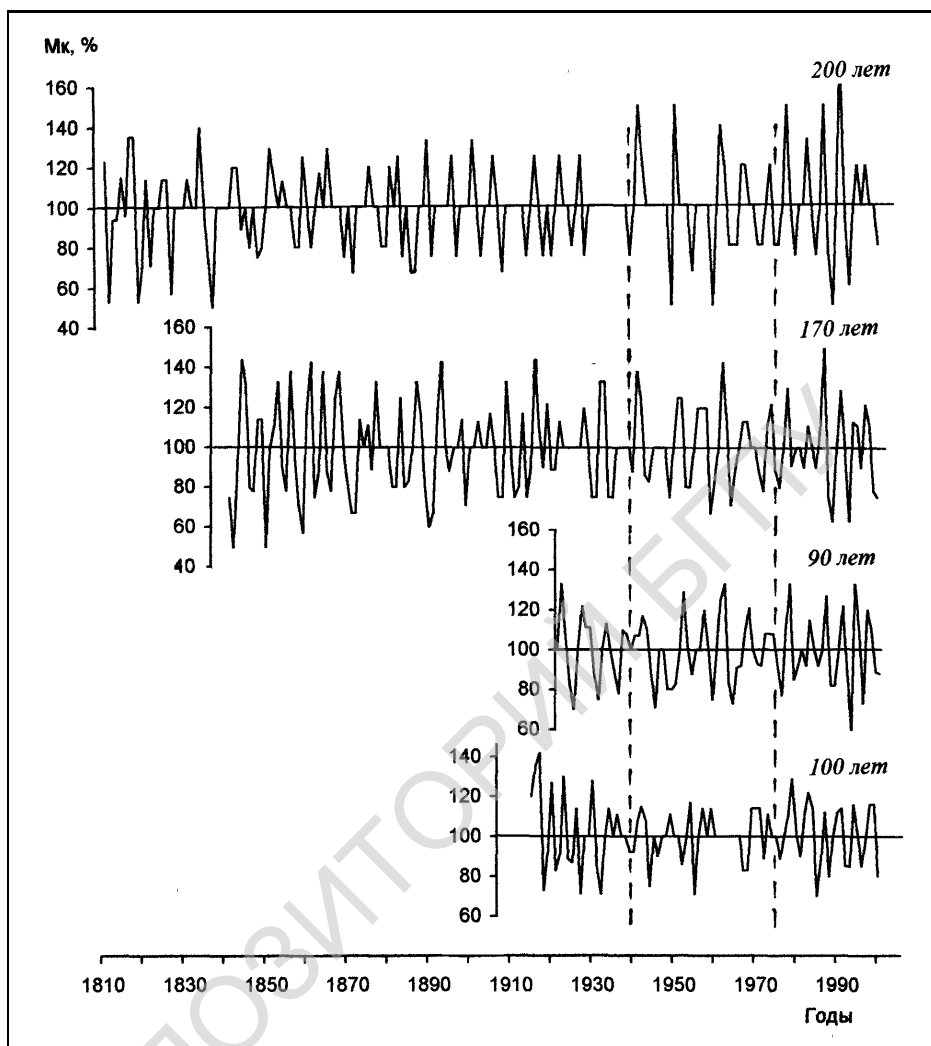


Рисунок 3.15 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста сосны на верховом болоте «Мох».

Столетние сосны отличались малой чувствительностью к изменчивости климата (0,26). Причина такой низкой чувствительности, по всей видимости, заключена в локальных особенностях нахождения экотопа.

Следует так же отметить синхронности в изменчивости индексного прироста у этого насаждения с разновозрастным древостоем в болоте «Мох» (коэффициент корреляции  $r$  оказался в пределах от 0,14 до 0,17). Он синхронно изменялся только у 200- и 170-летних сосен ( $r = 0,73$ ), между ними и 90-летней группой соответственно  $r$  равен 0,59 и 0,78.

Для кросскорреляционного анализа связи индексного прироста с метеофакторами многолетние ряды его изменчивости были разбиты на отрезки, отвечающие двум климатическим эпохам, для последней из них – фазам похолодания и потепления. До 1939 г. индексный индекс всех возрастных групп деревьев не имел статистически значимой зависимости от осадков (таблица 3.8). Низкая чувствительность 100-летних сосен отразилась в неустойчивой связи их индексного прироста с метеофакторами и во вторую климатическую эпоху.

При похолодании климата индексный прирост 170- и 90-летних групп оказался в обратной зависимости от температуры месяцев активного роста и вегетационного периода в целом. При

потеплении климата и при сокращении притока солнечной радиации эта связь стала менее тесной и сохранилась только для месяцев активного роста.

Таблица 3.8 – Коэффициенты корреляции индексного прироста возрастных групп сосны с температурой воздуха ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и осадками

Возраст, лет	Период	1903-1939 гг.				1946-1976 гг.				1977-2002 гг.					
		Коэффициент корреляции, 0, ...													
		с осадками				с $t^{\circ}\text{C}$	с осадками				с $t^{\circ}\text{C}$	с осадками			
		Лаг, лет					Лаг, лет					Лаг, лет			
0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
200	М.-и.	-07	11	09	-25	-11	29	00	<b>-50</b>	-15	-31	37	05	-28	-06
	Вег.	12	14	10	-25	-10	31	11	<b>-55</b>	18	-04	-04	-07	-06	20
	Б/л	18	22	06	-09	-03	17	-32	12	-09	02	25	-18	-37	40
	год	26	32	15	-30	-06	<b>50</b>	-11	-34	-07	00	06	-15	-22	36
170	М.-и.	36	-15	18	-05	<b>-36</b>	<b>53</b>	-04	-30	-40	<b>-40</b>	<b>43</b>	20	-30	-06
	Вег.	25	-05	02	10	<b>-42</b>	<b>58</b>	06	-24	-37	-16	13	00	-12	31
	Б/л	-16	-08	10	19	-01	18	09	-21	-01	-21	22	-09	<b>-43</b>	33
	год	09	-12	10	26	-17	<b>53</b>	21	-29	-28	-21	18	-04	-28	39
90	М.-и.	21	05	01	-02	<b>-36</b>	<b>65</b>	14	<b>-45</b>	<b>-43</b>	<b>-42</b>	<b>40</b>	07	-39	04
	Вег.	03	-01	02	36	<b>-37</b>	<b>72</b>	27	<b>-50</b>	-20	-05	09	01	-20	36
	Б/л	-14	-19	-09	-30	17	-02	-05	-26	02	-13	37	02	<b>-65</b>	25
	год	-12	-21	-07	12	02	<b>60</b>	28	-25	<b>-36</b>	-07	22	01	<b>-43</b>	39
100	М.-и.	-58	-20	14	-30	27	-30	-16	-08	24	-16	15	-13	-35	-08
	Вег.	-37	-27	09	-16	-01	-02	-20	<b>-40</b>	34	12	06	-11	-29	08
	Б/л	03	13	-09	-12	07	-04	-09	28	<b>-36</b>	-01	<b>43</b>	-36	<b>-47</b>	24
	год	-39	-18	01	-31	08	-04	-28	-13	05	08	22	-25	<b>-42</b>	17

Полужирным начертанием выделены значения коэффициентов корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при  $P = 0,99$ , подчеркнутым полужирным курсивом – при  $P = 0,999$ .

При этой обратной связи индексный прирост оказался в прямой зависимости от осадков месяцев активного роста и вегетационного периода, а также гидрологического года. При лаге запаздывания на 2–3 года эта зависимость трансформировалась в обратную. При потеплении климата эта прямая связь с гидрометеофактором, хотя и стала менее значимой, сохранилась для мая и июня, но возросло значение осадков за безлиственный период в отрицательной реакции сосны на них при запаздывании на два года.

Такая трансформация, по всей видимости, следует не за изменением температуры безлиственного периода при потеплении климата, а за увеличением осадков. Причина этой реакции сосны на верховом болоте заключена в увеличивающейся с ростом температуры воздуха эвапотранспирации. Слабо развитая в этом своеобразном эдафотопе корневая система не в состоянии удовлетворить ее потребность во влаге, источником которой является вода торфяной залежи. Отсюда возникает прямая зависимость индексного прироста от атмосферных осадков и обратная от температуры текущего года.

Большое количество осадков усиливает анаэробизм в торфяной почве и более длительное затопление ее верхнего горизонта, в котором сосредоточена основная масса корней. В результате происходит отмирание физиологически активных (сосущих) корневых окончаний. При запаздывании на два-три года возникает уже обратная зависимость прироста от количества осадков.

Подобная закономерность свойственна ели в этом же регионе на почвах тяжелого механического состава [97]. При этом важно учесть региональные особенности изменения климата: температурные условия месяцев активного роста и вегетационного периода при

потеплении климата не изменились по сравнению с предшествующим похолоданием, потеплел только безлиственный период с увеличением количества осадков.

Таким образом, дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста сосны на верховых болотах Поозерья предоставляет дополнительную информацию о динамике природной среды региона, в котором эти болота являются одним из важнейших ландшафтообразующих компонентов.

### 3.8 Особенности радиального прироста сосны в омбротрофноболотно–лесном экотоне

Леса Беларуси оказались под экономическом и экологическом прессом в изменяющихся климатических условиях. Главнейшим лесным ресурсом является древесина. Запасы стволовой древесины определяются ежегодным радиальным приростом лесных пород. Важнейшей промышленной породой для Беларуси служит сосна (*Pinus silvestris* L.). Характерной чертой сосняков Беларуси является нахождение в них верховых болот, особенно в Евразийском доминионе темнохвойных лесов, для которых формация сосны является интразональной, занимающей песчаные эдафотопы.

Закономерное сочетание типов леса, обусловленное местной сопряженностью элементов рельефа, почвенных разновидностей и гидрологических условий, рассматривается как лесотипологический комплекс [50]. В нашем случае ядром такого комплекса служит омбротрофное (от греческого *ombros* – дождь) верховое болото, занимающее на флювиогляциальной равнине овальное мезопонижение на севере Червенского района. Грунтовые воды такого болота, пополняемые атмосферными осадками, контролируют водный режим переходной к суходолу заболоченной полосы.

В переходной полосе (экотоне) происходит смена гигрофильных напочвенных растительных сообществ гигромезофильными и мезофильными в пределах одной и тоже коренной лесной формации (сосняка). Именно здесь при смене лесного фитоценоза омбротрофного болота фитоценозом в плакорных условиях произрастания должны быть наиболее динамичными реакции насаждения на изменение условий увлажнения. Эту динамику легче всего проследить по индикатору – годичному радиальному приросту лесообразующей породы.

Сосняк багульниково-сфагновый занимает окраину верхового болота с глеевым иллювиально-гумусово-железистым подзолом на разнозернистых песках со следующими горизонтами:  $A_0$  (0–12 см, очес),  $A_1A_2$  (12–28 см, элювиально-гумусовый, черный с кремнеземистой присыпкой),  $A_2$  (28–36 см, подзолистый, белесый),  $B_h$  (36–60 см, иллювиально-гумусово-железистый, ржаво-бурый, плотный) и  $BC_g$  (60–100 см, оглеенный, сизоватый). Майский уровень воды – на глубине 0,2 м.

Сосняк черничный расположен выше по рельефу, в нижней трети пологого склона локального повышения. Почва под ним – глееватый иллювиально-гумусово-железистый подзол с горизонтами:  $A_0$  (0–6 см, подстилка),  $A_1A_2$  (6–19 см, элювиально-гумусовый, темно-серый с кремнеземистой присыпкой),  $A_2$  (19 – 34 см, подзолистый, белесый),  $B_h$  (34–48 см, иллювиально-гумусово-железистый, ржаво-бурый, плотный) и  $B_g$  (48 – 74 см, светлооранжевый) и  $C_g$  (74–140 см, светло-сизоватый). Майский уровень воды – на глубине 1,1 м.

Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буравом у крупномерных деревьев на высоте 1,3 м. в июне 2003 г. (в сосняке багульниково-сфагновом) и в октябре 2006 г. (в сосняке черничном). Сведения о тестируемых деревьях приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Сведения о тестируемых деревьях.

Тип леса	Возраст, лет	Кол-во деревьев	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Коэффициент чувствительности		
					до 1939 г.	1940-1976 г.	после 1976 г.
С. черничный	80	16	39	21	-	0,14	0,20
	105	19	44	23	0,19	0,15	0,19

С. багульниково-сфагновый	55	12	26	16	-	0,52	0,43
	80	14	22	18	-	0,25	0,28
	95	19	24	18	0,36	0,36	0,40
	125	16	26	19	0,34	0,30	0,32

Сосна имеет горизонтально развитую корневую систему в песчаных почвах с иллювиально-гумусово-железистым горизонтом, который не проницаем для нее. Основная масса проводящих горизонтальных и физиологически активных корней сосредоточена в верхнем гумусово-элювиальном горизонте [5]. По этой причине сосна оказалась чувствительной к изменениям увлажненности верхней части песчаного почвенного профиля, зависящей от количества атмосферных осадков. Ее современные поколения в экотоне развивались так же в течение двух дендроклиматических эпох: влажной и неустойчиво влажной (до и после 1940 г.).

Последняя, неустойчиво влажная эпоха, отразилось на угнетении радиального прироста сосны (рисунок 3.16). Более значительным (до 625 мм) уменьшение осадков было до 1964 г. Угнетение древостоя оказалось более заметным в сосняке багульниково-сфагновом и продолжалось до увеличения осадков после 1965 г. (680 мм в среднем за год).

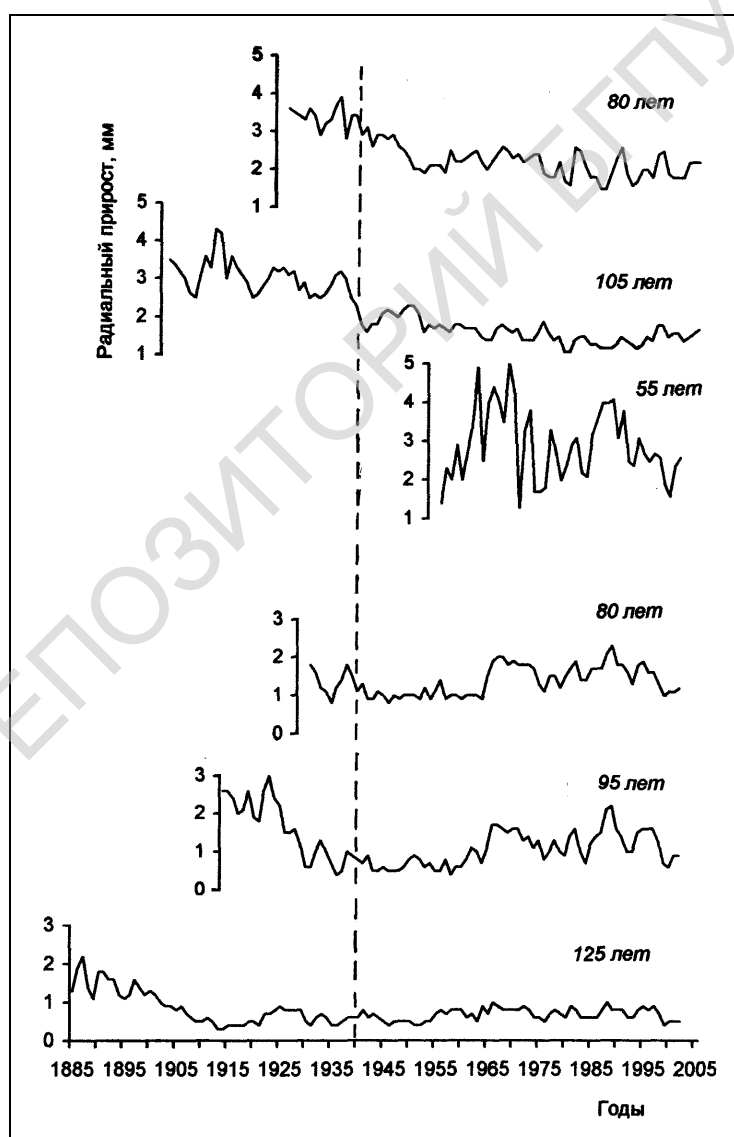


Рисунок 3.16 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп деревьев в сосняке черничном (80 и 105 лет) и в сосняке багульниково-сфагновом (55, 80, 95 и 125 лет). Вертикальной штриховой линией показан 1940 г.

В сосняке черничном увеличение радиального прироста не произошло. Не смотря на то, стволовая продуктивность сосны при меньшей заболоченности экотопа (с. черничный) оказалась больше, чем в более переувлажненном (с. багульниково-сфагновый), почти в два раза изменчивость ее радиального прироста также подчинено изменению увлажненности. Причем, прогрессирующее угнетение древостоя во влажную эпоху наступало раньше у более возрастных его групп. Возникшая и развивающаяся в неустойчиво влажную эпоху 55-летняя возрастная группа деревьев обладала не только наибольшей стволовой продуктивностью, но и ее наибольшей изменчивостью.

В структуре временных рядов индексного прироста (рисунок 3.17), усиливающего климатический сигнал, отражены переломные моменты в их изменчивости: в 1940 г. (при наступлении фазы похолодания и сокращения осадков неустойчиво влажной эпохи) и в 1976 г. (при переходе к фазе потепления).

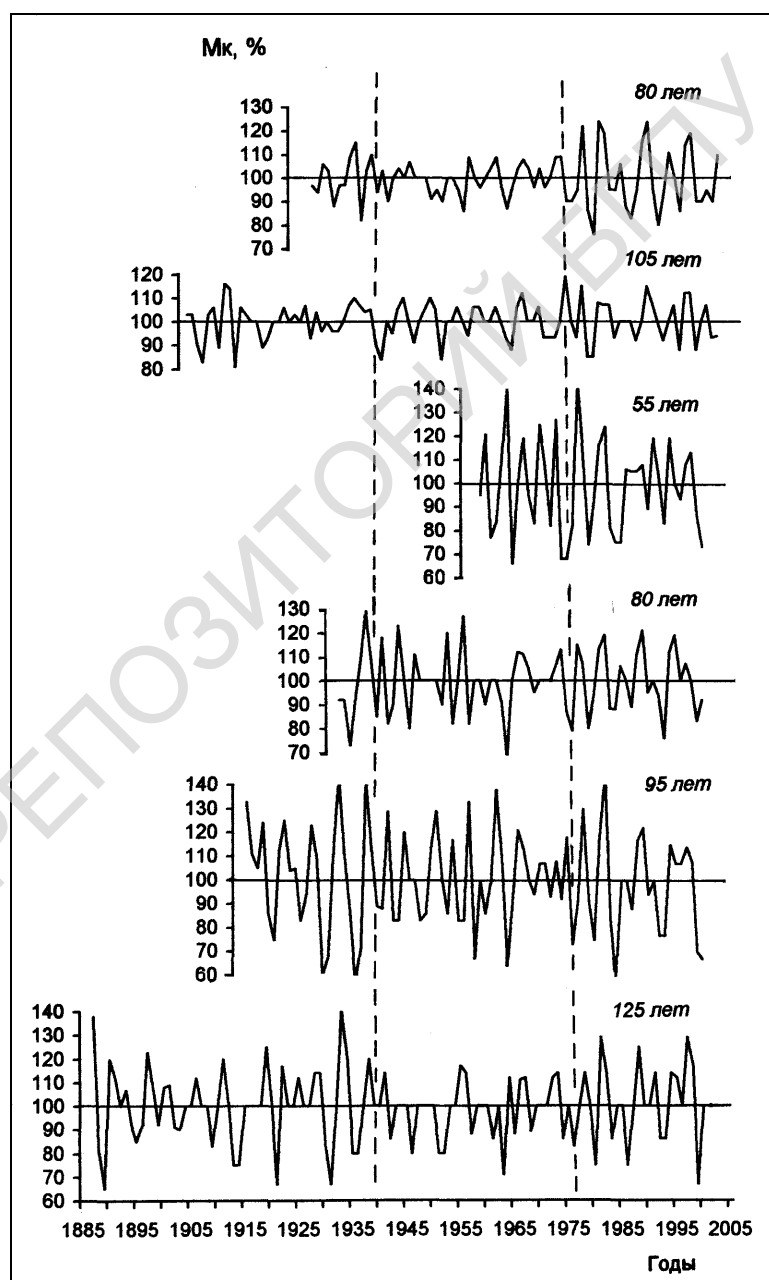


Рисунок 3.17 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста (Mk, %) возрастных групп деревьев в сосняке черничном (80 и 105 лет) и в сосняке



багульниково-сфагновом (55, 80, 95 и 125 лет).  
Вертикальной штриховой линией показаны 1940 и 1976  
гг.

Синхронность в ходе изменчивости до 1976 г. индексного прироста между всеми возрастными группами сосны возникла только при потеплении климата и сокращении притока солнечной радиации у возрастных групп деревьев, принадлежащих к одному и тому же типу леса – у поколений сосняка багульниково-сфагнового ( $0,76 < r < 0,89$  при  $n = 26$ ,  $P = 0,999$ ) и у сосняка черничного ( $r = 0,61$ ,  $P = 0,999$ ), но не проявилась у поколений разной типологической принадлежности ( $-0,24 < r < 0,42$ ,  $P < 0,95$ ).

Дисперсия (стандартное отклонение) индексного прироста у сосняка черничного при переходе через переломный момент в 1976 г. заметно увеличилась (у 80-летних сосен – с 6,4 до 14,4 %, у 105-летних – с 7,6 до 9,0 %; для сравнения: до 1940 г. – 7,8 %). Иная ситуация с сосняком багульниково-сфагновым: у 55-летнего поколения она уменьшилась с 27,7 до 16,2 %, у 80-летнего (13,0 и 12,8%) и у 95-летнего (20,9 и 20,9 %, до 1940 г. 24,3 %) она практически не изменилась, а у 125-летней группы она увеличилась с 11,3 до 16,6 % (до 1940 г. – 14,8 %). Соответственно менялась и чувствительность возрастных групп сосны к климатическим факторам (см. таблицу 3.9).

Реакция сосны на температурный фактор определялась ее принадлежностью к экотопу. Только у сосняка черничного при похолодании климата существовала прямая статистически значимая зависимость от температуры безлиственного (октябрь-апрель), а не вегетационного (май-июнь) периода (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Коэффициенты корреляции (0,...) индексного прироста возрастных групп сосны с температурой воздуха ( $t$  °C) и осадками.

Тип леса	Возраст, лет	Период	Коэффициенты корреляции					
			до 1939 г.		1940-1976 гг.		после 1976 г.	
			с $t$ °C	с осадками	с $t$ °C	с осадками	с $t$ °C	с осадками
С. черничный	80	Май-июнь	-	-	01	30	-18	<b>54</b>
		Май-сентябрь	-	-	-06	33	-14	<b>45</b>
		Октябрь-апрель	-	-	<b>33</b>	-11	23	37
		год	-	-	26	25	12	<b>61</b>
	105	Май-июнь	12	07	22	02	29	<b>39</b>
		Май-сентябрь	06	11	28	-14	-13	18
		Октябрь-апрель	01	-18	<b>37</b>	34	<b>44</b>	31
		год	01	-01	<b>42</b>	13	29	36
С. багульниково-сфагновый	55	Май-июнь	-	-	46	47	-27	<b>53</b>
		Май-сентябрь	-	-	17	06	-11	21
		Октябрь-апрель	-	-	-40	02	-02	25
		год	-	-	-22	08	-06	35
	80	Май-июнь	-	-	-09	24	-16	<b>47</b>
		Май-сентябрь	-	-	-20	-01	05	28
		Октябрь-апрель	-	-	15	16	02	12
		год	-	-	01	12	03	29
	95	Май-июнь	-29	30	-01	07	-13	<b>44</b>
		Май-сентябрь	-26	20	-02	08	-01	<b>39</b>
		Октябрь-апрель	-21	39	10	-04	-12	20
		год	-26	-02	07	05	-11	<b>43</b>
	125	Май-июнь	02	14	23	-01	-08	<b>63</b>
		Май-сентябрь	07	03	-01	23	-02	31
		Октябрь-апрель	-14	-14	03	18	08	19

	год	-07	-05	04	28	06	36
Примечание: Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при $P = 0,999$ .							

Эта зависимость у более старшего поколения сохранилась и при потеплении климата (после 1976 г.). Данная связь между этим параметром стволовой продуктивности этого типа леса не является свойством только исследованного насаждения. Она характерна для сосняков черничных на иллювиально-гумусово-железистом подзоле в Белорусском Полесье. Подобная связь индексного прироста с температурой воздуха не зависимо от климатической обстановки (похолодания или потепление) не прослежена у всех возрастных групп древостоя в сосняке багульниково-сфагновом (см. таблицу 3.10).

Индексный прирост до 1976 г. не находился в статистически достоверной прямой связи с атмосферными осадками. Его зависимость от них возникла у всех без исключения возрастных групп после 1976 г. при потеплении климата и снижения притока солнечной радиации в месяцы активного роста (май и июнь), а у некоторых групп и за вегетационный период (май-июнь). Для сосны с поверхностной корневой системой, не проникающей ниже плотного иллювиально-гумусово-железистого горизонта в сырые пески, атмосферные осадки явились ведущим фактором для нарастания стволовой массы древостоя.

На сопредельном верховом болоте индексный прирост сосны после 1976 г. находился в неустойчивой зависимости от температуры воздуха. Однако при положительной связи с ней возникал лаг запаздывания на два года с появлением обратной связи. У исследованного экотонного насаждения этот фазовый сдвиг не выявлен: коэффициенты корреляции оказались в пределах двух стандартных ошибок.

Наступление переломного момента 1976 г. также совпало с резким сокращением поступления прямой солнечной радиации. Как отмечалось, ее приток в 1977 г. скачкообразно уменьшился почти на 40% по сравнению с 1976 г. и в последующие годы оказался на 16% меньше, чем в предыдущие.

Омбротрофноболотно-лесной экотон оказался перспективным для постановки дендрэкологических исследований для выявления реакции формации сосны на изменение климатических и гидрологических факторов. При этом необходимо было учитывать особенности эдафотопы (наличие плотных, не проницаемых для корневой системы горизонтов) и возраст древостоя (не менее 80 лет). В этом экотоне происходит смена чувствительности сосны к климатическим факторам. Зависимость ее индексного прироста от атмосферных осадков возникла при потеплении климата и сокращения прямой солнечной радиации после 1976 г.

## 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ЕЛИ И СОСНЫ В XIX И XX ВЕКАХ

### 4.1 Влияние вулканических извержений на хвойные леса Беларуси

При широком обсуждении современной экологии лесного хозяйства Беларуси главное внимание обычно сосредотачивается на двух антропогенных факторах – осушительной мелиорации (особенно в Полесье) и техногенном загрязнении воздушной среды в крупных городах и промышленных центрах, а так же на сопредельных территориях.

В последние годы возрос интерес к погодно-климатическим аномалиям, влияние которых на леса остается неполно изученным. Получение новых данных по этой проблеме является необходимым как для познания причин появления самих аномалий, так и снижения устойчивости и гибели лесов на территории Беларуси. Деграция и отмирание лесов сопровождается большими хозяйственными потерями и уменьшением их экологических функций в природе. Разработка и реализация подходов к преодолению кризисных явлений в лесах без учета всех факторов, их вызывающих, может привести к напрасным усилиям и экономическим затратам.

Современные реалии лесного фонда Беларуси являются составной частью деграции и гибели лесов в Северном полушарии. В связи с этим приобретает актуальность выявление участия общепланетарных геофизических процессов в состоянии и продуктивности основных пород-лесообразователей как фона изменчивости этих показателей на региональном уровне под влиянием погодно-климатических условий и антропогенного воздействия.

Это направление научных исследований представляется также перспективным для объяснения синхронно наступающих периодов максимальной стволовой продуктивности и угнетения древостоя на географически разнесенных территориях не зависимо от его возраста, погодно-климатических, эдафических, биотических и антропогенных факторов. Нерешенной проблемой пока остается выяснения причин прогрессирующего снижения радиального прироста ели [97] и сосны [226] на территории Беларуси во второй половине 20-го столетия.

Массовое усыхание ели (*Picea abies* (L.) Karst.) в XX в. на территории Беларуси наступало после крупнейших вулканических извержений [149]. Лесное хозяйство еще не оправилось после последнего, середины 1990-х гг., этапа этого экологического бедствия. До сих пор пока не изжиты представления о главенствующей роли осушительной мелиорации и техногенного загрязнения среды в его наступлении. Подобные события не исключены в ближайшем будущем. Существует необходимость вернуться к этой проблеме и более внимательно, с привлечением новых данных, проанализировать причины угнетения ели в последней четверти XX в. К знаменательным событиям этого периода, кроме потепление климата, можно отнести крупномасштабные извержения вулканов за последние столетия.

Ухудшение состояния лесов на территории Беларуси, начиная с последней четверти XX в. с возросшей очевидностью показало на необходимость стратегии ведения лесного хозяйства, которая учитывала бы восстановительный потенциал самого леса в быстро меняющихся природных условиях не только в этом регионе, но и во всем умеренном климатическом поясе.

Успехи в выработке такой стратегии и ее реализации с учетом региональных особенностей (естественных и антропогенных), благодаря ученым и специалистам в области лесоведения, очевидны. Но остается нерешенной проблема учета в этой стратегии эпизодически возникающих событий, иногда с серьезными экологическими и экономическим последствиями, по той причине, что ситуация, их породившая, остается неизвестной, а время их наступления не предсказуемым. К числу таких событий можно отнести массовое усыхание ели в последней четверти XX в.

Усыхание древостоя в белорусских ельниках является составной частью ухудшения состояния лесов и их отмирания по всему миру, которое вызвано не только местными причинами естественного и антропогенного порядка, но и глобальными изменениями в биосфере. С учетом масштабов отмирания темнохвойных лесов во всей бореальной зоне, эта проблема приобретает общебиологическое значение, связанное как с устойчивостью природных систем к меняющимся факторам среды, так и с выяснением причин этого феномена и его прогнозирования [144].

В дендрохроноклиматологии утвердилось представление о климатической обусловленности флуктуаций радиального прироста древесных пород, определяемого биологическими особенностями самой древесной породы и ее возрастом. По существу, это представление созвучно положению актуализма: «Современность – ключ к познанию прошлого», как составной части сравнительно-исторического метода, благодаря теории униформизма получившего широкое применение в геологии. Согласно этой теории, все когда-либо происходившие изменения в земной коре и на ней обусловлены однородным воздействием тех же самых сил, которые действуют и ныне. В частности, реконструкция климата былых эпох в дендроклиматологии осуществляется с привлечением годичных колец древесины.

В многолетнем ходе радиального прироста отражены не только изменения погодноклиматических условий, но и эпизодические события, носящие катастрофический характер. Эти события могут оказать заметное влияние на природную среду. Идея о катастрофах, зародившаяся в глубокой древности, в XVII и XVIII вв. стала использоваться для объяснения геологической истории Земли. Согласно ей, длительные периоды относительного покоя сменяются короткими катастрофическими событиями, преобразовавшими лик Земли и изменяющими органический мир.

В результате развития эволюционных представлений, начиная с Ч. Дарвина, катастрофизм, или конвульсионизм, утратил свои позиции. Однако, благодаря ему сохранились представления об эпизодических событиях, нарушающих однообразие в истории Земли. В настоящее время прогнозируемые экологические катастрофы в результате потепления климата превращаются в сознании людей в навязчивое ожидание.

По мнению Ю.И. Манько и Г.А. Гладковой [144], деградацию лесов можно рассматривать как тревожный симптом изменения биосферы в неблагоприятную для человечества сторону. По существу – это грандиозный своеобразный эксперимент, который периодически ставит природа. Обобщение материалов, освещающих усыхание темнохвойных лесов в различных регионах, выявление всех факторов, причастных к их усыханию, и получение новых данных по этой проблеме следует рассматривать как крайне необходимый этап в познании этого феномена.

К эпизодическим событиям относятся извержения вулканов, которые могут служить лабораторией катастрофизма. Беларусь достаточно далеко удалена от ныне действующих вулканов, и по этой причине сведения о последствиях их извержений представляет, в основном, информационный интерес. Вместе с тем, не исключается их влияние на состояние и стволовую продуктивность хвойных лесов республики.

Усыхание еловых лесов и снижение устойчивости сосновых в конкретных лесорастительных условиях являет собой сложный процесс с участием множества лимитирующих факторов различной природы (биологических, небиологических и антропогенных). Причем, этот процесс во второй половине XX и начале XIX вв. происходит на фоне непостоянного притока солнечной радиации, как в результате вулканических извержений, так и техногенного загрязнения. Именно это непостоянство, отраженное в изменчивости погодноклиматических условий, рассматривается в качестве основной причины снижения устойчивости и стволовой продуктивности еловых лесов Беларуси [103].

Изменчивость радиального прироста маркирует состояние не только лесных экосистем, но и природной среды, оказывающее прямой или косвенное влияние на все аспекты хозяйственной деятельности и здоровье человека. Здесь важно понять сам механизм воздействия на нее не только региональных, но и глобальных факторов, чтобы предотвратить, если будет возможным, вероятные угрозы, связанные с изменением климата и антропогенным воздействием. Извержения вулканов предоставляют такую возможность познания трансформаций природной среды,

индикатором которых служит годичный прирост хвойных древесных пород, в частности ели, наиболее чувствительной, по сравнению с другими породами, к внешнему воздействию.

Потепление климата в последней четверти XX в. и возникающие при этом угрозы заставляют более внимательно отнестись к экологическим последствиям на территории Беларуси крупнейших извержений (катастроф) вулканов Сент-Хеленс, Эль-Чичон, Пинатубо и др.

Продукционный процесс лесных пород в региональных климатических условиях может отражать изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений. Большая часть колебаний климата в историческую эпоху, а отчасти за голоцен в целом, связанных с колебанием полярных льдов и горных ледников Северного полушария, вызывается изменениями прозрачности атмосферы вулканического характера, хотя они и осложняются автоколебаниями системы «атмосфера – океан – суша – полярные льды» [72]. После крупных извержений вулканов, являющихся источником большого количества пепла и аэрозолей, температура у поверхности Земли в течение 2–3 лет, но не более 5 лет, понижается на 0,2–0,3 °С в низких широтах и до 1,5 °С в высоких [72].

Существенная часть атмосферного аэрозоля сосредоточена на высотах 18–20 км (слой Юнге), и ведущее значение в его пополнении принадлежит вулканическим извержениям. Аэрозоль состоит из незамерзающих капель переохлажденного раствора серной кислоты, а так же из кристаллов солей соляной кислоты. Повышенная замутненность атмосферы после вулканических извержений в качестве ее глобального источника проявляется на значительной площади и, как следствие, способствует уменьшению прямой солнечной радиации [132].

Колебания значений прямой солнечной радиации, поступающей на земную поверхность, связаны с циркуляцией атмосферы и кратковременным (1–3 года) увеличением замутненности атмосферы после крупных вулканических извержений.

В качестве индикатора изменения погодно-климатической обстановки после вулканических извержений может служить величина радиального прироста. Похолодание климата вследствие этих извержений часто отзывается уменьшением ширины и морозным повреждением годичных колец в тысячах километров от вулкана [285]. Беларусь достаточно далеко удалена от действующих вулканов, и по этой причине в экологических исследованиях по лесной тематике вулканическая проблематика не нашла отражение. Геофизические факторы (извержение вулканов, замутненность атмосферы, яркость солнечного диска и др.) во влиянии на стволовую продуктивность насаждений остались практически неизученными.

Для анализа этого влияния привлечены сведения о росте и развитии не только современных поколений лесных пород, но и дендрокольцевые хронологии, сохранившиеся в старых деревянных строениях. К сожалению, в этих строениях, за редким исключением, разрушены наружные годичные кольца бревен, и точная датировка их многолетней изменчивости уже невозможна. Только в поселке Паричи Светлогорского района удалось отобрать образцы древесины у 6 сосновых бревен с сохранившимися наружными кольцами под остатками коры.

Время постройки строения (1887 г.) точно установлено, дата вырубki деревьев определена с опережением на два года. Дополнительно были отобраны образцы древесины из 6 бревен (с разрушенными наружными кольцами) памятника деревянного зодчества 1883 г. для получения осредненной дендрокольцевой хронологии применен метод перекрестного датирования. Точной датировке способствовала прорость на торце бревна как последствие пожара 1839 г.

Влияние вулканических извержений на погодно-климатические условия, состояние и продуктивность хвойных лесов Беларуси можно проследить также по изменчивости радиального прироста ели за последние 50 лет. Наиболее контрастно его экстремумы в качестве индикатора происходящих изменений проявились на западном фланге темнохвойных лесов. При подготовке этого раздела привлечены мастерхронологии радиального прироста ели в квартале № 32 Сморгонского лесхоза. Для осреднения использованы 12 образцов древесины (керы), отобранные у деревьев в возрасте 85 лет, 8 – 70 лет и 20 – 60 лет. Угнетение ели на этой территории наступало синхронно с ее угнетением в других регионах Беларуси и в зоне южной тайги [97].

Применен основной метод в дендрохронологии – сопоставление экстремумов в многолетнем ходе изменчивости годичных колец с погодными аномалиями и другими событиями в природной

среде (в нашем случае – с извержениями вулканов). Возрастные индексы радиального прироста определены с применением пятилетнего скользящего сглаживания. Привлечена также информация об извержении вулканов. Прежде всего, четко фиксируется угнетение радиального прироста сосны в последней четверти XVIII в. после извержения вулканов с эксплозивным индексом по шкале  $VEI \geq 4$  (рисунок 4.1). За сравнительно короткий отрезок времени произошло несколько вулканических катастроф, среди которых извержения Котопахи (1768 г.), Пападаяна (1772 г.), Сакурадзимы (1779 г.) и Ассамы (1783 г.).

Очищение атмосферы от вулканического аэрозоля и, как следствие, усиление притока солнечной радиации и потепление привели к увеличению (через фотосинтез) стволовой продуктивности сосны до извержения Унцендаки в 1792 г. Наибольшее угнетение радиального прироста наступило после извержения исландского вулкана Лаки в 1783 г, которое является крупнейшим геологическим событием в истории Земли за последнее тысячелетие. В результате взрыва образовалась 30-километровая трещина, через которую в атмосферу было выброшено 120 млн тонн диоксида серы. Кислотное облако накрыло всю Европу, проникло в Северную Африку и Азию. За этим извержением последовали сильнейшие холода и обильные осадки.

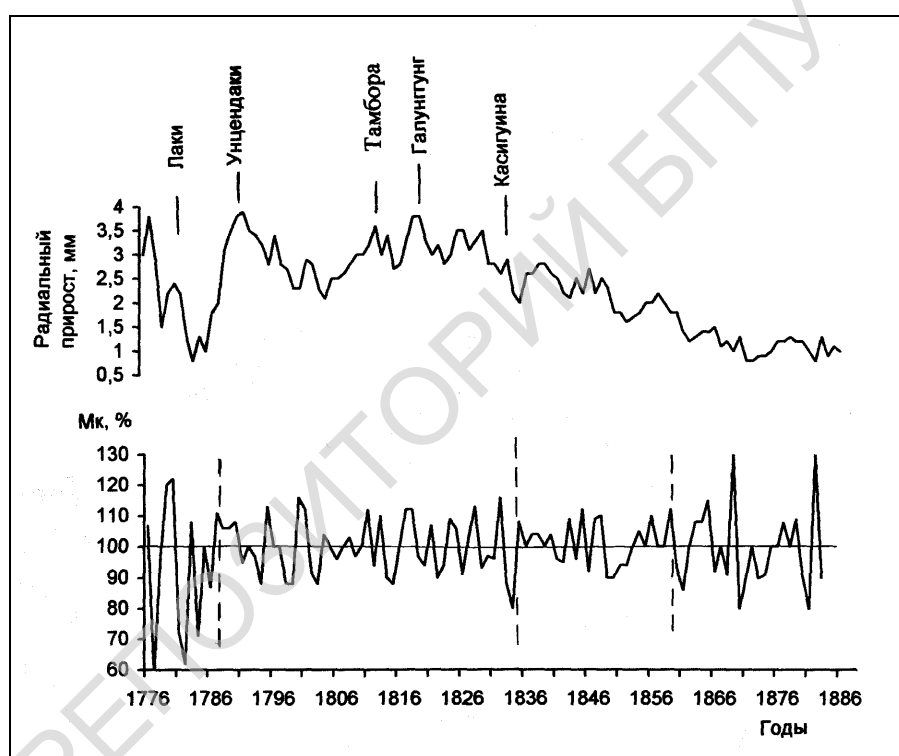


Рисунок 4.1 – Ход изменчивости радиального прироста сосны и его возрастных индексов (Мк) в XIX в. Вертикальными линиями показаны извержения вулканов и приведены их названия.

Следующее угнетение прироста с меньшей амплитудой, но более продолжительное, последовало за извержением Унцендаки в 1792 г. Следует отметить периодичность депрессии радиального прироста после наиболее масштабных вулканических извержений в первой половине XIX в.

Так, глубокая депрессия радиального прироста сосны в 1816–1817 гг. последовала за извержением Майона в 1814 г. с мощным выбросом пепла и после самого крупного за историческое время извержения со взрывом Тамборы в 1815–1816 гг. Следующая депрессия прироста в 1822–1825 гг. наступила после сильного эксплозивного, но с выбросом рыхлых масс извержения Галунгунга в 1822 г. Примечательно также, что угнетение древостоя в 1835–1836 гг. произошло вслед за вторым после катастрофы на Тамборе крупнейшим извержением со взрывом в новейшей исторической эпохи Косигуины в 1835 г.

После этого извержения на Полесье произошли заметные изменения в климатической обстановке, которые выразились в трансформации временного ряда возрастных индексов радиального прироста. Первое изменение в структуре ряда появилось в 1787 г., до которого дисперсия индексов была наибольшей (стандартное отклонение  $\sigma = 25,2$  %). Следующее изменение структуры ряда наступило в 1835 г. При переходе через 1835–1836 и 1860 гг. дисперсия возрастных индексов значительно изменялась: стандартное отклонение до 1835 г. составило 8,6, в 1836–1860 гг. – 8,1 и после 1860 г. – 12,3 %.

Увеличение вариабельности возрастных индексов во второй половине XIX в. подтверждает угнетение древостоя (чем больше значение индексов, тем меньше текущий радиальный прирост) в условиях более неблагоприятных и неустойчивых климатических условиях, наступивших при относительном вулканическом затишье. После взрыва Косигуины в 1835 г. крупномасштабное проявление вулканизма в Северном полушарии прекратилось до извержения Кракатау в 1883 г.

Из погодно-климатических аномалий следует отметить наводнения 1845 и 1861 гг. с депрессией радиального прироста, беспросветные холодные дожди 1860-го десятилетия, а также засухи 1839, 1868 и 1874 гг. [21]. Ухудшение лесорастительных условий на Полесье к середине 19-го столетия связано также с кульминацией второй волны холодной стадии Фернау, приведшей к максимальному угнетению «островных» ельников [97].

У современных великовозрастных поколений сосны (более 100 лет), после угнетения, максимальная стволовая продуктивность наступала в 1870–1880-е гг. (в «докракатауский» период) и между 1920-ми и 1950-ми гг. [226]. Эта же закономерность свойственна и ельникам зеленомошной серии на плакорных местообитаниях в средней и северной полосах Беларуси. Причина, по всей видимости, заключена в изменяющейся прозрачности атмосферы под влиянием вулканических извержений.

Кроме взрыва Кракатау в 1883 г., в этот период угнетения древостоя характер катастроф имели извержения вулканов Кобандай (сильный взрыв в 1888 г.), Бандансан (1888 г.), Майон (1897 г.), Санта-Мария, Суфриер (1902 г.), Мон-Пеле (1902 г., самая тяжёлая катастрофа 20-го столетия с палящей тучей), Катмай (одно из сильнейших извержений со взрывом в 1912 г.), Лассен-Пик (выбросы палящих туч в 1915 г.), и др. Неустойчивый приток солнечной радиации в результате замутнения атмосферы аэрозолями вулканического происхождения, вероятно, послужил причиной снижения радиального прироста сосны в 1890-1920-х гг. по сравнению с «докракатауским» периодом.

Атмосфера к 1930-м годам существенно очистилась от аэрозоля вулканического происхождения, и яркость солнечного диска до 1950-х гг. была максимальной за последнее столетие. Устойчивое повышенное значение прямой солнечной радиации оказало положительное влияние на стволовую продуктивность хвойных насаждений. При этом нельзя исключать суммацию с другим, гелиофизическим фактором – увеличением яркости солнечного диска в квазивековом цикле В.Ф. Логинова [131]. Антагонизм во влиянии геофизического и гелиофизического факторов с одной стороны и климатического с другой проявился в угнетении радиального прироста под воздействием экстремальных погодных условий при переходе в начале 1940-х гг. от влажной климатической эпохи к неустойчиво влажной.

После 1950-х гг. для сосновых насаждений занимающих автоморфные почвы на юге и севере Беларуси, наступил период общего снижения текущего радиального прироста до минимальных значений к рубежу наступающего 21-го столетия [226]. Этот же процесс свойственен ели европейской [97]. Именно этот период характеризуется устойчиво направленным снижением интенсивности прямой солнечной радиации в результате очередного цикла вулканических извержений.

Угнетение радиального прироста ели в начале 1940-х гг. вызвано аномальными морозами [97]. Наступление необычайно суровых зим в европейской части России (и в Беларуси) происходит с регулярной периодичностью через 62 года [21] и, вероятно, в этом случае не связано с вулканическими извержениями.

Среди крупнейших за последние 50 лет следует отметить следующие извержения вулканов: Гекла (1947-1948 гг.), Ламингтон (взрыв с палящей тучей в 1951 г.), Безымянный (взрыв в 1956 г.),

Ассама (взрывы в 1958 и 1961 гг.), Тристан (1961-1962 гг.), Агунг (1963 г.), Арекаль (огромная палящая туча в 1980 г.), Сент-Хеленс (грандиозное извержение в 1980 г.), Эль-Чичоне (1982 г.), Пинатубо (1991 г.) и др. После 1950-х годов последовало устойчивое падение радиального прироста ели на территории Беларуси и снижение устойчивости её насаждений.

Наиболее знаменательными событиями в экологии леса во второй половине 20-го столетия были также угнетения ели в первом пятилетии 1950-х, 1963-1968, 1980, 1992-1994 и 2000 гг., приведшие к ее массовому усыханию. Показательным примером влияния вулканических извержений на погодно-климатические условия и стволовую продуктивность еловых лесов может служить изменчивость радиального прироста ельника мшистого в квартале № 32 Сморгонского лесхоза.

Территория тест-участка относится к холмисто-моренно-эрозионному роду ландшафтов. Отличительной особенностью её является антропогенный микрорельеф, связанный с военно-инженерным обустройством линии обороны в Первую мировую войну. Как представляется, оборонительная система создавалась на месте пахотных угодий, о чём свидетельствует достаточно мощный гумусный горизонт (до 45 см), представляющий собой супесь серую, внизу осветлённую, которая залегает на супеси моренной, коричневато-буровой, с валунами и галькой.

Всего возрастным буровом было отобрано 20 образцов (кernов) древесины у деревьев, из которых 12 экземпляров диаметром 48-74 см, высотой 24-28 м, оказались в возрасте 85 лет, и 8 экземпляров диаметром 52-60 см, такой же высоты – 70 лет. Дальнейшее тестирование оказалось невозможным по причине исчерпания количества деревьев большого диаметра и довольно часто обнаруживаемой гнили внутри ствола.

На соседствующих выделах без антропогенного микрорельефа с мшистым типом ельника отобраны образцы древесины у 20 деревьев диаметром 22-28 см, высотой 18-20 м, 60-летнего возраста. Необходимо отметить наличие в этой возрастной группе также довольно часто встречаемых деревьев со стволовой гнилью (на 20 тестируемых пришлось 6 повреждённых).

Для анализа связи прироста с метеоэлементами (температурой воздуха и осадками) использованы результаты инструментальных наблюдений на метеостанции Воложин, начатые Белгидрометом в 1946 г. Метеостанция Воложин расположена в 30 км к юго-юго-востоку от тест-участка.

Метеорологические условия Воложина отражают существование двух фаз в климате Беларуси во второй половине XX столетия: похолодания (до 1976 г.; среднегодовая температура ниже средней многолетней) и потепления (после 1976 г.; среднегодовая температура выше средней многолетней) [6].

Среднегодовая температура фазы потепления в Воложине на 0,5 °C выше, чем фазы похолодания, в основном, за счет потепления безлиственного периода на 0,9 °C (таблица 4.1). Потепление не затронуло вегетационного периода.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика фаз похолодания (1945-1976 гг.) и потепления (1977-2000 гг.) второй климатической эпохи в Воложине

Период	1945-1976 гг.				1977-2000 гг.				1945-2000 гг.			
	$t$ °C		Осадки, мм		$t$ °C		Осадки, мм		$t$ °C		Осадки, мм	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Год	5,5	1,0	660	78	6,0	1,0	675	110	5,8	1,0	667	91
Май-сент.	14,7	0,9	346	75	14,7	1,0	372	99	14,7	0,9	358	87
Май-июнь	14,1	1,4	139	31	14,4	1,3	148	63	14,2	1,3	143	48
Окт.-апрель	-1,1	1,4	314	65	-0,2	0,2	303	47	-0,7	1,5	309	57
Примечание: $\bar{x}$ – среднее значение, $\sigma$ – стандартное отклонение.												

В вегетационный период осадков стало выпадать больше (на 26 мм), за безлиственный – меньше (на 11 мм). Главное отличие в климате двух фаз заключено в том, что в теплую фазу увеличилась дисперсия осадков за вегетационный период (на 24 мм), месяцы активного роста (на



32 мм) и, в целом, за гидрологический год (на 32 мм), а за безлиственный период она уменьшилась (на 18 мм) по сравнению с фазой похолодания.

Чувствительность ели к климатическим факторам среды была низкой: в среднем, для группы деревьев 85-летнего возраста коэффициент чувствительности равен 0,29, 70-летнего – 0,20 и 60-летнего – 0,18. Только в фазу потепления он увеличился до 0,37 (у 85-летней группы) и 0,32 (у 70-летней).

В изменчивости радиального прироста ели присутствуют короткопериодичные циклы, наиболее четко выраженные у 85- и 70-летних поколений. Ему свойственны также одновременно наступающие, синхронные депрессия и экспрессия (рисунок 4.2).

Стволовая продуктивность приспевающей группы деревьев до извержения Геклы в 1947 г. и Ламингтона в 1951 г. После холодного (4,2 °С, 607 мм осадков) 1947 г. с суровыми морозами в феврале (-13,2 °С) в малоснежную зиму (за декабрь-февраль выпало 56 мм осадков) начался достаточно продолжительный период угнетения 85-летнего поколения елей, который завершился депрессией в 1954 г. с морозными январем (-12,0 °С) и февралем (-12,6 °С), опять же в малоснежную зиму (73 мм осадков).

С улучшением лесорастительных условий ширина годовых колец у трех возрастных групп елей увеличивалась, достигнув пика в 1959 г. (6,8 °С, 572 мм осадков) при мягкой (-3,3 °С) и снежной зиме (145 мм осадков). Следующая депрессия радиального прироста после извержения Агунга в 1963 г. своим возникновением обязана экстремальной экологической ситуации: морозному январю (-13,5 °С при 14 мм осадков, холоднее было только в 1987 г. – -15,6 °С) и рекордно малому количеству осадков (491 мм) в 1963 г. Постепенное улучшение состояния древостоя завершилось в начале 1970-х гг.

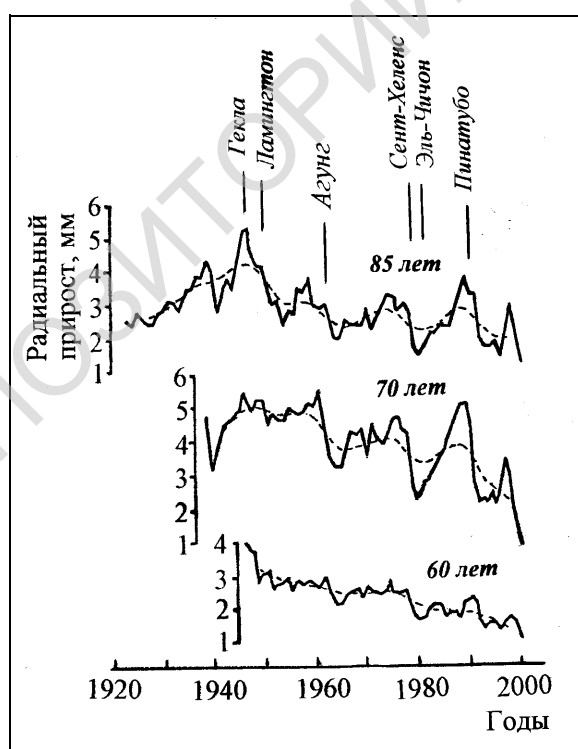


Рисунок 4.2 – Ход изменчивости радиального прироста ели в XX в. 85 лет – возрастная группа деревьев.

Очередное угнетение насаждения последовало за извержением Святой Елены. Извержение Святой Елены, активного стратовулкана в Каскадных горах Тихоокеанского побережья (штат Вашингтон, США), начавшееся 18 мая 1980 г., является одним из наиболее значительных геологических событий XX в. Общая энергия извержения только за первый день составила 400 млн. тонн тротила. Выбросы пепла обогнули земной шар за 11 дней. Такие быстро протекающие

геологические процессы позволяют проследить резкие кратковременные изменения в состоянии природной среды на географически удаленных территориях, для объяснения которых нередко привлекаются антропогенные факторы.

По сравнению с 1955-1976 гг. ее интенсивность в год извержения Святой Елены уменьшилась на 30,3 %, а за вегетационный период – на 41,4 %. Масштаб угнетения (глубокая депрессия радиального прироста отмечена на дендрощкалах во всех регионах Беларуси [97]) позволяет рассматривать 1980 год как один из самых неблагоприятных для ели. Сокращение интенсивности прямой солнечной радиации, по всей видимости, привело к одному из самых холодных вегетационных периодов (13,7 °С). Угнетения древостоя не вызвало его усыхания: зима оказалась многоснежной (в декабре выпало 105 мм осадков при среднемесячной температуре -4,3 °С).

Сельское хозяйство Беларуси в год извержения Святой Елены понесло ощутимые потери – урожайность озимой ржи по сравнению с 1979 г. сократилась в 1,7 раза, а ярового ячменя в 2 раза. Кроме погодных условий на недобор урожая, очевидно, оказало загрязнение атмосферы вулканическими продуктами и, как следствие, уменьшение притока солнечной радиации, необходимой для фотосинтеза.

Кроме низкой годичной температуры (4,7 °С) и недоборе 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. Однако усыхание ели не последовало из-за отсутствия экстремальных морозов при снежном покрове: 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.

После извержения вулкана Эль-Чичон (Мексика) в марте и апреле 1982 г. равномерное загрязнение стратосферы в Северном полушарии вулканическим пеплом и аэрозолем (только оксида серы было выброшено около 10 млн. тонн) произошло в течение года. Сокращение притока прямой солнечной радиации на территорию Беларуси стало значительным на третий год. В 1984 г. ее интенсивность составила 1271 мДж/м<sup>2</sup> или 72,6 % к среднему показателю 1955–1976 гг., а за вегетационный период – 845 мДж/м<sup>2</sup> или 64,4 %.

В целом, извержение Эль-Чичона не привело к существенному ухудшению лесорастительных условий на территории Беларуси. Продолжавшееся угнетение радиального прироста ели отмечено только на западе (Сморгонский лесхоз), и в черничниках на мелиорированных землях в восточной части Полесья (Октябрьский, Калининковский и Светлогорский лесхозы, где после его незначительного увеличения в 1983–1984 гг. наступила глубокая депрессия [97]).

Необходимо отметить, что рекордно холодный январь 1987 г. не вызвал депрессию радиального прироста: предохраняющую от подмерзания корневых систем функцию, по всей видимости, выполнил снежный покров (в декабре-январе выпало 106 мм осадков). Увеличение ширины годичных колец продолжалось вплоть до извержения Пинатубо в 1991 г.

Извержение Пинатубо (Филиппины) в июне 1991 г. в 10 раз было более мощным, чем Святой Елены в 1980 г. Только в атмосферу было выброшено около 20 млн. тонн оксида серы. Соединяясь с парами воды, он образует аэрозоль серной кислоты, который вместе с вулканическим пеплом создает экран, задерживающий солнечный свет.

Извержение Пинатубо не только приостановило потепление климата, но и висевшая в течение нескольких лет пелена пепла и аэрозолей над планетой привела к понижению температуры на 0,5-1,0 °С. Это похолодание выразилось в появлении на территории Беларуси экстремальных морозов, которые вызвали повреждение корневой системы ели, повлекшего усыхание ее древостоя.

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 т. ч. 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.

Угнетение насаждения усугубилось, очевидно, повреждением корневых систем в холодном (-5,5 °С) и сухом (7 мм осадков) ноябре 1993 г. Оно продолжалось до засушливого (472 мм осадков) 1996 г., отличившегося не только экстремальными зимними холодами (средняя температура зимы -8,4 °С), но и наименее влажным за вторую климатическую эпоху безлиственным периодом (208 мм). 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 последующие годы ширина годичных 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 явилась дополнительным фактором, заставившим ослабленную древостой мобилизовать внутренние ресурсы жизнеобеспечения, исчерпание которых привело 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) привело к увеличению стволовой продуктивности и улучшению состояния насаждения. Экспрессия радиального прироста в 1998 г. с наибольшим количеством осадков сменилась глубоким угнетением всех возрастных групп насаждения в 1999 г. с экстремально низкими показателями увлажненности как года в целом (474 мм), так и вегетационного периода (164 мм) и месяцев активного роста (58 мм). Последние два показателя являются рекордными для второй эпохи.

Возникший стресс от морозного декабря 2001 г. (-8,4 °С) и особенно 2002 г. (-9,4 °С, в отдельные сутки температура воздуха понижалась до -37,5 °С) 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.

Ширина годичных колец в каждом цикле радиального прироста была наибольшей в годы с максимумом или «у максимума» солнечной активности при значительном различии как температурных условий (за год и в зимние месяцы), так и условий увлажненности. Однако в эти годы не возникали экстремальные условия (сильные морозы в малоснежную зиму, значительный недобор осадков в безлиственный период, летние засухи), которые могли бы повредить корневые системы и, в итоге, вызвать снижение стволовой продуктивности ели.

У 60-летней группы деревьев ели хорошо выражен тренд к постоянному снижению прироста от максимальных значений (4,0 мм) в 1946 г. до минимальных (1,1 мм) в 2000 г., с малоамплитудными подъемами и падениями, в отличие от более старших возрастных групп.

Причина этого процесса не ясна: все три возрастные группы деревьев ели, с незначительной разницей в возрасте, занимают один и тот же эдафотоп, и следовало бы ожидать более сопоставимую ритмику изменчивости радиального прироста. Тем не менее, в малоамплитудных подъемах и падениях просматривается их синхронность с приростом более старших возрастных групп и депрессия прироста 1963–1964 гг. (2,1 мм), 1980 г. (1,7 мм) и 2000 г. (1,1 мм).

В многолетнем ходе изменчивости индексов радиального прироста всех трёх возрастных групп ели (рисунок 4.3) его варьирование ( $\sigma$ , соответственно, равна 13,75 %, 10,48 % и 8,81 %) после 1940-х гг. было больше, чем у 85-летних до этого периода ( $\sigma = 6,22$  %). Причем, этот

параметр был заметно выше при потеплении: у группы деревьев 85-летнего возраста  $\sigma = 18,58\%$  (до 1976 г. –  $10,12\%$ ), 70-летнего  $\sigma = 14,71\%$  ( $7,10\%$ ) и 60-летнего  $\sigma = 10,61\%$  ( $7,30\%$ ).

Реакции ели на климатические факторы на тест-участке «Крево» свойственны те же закономерности, что и отмеченные для центральной части Беларуси (Минск и окрестности) и Могилёва, но с некоторыми особенностями. Изменение температуры воздуха гидрологического года и его периодов, принятых для дендроклиматического анализа, не имело значимого влияния на индексы радиального прироста всех возрастных групп елей: коэффициенты корреляции во всех случаях фазы похолодания (при  $n = 30$ , таблица 4.2) и потепления (при  $n = 22$ ), за исключением одного эпизода (у 60-летнего поколения за вегетационный период), статистически не значимы.

Повышение температуры воздуха за безлиственный период только для средней возрастной группы положительно сказывалось на увеличении модульных коэффициентов при потеплении климата в последней четверти XX ст. ( $r = 0,53$ , уровень значимости  $P = 0,95$ ).

Со вторым по значимости климатическим фактором – осадками – связь индексов радиального прироста более тесная только в фазу потепления. Возросло участие этого метеоэлемента в стволовой продуктивности: прямая зависимость модульных коэффициентов, отвечающая  $P = 0,99$ , от осадков за безлиственный период выявлена у групп деревьев возраста 85 лет ( $r = 0,48$ ) и 70 лет ( $r = 0,46$ ).

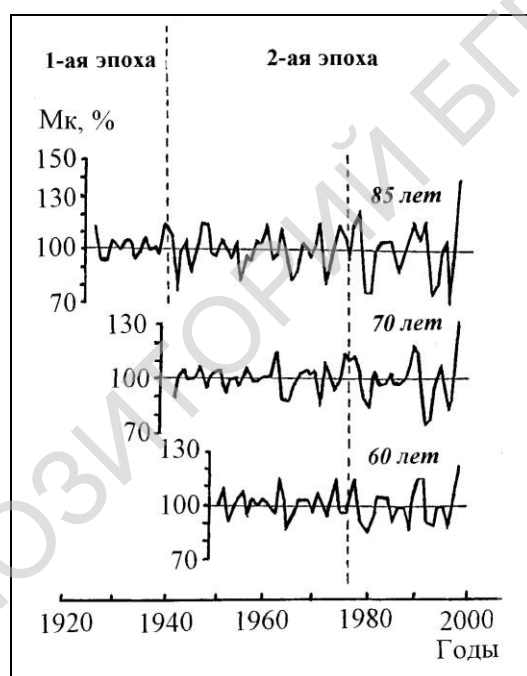


Рисунок 4.3 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста возрастных групп ели на тест-участке «Крево». Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Таблица 4.2 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексов радиального прироста возрастных групп ели с метеоэлементами фаз похолодания (1947–1976 гг.) и потепления (после 1976 г.) климата.

Возраст, лет	Период	с температурой воздуха	с осадками	с температурой воздуха	с осадками
		1947–1976 гг.		после 1976 г.	
85	Гидрологический год	,27	,18	,37	,55

	Май-сентябрь	,34	,09	,04	<b>,48</b>
	Май-июнь	-,12	,26	-,10	<b>,56</b>
	Октябрь-апрель	-,08	,11	,47	,27
70	Гидрологический год	,26	-,01	,21	<b>,57</b>
	Май-сентябрь	,35	,10	-,05	<b>,46</b>
	Май-июнь	-,08	,14	,03	,36
	Октябрь-апрель	-,03	-,09	,30	,36
60	Гидрологический год	,04	,23	,36	,36
	Май-сентябрь	-,10	,24	-,18	,33
	Май-июнь	-,13	,12	-,27	,40
	Октябрь-апрель	,03	-,02	<b>,53</b>	,16
Примечание. Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом – при $P = 0,99$ .					

Значение увлажненности гидрологического года при этом возросло ( $P = 0,99$ ), как для первой ( $r = 0,55$ ), так и для второй ( $r = 0,57$ ) возрастных групп. Для 85-летнего поколения значимы были также осадки месяцев активного роста ( $r = 0,56$ ).

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 – усыхание ели. 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 основных и еловых лесов в зональных условиях Беларуси отражает изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений. Следует отметить, что крупнейшие извержения вулканов каким-то образом связаны с солнечной активностью. Пока нет четкого понимания этой связи. Угнетение древесных пород (в нашем случае ели) при погодных аномалиях после вулканических извержений породило предположение о зависимости радиального прироста от солнечной активности.

Получение новых данных о влиянии общепланетарных процессов на региональные природные условия приводит к выводу, что значение антропогенных факторов в состоянии и продуктивности лесов Беларуси, оказывается преувеличенным. Разработка и реализация подходов к преодолению эпизодически возникающих кризисных явлений в лесах без учета всех условий, их вызывающих, может привести к напрасным усилиям и экономическим затратам. Экологический мониторинг обязан следить за информацией о «конвульсиях» планеты, которые могут отразиться и на состоянии природной среды Беларуси.

#### **4.2 Радиальный прирост сосны на автоморфных почвах Белорусского Полесья**

На современном этапе состояния природной среды региона невозможно решить экологические проблемы, вышедшие на передний план, без четкого понимания проблем ресурсного плана. По своей значимости, проявлению и прогнозируемому состоянию они группируются вокруг двух полюсов. На один полюс «нанизан» болотно-карбонатно-солончаковый комплекс [91]. Образование зоны сплошного карбонатакопления уже сейчас заставляет принимать решения по выведении его освоенных массивов из сельскохозяйственного использования. Ситуация осложняется тем, что литофациальной основой этого комплекса являются кварцевые пески, в которых после понижения грунтовых вод нейтральный карбонатный процесс распространился на всю площадь освоенных массивов.

Другой полюс проблем связан с использованием в лесном и сельском хозяйствах почв, включая гидроморфные, на кварцевых песках. Условия роста и развития лесной растительности на них определяется глубиной залегания пресных и ультрапресных грунтовых вод. После понижения этих вод, сопровождающего осушительную мелиорацию сопредельных переувлажненных сельскохозяйственных угодий, нарастает ксероморфизм этих почв.

На освоенных массивах с маломощным (до 0,5 м) торфяниками и заболоченными почвами на этой литогенной основе происходит быстрая сработка органического вещества (торфа и гумуса) до образования «седых» пашен с обрабатываемым светло-серым горизонтом. Сама природа таких земель определяет ограничения по их использованию в сельском и лесном хозяйствах. Почвы на кварцевых песках достаточно широко распространены на Полесье, особенно на юге Брестской области. Однако, на почвенных и почвенно-мелиоративных картах, нанесены почвы только на песках (не зависимо от минералогического состава), супесях и суглинках, но не указаны почвы на кварцевых песках. Точно также не отражается минералогический состав песков, подстилающих торф. Этот не адекватный дефект привел (и приводит) к необъективному определению ресурсного потенциала таких территорий. Возникла серьезная проблема не только почвоведческого сопровождения сельского хозяйства, но и лесного.

Практикующаяся после рубок посадка сосны в плужные борозды, практически в кварцевый песок, провоцирует ветровую эрозию и быструю сработку маломощного гумусного горизонта. В таких условиях выжившие культуры, поврежденные энтомофитами и болезнями (побеговыюны, Шютте и др.), формируют разреженные низкопродуктивные насаждения полупустынного облика. Большое значение при этом имеет глубина залегания грунтовых вод, понижение которой связано не только с осушительной мелиорацией, но и изменением климата.

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

Для исследования привлечены насаждения сосны, влияние осушительной мелиорации на экотопы которых исключается полностью – в лесопарке Мозыря на Мозырской гряде, в урочищах Воротень и Рогачевка. Урочище Воротень в Светлогорском лесхозе представляет собой эрозионный, 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 песках. Тип леса – сосняк мшистый, за исключением насаждения на Мозырской гряде, в напочвенном покрове которого преобладают злаки. Образцы древесины (керны) отобраны возрастным буровом на высоте 1,3 м в мае 2006 г.

Сведения о тестированных возрастных группах деревьев приведены в таблице 4.3. Многолетний ход изменчивости фактического (в мм) и индексного (в %) радиального прироста возрастных групп сосны представлен на рисунке 4.4.

Таблица 4.3 – Сведения о возрастных группах сосны на тест-полигонах в Мозыре, Воротене и Рогачевке

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 в м,  $D$  – средний диаметр в см,  $Kч$  – коэффициент чувствительности,  $\sigma$  – стандартное отклонение в возрастных индексах радиального прироста.

Все возрастные группы сосны пережили глубокую депрессию в 1943 г. после аномально холодных предыдущих трех зим. После этого угнетения общее падение стволовой продуктивности можно объяснить сокращением притока солнечной радиации в результате увеличения замутненности атмосферы аэрозолем вулканического и техногенного происхождения, а также изменением климатических условий.

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).

У сосны на тих 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 (таблица 4.4, при  $n > 100$ ). Только у 115-летней группы в Мозыре такая же связь существовала между индексовым приростом и температурой месяцев активного роста, а у сосен в Воротене она отсутствовала. Подобная зависимость обнаружена у сосняков мшистых и в других регионах Беларуси [226]. Однако картина данной связи оказывается не полной без учета изменения климатических условий формирования древесной массы.

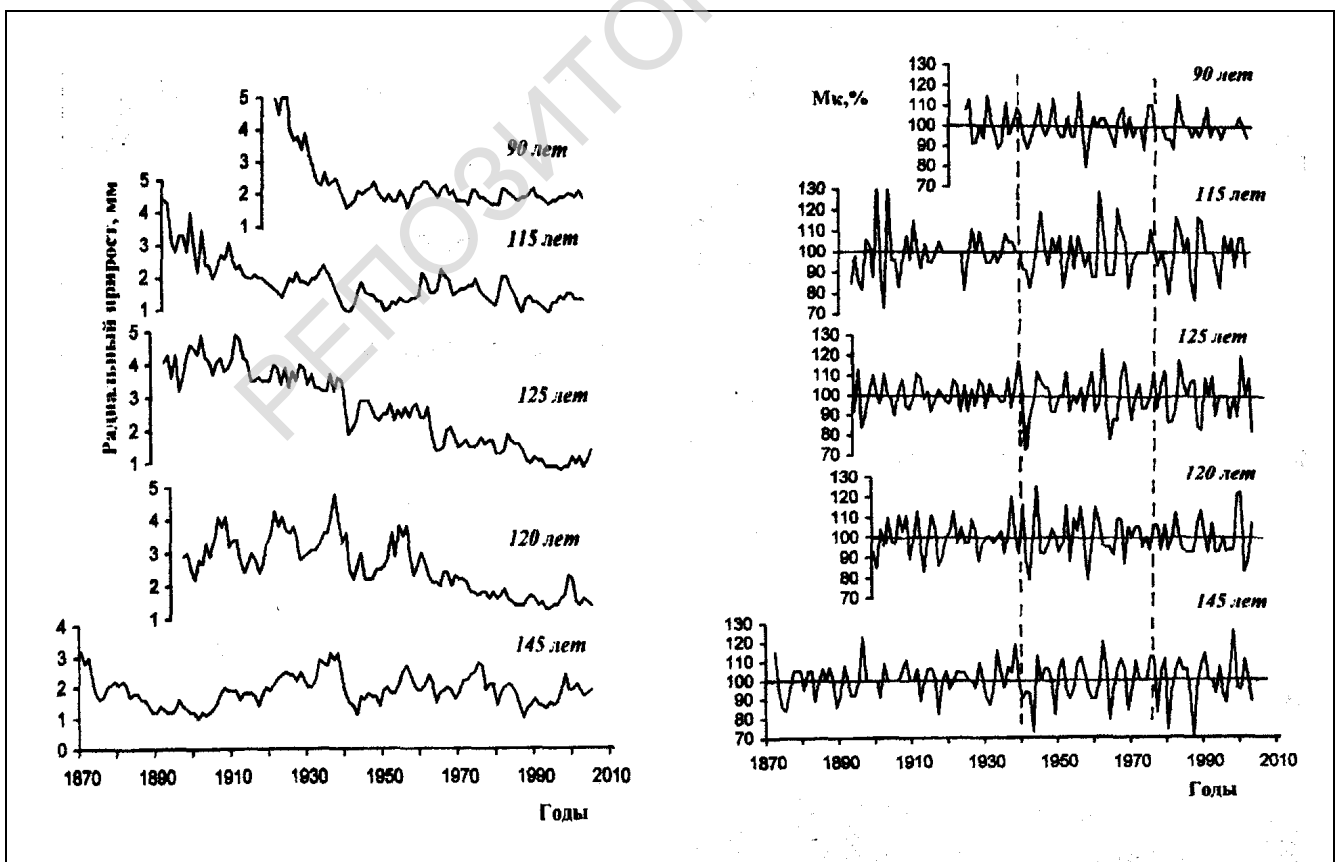


Рисунок 4.4 – Многолетний ход изменчивости фактического (радиального, справа) и индексового (Mк, слева) прироста возрастных групп сосны.

Изменение климата отразилось в связи индексов прироста сосны с температурным фактором. Для влажного климата (до 1939 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 (при  $n = 24$ ).

Вопреки широко распространенному представлению осадки оказались не ведущим 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, по всей видимости, заключена в экотопических особенностях «островного» нахождения насаждения в пойме Березины. 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, но и ели на автоморфных почвах плакоров в Поозерье, в Средней полосе Беларуси и в Полесье при глубоком залегании грунтовых вод.

Падение фактического (в мм) радиального прироста сосны отражает общую тенденцию к уменьшению стволовой продуктивности этой хвойной породы в результате снижения притока прямой радиации Солнца во второй половине XX и начале XXI вв. Большое значение при этом, очевидно, имеют погодно-климатические условия и корневое питание растений.

Таблица 4.4 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста сосны с температурой воздуха ( $t$  °C) и осадками

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции (0,...)							
		с $t$ °C				с осадками			
		за все время	до 1939 г.	в 1940-1976 гг.	в 1977-2000 гг.	за все время	до 1939 г.	в 1940-1976 гг.	в 1977-2000 гг.
<b>Мозырь</b>									
145	год	<b>25</b>	10	23	<b>51</b>	08	24	03	05
	вег.	09	-08	21	27	-11	01	-21	-17
	м.+и.	01	-13	08	16	-03	08	-12	-10
	б/л.	<b>29</b>	14	31	<b>49</b>	<b>25</b>	16	30	37
115	год	17	17	11	<b>43</b>	-02	11	-15	-18
	вег.	11	23	02	31	-11	06	-17	-21
	м.+и.	<b>27</b>	<b>48</b>	10	18	<b>-27</b>	-18	-17	<b>-47</b>
	б/л.	16	13	02	<b>40</b>	10	11	-04	31
<b>Воротень</b>									
125	год	06	-15	18	<b>-43</b>	-10	05	-06	<b>-49</b>
	вег.	-06	-15	04	-07	-18	-06	-12	<b>-48</b>
	м.+и.	00	-04	00	06	-06	16	-03	-37
	б/л.	-14	-07	30	<b>-44</b>	06	14	04	-05
<b>Рогачевка</b>									
120	год	<b>32</b>	02	<b>55</b>	<b>49</b>	02	21	30	-04
	вег.	11	12	00	33	-02	-14	12	-04
	м.+и.	08	-02	16	18	08	-03	21	10
	б/л.	<b>24</b>	02	38	<b>40</b>	06	26	39	10
90	год	<b>28</b>	28	32	<b>38</b>	15	40	06	38
	вег.	06	06	17	23	04	22	-14	23
	м.+и.	03	18	11	-03	01	-16	12	-03
	б/л.	<b>28</b>	28	25	<b>43</b>	12	28	26	33



Примечание: б/л – безлиственный период, вег. – вегетационный период, м.+и. – май+июнь. Полу жирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

Сосна обладает широким диапазоном толерантности к водному фактору. На песчаных почвах с близкой грунтовой водой ею не используются минеральные ресурсы почвы. В многолетнем ходе радиального прироста сосны на заболоченных песчаных почвах Полесья с приповерхностным водоносным горизонтом (тип леса – сосняк черничный вне влияния осушительных систем) связь возрастных индексов с температурой воздуха не приобретает статистической значимости. При глубоком залегании грунтовых вод минеральное питание сосны, как и других древесных растений, осуществляется за счет ресурсов почвы. Главным источником этого питания является аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации свежего органического вещества. Максимальная интенсивность минерализации наблюдается весной [54]. Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, и именно в ней выражена сезонная динамика численности и биомассы различных групп почвенных микроорганизмов.

Влажность песчаной почвы весной после таяния снега практически не меняется по годам. Вероятно, водно-физические свойства данного эдафотопа служат причиной отсутствия корреляционной связи индексов радиального прироста с атмосферными осадками как за год в целом, так и его безлиственный и вегетационный периоды. Кроме хорошей аэрации и влажности почвы необходимым условием поддержания ее биологической активности является температура, от которой зависит интенсивность отмирания микрофлоры в холодный период. К тому же, как известно, недостаток азота подавляет фотосинтез сильнее, чем недостаток какого-либо иного элемента. Только этим можно объяснить зависимость стволовой продуктивности сосны, как и ели, от температурных условий безлиственного периода при условии глубокого залегания грунтовых вод.

Применительно этого вывода к насаждениям сосны на почвах с кварцевыми песками, повышение температуры безлиственного периода при потеплении климата будет вызывать их угнетение и, не исключено, гибель при смене поколений леса путем искусственного возобновления. В данном случае существуют ограничения по использованию лесных ресурсов в народном хозяйстве, допускающие только выборочные рубки и ограничивающие практикующуюся высадку саженцев в плужные борозды.

### 4.3 Ель и сосна в лесопарках Минска и Могилева

Актуальной задачей современного градостроительства является сохранение «дикой» и «полудикой» природы в городской среде, а также создание лесных насаждений, максимально подчеркивающих региональные физико-географические условия. Потеря естественных хвойных насаждений в столице и в городе Могилеве будет невосполнимой утратой своеобразия белорусского городского ландшафта.

В связи со старением лесопарковых насаждений, сопровождаемым отпадом древостоя, и отсутствием естественного возобновления существует опасность потери их «дикого» облика в результате замены при реконструкции одних видов древесных растений, в нашем случае ели (*Picea abies* (L.) Karst.) и сосны (*Pinus sylvestris* L.), на другие – интродуцированные или более устойчивые к загрязнению.

Оценить состояние природных систем в условиях постоянно изменяемой техногенной нагрузки и погодно-климатических условий можно только по параметрам самих экосистем [169–178]. Радиальный прирост отдельных деревьев и древостоев в целом – наиболее универсальный обобщающий признак их состояния.

При оценке воздействия промышленного загрязнения на лесные экосистемы для анализа ситуации нельзя обойтись без применения этого признака. Известны случаи, когда изменение текущего прироста насаждений, вызванное естественными, в том числе климатическими, причинами, интерпретировалось как результат антропогенного воздействия на лес [2].

Наши исследования насаждений ели и сосны в городской среде преследовали цель: проследить поведение этих древесных пород как в условиях современного техногенного загрязнения атмосферного воздуха, так и в предшествующий этому загрязнению период.

Исследования выполнялись с привлечением концепции преадаптированности [116]. Для изучения изменчивости радиального прироста ели и сосны под влиянием промышленного загрязнения атмосферного воздуха использованы сохранившиеся насаждения хвойных пород в лесопарках Минска (им. 50-летия Октября, ель и сосна; им. Челюскинцев, сосна) и Могилева (Печерский, ель и сосна). Их современные поколения развивались в условиях нарастающего атмосферного загрязнения до максимального уровня в начале 1970-х гг. (с увеличением промышленного производства, теплоэнергетики и транспорта), а затем его сокращения (в соответствии с изменением структуры топлива, совершенствованием технологии производства и его частичного спада до 1990-х гг.

За 25-летие (1976-2000 гг.) загрязнение воздуха в Минске заметно уменьшилось: по выбросам пыли в 15-20 раз и диоксиду серы в 25 раз; по диоксиду азота менее чем в 2 раза. В Могилёве складывалась несколько иная ситуация. Если содержание взвешенных частиц в воздухе за 25-летие уменьшилось в 6-10 раз и диоксида серы в 30-40 раз, то диоксида азота, наоборот, возросло в 2 раза. Перечень загрязняющих веществ в двух городах может быть дополнен тяжёлыми и цветными металлами, формальдегидом, аммиаком, фенолом, бенз(а)пиреном и др., включая специфические – сероводород и сероуглерод (особенно в Могилеве).

Исследованные насаждения ели и сосны в Минске и Могилёве занимают территории с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха. По степени его загрязнённости лидирующее положение принадлежит парку им. 50-летия Октября, относящемуся к части столицы с крайне неблагоприятной экологической обстановкой (по данным Департамента гидрометеорологии Минприроды РБ). Парк им. Челюскинцев находится в наиболее благоприятных экологических условиях (по условиям загрязнения воздуха) города. Лесопарк Печерский в Могилеве характеризуется слабым уровнем загрязнения.

Отбор образцов (кернов) древесины возрастным буровом проводился в 1999-2003 гг. Сведения о тестированных деревьях приведены в таблице 4.5. Средние значения радиального прироста рассчитаны для одновозрастных групп деревьев, его возрастные индексы определены с применением пятилетнего скользящего сглаживания. Многолетний ход изменчивости радиального прироста ели и его возрастных индексов приведен на рисунке 4.5, сосны – на рисунке 4.6.

Таблица 4.5 – Основные сведения о тестированных возрастных группах ели и сосны в Минске и Могилеве

Ель					Сосна				
Возраст, лет	n	H, м	D, см	Kч	Возраст, лет	n	H, м	D, см	Kч
50-летия Октября									
125	7	32	72	0,35	175	7	24	74	0,19
80	12	24	48	0,25	85	22	22	56	0,24
60	18	18	24	0,22	Челюскинцев				
Печерский					150	7	25	48	0,30
135	7	32	68	0,26	Печерский				
95	15	28	60	0,27	145	18	28	74	0,16
80	15	24	42	0,23	90	20	24	54	0,20
Примечания: n – количество деревьев, H – высота, D – диаметр, Kч – коэффициент чувствительности по Дугласу [276].									

Многолетнему ходу изменчивости радиального прироста ели и сосны в техногенно загрязненной воздушной среде Минска и Могилева свойственны общие закономерности,

закрывающиеся в одновременном наступлении периодов его угнетения и увеличения. Прежде всего, это – угнетение насаждений до 1920-х гг. после предшествующего относительного благоденствия до 1880-1890-х гг. (в «докракатауский» период) и максимальная стволовая продуктивность в 1920-1950-е гг. (кроме 180-летнего древостоя в лесопарке им. 50-летия Октября и 150-летнего – в парке им. Челюскинцев), после которой наступило общее прогрессирующее снижения радиального прироста (кроме 60-летних елей в лесопарке им. 60-летия Октября) не зависимо от возраста насаждений и экологических условий.

Судя по среднему радиальному приросту (0,5 мм), сосна в парке им. Челюскинцев оказалась наиболее угнетенной. В период максимальной стволовой продуктивности двух хвойных пород четко выделяется глубокая депрессия радиального прироста в начале 1940-х гг., вызванная экстремально морозными зимами при переходе от влажной климатической эпохи к неустойчиво влажной. Кроме того, глубокая депрессия прироста у ели наступила в 1980 г. с аномально холодным и сухим вегетационным периодом после весеннего извержения вулкана Святой Елены. В лесопарках Минска и Могилева не наблюдалось массового усыхания ели в последнем десятилетии XX в.

Следует подчеркнуть, что нарастающее угнетение ели и сосны в двух городах происходило при сокращении техногенного загрязнения воздушной среды, и этот фактор не следует рассматривать в качестве лимитирующего для стволовой продуктивности хвойных пород. Точно также невозможно объяснить угнетение насаждений изменением погодно-климатических условий.

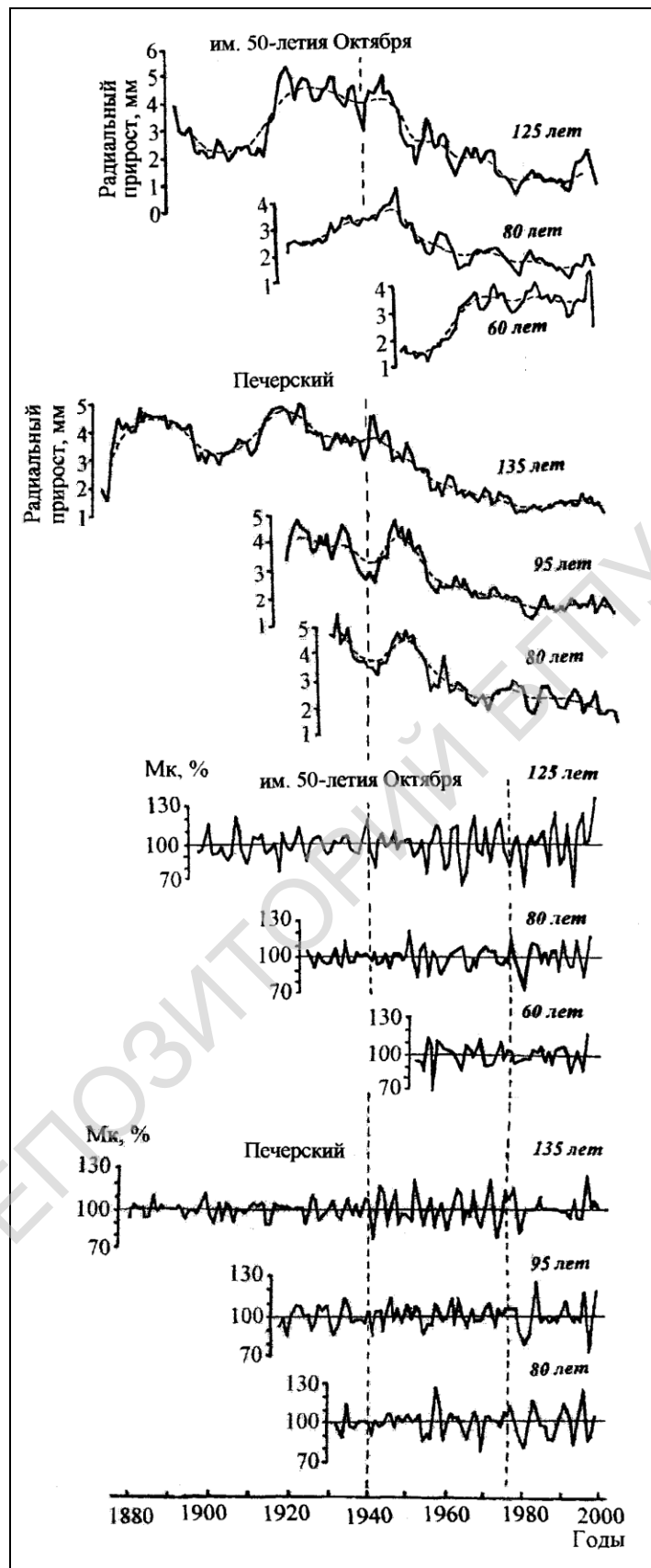


Рисунок 4.5 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста ели и его возрастных индексов (Мк) в Минске и Могилеве. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

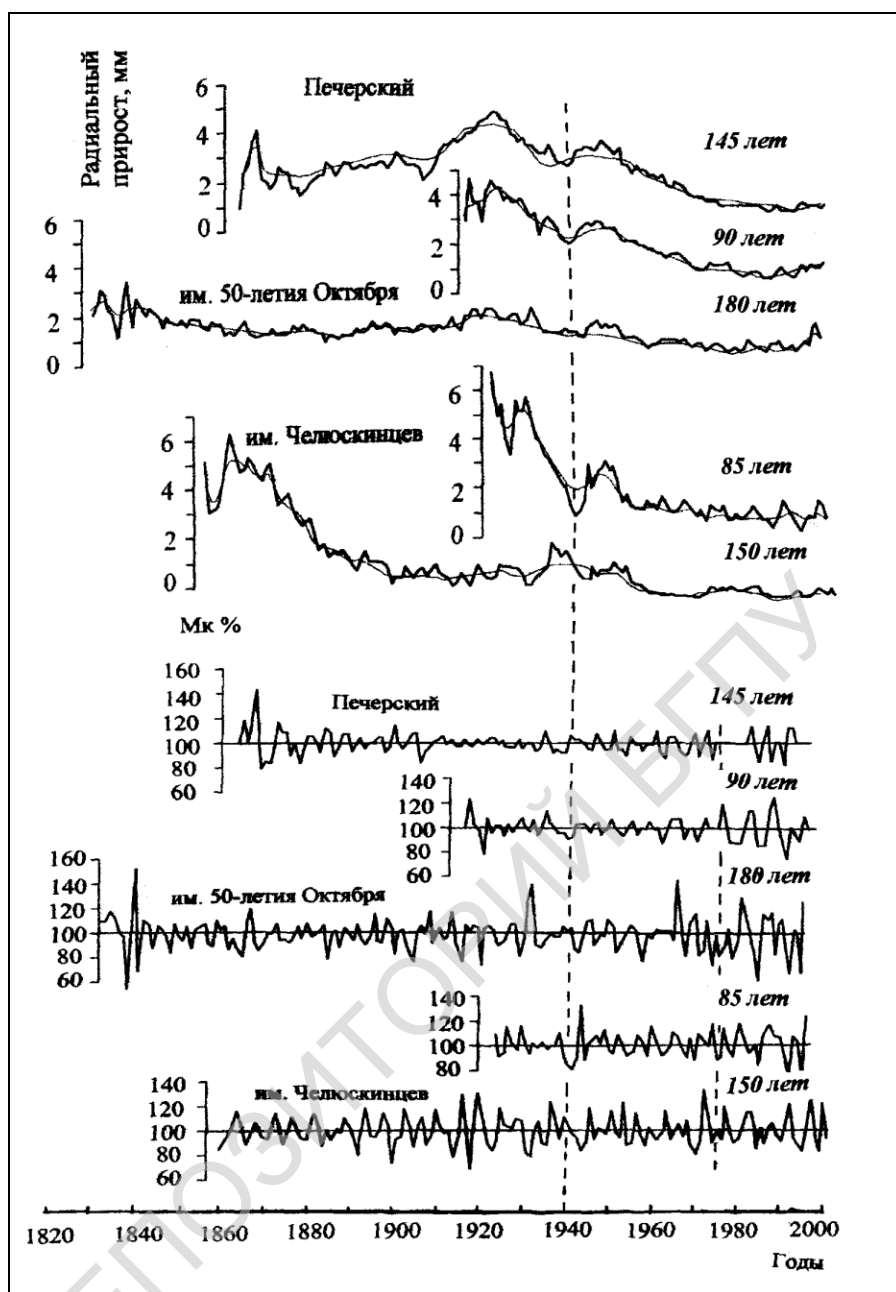


Рисунок 4.6 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны и его возрастных индексов (Мк) в Минске и Могилеве. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

При низкой чувствительности ели и сосны к климатическим факторам у них не обнаружена, за редким исключением, статистически значимая зависимость (при уровне значимости  $P > 0,95$ ) возрастных индексов прироста от температуры воздуха и осадков гидрологического года, месяцев активного роста (мая и июня), вегетационного и безлиственного периодов (таблица 4.6). Вместе с тем, в 1976 г. проявился переломный момент в изменении структуры временных рядов изменчивости возрастных индексов прироста.

По всей видимости, изменчивость в нарастании стволовой массы ели и сосны не зависит от уровня техногенного загрязнения воздушной среды, а отражает изменения в природной обстановке, вызванной глобальными последствиями вулканических извержений. Атмосфера к 1930-м годам существенно очистилась от аэрозоля вулканического происхождения, и яркость солнечного диска до 1950-х гг. была максимальной за последнее столетие [132]. Устойчивое повышенное значение прямой солнечной радиации оказало положительное влияние (через фотосинтез) на стволовую продуктивность хвойных насаждений.

После 1950-х гг. для еловых и сосновых насаждений в Минске и Могилеве наступил период общего снижения текущего радиального прироста до минимальных значений к рубежу наступившего XXI в. Для этого периода свойственно устойчивое снижение притока прямой солнечной радиации в результате очередного цикла вулканических извержений, включая Эль-Чичоне (1982 г.) и Пинатубо (1991 г.).

Таблица 4.6 – Корреляция индексов радиального прироста ели с метеоэлементами фаз похолодания (1943–1976 гг.) и потепления (1977–2000 гг.) климата во второй половине XX в.

Тест-участки	Возраст, лет	1943–1976 гг.								1977–2000 гг.							
		Корреляция индексов															
		с $t^{\circ}\text{C}$				с осадками				с $t^{\circ}\text{C}$				с осадками			
		<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Ель																	
50-летия Октября	125	.	.	.	+	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.
	95	.	.	.	-	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	80	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
	60	.	.	-	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
Печерский	135	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.	.	.	.
	95	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	+
	80	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+
Сосна																	
50-летия Октября	180	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	85	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Печерский	145	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	90	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Челюскинцев	150	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	+
Примечание: <i>a</i> – гидрологический год, <i>б</i> – май–сентябрь, <i>в</i> – май–июнь, <i>г</i> – октябрь–апрель; корреляция: «+» – положительная, «-» – отрицательная, «.» – отсутствует.																	

Переломный момент 1976 г. во временных рядах изменчивости возрастных индексов прироста, свойственный ели и сосне на всей территории Беларуси, в условиях техногенного загрязнения среды также вызван скачкообразным сокращением притока солнечной радиации.

Изменчивость радиального прироста ели и сосны в условиях техногенного загрязнения атмосферного воздуха подчинена тем же закономерностям, свойственным их насаждениям на незагрязнённых территориях: низкая чувствительность к климатическим факторам, угнетение до 1920 гг. после относительно благоприятного периода до 1880–1890-х гг., максимальная стволовая продуктивность в 1920–1950-е гг. с синхронной депрессией в начале 1940-х гг. и прогрессирующее снижение прироста во второй половине XX.

Приток солнечной радиации является прямым действующим экологическим фактором, определяющим общий многолетний ход изменчивости радиального прироста этих двух хвойных пород и в условиях загрязненной среды, на который накладываются возмущения, вызываемые другими, но менее значимыми экологическими факторами, включая климатические. Насаждения ели и сосны в Минске и Могилеве функционируют в основном в естественном режиме.

Современный уровень загрязнения воздушной среды Минска и Могилёва не является лимитирующим для ели и сосны, преадаптированность которых к данному экотопу отражена в многолетнем ходе изменчивости радиального прироста в течение XIX и XX вв.

#### 4.4 Межландшафтные различия в реакции ели на изменчивость климатических факторов

Множество рабочих гипотез по поводу причин отмирания еловых лесов [144] свидетельствует не только о сложности, но и региональности этого явления. Выявить региональные условия, приводящие к этому экологическому бедствию или усиливающие его, по всей видимости, можно, если лес рассматривать как часть ландшафта, в котором все изменения в фитоценотической составляющей происходят в ее взаимосвязи с другими компонентами этого природного образования. Создатель современного учения о лесе Г. Ф. Морозов рассматривал лес как часть географического ландшафта [162].

В природных системах растительность является наиболее сложным, синтетически объемным компонентом, отражающим в первую очередь зональные изменения воздействующих экологических факторов. Согласно климатогенно-ривалитатной теории [50] жизнеспособность вида-эдафикатора снижается экстремальными климатическими условиями в большинстве отвечающих ему эдафотопов. Как эдафикатор ель в зонально-климатических условиях средней и северной полос Беларуси занимает плакоры холмисто-моренных ландшафтов с лессовидносуглинистым покровным чехлом и супесчано-суглинистыми моренными отложениями. Именно на этих плакорах растительностью реализуется климатический потенциал зоны смешанных (подтаежных) лесов. Южнее зоны смешанных лесов, в широколиственной (подзона широколиственно-сосновых) лесов) ель конкурирующими видами (дубом и сосной) оттеснена в оптимальные для нее «островные» локалитеты с иллювиально-гумусово-железистыми подзолами [97].

В качестве индикатора влияния климатических факторов на продуктивность и состояния ели привлечен радиальный прирост ее современных поколений в этих двух природных образованиях. Для сравнительного анализа привлечены насаждения ели в кварталах № 96 и № 97 Логойского лесхоза (Логойский тест-полигон), памятника природы республиканского значения «Горбовичский ельник» в Калинковичском лесхозе в национальном парке «Браславский озера». Образцы древесины (керны) отбирались в мае 2000 и 2006 гг. Сведения о тестируемых деревьях представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Сведения о возрастных группах сосны на тест-полигонах: Логойский, Горбовичский ельник и Браславский.

Тест-полигон	Возраст, лет	n	H	D	Кч		σ	
					1940-1976 г.	после 1976 г.	1940-1976 г.	после 1976 г.
Логойский	80, «волки»	18	35	68	0,10	0,22	5,6	10,9
	70, в балке	14	38	52	0,18	0,38	8,6	14,1
	60	20	24	18	0,18	0,32	5,1	11,7
	90	16	32	28	0,11	0,25	8,2	13,6
	90, сухостой	15	32	28	0,11	0,27	9,4	18,9
Горбовичский ельник	140	6	28	38	0,26	0,28	11,1	11,3
	90	7	26	32	0,27	0,42	13,2	16,4
	80	18	26	30	0,15	0,34	7,7	15,5
	60	20	22	24	0,17	0,33	7,9	14,6
	55	5	22	24	0,11	0,32	8,5	13,3
Браславский	115	15	28	75	0,21	0,26	9,0	14,5
	95	20	22	38	0,24	0,29	8,4	18,0
	80	8	22	36	0,23	0,27	9,7	19,1
	110	10	26	40	0,22	0,30	11,1	17,3

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

Несомненный научные и практический интерес представляет сравнительный анализ реакции ели на изменчивость климатических факторов в трех природных образованиях: плакорах в холмисто-моренном ландшафте в связи с ее массовым усыханием), в «островных» локалитетах на песчано-болотистой равнине Полесья (по причине возможного влияния осушительной мелиорации) и супесчаных почвах в холмисто-моренном ландшафте Поозерья.

Ель на Логойском тест-полигоне (типы леса – ельник мшистый и ельник кисличный) занимает платообразную слабоувалистую локальную возвышенность, окруженную овражно-балочной сетью с глубиной вреза до 20-30 м. Почва – дерново-подзолистая на лессовидносуглинистом покровном чехле, подстилаемом с 0,4 м моренным суглинком.

Насажение ели в данном случае отвечает своей принадлежности к Евразийской зоне темнохвойных лесов. Оно включают исключительно крупные экземпляры на плакоре («волки», 1 класс по В.Г. Нестерову [165]), в балке, здоровые и сухостойные на период отбора образцов. После 2002 г. сплошное усыхание ели захватило полностью квартал № 96 и частично квартал № 97. Отбор образцов древесины (керны) отобраны возрастным буровом весной в 2000–2002 гг.

Возрастные группы ели на тест-полигоне «Логойский» занимает разнообразные экотопы в соответствии с внутриландшафтной неоднородностью – от балки до плоской вершины локальной возвышенности. Не смотря на это, в многолетнем ходе изменчивости фактического (в мм) радиального прироста обнаруживаются общие закономерности: депрессия в начале 1940-х гг. при скачкообразном трехгодичном похолодании, в 1980 г., перешедшая в массовое угнетение древостоя. Общим свойством всех возрастных групп ели на плакоре явилось появление в 1976 г. переломного момента в изменчивости индексного прироста (рисунок 4.7).

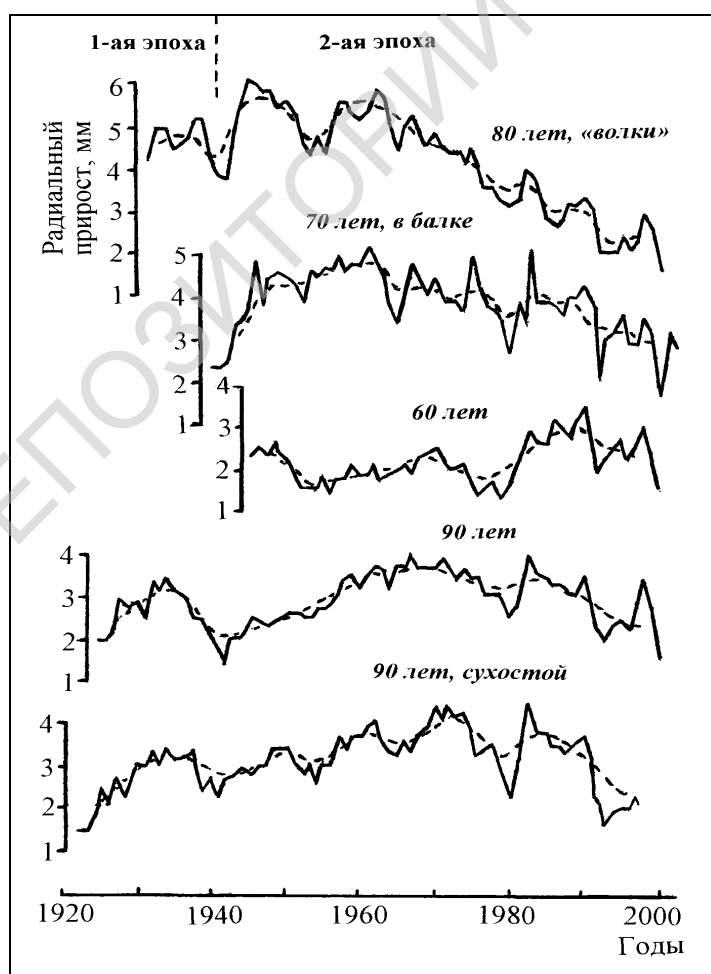


Рисунок 4.7 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на Логойском тест-полигоне.



Горбовичский ельник является представителем экстразональной растительности в зоне широколиственных лесов, занимая отвечающей ей экотоп – с иллювиально-гумусово-железистым подзолом с неглубоко залегающими грунтовыми водами (майский уровень на глубине от 0,95 до 1,85 м в зависимости от микрорельефа) локальное понижение среди песчано-болотистой равнины. Среди тестированных экземпляров обнаружено 1 дерево в возрасте около 160 лет – крайне редким в Полесье. Тип леса – ельник черничный. Для дендроклиматического анализа использованы данные инструментальных наблюдений метеостанций Минск и Василевичи.

Причиной последнего глубокого поражения ели послужил комплекс неблагоприятных факторов – от недобора осадков до рекордно низких температур поздней осенью 1993 г. Продолжившийся стресс при аномально холодном декабре 2001 и 2002 гг. при малоснежном покрове привел к возрождению крупномасштабного отмирания ели на лессовидносуглинистом плакоре. Наиболее вероятной причиной погодно-климатических аномалий послужили извержения вулканов Святой Елены, Эль-Чичона и Пинатубо. После переломного момента индексный прирост (рисунок 4.8) приобрел прямую статистически значимую зависимость от осадков безлиственного (октябрь-апрель), а не вегетационного периода (для некоторых групп только за месяцы активного роста – май и июнь) (таблица 4.8). Эта закономерность также свойственна ели на супесчано-суглинистых плакорах в западной и северной частях Беларуси [96, 98].

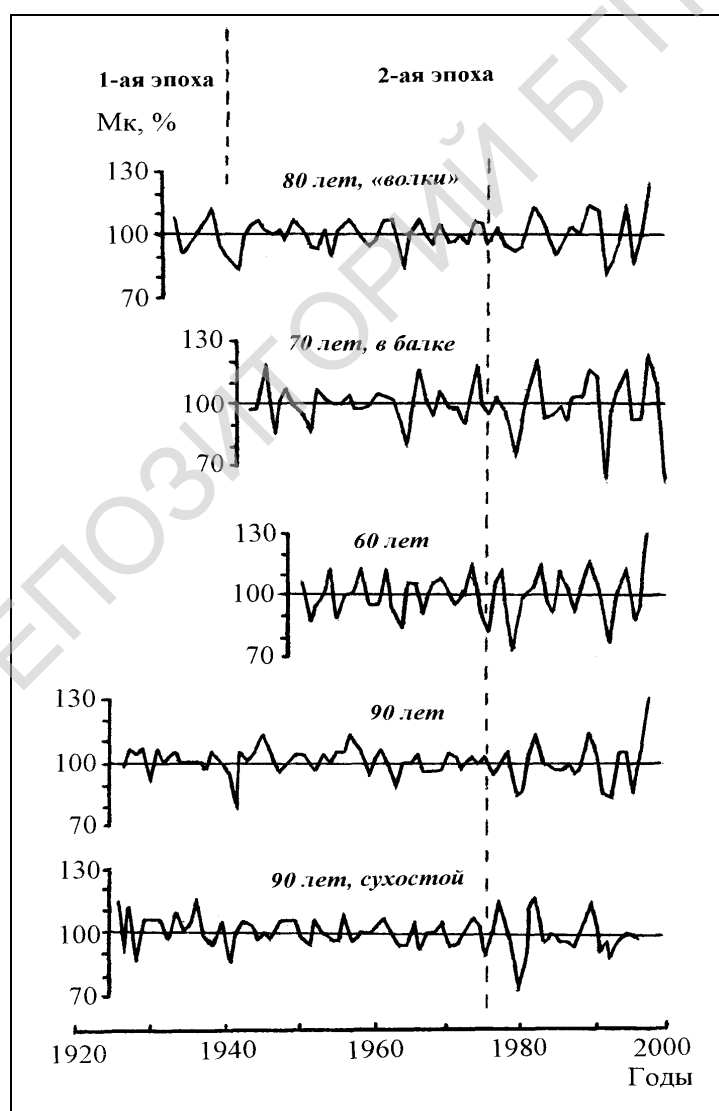


Рисунок 4.8 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели на Логойском тест-полигоне. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Таблица 4.8 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексов радиального прироста возрастных групп ели на Логойском полигоне с метеоэлементами фазы потепления (1977-2000 гг.) второй климатической эпохи

Возраст, лет	Период	с температурой воздуха	с осадками				
			Лаг, лет				
			0	1	2	3	4
80	Гидрологический год	,36	<b>,55</b>	,29	<b>-,44</b>	-,19	,18
	Май–сентябрь	,10	,24	,15	-,33	,03	,19
	Май–июнь	-,07	<b>,51</b>	-,05	-,18	,10	-,15
	Октябрь–апрель.	,38	,30	-,30	-,40	,04	,29
70	Гидрологический год	,34	<b>,44</b>	-,37	-,39	,22	,13
	Май–сентябрь	,12	<b>,46</b>	,18	-,27	-,13	-,31
	Май–июнь	,14	,36	-,04	-,25	,19	-,06
	Октябрь–апрель	,31	<b>,54</b>	,27	<b>-,51</b>	-,08	,34
60	Гидрологический год	,24	<b>,48</b>	-,15	-,40	,05	,38
	Май–сентябрь	-,23	,26	-,03	-,18	,19	,33
	Май–июнь	-,12	,35	-,07	-,28	-,08	,13
	Октябрь–апрель	,35	<b>,50</b>	,23	<b>-,45</b>	-,21	,20
90	Гидрологический год	,34	<b>,70</b>	,23	<b>-,57</b>	-,27	<b>,43</b>
	Май–сентябрь	,08	<b>,56</b>	,07	-,34	,01	,33
	Май–июнь	,01	,38	-,04	-,15	,00	-,07
	Октябрь–апрель	,36	,31	<b>-,51</b>	<b>-,51</b>	,29	,37
90 сухой	Гидрологический год	,26	<b>,43</b>	-,19	<b>-,47</b>	,14	,28
	Май–сентябрь	-,11	,29	-,05	-,17	,24	,04
	Май–июнь	,10	<b>,55</b>	,01	-,18	-,18	-,20
	Октябрь–апрель	,36	,30	-,27	<b>-,61</b>	-,12	<b>,46</b>

Примечание: Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным начертанием, курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

Причем, в зональных условиях в реакции ели на гидрометеофактор возникает стрессовая ситуация, которая проявляется в том, что возрастные индексы при лаге запаздывания на два года оказываются в обратной корреляционной зависимости от него. Причина изменения знака связи заключена в появлении временного анаэробнозиса после обильных осадков, приводящего к угнетению почвенной микрофлоры и отмиранию физиологически активных корневых окончаний.

Совершенно по-иному ведет себя ель в экстразональных локалитетах Полесья. В некоторых дендрошкалах (рисунок 4.9) резко, по своей значимости, обнаруживаются годовые «взрывы» прироста, как, например, у одиночного дерева в возрасте 160 лет в 1950 г. Подобные «взрывы» с феноменальными значениями (до 18-19 мм) встречены нами у ели, растущей и в других частях Полесья. Как представляется, осенне-зимнее наводнение 1974-1975 гг. оказало заметное влияние на ход радиального прироста насаждения в Горбовичском ельнике, подтопив или затопив его участки в зависимости от микрорельефа. Угнетение ели с запаздыванием на два года также просматривается после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г.

В индексном приросте ели в «островном» локалитете, как и в зональных условиях плакора, четко фиксируется переломный момент 1976 г. (рисунок 4.10). После него чувствительность этой породы к климатическим факторам и дисперсия возрастных индексов значительно возросла (см. таблицу 4.7). Индексный прирост приобрел статистически значимую зависимость не только от осадков, но и температуры безлиственного (только безлиственного!) периода и, как следствие,

гидрологического года (таблица 4.9). В этом главное отличие реакции ели в экстрazonальных локалитетах Полесья от ее нахождения в зонально-климатических условиях плакора.

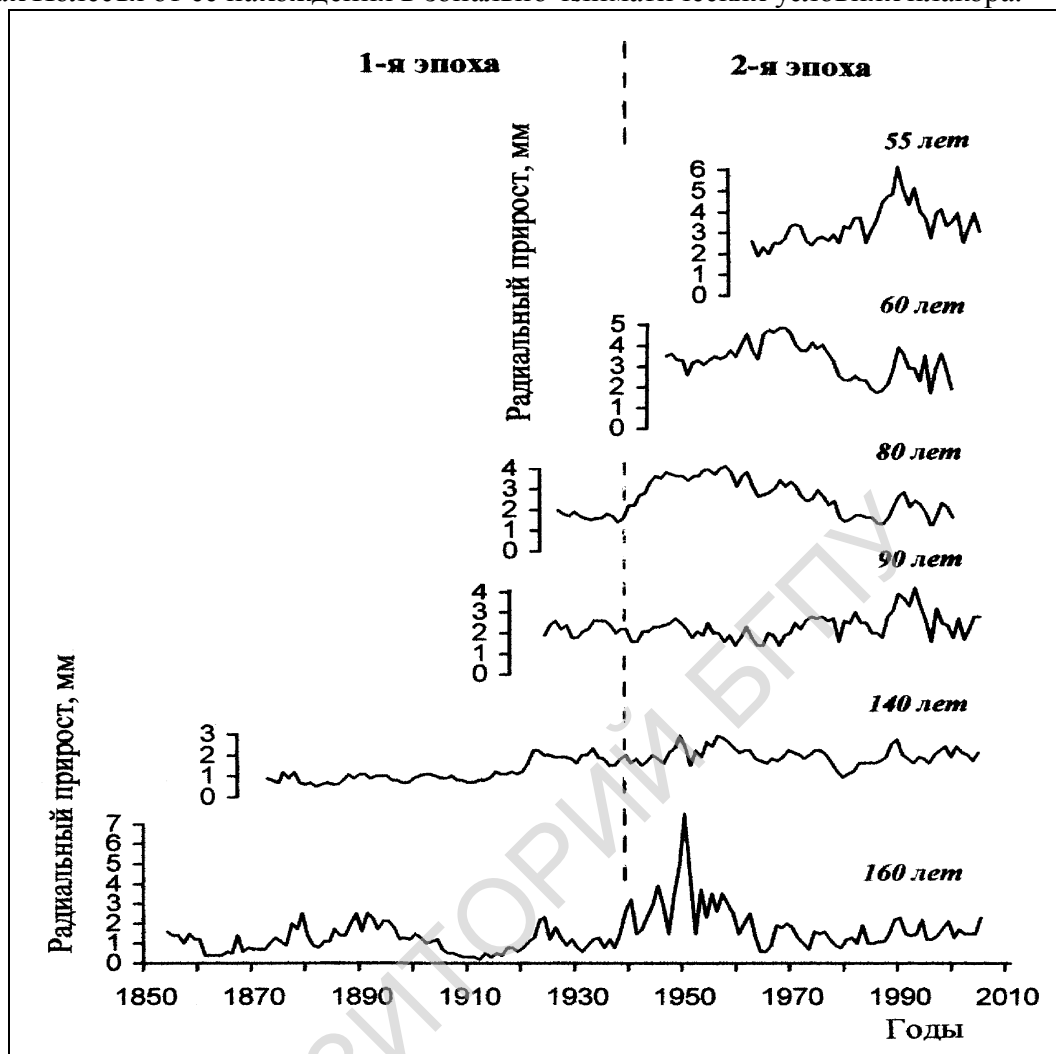


Рисунок 4.9 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели в Горбовичском ельнике.

Их общий признак – наступление переломного момента в 1976 г., вероятно, вызван скачкообразным сокращением притока солнечной радиации на территории Беларуси на фоне замутнения атмосферы в результате извержения вулканов и техногенного загрязнения. В отличие от плакора у ели на Полесье при прямой связи возрастных индексов радиального прироста с осадками безлиственного периода двухлетних лаг запаздывания обратной связи не возникал. Причина заключена в невозможности появления анаэробноз в корнеобитаемом слое песчаной почвы при глубоком залегании грунтовых вод.

Нельзя отрицать значение больших сумм осадков для лесных насаждений на песчаных почвах в силу их водно-физических особенностей, особенно при значительном снижении грунтовых вод в результате осушительной мелиорации. Прямую зависимость прироста ели от температуры безлиственного, а не вегетационного, периода частично можно объяснить пополнением запасов воды в песчаной почве при меньшей продолжительности и меньшей глубине ее промерзания с последующим использованием во время вегетации древесными растениями.

Ель может расти на почвах с близкой грунтовой водой за счет своей поверхностной корневой системы, однако в этом случае не используются минеральные ресурсы почвы. После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, у ели в «островных» локалитетах увеличение годичного прироста могло произойти за счет вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание, потребность в котором возросла при потеплении климата.

Главным источником минерального питания растений является аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации свежего органического вещества. Максимальная интенсивность минерализации наблюдается весной [8]. Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, и именно в ней выражена сезонная динамика численности и биомассы различных групп почвенных микроорганизмов].

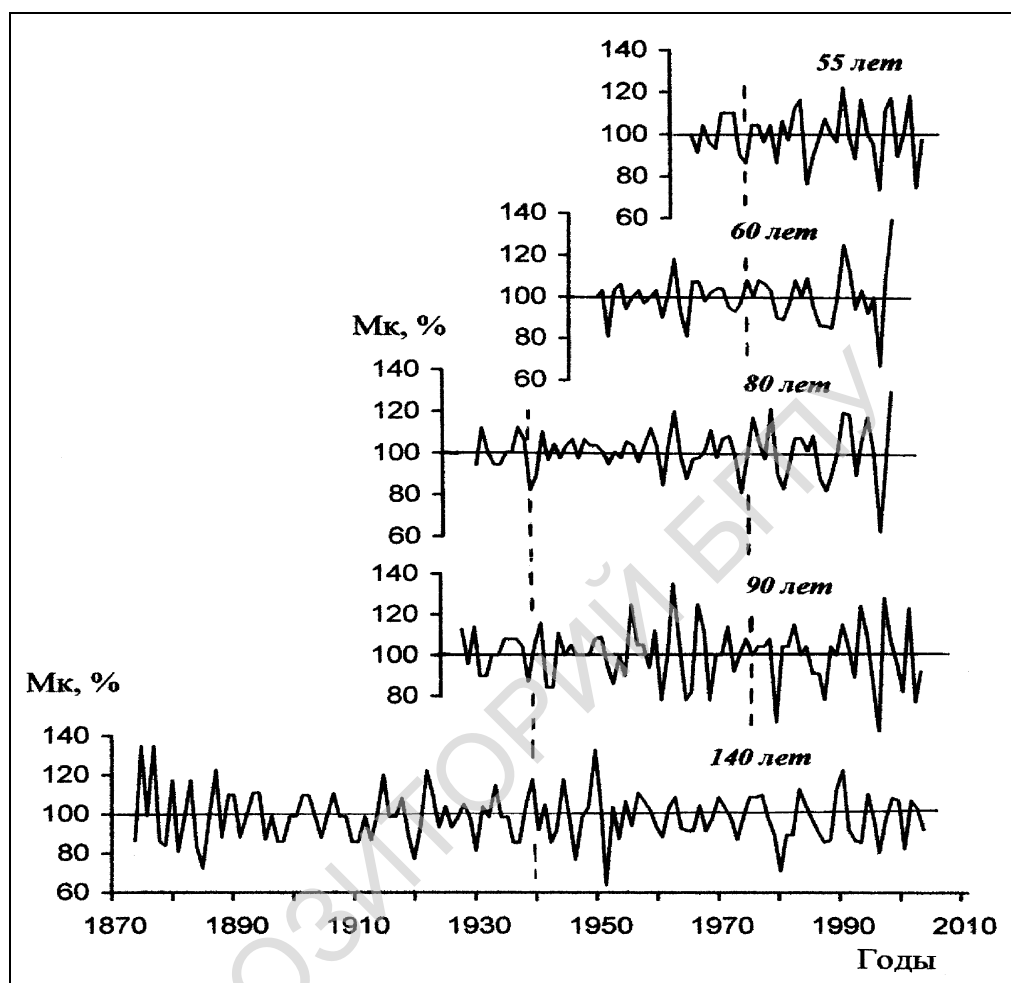


Рисунок 4.10 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста возрастных групп ели в Горбовичском ельнике. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Кроме хорошей аэрации и влажности почвы необходимым условием поддержания ее биологической активности является температура. По всей видимости, аномальные морозы при маломощном снежном покрове или без него могут подавлять жизнедеятельность почвенной микрофлоры. Ослабление жизненного состояния дерева после суровых зим может быть вызвано ухудшением минерального питания в период его активного роста (май-июнь). К тому же, недостаток азота подавляет фотосинтез сильнее, чем недостаток какого-либо иного элемента [178]. Только этим можно объяснить одновременно наступающую депрессию радиального прироста ели и сосны после суровых зим и его экспрессию после «теплых» температурных условий этого сезона на всем протяжении роста и развития современных поколений этих хвойных пород.

Реакция ели на изменчивость климатических факторов зависит от принадлежности ее насаждений к ландшафтам в зональных и в экстразональных находениях. В климатических условиях Беларуси у ели на плакорах зоны смешанных (подтаежных) лесов и в сравниваемых экстразональных локалитетах зоны широколиственных лесов до переломного момента 1976 г. отсутствовала статистически значимая зависимость индексного прироста от метеофакторов (температуры воздуха и осадков).

После 1976 г., в условиях возросшей неустойчивости погодно-климатических условий он приобрел прямую связь с осадками безлиственного периода. В экстразональных локалитетах Полесья он статистически достоверно стал зависеть не только от осадков, но и температуры безлиственного периода. В этом заключено основное межландшафтное различие в реакции ели на изменчивость климатических факторов в Средней полосе (лессовидносуглинистый эдафотоп) и в Полесье (песчаный эдафотоп).

Таблица 4.9 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексов радиального прироста возрастных групп ели в Горбовичском ельнике с метеоэлементами фазы потепления (1977-2000 гг.) второй климатической эпохи

Возраст, лет	Период	с температурой воздуха	с осадками
140	Гидрологический год	<b>,48</b>	,31
	Май–сентябрь	,10	,13
	Май–июнь	,04	-,12
	Октябрь–апрель.	<b>,53</b>	,32
90	Гидрологический год	,28	<b>,54</b>
	Май–сентябрь	,29	,13
	Май–июнь	-,30	,28
	Октябрь–апрель	<b>,51</b>	<b>,45</b>
80	Гидрологический год	<b>,40</b>	,32
	Май–сентябрь	-,34	-,04
	Май–июнь	-,14	,00
	Октябрь–апрель	<b>,55</b>	<b>,54</b>
60	Гидрологический год	<b>,48</b>	<b>,53</b>
	Май–сентябрь	-,23	-,06
	Май–июнь	-,22	,21
	Октябрь–апрель	<b>,65</b>	<b>,56</b>
55	Гидрологический год	<b>,41</b>	<b>,47</b>
	Май–сентябрь	,32	-,13
	Май–июнь	-,34	,08
	Октябрь–апрель	<b>,44</b>	<b>,68</b>

Тест-полигон «Браславский» включают три объекта исследования. Первый из них – дендропарк Бельмонт в с. Ахремцы. Второй – ельник, расположенный севернее оз. Волос Северный, между населёнными пунктами Быстромцы (на востоке) и Каменка (на западе). Третий – лесной массив, расположенный южнее верхового болота «Мох» в Десненском лесхозе (Миорский район), в 1,0 км на северо-запад от с. Апанасенки и в 0,6 км от шоссе Браслав – Миоры. Все они находятся на территории Национального парка «Браславские озёра» и принадлежат к холмисто-моренно-озерному типу ландшафтов.

Дендропарк «Бельмонт» представляет собой массив лиственного леса с господством мелколиственных пород (берёза, осина, ольха) и единичными экземплярами дуба. Из хвойных, кроме ели, представлена сосна обыкновенная и несколько деревьев лиственницы. Его вовлечение в дендрохронологические и дендроклиматические исследования представляет несомненный интерес для выявления особенностей роста и развития экосистемы еловых лесов в различных физико-географических условиях.

Ельник мшистый, в котором проводился отбор образцов древесины, является крайним на северо-западе Беларуси. Дерново-подзолистая почва развита на пылевой супеси, подстилаемой

моренной супесью на глубине 0,6 м. Из 28 тестируемых деревьев 20 оказались 90–100-летнего возраста (в среднем 95 лет), диаметром 30–40 см, высотой 20–24 м, и 8 – 80-летнего возраста, диаметром 32–46 см, такой же высоты. К сожалению, отобрать образцы древесины на выделах более молодого поколения не удалось: из 20 тестируемых деревьев диаметром 20–24 см 18 оказались гнилыми внутри. Следует отметить также довольно частое обнаружение деревьев со стволовой гнилью и у старших возрастных поколений (на 28 тестируемых пришлось 6 повреждённых).

Ельник черничный в Дисненском лесхозе занимает экотоп с иллювиально-гумусово-железистым подзолом с разнозернистыми песками. Горизонты  $A_2$  и  $B_h$  развиты слабее, чем у данного типа почв на мелкозернистых песках Полесья. Во время изысканий в сентябре 2002 г. мощность иссушенного слоя сухого сыпучего песка под пологом леса достигала 1,1 м (следствие продолжительной весенне-летней засухи), однако массового усыхания деревьев ели не наблюдалось. На 10 деревьев возраста 105 лет (измерение ширины годичных колец с 1908 г.), у которых были отобраны образцы древесины, пришлось 3 дерева со стволовой гнилью.

Для дендроклиматического анализа привлечены наблюдения на метеостанции Верхнедвинск. Чувствительность ели к внешним факторам среды на трех объектах за весь период жизни и развития насаждений оставалась низкой, особенно до 1939 г. ( $0,18 < Kч < 0,24$ ). Во вторую эпоху она несколько возрастала ( $Kч < 0,24$  в фазу похолодания и  $Kч < 0,29$  при потеплении). На пульсирующей кривой радиального прироста 115-летней группы елей в парке Бельмонт (рисунок 4.11) чётко просматривается период его пониженных значений (2,5–3,0 мм) в течение более 30 лет.

Из наиболее примечательных событий в ходе изменчивости радиального прироста у всех возрастных групп елей следует отметить его глубокую депрессию в начале 1940-х гг. с аномально холодными зимами, наступившую одновременно с данным явлением во всей южной тайге. Угнетение в 1960-х гг. елей в Дисненском лесхозе, отразившееся в малой размерности годичных колец ( $< 1,0$  мм), привело к образованию гнили именно в этом слое.

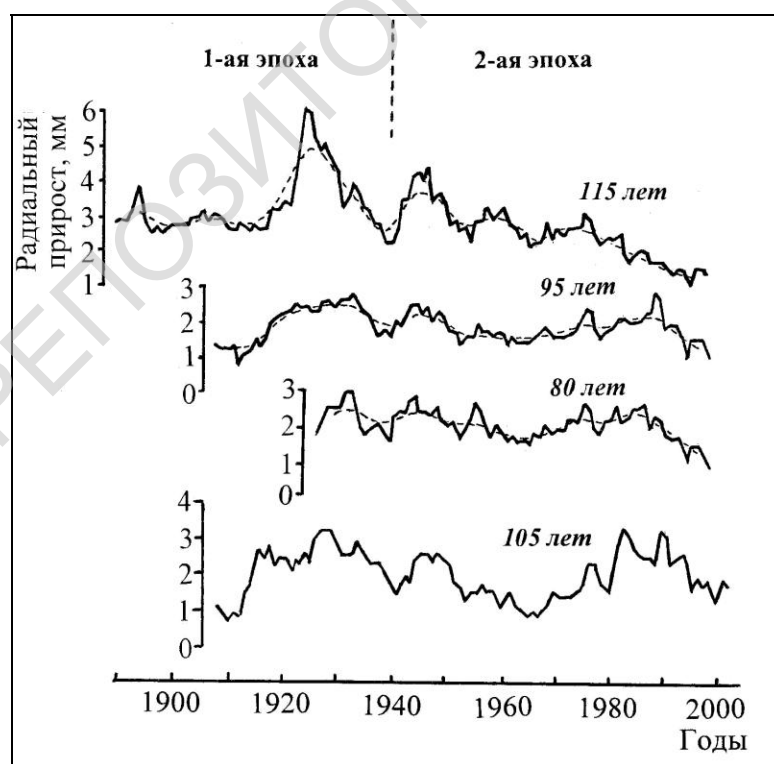


Рисунок 4.11 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп ели на тест-полигоне «Браславский».

Амплитуда изменчивости индексов радиального прироста (рисунок 4.12) во вторую климатическую эпоху (у 115-летних елей  $\sigma = 8,97$  %, 95-летних – 10,44 %, 105-летних – 11,09 %)

оказалась больше, чем в первую (7,07 %, 4,67 % и 9,98 % соответственно), и увеличивалась в 1.5–2,0 раза в ее фазу потепления.

Годичная температура воздуха на северо-западе Беларуси для ели во вторую климатическую эпоху не являлась лимитирующим фактором: коэффициенты корреляции во всех случаях фазового сдвига при кросскорреляционном анализе статистически недостоверны при  $n = 31$  (таблица 4.10 – 4.11). Нулевая гипотеза не подтверждается только для фазы потепления во вторую эпоху. Повышение температуры воздуха за гидрологический год и его периоды вызывает тенденцию к снижению модульных коэффициентов при фазовом сдвиге на три года ( $r < 0$ ).

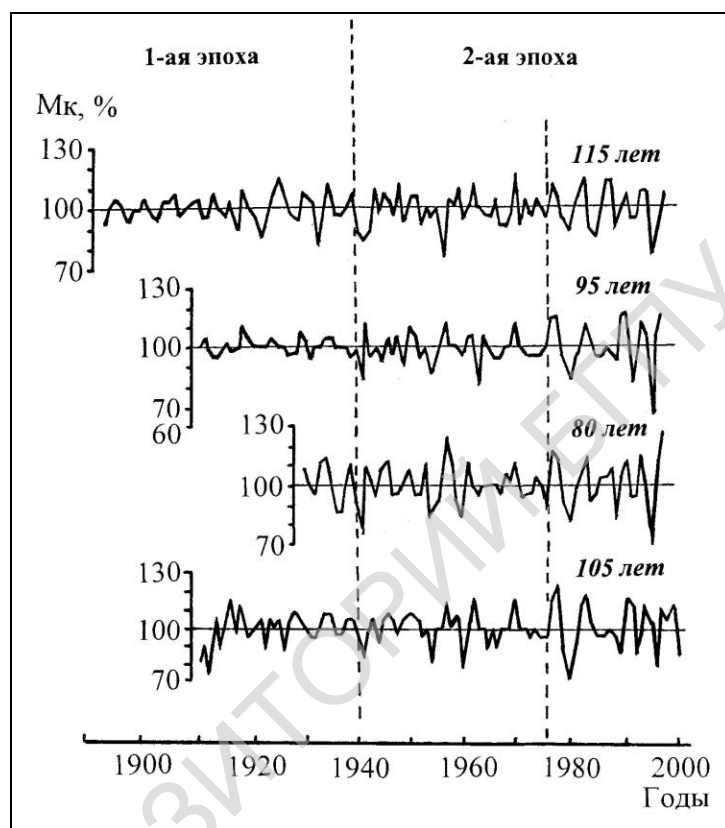


Рисунок 4.12. Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста возрастных групп ели на тест-полигоне «Браславский». Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Осадки гидрологического года фазы похолодания (1946-1976 гг.) оказывали прямое влияние (при  $n = 31$ ) на индексы радиального прироста групп елей 95-летнего ( $r = 0,48$ ,  $P = 0,99$ ), 80-летнего ( $r = 0,52$ ,  $0,99 < P < 0,999$ ) и 115-летнего ( $r = 0,42$ ,  $0,95 < P < 0,99$ ) поколений при увеличении значения увлажненности безлиственного (для 95-летнего возраста) или вегетационного (для 80-летнего) периодов.

Возникающая стрессовая ситуация наиболее полно отразилась в стволовой продуктивности 80- и 115-летних групп елей, причем у первой из них четко выражена трехлетняя ритмика во влиянии осадков на индексы радиального прироста ели.

Потепление климата в последней четверти XX ст. послужило причиной более значимой зависимости модульных коэффициентов прироста ели на северо-западе Беларуси от осадков гидрологического года для 95- и 80-летних поколений, а также безлиственного периода для всех возрастных групп (см. таблицу 4.11).

Сравнительно невысокое увеличение осадков усиливало стресс древесного растения, который проявлялся в ярко выраженной обратной зависимости индексов радиального прироста от осадков при фазовом сдвиге на два года. Наибольшую значимость для насаждений, независимо от возраста

ели, приобрели осадки за безлиственный период ( $0,99 < P < 0,999$  при  $n = 22$ ). Не менее значимыми для ели оказались осадки месяцев активного роста.

В итоге, высокая увлажненность безлиственного периода и гидрологического года в целом, при прямой зависимости индексов радиального прироста с осадками в условиях потепления климата, создавала для ели на северо-западе стрессовую ситуацию.

Таблица 4.10 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексов радиального прироста возрастных групп ели на тест-полигоне «Браславский» с метеоэлементами фазы похолодания (1947-1976 гг.) второй климатической эпохи

Возраст, лет	Период	с t °С	с осадками				
			Лаг, лет				
			0	1	2	3	4
115	Год	,26	,24	-,35	-,24	,32	-,12
	Май-сентябрь	,06	,09	-,34	-,18	,28	,10
	Май-июнь	-,08	-,15	-,11	-,11	<b>,43</b>	-,18
	Октябрь-апрель	,20	,28	-,13	-,15	,14	-,31
95	Год	,24	<b>,48</b>	,02	-,27	-,11	-,01
	Май-сентябрь	,09	,29	,12	-,17	-,18	,17
	Май-июнь	-,24	,13	,16	-,24	,09	,05
	Октябрь-апрель	,28	<b>,40</b>	-,03	-,21	-,03	-,28
80	Год	,20	<b>,52</b>	-,11	<b>-,38</b>	-,18	,26
	Май-сентябрь	-,21	<b>,46</b>	-,12	<b>-,40</b>	-,15	<b>,43</b>
	Май-июнь	-,09	,23	-,11	<b>-,36</b>	,06	,22
	Октябрь-апрель	,28	,25	-,03	-,08	-,09	-,14
105	Год	,10	<b>,42</b>	-,18	-,32	-,08	,08
	Май-сентябрь	-,18	,32	-,15	<b>-,36</b>	,02	,14
	Май-июнь	-,18	,08	-,10	<b>-,36</b>	,21	-,01
	Октябрь-апрель	,18	,26	-,18	-,05	-,16	-,05

Примечание: полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом при  $P = 0,99$ .

Эта ситуация на второй год (лаг два года) получала максимальное развитие. На следующий год стрессовая реакция ели на осадки исчезала, не зависимо от возраста насаждения.

Вывод А.Е. Орлова [184] о возникновении у древостоя ели на лессовидно-суглинистых почвах в южной тайге стрессовой ситуации на третий год после обильных осадков можно распространить и на насаждения этой породы, занимающие моренные супесчано-суглинистые и песчаные эдафотопы на западном фланге темнохвойных лесов. Здесь ель демонстрирует весьма высокую чувствительность к климатическим факторам.

#### 4.5 Радиальный прирост островных ельников Припятского Полесья

«Островные» ельники Полесья представляют собой объект для изучения генезиса еловых лесов умеренного климатического пояса и выявления причин, обусловивших дизъюнкцию ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) в Европе [266]. Они привлекают пристальное внимание в связи с их возможной деградацией после осушения болот и заболоченных земель региона.

Согласно климатогенно-ривалитатной теории [50] под воздействием экстремальных значений климатических факторов вид-эдификатор, господствующий в зонобиоме (ель европейская в Евразийских темнохвойных лесах), в соседствующей природной зоне конкурирующими в межвидовых отношениях аборигенными эдификаторами вытесняется в оптимальные для него локалитеты, формируя экстразональную растительность. Таким экстразональным сообществом являются «островные» ельники Полесья, принадлежащего к Европейской зоне широколиственных лесов [50].



«Островные» ельники занимают эдафотоп с подзолисто-заболоченными почвами, у которых накопление железа и алюминия происходит в иллювиально-гумусово-железистом горизонте. В этих локалитетах на Полесье ель европейская, кроме ее равнинного климатипа (subsp. abies), представлена также карпатской расой (subsp. acuminata) [189]. Именно в Карпатах и Западно-Румынских горах оробиому еловых лесов свойственны горные подзолистые почвы с железисто-иллювиальным горизонтом.

Таблица 4.11 – Коэффициенты корреляции (0,..) индексов радиального прироста возрастных групп ели на тест-участках «Браславские» с метеоэлементами фазы потепления (1977-2000 гг.) второй климатической эпохи

Возраст, лет	Период	с t °С	с осадками				
			Лаг, лет				
			0	1	2	3	4
115	Год	,12	,37	-,26	-,40	,28	,11
	Май-сентябрь	-,07	,16	-,20	-,19	,26	-,02
	Май-июнь	-,02	,24	-,20	<b>-,54</b>	,04	,14
	Октябрь-апрель	,18	<b>,58</b>	-,22	<b>-,53</b>	,12	,25
95	Год	,26	<b>,54</b>	-,06	<b>-,56</b>	,17	,30
	Май-сентябрь	-,13	,33	-,11	-,37	,19	,15
	Май-июнь	-,26	,35	-,08	<b>-,59</b>	,01	,20
	Октябрь-апрель	,35	<b>,62</b>	,05	<b>-,61</b>	,00	,38
80	Год	,16	<b>,54</b>	-,03	<b>-,42</b>	,14	,22
	Май-сентябрь	-,07	,30	-,09	-,22	,21	,10
	Май-июнь	-,12	<b>,44</b>	-,05	<b>-,57</b>	-,01	,12
	Октябрь-апрель	,22	<b>,70</b>	,11	<b>-,55</b>	-,10	,26
105	Год	,13	,23	-,05	<b>-,45</b>	,29	,26
	Май-сентябрь	-,20	,00	-,10	-,26	,36	,09
	Май-июнь	-,23	,28	,03	<b>-,48</b>	,04	,21
	Октябрь-апрель	,30	<b>,58</b>	,11	<b>-,58</b>	-,08	<b>,41</b>

Примечание: полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом при  $P = 0,99$ , полужирным начертанием, курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

«Островные» ельники этого региона можно рассматривать как реликты ели равнинной (восточноевропейской) в ее расселении из Верхнего Поволжья еще в раннем периоде послеледниковья и как форпосты ели карпатской в ее миграции на север. Миграционный карпатский поток обогатил флору Полесья горной (острочешуйчатой) разновидностью. На Полесье произошло перекрытие ареалов этих двух географических рас. Вероятно, в этом регионе сформировались их локальные популяции на своеобразном эдафотопе с иллювиально-гумусово-железистым подзолом, больше свойственным средней и северной полосам темнохвойно-лесной зоне и оробиому хвойных лесов Карпат. В подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов (средняя полоса Беларуси) ель европейская (равнинная раса) заселила достаточно плодородные супесчаные и суглинистые эдафотопы, в т. ч. на плакорах с лессовидно-суглинистым покровным чехлом.

Корневая система ели на заболоченных песчаных почвах чувствительна к колебанию уровня приповерхностных грунтовых вод. По этой причине изучение стволовой продуктивности (радиального прироста) и состояния «островных» ельников позволило получить дополнительную информацию о естественной и антропогенной динамике природной среды Полесья.

Как известно, дендрохронологические и статистические характеристики радиального прироста изменяются как функция географического положения территории, в пределах которой осуществлялся отбор образцов, и экологических условий насаждения. В изменчивости их радиального прироста, как предполагается, должны быть отражены не только динамика

климатических условий, но и изменение водных условий песчаного экотопа после мелиоративного освоения сопредельных болот и заболоченных земель.

В связи с этим представляет научный и практический интерес сравнительный анализ изменчивости радиального прироста современных поколений ели на территориях с осушительной сетью и без нее. В качестве тест-полигонов выбраны Медвянские ельники (Прибужье, Брестский лесхоз, без осушительной сети) и островные ельники с общим названием (по урочищу) «Ельнички» в Светлогорском (кварталы № 70 и № 89) и Октябрьском (квартал № 10) лесхозах. Тип леса – ельник черничный. Эдафотоп – иллювиально-гумусово-железистый подзол на мелкозернистых песках.

Исследованные в Светлогорском и Октябрьском лесхозах «островные» ельники находятся в водосборах рек Ипы и Нератовки, канализированных еще Западной экспедицией И.И. Жилинского. В начале 1960-х годов была проведена коренная реконструкция осушительной сети, и освоенные массивы торфяников стали более интенсивно использоваться в сельском хозяйстве как пахотные угодья. Майский уровень грунтовых вод – 1,5–1,6 м.

Природное своеобразие полесского песчано-болотистого региона на юге лесной зоны сказалось на увеличении радиального прироста ели при сокращении атмосферных осадков во второй половине XX в. и при понижении приповерхностных грунтовых вод после осушительной мелиорации. Следует особо отметить характерную особенность изменчивости радиального прироста в «островных» ельниках Полесья (рисунок 4.13): стволовая продуктивность ели не достигала максимального значения в 1930–1950-е гг. при максимальном очищении атмосферы от аэрозоля вулканического происхождения, свойственного ее насаждениям на плакорах Средней полосы Беларуси и в Поозерье [100].

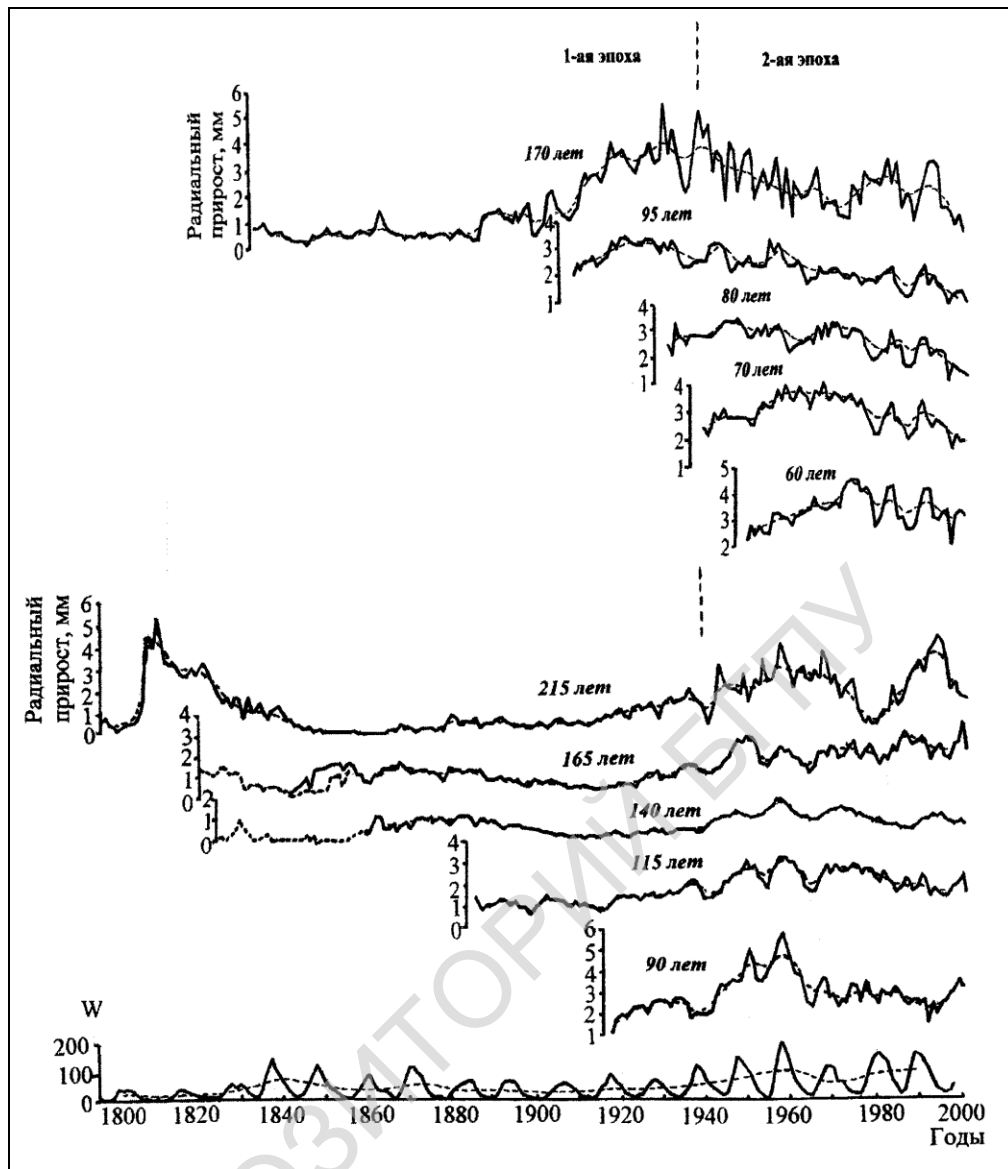


Рисунок 4.13 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста ели на мелиорированных (вверху) и немелиорированных (внизу) территориях. Вертикальной штриховой линией показан 1940 г. 170 лет – возраст древостоя. W – числа Вольфа.

Крайне угнетенное состояние ели после первой четверти XIX в. в западной части Полесья (Брестский лесхоз), на которой не выполнялась осушительная мелиорация, прослеживается до начала 1940-х гг. с глубоким экстремумом в приросте в 1840–1860-х гг. в апогей развития межвековой фазы наступления альпийских ледников (колебание Фернау). В изменчивости радиального прироста отразился вековой цикл солнечной активности. На территории, где осушение болот было проведено Западной экспедицией И. И. Жилинского в 1873–1898 гг., угнетенное состояние сохранившегося древостоя прекратилось в конце XIX в. (Светлогорский и Октябрьский лесхозы в восточной части Полесья). Только в первом случае прослеживается влияние квазивекового цикла солнечной активности на изменчивость радиального прироста древостоя.

Важнейшим экологическим фактором для изменчивости стволовой продуктивности ели на песчаных почвах Полесья является изменение увлажненности эдафотоп. Переход ели в «островных» локалитетах от крайнего угнетения к появлению изменчивости ширины годичных колец является индикатором уменьшения атмосферных осадков и снижения обводненности заболоченных территорий в результате осушительной мелиорации. Значительные падения (депрессия) радиального прироста в последней четверти XX в., наиболее четко выраженные у ели

на мелиорированных территориях, вызваны аномальными морозами при маломощном снежном покрове или при его отсутствии. Однако они не привели к массовому усыханию древостоя в регионе, как в Средней полосе Беларуси.

В изменении структуры стандартизированной хронологии радиального прироста ели (приростные индексы определены с применением 5-летнего скользящего сглаживания) четко выделяются переломные моменты в конкретные годы – 1940 и 1976. При переходе через них меняется не только дисперсия индексов прироста (рисунок 4.14), но и чувствительность ели к климатическому фактору не зависимо от возраста и состояния древостоя (таблица 4.12).

Рост и развитие всех поколений ели проходило, в основном, в течение климатической эпохи второй половины XX ст., наступившей после краткосрочного резкого похолодания начала 1940-х гг., для которой характерно среднегодовое сокращение осадков на Полесье более, чем на 100 мм по сравнению с предшествующей эпохой. В фазу потепления климата дисперсия индексов радиального прироста возросла в 2 раза (стандартное отклонение  $\sigma$  до 1976 г. – 5,89–7,57 %, после 1976 г. – 11,12–14,97 %. Коэффициент чувствительности всех возрастных групп ели на территории без осушительной сети после 1976 г. увеличился до 0,35–0,37 (по сравнению с 0,23–0,27 в 1940–1976 гг.), а на мелиорированной – до 0,28–0,44 (0,13–0,19 в 1940–1976 гг.). Похолодание климата до 1976 г. и одновременное уменьшение осадков не явились для ели лимитирующими факторами. Зависимости индексов радиального прироста у всех возрастных групп деревьев от метеофакторов, которая отразилась бы в статистически значимых коэффициентах корреляции (при  $n = 32$ ), кросскорреляционный анализ не выявил (таблица 4.13).

После мелиоративных работ 1960-х годов рост и развитие островных экосистем еловых лесов Полесья происходило не только в условиях потепления климата, но и при искусственном понижении грунтовых вод. Температура воздуха и осадки стали определяющими в зависимости стволовой продуктивности ели от климатических условий региона. Индексы радиального прироста ели приобрели прямую зависимость от температуры и осадков безлиственного периода и, в целом, гидрологического года. Эти метеофакторы за вегетационный период и месяцы активного роста не были значимы для стволовой продуктивности изучаемой древесной породы.

Такую зависимость модульных коэффициентов радиального прироста от температурных условий безлиственного периода можно объяснить тем, что они оказывают на них не прямое, а косвенное влияние – через продолжительность и глубину промерзания песчаной почвы. Чем меньше их значения, тем больше осадков пополняет влагозапасы песчаных почв. К тому же, между осадками и температурой воздуха именно этого периода при потепления климата после 1976 г. установилась прямая связь ( $r = 0,58$  при  $n = 24$ ,  $0,99 < P < 0,999$ ).

Положительная реакция ели на температуру воздуха и осадки безлиственного, а не вегетационного, периода при воздействии двух процессов – потепления климата (естественного) и понижения грунтовых вод (осушительная мелиорация) свидетельствует о ведущем значении именно этого периода для состояния и продуктивности лесных экосистем Полесья.

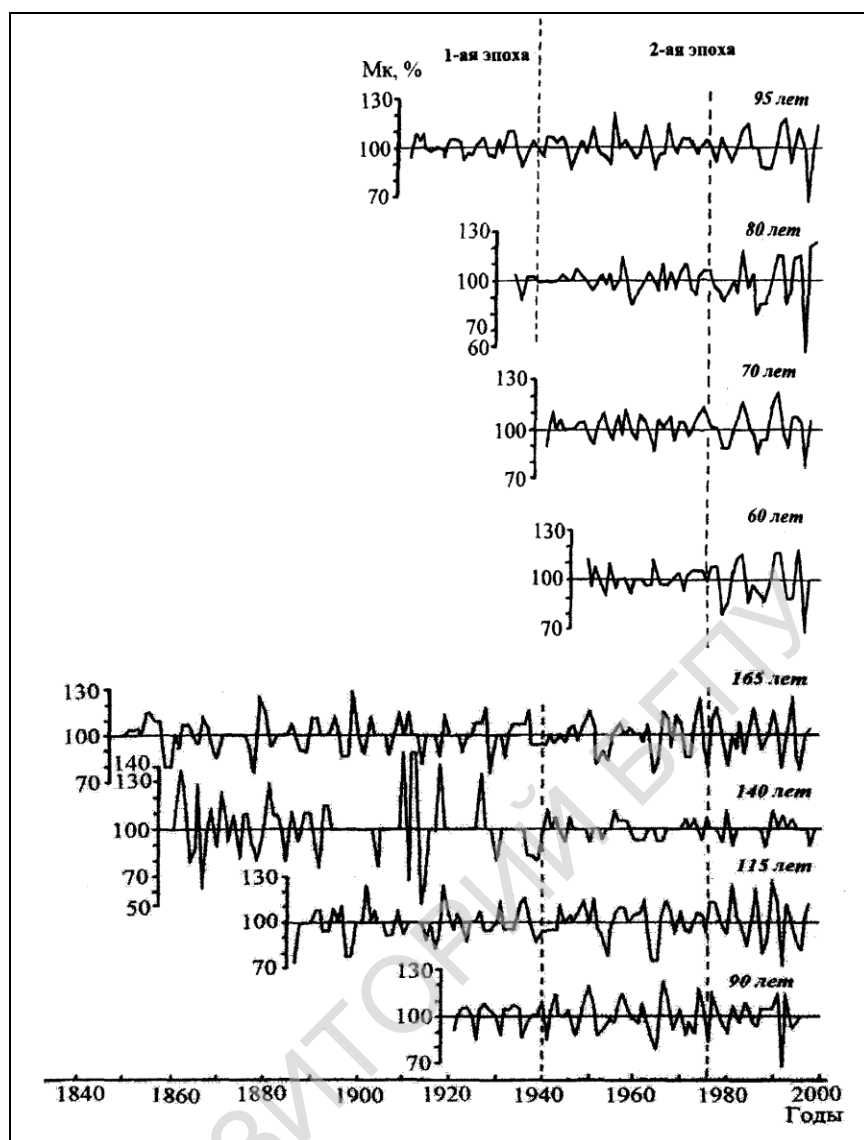


Рисунок 4.14 – Многолетний ход изменчивости возрастных индексов (Мк) радиального прироста ели на мелиорированных (вверху) и немелиорированных (внизу) территориях. Вертикальной шпrikовой линией показаны 1940 и 1976 гг. Индексы 170- и 215-летних одиночных деревьев не приведены.

Таблица 4.12 – Коэффициент чувствительности (Кч) к климатическим факторам и стандартное отклонение ( $\sigma$ ) индексов радиального прироста у возрастных групп древостоя ели

Тест-участки	Возраст, лет	Кол-во деревьев	Коэффициент чувствительности (Кч) групп ели к климатическим факторам среды			Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) в индексах радиального прироста		
			До 1940 г.	1940–1976 гг.	1977–2000 гг.	До 1940 г.	1940–1976 гг.	1977–2000 гг.
Меднянский ельник	165	5	,22	,27	,37	10,78	11,62	13,44
	115	11	,22	,23	,35	9,97	10,15	15,06
	90	9	,17	,24	,26	7,47	11,06	10,28
Ельнички	95	16	,14	,19	,44	6,85	7,57	12,22
	80	16	,14	,19	,44	–	6,37	14,97
	70	18	–	,16	,27	–	6,91	11,12
	60	14	–	,13	,28	–	5,89	11,84

Таблица 4.13 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста возрастных групп ели с метеоэлементами в «островных» локалитетах на мелиорированной территории Полесья

Возраст, лет	Период	Коэффициент корреляции (0,...)			
		1945-1976 гг.		1977-2000 гг.	
		с t °С	с осадками	с t °С	с осадками
95	Гидрологический год	,11	,25	<b>,47</b>	<b>,45</b>
	Май-сентябрь	-,16	,21	-,02	-,16
	Май-июнь	-,04	,31	-,27	-,24
	Октябрь-апрель	,31	,27	<b>,60</b>	<b>,65</b>
80	Гидрологический год	,16	,09	<b>,54</b>	,32
	Май-сентябрь	-,02	,16	,08	-,01
	Май-июнь	,08	,34	-,22	-,08
	Октябрь-апрель	,22	,25	<b>,64</b>	<b>,60</b>
75	Гидрологический год	,26	-,12	<b>,59</b>	<b>,45</b>
	Май-сентябрь	,11	-,10	-,10	,16
	Май-июнь	,18	-,11	-,23	-,23
	Октябрь-апрель	<b>,38</b>	,00	<b>,73</b>	<b>,73</b>
60	Гидрологический год	,10	,22	<b>,52</b>	<b>,55</b>
	Май-сентябрь	-,15	,34	-,01	<b>,44</b>
	Май-июнь	-,10	,28	-,28	-,13
	Октябрь-апрель	,18	,18	<b>,63</b>	<b>,53</b>

Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным начертанием и курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным начертанием, курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

Наступление переломных моментов в изменчивости индексового прироста ели в 1940 и 1976 гг. на неосушенных и осушенных заболоченных территориях Полесья было одновременно с появлением их в Средней полосе Беларуси и в Поозерье. По всей видимости, они имеют общие причины, не зависящие от региональных природных условий, техногенного загрязнения воздушной среды, возраста и таксационных характеристик насаждений. Для подтверждения феномена этой синхронной изменчивости чувствительности ели к погодно-климатическим факторам при переходе через переломный момент, были дополнительно выполнены исследования в других «островных» ельниках Брестского Полесья.

#### 4.6 Ельники Брестского Полесья в изменяющихся климатических условиях

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 наступившем XXI в. они 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. К исследованиям привлечен островной ельник у озера 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.) [50]. 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 [190].

В отличие от ельника у озера Тайного, 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, занимающих 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 трудно преодолемыми, 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). Почва под ельниками мшистым и мертвопокровным – дерновоподзолистая на рыхлых песках (грунтовые воды глубже 2,0 м.), под ельником черничном – иллювиально-гумусово-железистый подзол (грунтовые воды в период исследования на глубине 1,8 м.).

Сведения о тестируемых деревьях в возрасте 60 лет представлены в таблице 4.14. 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.

Таблица 4.14 – Сведения о тестируемых деревьях.

Тип леса	Кол-во деревьев	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Кoeffициент чувствительности	
				до 1976 г.	после 1976 г.
Е. мертвопокровный	18	29	24	0,29	0,28
Е. мшистый	15	37	24	0,21	0,24
Е. черничный	21	44	26	0,16	0,25

Современное 60-летнее поколение ели развивалось в течение гидротермически неустойчивой климатической эпохи, наступивший после начала 1940-х гг. с сокращением осадков на Полесье около 100 мм по сравнению с предшествующей влажной. В ней, как отмечалось, выделяются две фазы (до и после 1976 г.): потепления и похолодания (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Сравнительная характеристика фаз похолодания (до 1976 г.) и потепления (после 1976 г.) по наблюдениям на метеостанции Брест.

Период	До 1976 г.				После 1976 г.			
	$t$ °С		Осадки, мм		$t$ °С		Осадки, мм	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
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

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 не существенно за вегетационный период (май-сентябрь) – на 0,2 °С. Количество осадков за гидрологический год сократилось на 21 мм, за счет их уменьшения за безлиственный период. Причем, их отклонение ( $\sigma$ ) от среднего значения уменьшилось, особенно за безлиственный период. Подобная изменчивость основных метеопказателей свойственна и Пинску. Однако потепление здесь оказалось менее значительным (с 6,8 до 7,2 °С в среднем за год), а количество осадков, наоборот, увеличилось (с 576 до 597 мм).

Изменчивость фактического (в мм) радиального прироста в сравниваемых типах леса имела существенные различия (рисунок 4.15). У ели карпатской (е. мертвопокровный) он был наименьшим при похолодании климата до 1976 г., чем при последующем потеплении. У ели равнинной (е. мшистый и е. 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 (многолетний ход изменчивости индексного прироста представлен на рисунке 4.16).

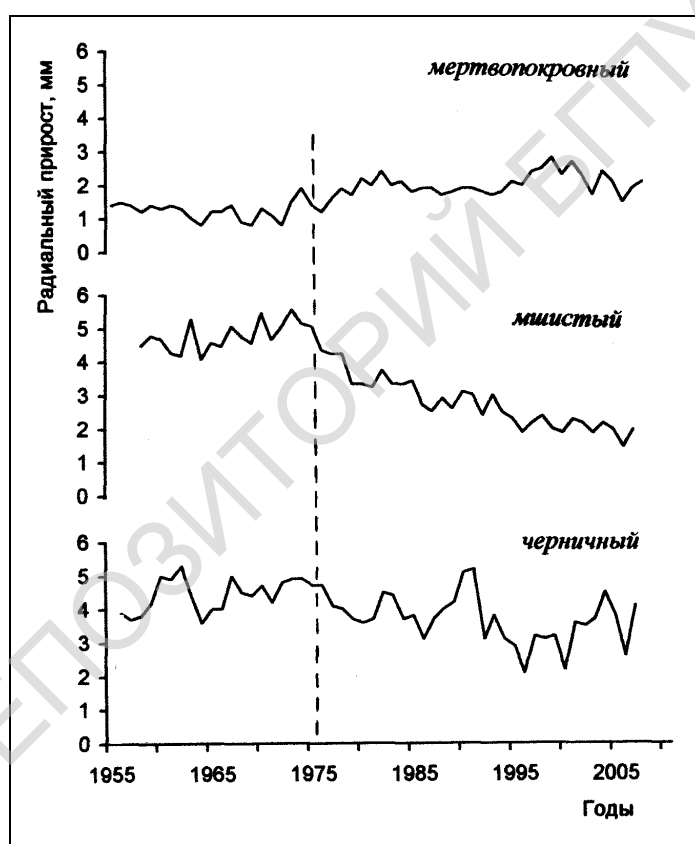


Рисунок 4.15 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста ели в сравниваемых типах леса. Вертикальной штриховой линией показан 1976 г.

Зависимость индексного прироста от осадков отсутствовала, как при похолодании, так и при потеплении (таблица 4.16). Чувствительность к климатическим факторам среды при потеплении климата и сокращении притока солнечной радиации увеличилась только у Ляховичских ельников (см. таблицу 4.14). Наибольшая дисперсия индексов до 1976 г. у карпатского климатипа отражает его угнетенное состояние, но не связь с гидротермическими факторами.

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 Ассама (1961 г.), Тристан (1961–1962 гг.) и Агунг (1963 г.). Извержения вулканов Эль-Чичон (1982) и Пинатубо (1991), приведшие к появлению аномально холодных бесснежных и малоснежных зим на территории Беларуси, отразились в угнетении ельников в ее средней полосе



и Поозерье [6]. 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).

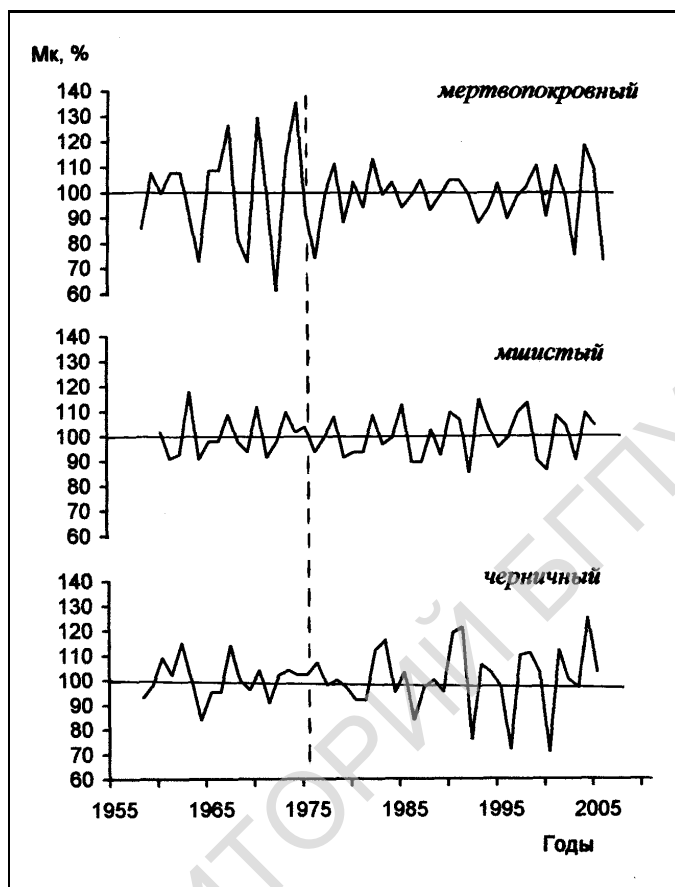


Рисунок 4.16 – Многолетний ход изменчивости индексного прироста ели в сравниваемых типах леса.

В целом, температура воздуха месяцев активного роста (и вегетационного периода у ельника мшистого) стала лимитирующей для индексного прироста (см. таблицу 4.16), определив негативную реакцию ели в Брестском Полесье на потепление климата. В отличие от восточной части Полесья, индексный прирост ели не приобрел прямую зависимость от температуры безлиственного периода.

Причина этого несоответствия, по всей видимости заключена в региональных особенностях климата: безлиственный период на востоке Полесья более холодный (после 1976 г. в Василевичах 0,4 °С, на западе в Бресте 2,3 °С).

Таким образом, причиной угнетения восточноевропейского равнинного климатического типа ели в западной части ее южной границы сплошного распространения (Ляховичские ельники) в условиях наиболее теплого в Беларуси климата послужило увеличение температуры месяцев активного роста и вегетационного периода на фоне снижения притока солнечной радиации.

Локальная популяция карпатского горного климатического типа в Борсально-Карпатской дизъюнкции европейского ареала ели (островной ельник у озера Тайное) оказалась более устойчивой к изменению климатических условий и замутненности атмосферы, открывая возможность его интродукции и акклиматизации в других регионах Беларуси как наиболее устойчивой к изменяющимся климатическим условиям и замутненности атмосферы.

## 4.7 Сравнительный анализ изменчивости радиального прироста сосны на автоморфных почвах Полесья и Поозерья

### 4.7.1 Характеристика тест-полигонов

Синхронность и цикличность в изменчивости радиального прироста сосны, вызванная геофизическими, гелиофизическими и климатическими факторами, должна проявиться наиболее контрастно в насаждениях, занимающих песчаные эдафотопы с глубоким залеганием грунтовых вод. В выборе тест-полигонов мы исходили из этого предположения. Именно в таких почвенно-гидрогеологических условиях влияние антропогенного фактора (осушительной мелиорации) незначительно или не проявляется вообще. Как известно, наиболее крупномасштабные осушительные работы были выполнены в Полесье и Поозерье.

Таблица 4.16 – Коэффициенты корреляции (0,...) индексного прироста возрастных групп сосны с температурой воздуха ( $t^{\circ}\text{C}$ ) и осадками.

Тип леса	Период	Коэффициенты корреляции			
		до 1976 г.		после 1976 г.	
		с $t^{\circ}\text{C}$	с осадками	с $t^{\circ}\text{C}$	с осадками
Е. мертво-покровный	Май-июнь	-,26	,02	<b>-,54</b>	,14
	Май-сентябрь	-,17	-,04	-,31	-,09
	Октябрь-апрель	-,18	,26	-,07	-,03
	год	,14	,14	,16	-,10
Е. мшистый	Май-июнь	,14	,34	<b>-,51</b>	-,02
	Май-сентябрь	,29	,26	<b>-,67</b>	,25
	Октябрь-апрель	,03	,21	-,18	,25
	год	,13	,40	-,38	,19
Е. черничный	Май-июнь	-,16	,39	<b>-,42</b>	,22
	Май-сентябрь	-,06	,07	-,32	,28
	Октябрь-апрель	,19	,18	,25	,11
	год	,18	,12	,08	,25

Примечание: Полужирным начертанием выделены значения коэффициента корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

На Полесье тест-полигоны были выбраны на западе (Брестский лесхоз) и на востоке (Светлогорский лесхоз). Расстояние между ними по широте составило 410 км. В Поозерье исследования выполнялись в г. Браслав, дендропарке «Бельмонт» и в ландшафтном заказнике «Межозёрный». Названия тест-полигонам даны по месту их нахождения: «Белоозёрский» – в Брестском лесхозе вблизи оз. Белое, «Круги» – в Светлогорском лесхозе (топоним урочища), «Браславский» – в городе и в парке «Бельмонт», «Браславский (межозёрный)» – по месту их нахождения в ландшафтном заказнике национального парка «Браславские озёра».

На тест-участках в пределах полигона насаждения сосны зеленомошной серии занимают автоморфные почвы, в элементарных ландшафтах водораздельных положений с глубоким залеганием грунтовых вод. Предельный возраст деревьев, который удалось обнаружить при анализе материалов лесоустройства и во время полевых исследований, не превысил 160 лет. Радиальный прирост подобных насаждений в средней полосе Беларуси был использован для

сравнительного анализа изменчивости стволовой продуктивности этой древесной породы в условиях техногенного загрязнения воздушной среды Минска и Могилева.

**Тест-полигон «Белозёрский»** располагается на территории, по рельефу входящей в область Полесской низменности, относится к подобласти Белорусского Полесья, к району Брестской водно-ледниковой низины и приурочен к её южному подрайону Прибугской равнине. Тест-полигон расположен на пологоволнистой равнине с относительными превышениями в рельефе до 3 м, который слабо осложнён слабо выраженными долинами малых рек и котловинами карстовых озёр (оз. Белое, Черное, Рогозьянское). Здесь же встречаются эоловые образования (материковые дюны-валы различной формы, длиной 200–300 м и высотой до 5 м).

Тест-участки (пробные площади) заложены на западном берегу озера Белого в пределах водоледниковой равнины по правобережью р. Западный Буг (Прибужье). Для них характерен почти плоский рельеф с относительной высотой 4,5 м над урезом воды в озере. Тип леса – сосняк мшистый. Из-за изреженности древостоя он трансформирован в сторону производной злаково-мшистой ассоциации.

Живой напочвенный покров представлен мхами, среди которых преобладают зеленые мхи (*Pleurozium Schreberi* (Willd.) Mitt., *Dicranum undulatum* Ehrh., *Dicranum scoparium* Hedw.), из лишайников – кладония (*Cladonia rangiferina* L.). Из злаков, которые стали доминирующими в результате рекреационного воздействия, обычны: овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), полевица обыкновенная (*Agrostis vulgaris* With.). На вершинах микроподнятий куртины – из белоуса торчащего (*Nardus stricta* L.) и булавоносца седого (*Corynephorus canescens* (L.) P.V.).

Образцы древесины (керны) были отобраны в мае 2001 г. возрастным буром на высоте 1,3 м у крупномерных деревьев, которые по возрасту и ступеням толщины распределяются следующим образом: 4 экземпляра возраста 160 лет (измерение ширины годичных колец с 1851 г.) и 10 экз. – 135 лет (измерение ширины годичных колец с 1874 г.) (таблица 4.17). Хотя точность определения средней ширины оказалась относительно невысокой (соответственно 20% и 15%), информация, заключённая в их дендрохронологических шкалах, представляет несомненный интерес. Деревья такого возраста на Полесье сохранились крайне редко. 160-летние сосны растут в верхней части обращённого к озеру склона участка с выровненным рельефом (на 0,5 м ниже, чем 135-летние).

Таблица 4.17 – Основные сведения о возрастных группах деревьев в сосняке черничном на тест-полигонах Полесья и Поозерья

Возраст, лет	Кол-во деревьев	Высота, м	Диаметр, см	Коэффициент чувствительности			
				до 1940 г.	1941-1976 гг.	1970-2000 гг.	1941-2000 гг.
<b>Белозерский (Брестский лесхоз)</b>							
160	4	25-30	56-60	0,16	0,15	0,19	0,17
135	10	23-28	36-42	0,11	1,21	0,22	0,21
<b>Круги (Светлогорский лесхоз)</b>							
105	20	25-30	34-38	0,18	0,19	0,18	0,18
75	12	23-28	32-36	-	0,23	0,22	0,23
<b>Браславский (город, парк Бельмонт)</b>							
155	9	24-29	40-60	0,16	0,19	0,16	0,18
130	7	30-35	70-90	0,17	0,18	0,19	0,18
<b>Браславский (межозёрный)</b>							
130	11	24-28	50-60	0,21	0,18	0,21	0,19
90	11	20-24	46-50	-	0,22	0,27	0,25

Почва – дерново-подзолистая, развитая на мелкозернистых лесных, со следующими горизонтами: А<sub>0</sub> (0–2 см); А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> (2–24 см, серый, мелко-комковый, непрочный, влажный, переход неровный); В<sub>1</sub> (24–52 см, темно-жёлтый, бесструктурный, влажный, переход ясный); В<sub>2</sub> (52–84 см, жёлтый с коричневыми пятнами, влажный, переход постепенный); В<sub>3</sub>С (84–150 см, светло-

жёлтый). Грунтовые воды в мае 2001 г. находились на глубине 4,0 м. У почвы под 135-летним древостоем они залегают ближе к дневной поверхности (2,5–3,0 м).

По предложенной Л.П. Смоляком и Г. Петровым [225] гидроэкологической типологии насаждения на тест-участке «Белозёрский» принадлежит глубоководным соснякам. Строение корневой системы сосны, растущей на рыхлых песках, достаточно подробно изучено В.Н. Киселёвым и К.Д. Чубановым [99]. При залегании грунтовых вод в 3,5 м самые длинные боковые вертикальные корни достигают глубины 2,3 м (рисунок 4.17). Основная масса проводящих горизонтальных и мелких физиологически активных корней сосредоточена в верхней 0,4-метровой части почвенного профиля, увлажняемого атмосферными осадками – омброгоризонте.

Горизонтальное разветвление сосущих корешков наблюдается также и внизу песчаного профиля (глубже 2 м). В нём довольно часто залегают уплотнённые прослойки горизонтально слоистого песка, над которым образуется более влажный песчаный горизонт в результате эпизодического просачивания атмосферных осадков. О том, что корневые окончания здесь физиологически активны, свидетельствует наличие у них сосущих корешков.

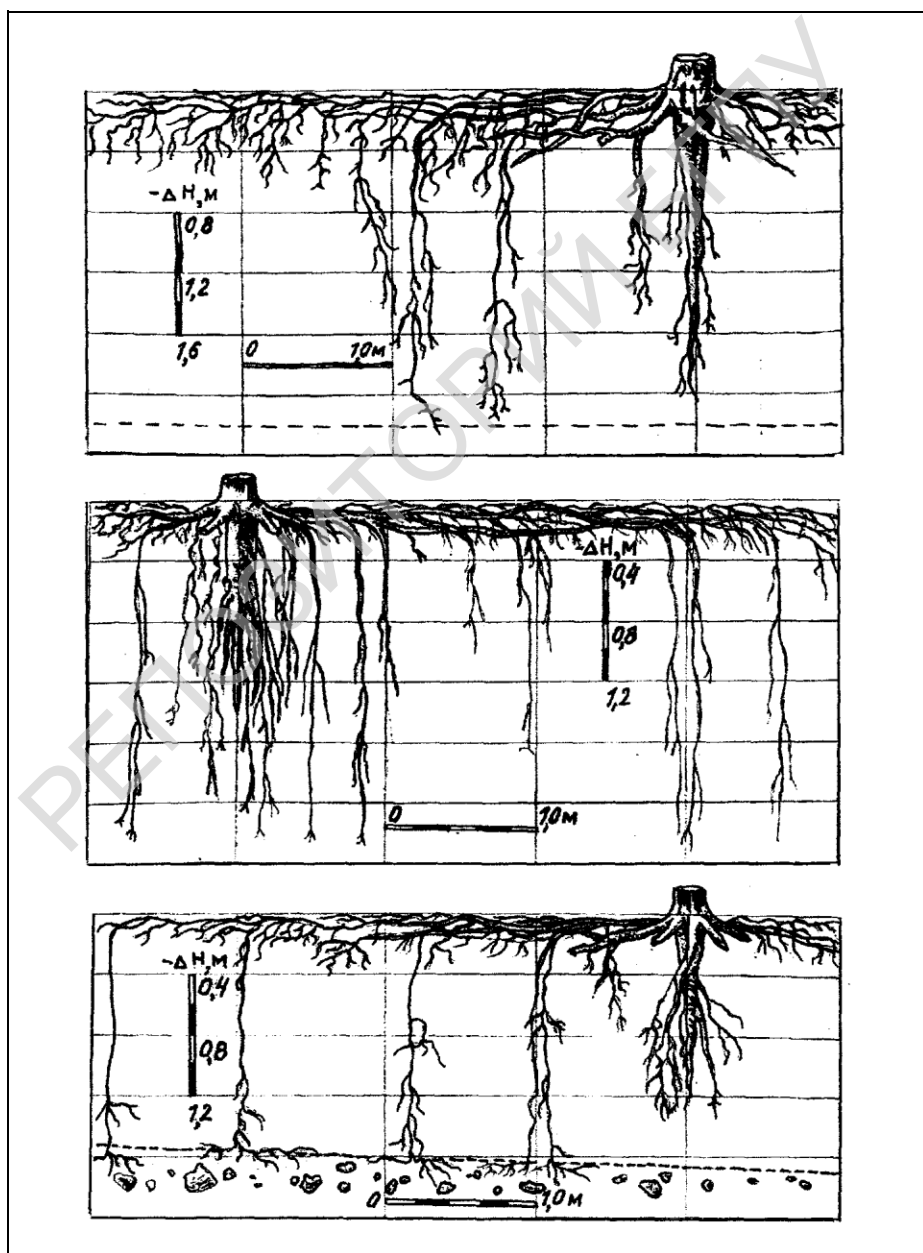


Рисунок 4.17 – Строение корневой системы сосны в сосняке мшистом на мелкозернистых песках и при подстилании их супесью моренной (внизу). Штриховая линия – майский уровень залегания

Увлажнение нижней части почвенного песчаного профиля происходят также капиллярным подъёмом грунтовых вод, и в этом случае разветвление корневых окончаний происходит в трихогоризонте. Между омброгоризонтом и трихогоризонтом залегает слой песка с более или менее постоянно низкой влажностью [91], сквозь который возможна, вероятно, только кратковременная инфильтрация атмосферных осадков. Именно в нём находятся вертикальные проводящие корни («тяжи»).

**Тест-полигон «Круги»**, названный по урочищу в Светлогорском лесхозе Гомельской области, включает насаждения 75-и и 105-летнего возраста. Он расположен в водосборе р. Ипа, канализированной ещё Западной экспедицией И.И. Жилинского в последней четверти XIX в. Рельеф определяется приуроченностью полигона к району Светлогорской моренной водно-ледниковой низины Предполесья, расположенной в междуречье Березины и Птичи. Современная поверхность территории наклонена к югу от долины Березины в сторону Припяти. Относительные превышения изменяются от 2 до 5 м. Встречаются единичные замкнутые озерные понижения термокарстового происхождения.

Великовозрастные насаждения в этой части Полесья не сохранились по причине сплошных рубок не только в XIX, но и, особенно, в 1930–1950-е годы. Тип леса на тест-полигоне – сосняк мшистый. Живой напочвенный покров, кроме мха Шребера (*Pleurozium Schreberi* (Willd.) Mitt.), изрежен и представлен всего лишь несколькими видами: овсяница овечья (*Festuca ovine* L.), белоус торчащий (*Nardus stricta* L.), марьяник дубравный (*Malamperum nemorosum* L.), дрок красильный (*Genista tinctoria* L.), булавоносец седой (*Corynephorus conescens* (L.) P.B.), кладония (*Cladonia rangiferina* L.).

Генетический профиль дерново-подзолистой почвы развит на мелкозернистых песках и аналогичен профилю на тест-участке «Белозёрский». Мощность горизонтов составляет: А<sub>0</sub> (0–2 см), А<sub>1</sub>А<sub>2</sub> (2–24 см), В<sub>1</sub> (24–48 см), В<sub>2</sub> (48–95 см), В<sub>3</sub>С (95–80 см). Грунтовые воды в мае 2000 г. находились на глубине 8,5 м (по замерам в скважине Светлогорского охотколлектива).

Образцы древесины (керны) отобраны в мае 2000 г. у 32 деревьев, среди которых 20 экземпляров возраста 105 лет (измерение ширины колец с 1905 г.) диаметром 34–38 см и высотой 25–30 м; 12 экземпляров возраста 75 лет (измерение ширины колец с 1937 г.) диаметром 32–36 см и высотой 23–28 м. Обнаружено 1 дерево 130-летнего возраста.

Чувствительность насаждений к климатическим условиям оставалась низкой за весь период его роста и развития (для 105-летнего поколения  $K_{ч} = 0,18$ , для 75-летнего  $K_{ч} = 0,23$  и практически не изменяется по фазам похолодания и положения второй климатической эпохи. Индивидуальная чувствительность каждого дерева была в 2–3 раза выше ( $0,69 < K_{ч} < 1,09$ ), чем в среднем для возрастных групп деревьев.

**Тест-полигоны «Браславские».** Территория тест-полигонов по рельефу принадлежит области Белорусского Поозерья, району Браславской краевой ледниковой возвышенности, который является частью Балтийского моренного комплекса [120]. В ландшафтном отношении полигон принадлежит к холмисто-моренно-озерному роду умеренно-континентального лесного типа ландшафтов Поозерской провинции озерно-ледниковых, моренно-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов [146].

Господствуют сосновые кустарничково-зеленомошные леса, покрывающие склоны камовых и озовых холмов с песчаными почвами. По составу это монодоминантные насаждения, подлесок которых образован можжевельником обыкновенным (*Juniperus communis* L.). Напочвенный покров представлен брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), толокнянкой (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.), вереском (*Calluna vulgaris* (L.) Hill.) и зелеными мхами (плевроциум Шребера, дикранум морщинистый и метловидный, ритидиадельфус трёхгранный, гилокомиум блестящий (*Pleurozium Schreberi* (Willd.) Mitt., *Dicranum undulatum* Ehrh., *Dicranum scoparium* Hedw., *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) War.).

Один из трех тест-участков расположен непосредственно в Браславе, на южном высоком берегу озера Береже, между зданием администрации парка и лесничеством. Здесь сохранились

крупномерные великовозрастные (155 лет) здоровые деревья с диаметром ствола 40–60 см и высотой 24–29 м. Их количество (9 экз.) позволило определить средний радиальный прирост для этой возрастной группы с точностью 16%.

Второй тест-участок находится в парке «Бельмонт», занимающий полуостров в юго-восточной части озера Дривяты в районе села Ахрёмовцы. В нём среди лиственного мелколесья и кустарника произрастают крупномерные деревья ели и сосны. Образцы древесины (керны) отобраны в сентябре 2002 г. у 7 крупномерных деревьев сосен в возрасте 130 лет, диаметром 70–90 см и высотой 30–35 м. Точность определения среднего радиального прироста для этой группы деревьев составляет 19,2 %. Как и на Полесье, сосна на северо–западе Беларуси обладает низкой чувствительностью к климатическим факторам среды. Для групп деревьев в Браславе и в парке «Бельмонт» коэффициент чувствительности не превысил 0,20, хотя индивидуальная чувствительность деревьев несколько выше ( $0,37 < K_q < 0,44$ ).

Третий тест-участок выбран в ландшафтном заказнике «Межозёрный», расположенном между озёрами Волосо Северный и Волосо Южный (на востоке) и Снуды (на западе). Данная территория примечательна тем, что находится на значительном удалении от крупных городов и промышленных центров и никогда не испытывала интенсивного техногенного загрязнения. Кроме того, эта территория никогда не подвергалась осушительной мелиорации.

Образцы древесины сосны отобраны в сентябре 2003 г. в сосняке мшистом, растущем на озе с относительной высотой 6–8 м. Следует отметить, что озы достаточно широко распространены в зоне последнего поозёрского (валдайского) оледенения и представляют собой длинные гряды, вытянутые по движению ледника. Озы балтийских поозерий имеют протяженность до нескольких километров. Высота озовых гряд над местным базисом эрозии может достигать 30–40 м, а угол наклона склонов превышает 25°. Сложены озы слоистым песчаным материалом с прослойками ленточных глин и мелкого гравия.

Дерново–подзолистая почва на разнозернистом песке слабо развита, включает следующие горизонты:  $A_1A_2$  – 10–20 см, белесовато–серый, свежий, переход ясный; В – 20–100 см, светло–охристый, свежий; ниже залегают слоистые пески с включением гравия и гальки.

Фитоценотическая структура насаждения нарушена бессистемными рубками. Крупномерные деревья сохранились среди мелколесья и подроста, представители которых характерны для сосновой формации на северо–западе Беларуси: ель европейская (угнетённая с побуревшей хвоей) (*Picea abies* (L.) Karst.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), берёза бородавчатая (*Betula pendula* Roth.), ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), клён остролиственный (*Acer platanoides* L.). Среди кустарникового яруса обычны лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* Scop. L.), жимолость обыкновенная (*Lonicera xylosteum* L.).

Из полукустарников широко представлены: малина (*Rubus idaeus* L.), ежевика (*Rubus caesius* L.) и куманика (значительно реже) (*Rubus nessensis* W. Hall.). Редко встречаются черника (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусника. Живой напочвенный покров более разнообразен, чем в подобном типе сосняка на Полесье. Кроме сплошного мохового покрова из зелёных мхов (*Pleurozium Schreberi* L.) включает достаточно много представителей разнотравья. Привлекают внимание кислица (*Oxalis acetosella* L.), ландыш (*Convallaria majalis* L.), купена (*Polygonatum multiflorum* L.), живучка ползучая (*Ajuga reptans* L.), зеленчук жёлтый (*Galeobdolon luteum* Huds.), будра плющевидная (*Glechoma hederacea* L.), звездчатка ланцетолистная (*Stellaria holostea* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), герань кровяно–красная (*Geranium sanguineum* L.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.) и др. Обычен папоротник орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kunh) и нередко встречаются злаки: вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), тонконог тонкий (*Koeleria gracilis* Pers.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), белоус торчащий (*Nardus stricta* L.) и др.

#### 4.7.2 Дендрохронологический анализ изменчивости радиального прироста

Причины изменчивости радиального прироста великовозрастных деревьев сосны трудно устанавливать с применением дендрохронологических и дендроклиматических методов исследования. Прежде всего, формация сосны обыкновенной, занимающая песчаные эдафотопы от лесотундры до степи, с различными температурными условиями и режимом увлажнения, как атмосферными осадками, так и почвенно-грунтовыми водами. Обладая толстой коркой, она высоко устойчива к действию крайне низких (в отличие от тонкокорой ели европейской) и высоких температур. К тому же, сосна не требовательна к питанию и влаге. В многолетнем ходе изменчивости ширины годичных колец сосны отражён не только её полициклический характер, но и существование ритмотипов, свойственных данной древесной породе [257].

Н.В. Ловелиус [128] предположил, что ритмотипы сосны каким-то образом указывают на различный характер реакции древостоя на солнечную активность. Деревья, всходы которых, появились в минимумы или максимумы солнечной активности в 11-летнем цикле, будут иметь избирательную положительную реакцию только на эти экстремумы. Согласно Т.Т. Битвинскому [17] на свежих местопроизрастаниях радиальный прирост сосны изменялся ритмически с диапазоном колебаний в среднем 10–11 лет, а на болотных местопроизрастаниях – 20–22 года.

Обнаружение того или иного цикла в приросте деревьев и выявление его природы по-прежнему остаётся важнейшей проблемой, для решения которой сделано очень мало [258]. Согласно А.А. Молчанову [157] первостепенное значение имеет солнечная активность, но большинство дендроклиматологов, не отрицая этого фактора, подчёркивают значение климатических условий – температура воздуха и осадков [19, 140, 144, 215, 240].

Территория Беларуси занимает центральное положение на Европейском субконтиненте. По этой причине обнаружение цикличности естественных процессов, отражённых в радиальном приросте великовозрастных деревьев сосны, по нашему мнению, представляет несомненный интерес для принятия решений в области использования лесных ресурсов и охраны природы.

Визуализация многолетнего хода радиального прироста сосны на Полесье (рисунок 4.18) непосредственно указывает на существование квазивекового цикла в его изменчивости у 135-летних деревьев в XIX ст.

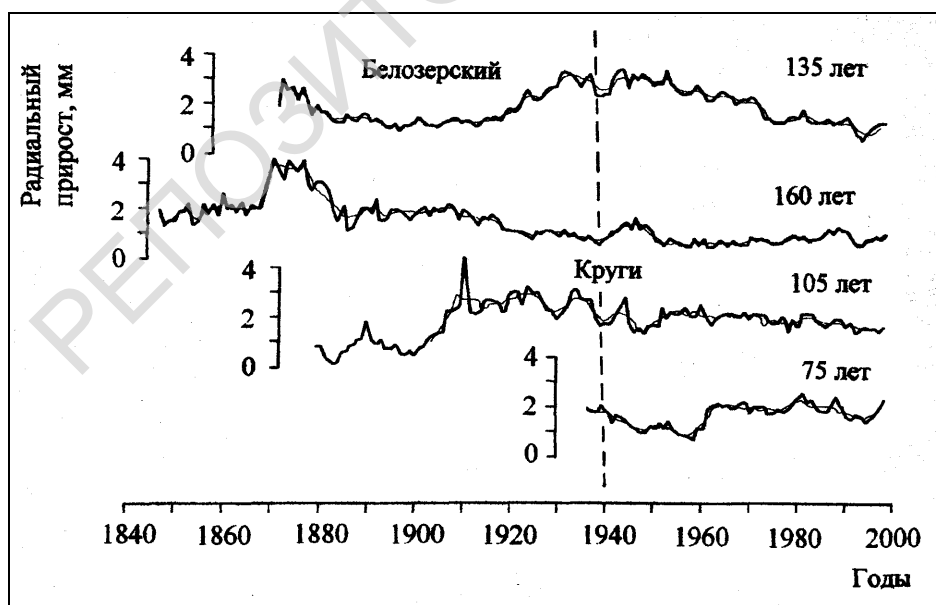


Рисунок 4.18 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп деревьев в сосняке мшистом в Белорусском Полесье (Белозерский – наименование тест-полигонов). Вертикальной штриховой линией показан 1940 г.

Наибольшая стволовая продуктивность была свойственна насаждению в 1872-1882 гг. до извержения Кракатау. Если судить по сведениям А.И. Воейкова [41] об осадках в Пинске, то этот период был повышенно увлажнённым: в 1876 г. выпало 913 мм осадков, в 1877 – 733 мм, в 1878 г.

– 677 мм и в 1879 г. – 991 мм при средней многолетней норме 645 мм (как отмечалось, осадки перечислены с поправочным коэффициентом 1,13).

Угнетение древостоя, независимо от его возраста наступило в 1880-е годы и, по всей видимости, является его реакцией на ухудшение лесорастительных условий, вызванных продолжительным засушливым периодом до начала 1890 гг. К сожалению, регулярные инструментальные метеорологические наблюдения в это время в Бресте не проводились. По сведениям А.И. Воейкова [41] в восточной части Полесья (Василевичи) 1881–1889 гг. отличались исключительной засушливостью: среднегодовое количество осадков за 9 лет составило 479 мм.

Однако, после засух 1880-х гг. не произошло увеличение стволовой продуктивности сосны на свежем песчаном эдафотопе в последующие годы, хотя количество осадков увеличилось. В Бресте их среднегодовое выпадение за 1889–1900 гг. составило 670 мм (при среднемесячной норме 608 мм) и среднегодовой температуре 7,4 °С (при норме 7,3 °С). Наступил достаточно длительный период до 1915 года угнетённого состояния 135-летней группы деревьев, когда средний размер годичных колец составил  $1,0 \pm 0,2$  мм. У 160-летних сосен такого угнетения не было, радиальный прирост был в 2 раза выше –  $2,0 \pm 0,3$  мм. Дальнейший ход радиального прироста в XX в. у 135-летней группы деревьев оказался «зеркальным» отражением его изменчивости у 160-летних сосен.

После 1915 г. у 135-летней группы выявлено постепенное увеличение ширины годичных колец, достигнув максимального значения (3,0 мм) в 1933 г. Достаточно высокая продуктивность сосен поддерживалась до 1955 г. Увеличение радиального прироста шло одновременно с увеличением солнечной активности в квазивековом цикле XX ст.

Отрезок времени между 1933 г. и 1955 г. отличался исключительной климатической неоднородностью: потепление 1930-х гг., резкое скачкообразное похолодание 1940–1942 гг. и последовавший за ним относительно холодный период до 1950 гг. Годичная температура за этот период изменилась от 6 °С (1947 г.) до 8,2 °С (1952 г.) (метеонаблюдения за 1940–1942 гг. не были регулярными). Количество осадков изменилось от 459 мм в 1947 г. до 760 мм в 1948 г. Причём, дважды случались самые сухие за период инструментальных наблюдений безлиственные периоды: – в 1952 г. – 184 мм осадков и в 1955 г. – 176 мм. Самые засушливые месяцы активного роста были в 1947 г. (41 мм осадков).

Таким образом, климатические условия 1933–1955 гг. нельзя считать оптимальными для наивысшей стволовой продуктивности 135-летней группы сосен на песчаном эдафотопе с залеганием грунтовых вод на глубине 4 м.

Падение радиального прироста после 1955 г. продолжалось до 1975 года. В последующие 18 лет он стабилизировался на значении 1,0 мм (с незначительным отклонением). Глубокая депрессия прироста (до 0,3 мм – наименьшая ширина годичных колец за весь период жизни и развития древостоя 135-летнего возраста) наступила в 1995 году, (8,6 °С) – одном из наиболее увлажнённых (784 мм осадков, больше было только в 1975 г. – 799 мм) лет за весь период инструментальных наблюдений во второй половине XX ст.

Следует отметить, что экстремальные по температуре воздуха и осадкам годы или отдельные месяцы не приводили к глубокой депрессии радиального прироста и, следовательно, угнетению сосны, что свойственно ели европейской [97, 102, 149]. Так, депрессия прироста не отмечена для лет с аномально холодным январём в 1893 г. (-14,8 °С, 24 мм осадков), 1950 г. (-10,3 °С, 32 мм осадков), 1963 г. (-10,0 °С, 30 мм осадков; в феврале -10,9 °С, 28 мм осадков), 1987 г. (-14,1 °С, 36 мм осадков). Ноябрь 1993 г. на западе Полесья оказался менее холодным (-3,2 °С) по сравнению с центральной частью Беларуси (-6,8 °С), но также малоснежным (17 мм осадков). Только крайне неблагоприятные лесорастительные условия 1940-1942 гг. вызвали угнетение 135-летних сосен в эти годы. Не отмечена глубокая депрессия радиального прироста в рекордно влажный 1931 г. (844 мм осадков) и в рекордно сухой 1991 г. (431 мм осадков).

У сосен 160-летней группы, в противоположность более молодому поколению, постепенное падение (а не увеличение) радиального прироста продолжалось в течение почти 30-ти лет и завершилось депрессией (0,6 мм) в 1940 г. В столь выраженном цикле прироста между 1940 г. и 1954 г. акрофаза наступила в тёплом (8,0 °С) и влажном (760 мм осадков) 1948 году.



Последовавшее крайнее угнетение сосен (ср. ширина годичных колец  $0,6 \pm 0,1$  мм) продолжалось до 1970-х годов. Слабая активизация радиального прироста привела к незначительному увеличению ширины годичных колец (до 1,2 мм) в одном из самых тёплых 1990 г. ( $9,1^{\circ}\text{C}$ , более тёплым был 1983 г.), хотя и с недобором осадков (579 мм) особенно в месяцы активного роста (81 мм). Депрессия прироста (до 0,5 мм) наступила одновременно с депрессией 135-летнего поколения в 1995 г.

Как показано на дендрограммах радиального прироста, угнетённому состоянию древостоя сосны отвечает размер годичных колец 0,1 мм и менее. Такого крайнего угнетения насаждения эта древесная порода на сухих песчаных почвах Полесья достигла после начала 1860-х гг. Кроме естественных внешних факторов на её состояние, определённое влияние, возможно, могли оказать и антропогенные факторы, в том числе осушительная мелиорация.

Одной из задач, решаемых Западной экспедицией по осушению болот (1873-1898 гг.) было создание сети лесосплавных каналов, обеспечивающих доступ к нетронутым лесным массивам. Сохранившееся 130-летнее дерево, по всей видимости, до 2000 г. являлось памятником сосновым лесам Полесья (в 2000 г. это дерево срублено). Его состояние до 1905 г., вероятно, отражает последствия неконтролируемого уничтожения лесных ресурсов региона.

Однако следует отметить, что крайнее угнетение этого дерева пришлось на 1880-е годы, особенно на 1883–1886 гг. (0,1-0,3 мм) после извержения Кракатау, как уже отмечалось с самым продолжительным засушливым периодом на Полесье. Хотя в 1891 г. ситуация несколько улучшилась ( $5,5^{\circ}\text{C}$  при средней многолетней  $6,4^{\circ}\text{C}$ , 610 мм осадков, в 1892 г.  $6,4^{\circ}\text{C}$ , 672 мм осадков) и радиальный прирост увеличился до 1,8 мм. Но угнетённое состояние уцелевшего дерева продолжалось до середины первого десятилетия XX ст. Вероятно, состояние сосны в I классе возраста отражает экологию лесосек на песчаных почвах с глубоким залеганием грунтовых вод.

Угнетение сохранившихся на междуречье лесосплавных рек Ипы и Березины сосны было более глубоким, по сравнению с насаждением у оз. Белого (западная часть Полесья). По всей видимости, 130-летние сосны в возрасте молодняка служат индикатором экологического кризиса, в котором оказалась восточная часть полесского региона после вырубki лесов и крупномасштабной осушительной мелиорации в последней четверти XIX в., проведённой Западной экспедицией И.И. Жилинского. Именно в это время возникла проблема оценки влияния этих работ на климат региона и сопредельных территорий [91]. С увеличением осадков, экологическая ситуация на Полесье улучшалась и в 1912 г. ( $5,7^{\circ}\text{C}$ , 821 мм осадков), а также в 1915 г. ( $5,6^{\circ}\text{C}$ , 687 мм осадков) ширина годичных колец у 105-летней группы сосен увеличилась до 2,0 – 0,2 мм.

В дальнейшем многолетнем ходе изменчивости стволовой продуктивности нашли отражение, как увеличивающийся возраст насаждения, так и погодно-климатические условия, которые приводили к угнетению насаждения и появлению депрессии в радиальном приросте.

Уменьшение ширины годичных колец с 1928 по 1933 гг. (с минимумом в 1931 г. – 1,8 мм), по всей видимости, вызвано 6-летним похолоданием, когда среднегодовая температура в эти годы понизилась до  $5,7^{\circ}\text{C}$ , а количество осадков (724 мм) превысило норму. Угнетения насаждения в 1940–1942 гг. наступило одновременно не только с её угнетением в западной части Полесья, но и с глубокой депрессией радиального прироста ели европейской на всей территории Беларуси [100] и в зоне южной тайги [57].

Следующее продолжительное угнетение сосны в 1946-1952 гг. вызвано продолжительным засушливым периодом, когда годичное количество осадков, включая рекордно низкое их выпадение за период инструментальных наблюдений (355 мм в 1946 г.) не превышало норму и в среднем составило 536 мм. Температурный фактор, по всей видимости, не имел существенного значения. Средняя годичная температура этих лет ( $6,5^{\circ}\text{C}$ ) была близка к норме. Только рекордное для второй половины XX ст. выпадение осадков (905 мм) в 1953 г. ( $6,3^{\circ}\text{C}$ ) привело к более активному нарастанию стволовой массы.

Насаждение сосны перестойного возраста на рыхлой песчаной почве оказалось чувствительным только к существенному недобору атмосферных осадков. Незначительные

угнетения радиального прироста на возрастной кривой его изменчивости пришлось на годы с количеством осадков менее 500 мм. Так, его неглубокая депрессия наблюдалась в 1954 г. (482 мм осадков), 1959–1960 гг. (457 и 421 мм осадков соответственно), 1963 г. (416 мм), 1976 г. (489 мм), 1992 г. (456 мм осадков). Именно в эти годы наиболее засушливыми за весь период инструментальных наблюдений были месяцы активного роста (май–июнь), когда количество осадков было наименьшим (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Метеорологические условия депрессии радиального прироста сосны на тест-полигоне «Круги» (полужирной линией выделены годы угнетения)

Год	Температура, °С				Осадки, мм			
	года	безлист. периода	вегет. периода	мая–июня	года	безлист. период	вегет. периода	мая–июня
1946	6,9	-0,5	17,3	17,0	355	169	186	74
1947	5,1	-2,9	16,2	15,8	573	246	327	105
1948	7,0	0,4	16,2	17,6	694	308	386	169
1949	6,6	0,1	12,7	15,8	599	199	400	178
1950	6,7	0,7	15,0	14,8	546	299	247	80
1951	6,9	0,2	16,2	14,8	495	303	192	141
1952	6,3	-0,1	15,2	13,6	487	204	283	129
1954	5,4	-2,9	17,0	17,3	482	146	336	57
1959	7,6	1,6	16,1	15,2	457	268	189	73
1960	5,7	-1,5	15,9	15,8	421	176	245	127
1963	6,0	-2,4	17,7	16,9	416	247	169	63
1976	5,3	-1,2	14,4	13,4	489	298	191	74
1979	6,2	-1,0	16,5	18,2	496	263	233	45
1986	6,5	-0,3	16,0	16,8	569	201	368	80
1992	7,9	1,8	16,5	15,0	456	252	204	120
1995	7,8	1,6	16,4	16,2	584	266	318	119
<b>среднее</b>	<b>6,6</b>	<b>-0,1</b>	<b>15,8</b>	<b>15,5</b>	<b>626</b>	<b>278</b>	<b>348</b>	<b>132</b>

У 75-летнего поколения сосен угнетение радиального прироста, вызванное засухой, наиболее контрастно выражено в 1959 году. В 1995 г. оно наступило синхронно с депрессией прироста на западе Полесья (тест-полигон «Белозёрский»). Экспрессия же связана с влажными годами – 2,4 мм в 1982 г. (6,7°С, 673 мм осадков); 2,3 мм в 1989 году (7,9°С, 698 мм) и 2,1 мм в 1999 году (7,3°С, 778 мм осадков).

На северо-западе Беларуси (Браслав) сосна обладала максимальной стволовой продуктивностью в 1860–1890 гг. В течение этого тридцатилетия размер годовых колец превысил 3,0–4,0 мм (рисунок 4.19). В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста группы 155-летних сосен в Браславе присутствуют характерные особенности свойственные также её насаждению 160-летнего возраста в западной части Полесья (тест-полигон «Белозёрский»). Прежде всего, наибольшая ширина годовых колец (в среднем 4,0 мм) была в I и II классах возраста. Но, в отличие от насаждений у Белого озера, максимальная стволовая продуктивность у сосны достигнута не в 1870-е, а в 1880-е гг., с наибольшим значением в 1882 г.

Депрессии радиального прироста в 1875 и в 1881 гг. оказались более глубокими, чем на Полесье. Метеорологических наблюдений в это время на северо-западе Беларуси не проводилось. Привлечение данных по другим пунктам позволяет объяснить этих два эпизода глубокой депрессии экстремальными метеоусловиями.

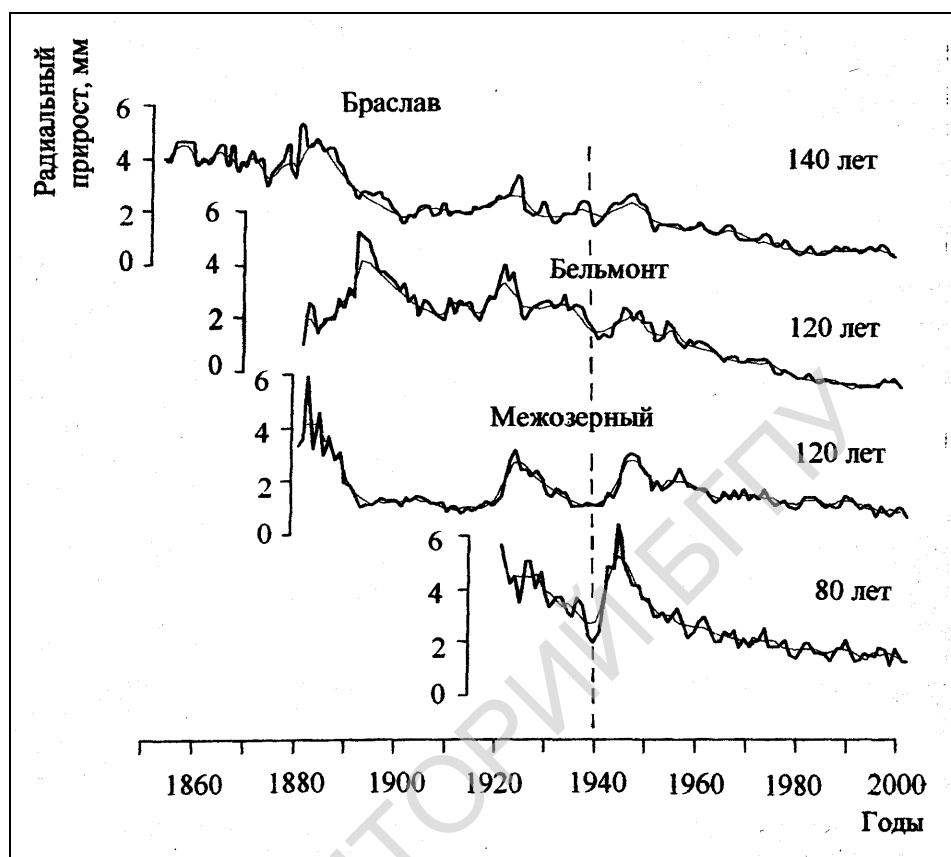


Рисунок 4.19 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста возрастных групп деревьев в сосняке мшистом в национальном парке «Браславские озера».

По сведениям А.И. Воейкова [41] 1875 г. был, по всей видимости, не только самым холодным, но и самым сухим годом в Беларуси. Годичная температура воздуха в Горках составляла  $2,3^{\circ}\text{C}$  (при средней многолетней  $4,8^{\circ}\text{C}$ ), а количество осадков 197 мм (без поправочного коэффициента). Холодный 1881 г. (в Горках  $3,5^{\circ}\text{C}$ ) также был засушливым (в Василевичах выпало 333 мм осадков, в Горках 411 мм). Вероятно, засуха в эти годы при низкой годичной температуре воздуха была свойственна и северо-западу Беларуси.

В первой половине XX ст. стволовая продуктивность сосен в Браславе определялась средним значением радиального прироста в 2,0 мм, в многолетнем ходе которого было несколько эпизодов экспрессии: в 1925 г. (3,4 мм), в 1930 г. (2,4 мм), в 1938 г. (2,5 мм) и депрессии, особо значимой в 1932 г. (1,7 мм), в котором выпало 251 мм осадков (при норме 627 мм). Отсутствие регулярных метеорологических наблюдений не позволяет сопоставить отклонения в радиальном приросте с погодно-климатическими условиями. Депрессия прироста (1,6 мм) в 1940 г. наступила одновременно с угнетением хвойных пород в зоне южной тайги.

В 1940-е гг. и в начале 1950-х гг. чётко выделяется цикл радиального прироста, синфазный такому же циклу у 160-летней группы сосен на западе Белорусского Полесья. Как и в последнем случае, его акрофаза (2,8 мм) наступила в 1948 г. при осадках (618 мм), близких к среднемноголетней норме и температуре ( $5,7^{\circ}\text{C}$ ) несколько выше нормы ( $5,3^{\circ}\text{C}$ ). В перестойном возрасте у 155-летней группы сосен в Браславе наименьшая стволовая продуктивность отражена в незначительном размере годичных колец, который постепенно сокращался от 1,6 мм до 0,6 мм. В

ходе их изменчивости присутствуют слабые отклонения (0,1-0,2 мм), которые не имели временной связи с годами экстремальных по метеорологическим условиям.

На многолетней кривой изменчивости радиального прироста 120-летних сосен в парке «Бельмонт» выделяется несколько циклов, различающихся как по амплитуде, так и по продолжительности. Наиболее значимым из них был цикл продолжительностью 24 года, ограниченный минимумами радиального прироста в 1886 (2,4 мм) и 1910 гг. (3,0 мм). По своей продолжительности он включает два 11-летних цикла солнечной активности Депрессии радиального прироста в 1875 и в 1881 гг. оказались более глубокими, чем на Полесье. Метеорологических наблюдений в это время на северо-западе Беларуси не проводилось. Привлечение данных по другим пунктам позволяет объяснить этих два эпизода глубокой депрессии экстремальными метеоусловиями.

Угнетение 130-летней группе сосен в парке «Бельмонт» в начале 1940-х гг. наступило одновременно с этим процессом на других тест-полигонах в Беларуси, а так же с угнетением ели в подзоне южной тайги. Последний из наиболее заметных циклов изменчивости ширины колец в этой возрастной группе в 1940-е и в начале 1950-х гг. оказался синхронным его появлению у 160-летних сосен в Браславе и в Полесье. Постепенное снижение стволовой продуктивности происходило в течение второй половины XX в., в результате радиальный прирост деревьев достиг наименьшего значения (0,6 мм) в 1993–1996 гг.

В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста 130-летней возрастной группы сосен в ландшафтном заказнике «Межозёрный» так же фиксируется его высокое значение в 1880-е гг. и его быстрое падение к середине 1990-х г.г. Наступившее достаточно длительное угнетение этой группы деревьев (средняя ширина годичных колец 0,9–1,2 мм) продолжалось до 1920 г. и было одновременным с угнетением древостоя не только в г. Браславе, но и на западе Полесья (тест-полигон «Белозёрский»). Вероятной причиной может служить снижение солнечной активности в квазивековом цикле (фаза спокойного Солнца).

Обращают на себя внимание два эпизода чётко выраженного цикла радиального прироста, близкого к 22-летнему, между 1920 и 1960 гг. Причём, максимальный размер (3,2 и 3,3 мм) годичные кольца имели после прохождения минимума солнечной активности (в 11-летнем цикле) в 1923 и в 1944 гг. Максимальная стволовая продуктивность сосны в данном случае наступила с запаздыванием на 2 года по отношению к минимуму солнечной активности. Этот же 22-летний цикл контрастно проявился и у 90-летнего поколения сосен с максимальной шириной годичных колец (6,0 мм) в 1945 г., спустя один год после минимума солнечной активности.

Глубокая депрессия радиального прироста в 1940 г. у 130- и 90-летних возрастных групп деревьев подчеркнула общий признак длиннорядных дендрошквал – угнетение сосны на исследуемых тест-участках одновременно с угнетением ели как по всей территории Беларуси [100], так и в зоне южной тайги [57]. Как уже указывалось, её причина – резкое скачкообразное похолодание в начале 1940-х гг. при переходе от первой климатической эпохи ко второй, создавшее крайне неблагоприятные экологические условия не только для тонкокорой ели [101, 102], но и для сосны, имеющей толстую корку.

На кривой радиального прироста двух возрастных групп деревьев в заказнике «Межозёрный» после 1950 г. отмечается постепенное снижение стволовой продуктивности сосны с короткопериодичными (несколько лет) слабо выраженными циклами, причина которых заключена, вероятней всего, в неоднородной изменчивости погодно-климатических условий. В частности, депрессия радиального прироста ясно выражена у 90-летнего поколения деревьев в годы с осадками значительно меньше средних многолетних: 1959 г. (548 мм), 1964 г. (451 мм), 1969 г. (535 мм), 1980 г. (607 мм, за безлиственный период рекордно низкое выпадение осадков – 177 мм), 1992 г. (493 мм) и в 1999 г. (445 мм).

Заканчивая дендрохронологический анализ изменчивости радиального прироста современных поколений сосны на автоморфных почвах (элювиальном типе ландшафтов) в южном (Полесье) и северном (Поозерье) регионах Беларуси, различающихся по литологическим отложениям и климатическим условиям, следует отметить их общие закономерности, которые

указывают на существование одновременно наступающих периодов, различной стволовой продуктивности.

Радиальный прирост соснового древостоя был наибольшим до 1880–1890-х гг. и между 1920-ми и 1950-ми гг. Погодно-климатическими, биотическими и возрастными факторами нельзя объяснить одновременное появление периодов максимальной стволовой продуктивности и её угнетения. Эта же закономерность свойственна и ельникам зеленомошной серии на плакорных местообитаниях в средней и северной полосах Беларуси [97]. Причина, по всей видимости, заключена в изменяющихся погодно-климатических условий под влиянием вулканических извержений.

Подобную зависимость радиального прироста от этого фактора уже удалось проследить при сопоставлении ширины годичных колец у бревен строения XIX в. (см. раздел 4.1). Таким образом, продукционный процесс сосновых лесов на автоморфных почвах Беларуси (Полесья и Поозерья) отражает изменения в природной обстановке, вызванной глобальными последствиями вулканических извержений.

#### 4.7.3 Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста

Для выявления зависимости радиального прироста сосны от климатических факторов привлечены результаты наблюдения Белгидромета на станциях, расположенных вблизи тест-полигонов: Бреста, Василевичи и Верхнедвинск. Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста, рассчитанных с применением пятилетнего скользящего сглаживания, приведены на рисунках 4.20 и 4.21.

Корреляционный анализ не выявил специфически значимой зависимости фактического (в мм) радиального прироста всех возрастных групп сосны в Полесье и на северо-западе Беларуси от солнечной активности: коэффициенты корреляции во всех случаях не превышали двух стандартных ошибок. Однако, как отмечалось, в отдельных случаях увеличение ширины годичных колец находилось в синфазе с некоторыми 11-летними циклами солнечной активности.

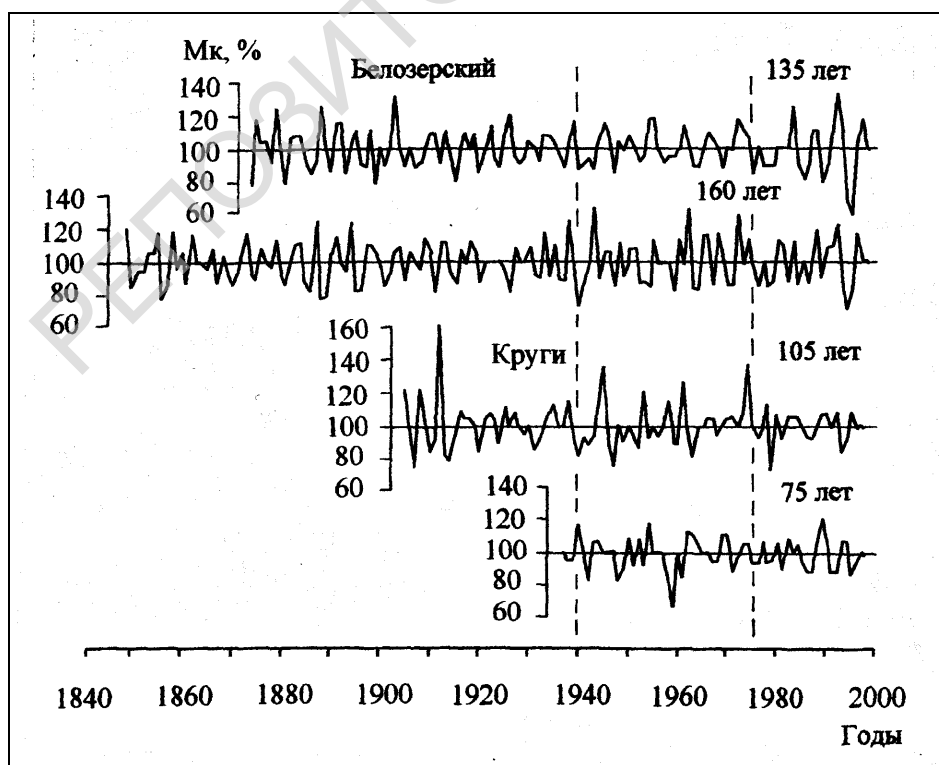


Рисунок 4.20 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста деревьев в сосняке мшистом в Белорусском Полесье. Вертикальными штриховыми линиями показаны 1940 и 1976 гг.

Наблюдения на метеостанциях до 1946 года не отличались полнотой. В Бресте наблюдения за температурой воздуха регулярно проводились только с 1889 по 1900 гг., в 1904 и с 1931 по 1932 гг.; за осадками с 1892 по 1900 гг., в 1903 - 1904 гг., в 1906 г. и в 1925 – 1933 гг. Наиболее полные ряды наблюдений за температурой воздуха получены на метеостанции Василевичи, где наблюдения не прерывались, начиная с 1878 года. Измерения выпавших осадков не проводились только с 1918 по 1922 год и с 1941 по 1943 гг.

По метеостанции в Верхнедвинске Белгидромет располагает данными о температуре воздуха за 1934–1939 гг. (эти сведения из-за непродолжительности наблюдений не были привлечены для дендроклиматического анализа). Наблюдения за осадками, начатые в 1892 г., неоднократно прерывались с 1896 г. по 1902 г., в 1904 г., с 1914 по 1919 гг., в 1926, 1930, 1931 гг. и с 1941 по 1945 гг. После 1945 г. наблюдения на всех метеостанциях Белгидромета были непрерывными. Для дендроклиматического анализа привлечены наблюдения, начиная с 1892 г., хотя они не отличаются полнотой до середины 1940-х гг. [219].

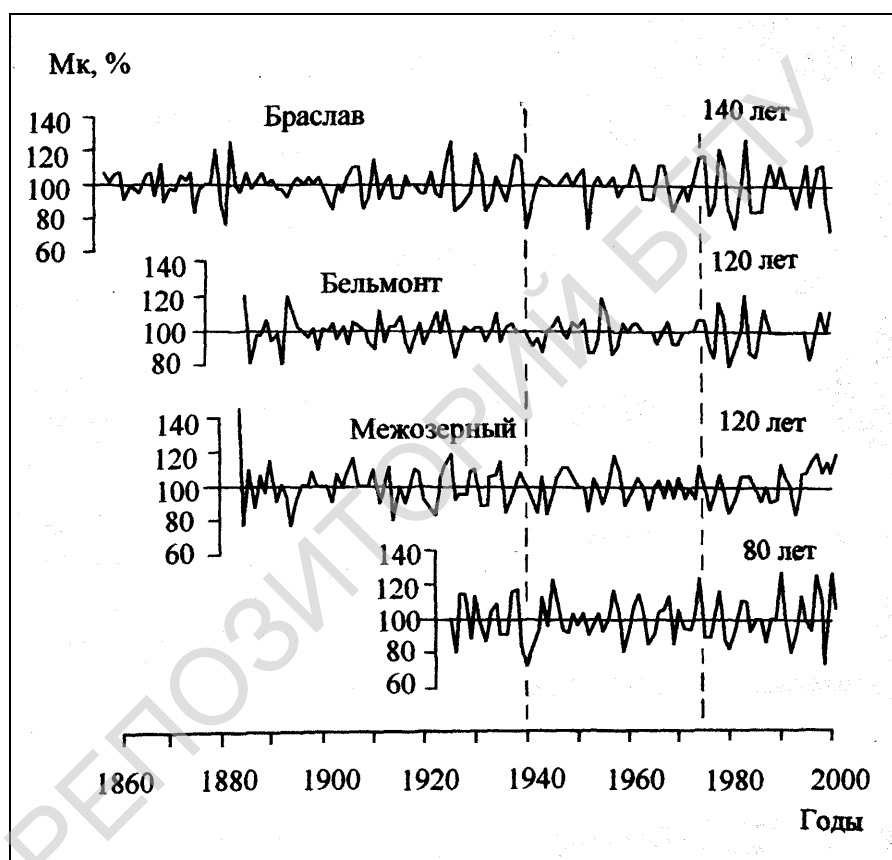


Рисунок 4.21 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста деревьев в сосняке мшистом в национальном парке «Браславские озера».

За период жизни и развития насаждений сосны на автоморфных почвах Полесья с 1892 г. по 2000 г. не выявлено статистически значимой корреляционной зависимости индексов радиального прироста от температурного фактора.

Коэффициенты корреляции у 160-летней ( $0,02 < r < 0,14$ ), 135-летней ( $-0,14 < r < 0,12$ ) и у 75-летней группы ( $-0,25 < r < -0,02$ ) не отвечали уровню значимости  $P = 0,95$  при  $n = 73$  (тест-полигон «Белозёрский») и  $n = 53$  («Круги»). Точно также, индексы радиального прироста сосны в Полесье не зависели от осадков, как гидрологического года, так и его периодов, используемых для дендроклиматического анализа. Во всех случаях коэффициенты корреляции не превысили двух стандартных ошибок.

По причине изменчивости климата за длительный период времени (более 100 лет), эти полученные результаты корреляционного анализа не дают полного представления о связи

радиального прироста сосны с метеофакторами. В связи с этим возникла необходимость разбивки длинного ряда наблюдений на короткие временные отрезки, в пределах которых климат характеризовался бы относительным постоянством или отклонения от предшествующего и последующего периодов по своей изменчивости.

В многолетнем ходе отклонений годичной температуры воздуха от средней многолетней по Республике Беларусь положительные флуктуации в фазу похолодания были значительно ниже, чем при потеплении в последней четверти XX ст. Последняя положительная флуктуация после 1988 г. была самой мощной за всю историю инструментальных наблюдений.

В варьировании индексов радиального прироста сосны не прослеживается одновременно наступающих переломных моментов, после которых наблюдалось бы и синхронное изменение их дисперсии. Стандартное отклонение индексов у 160-летнего поколения сосен на западе Полесья (тест-полигон «Белозёрский») было несколько больше в фазу похолодания климата, а у 135-летней группы – в фазу потепления (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – Стандартное отклонение индексов среднего радиального прироста у деревьев в сосняке мшистом на Полесье и Поозерье в первую и вторую климатические эпохи

Возраст, лет	Стандартное отклонение ( $\sigma$ )			
	до 1940 г.	1941-1976 гг.	1977-2000 гг.	1941-2000 гг.
<b>Белоозерский</b>				
160	11,1	14,2	13,6	13,9
135	11,9	9,1	17,36	13,2
<b>Круги</b>				
105	15,4	13,9	9,2	11,8
75	-	10,3	9,2	9,8
<b>Браславский</b>				
155	9,9	9,9	14,4	12,0
130	7,8	7,2	10,6	8,2
<b>Браславский (межозерный)</b>				
130	9,7	8,0	10,3	9,2
90	14,0	9,6	14,2	11,8

В восточной части региона («Круги») наибольшая изменчивость индексов прироста была свойственна двум возрастным группам сосен также в 1945–1976 гг., а на северо–западе Беларуси («Браславский») в последней четверти XX ст.

Как уже отмечалось, изменение климата за историю инструментальных наблюдений не оказали существенного влияния на изменение стволовой продуктивности сосны, как в Полесье, так и на северо–западе Беларуси. Только в течение климатических эпох (и фаз во второй эпохе) проявилась статистически значимая зависимость индекса радиального прироста от метеорологических факторов.

У возрастных групп сосен на тест-полигоне «Браславский» выборочные коэффициенты корреляции между ними и температурой воздуха и осадками оказались статистически недостоверными при  $n = 20$ , на тест-полигоне «Круги» – при  $n = 28$  (таблица 4.20). Только на северо–западе Беларуси увеличение годичных осадков сопровождалось уменьшением модульных коэффициентов прироста ( $r = -0,40$ , при  $n = 32$ ,  $P = 0,95$ ).

В фазу похолодания второй климатической эпохи [97] только у 160-летней возрастной группы сосен («Белозёрский») обнаружена прямая зависимость, отвечающая  $P = 0,999$  при  $n = 31$ , индексов радиального прироста от осадков гидрологического года ( $r = 0,62$ ), вегетационного периода ( $r = 0,64$ ) и месяцев активного роста ( $r = 0,68$ ), как показано в таблице 4.21. На тест–

полигоне «Круги» выявлена обратная зависимость ( $r = -0,49$  при  $n = 32$ ,  $P = 0,99$ ) индексов радиального прироста только с температурой гидрологического года. А на тест-полигоне «Браславский» (155-летняя группа), наоборот – прямая связь с температурой гидрологического года ( $r = 0,49$ , при  $n = 31$ ,  $P = 0,99$ ), безлиственного периода ( $r = 0,39$ ,  $P = 0,95$ ) и месяцев активного роста ( $r = 0,35$ ,  $P = 0,95$ ).

Индексы радиального прироста у 130-летней группы сосен в ландшафтном заказнике «Межозёрный» в фазу похолодания климата приобрели прямую зависимость, отвечающую  $P = 0,95$  (при  $n = 31$ ) от осадков вегетационного периода ( $r = 0,42$ ) и, следовательно, гидрологического года ( $r = 0,40$ ). У 90-летнего поколения эта связь более тесная ( $P = 0,999$ ) не только за вегетационный период ( $r = 0,56$ ), но и месяцы активного роста ( $r = 0,50$ ,  $P = 0,99$ ) и год в целом ( $r = 0,46$ ,  $P = 0,99$ ).

Таблица 4.20 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста у деревьев в сосняке мшистом на Полесье и Поозерье с метеоэлементами первой климатической эпохи (1892–1939 гг.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)							
	с температурой, $t$ °C				с осадками, мм			
	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня
<b>Белоозерский</b>								
160	,16	-,14	,19	,24	-,06	,06	,12	-,14
135	-,02	,18	,14	,06	-,22	,18	-,19	-,06
<b>Круги</b>								
105	-,08	-,07	-,05	-,19	,06	,06	,04	-,02
<b>Браславский</b>								
155	-	-	-	-	<b>-,40</b>	,07	-,27	-,20
130	-	-	-	-	,20	,05	,19	-,05
<b>Браславский (межозерный)</b>								
130	-	-	-	-	-,02	,25	-,03	-,12
90	-	-	-	-	,18	,13	,14	,23
Примечание – Полу жирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$								

Таблица 4.21 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста у деревьев в сосняке мшистом на Полесье и Поозерье с метеоэлементами фазы похолодания второй климатической эпохи (1945-1976 гг.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)							
	с температурой, $t$ °C				с осадками, мм			
	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня
<b>Белоозерский</b>								
160	,17	,30	,20	-,32	<b>,62</b>	,10	<b>,64</b>	<b>,68</b>
135	,19	,24	-,19	-,16	,14	-,13	,19	,25
<b>Круги</b>								
105	-,08	-,07	-,05	-,19	,06	,06	,04	-,02
75	<b>-,49</b>	-,28	,05	-,11	-,12	-,23	,03	-,28
<b>Браславский</b>								
155	<b>,49</b>	<b>,39</b>	,30	<b>,35</b>	-,04	,29	,05	,10
130	,24	,024	,13	-,06	,00	,25	-,19	,02



<b>Браславский (межозерный)</b>								
130	,08	,06	,08	,14	<b>,40</b>	,14	<b>,42</b>	,38
90	,06	,10	-,14	,01	<b>,46</b>	,02	<b>,56</b>	<b>,50</b>
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при $P = 0,999$ .								

При потеплении климата в последней четверти XX в. отсутствовала зависимость индексов радиального прироста от метеофакторов у перестойных групп деревьев на Полесье («Белозёрский»; при  $n = 21$ ), за исключением обратной связи этого показателя стволовой продуктивности с температурой воздуха месяцев активного роста («Круги»;  $r = -0,49$ , при  $n = 21$ ,  $P = 0,95$ ).

Результаты анализа приведены в таблице 4.22. Великовозрастные группы сосен в Браславе обнаружили прямую связь ( $r = 0,49$ , при  $n = 24$ ,  $P = 0,95$ ) с осадками безлиственного периода, а в парке «Бельмонт» эта связь оказалась более тесной ( $r = 0,57$ ,  $P = 0,99$ ).

Таблица 4.22 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста у деревьев в сосняке мшистом на Полесье и Поозерье с метеоэлементами фазы потепления второй климатической эпохи (1977-2000 гг.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)							
	с температурой, $t$ °C				с осадками, мм			
	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня
<b>Белозёрский</b>								
160	,02	-,01	,07	,14	-,33	-,31	,16	-,12
135	,07	,10	,16	,16	-,24	-,20	-,16	-,06
<b>Круги</b>								
105	,25	,33	-,23	<b>-,49</b>	,14	-,17	,28	,40
75	,25	,33	-,23	<b>-,49</b>	,12	-,18	,22	,38
<b>Браславский</b>								
155	,16	,27	,03	,04	,36	<b>,49</b>	,23	,29
130	,14	,33	,02	,03	,30	<b>,57</b>	,10	,20
<b>Браславский (межозерный)</b>								
130	,39	,20	,15	-,30	-,05	,17	-,14	,25
90	,18	,39	-,30	-,34	<b>,57</b>	<b>,45</b>	<b>,49</b>	,30
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ .								

Следует также отметить появление циклической составляющей в зависимости индексов радиального прироста от осадков безлиственного периода только у древостоя на северо-западе Беларуси. Так, при сдвиге запаздывания на два года коэффициент корреляции оказался равным для древостоя в Браславе  $-0,43$  ( $P = 0,95$ ), в парке «Бельмонт»  $-0,59$  ( $P = 0,99$ ). Во всех остальных случаях этого фазового сдвига не выявлено, в том числе и у древостоя сосны на озе в ландшафтном заказнике «Межозёрный». Только 90-летнее поколение сосен сохранило прямую зависимость индексов прироста от осадков года ( $r = 0,57$ , при  $n = 24$ ,  $P = 0,99$ ) и вегетационного периода ( $r = 0,45$ ,  $P = 0,95$ ). Для них стали значимыми также осадки безлиственного периода ( $r = 0,49$ ,  $P = 0,95$ ).

Зависимость индексов радиального прироста от метеофакторов, особенно от осадков, в климатических условиях Беларуси носит неустойчивый характер. Причина заключается в том, что песчаным почвам свойственна высокая фильтрационная способность и низкая влагоёмкость, препятствующая созданию больших запасов влаги в корнеобитаемом слое почвогрунта. К тому

же, доступность для древесных растений в песчаных почвах ограничивается их малой влагопроводностью [142] из неравномерно возникающих очагов накопления атмосферных осадков над прослоями иного механического состава (супеси или более плотных микрогоризонтов) при общей низкой влажности всего почвенного профиля.

Во вторую климатическую эпоху возросло косвенное значение орографического фактора для продуктивности сосны, выразившееся в тесной коррелятивной зависимости индексов радиального прироста её древостоя на озе («Браславский», «Межозёрный» тест-полигоны), особенно в фазу похолодания климата. Как отмечалось, именно в эту фазу произошло сокращение осадков на 46 мм (или на 12,4 %) по сравнению с предшествующей климатической эпохой. При потеплении климата в последней четверти XX в. эта зависимость сохранилась для более молодого 90-летнего поколения по сравнению с 130-летним.

Осадки безлиственного периода не оказывали влияния на изменчивость индекса радиального прироста сосны, как ели [101], для которой они были особенно значимы как в Полесье (на мелиорированных территориях), так и на северо-западе Беларуси.

Таким образом, на географически разнесённых тест-полигонах (в Полесье и Поозерье) в многолетнем ходе изменчивости текущего радиального прироста сосны выявлены короткопериодные циклы, вызванные гелиофизическими, геофизическими и погодно-климатическими условиями. Этот вывод получен на тест-участках, на которых возможное влияние локальных гидрологических условий (неглубокое залегание грунтовых вод в песчаных почвах) и антропогенных факторов (техногенное загрязнение воздушной среды, осушительная мелиорация) на стволовую продуктивность древостоя исключается [64, 272].

Продукционный процесс сосновых лесов на автоморфных почвах Полесья и Поозерья отражает изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений. Многолетний ход изменчивости радиального прироста подчинен полицикличности. Наступление периодов максимальных размеров годовых колец и угнетение древостоя определяется цикличностью глобальных геофизических процессов, связанных с вулканическими извержениями.

Замутнение атмосферы вулканическим аэрозолем приводило к депрессии радиального прироста сосны в XIX и XX вв. За очищением атмосферы от вулканического аэрозоля следовало увеличение годовых колец. Максимальная стволовая продуктивность была свойственна сосне в «докракатаусский период» (1870–начало 1880 гг.) и в 1920–1950 гг., когда атмосфера была чиста от вулканического аэрозоля (по В.Ф. Логинову). При этом не исключается суммация с гелиофизическим фактором – увеличение яркости солнечного диска в квазивековом цикле солнечной активности Логинова. Наиболее вероятной причиной прогрессирующего снижения радиального прироста во второй половине XX ст. служит снижение притока солнечной радиации в результате серии вулканических извержений [45, 46, 48, 49].

Сосна на автоморфных почвах обладает чувствительностью к погодно-климатическим условиям. В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста отражена только мало выраженная депрессия в годы с недобором атмосферных осадков на Полесье. Синхронность изменчивости индексов радиального прироста сосны на автоморфных почвах свойственна её насаждениям только в пределах одного региона и отсутствует на географически разнесённых тест-полигонах [272]. Индексы радиального прироста не имеют статистически достоверной зависимости от температуры воздуха и осадков за весь период роста и развития насаждений (от 75 до 160 лет). Корреляция между этими параметрами возникла только при потеплении климата в последней четверти XX в.

Зависимость индексов радиального прироста от метеофакторов, особенно от осадков, в климатических условиях Беларуси носит неустойчивый характер. Причина заключается в том, что песчаным почвам свойственна высокая фильтрационная способность и низкая влагоёмкость, препятствующая созданию больших запасов влаги в корнеобитаемом слое почвогрунта. К тому же, доступность для древесных растений в песчаных почвах ограничивается их малой влагопроводностью [142] из неравномерно возникающих очагов накопления атмосферных осадков

над прослоями иного механического состава (супеси или более плотных микрогоризонтов) при общей низкой влажности всего почвенного профиля.

Во вторую климатическую эпоху возросло косвенное значение орографического фактора для продуктивности сосны, выразившееся в тесной коррелятивной зависимости индексов радиального прироста её древостоя на озе («Браславский», «Межозёрный» тест-полигоны), особенно в фазу похолодания климата. Как отмечалось, именно в эту фазу произошло сокращение осадков на 46 мм (или на 12,4%) по сравнению с предшествующей климатической эпохой. При потеплении климата в последней четверти XX ст. эта зависимость сохранилась для более молодого 90-летнего поколения по сравнению с 130-летним. Осадки безлиственного периода не оказывали влияния на изменчивость индекса радиального прироста сосны, как ели [101], для которой они были особенно значимы как в Полесье (на мелиорированных территориях), так и на северо-западе Беларуси.

#### **4.8 Изменчивость радиального прироста сосняков черничных в Белорусском Полесье**

Сосняки черничные, наряду с сосняками мшистыми, служат основным биогеоценозом, используемым в экологических исследованиях по выявлению антропогенных факторов [205] в динамике их стволовой продуктивности. Занимая эдафотоп в элементарном ландшафте с близким залеганием грунтовых вод, они привлекли пристальное внимание, особенно на Белорусском Полесье, в связи с проведением в этом регионе крупномасштабных осушительных мелиораций.

Характерной особенностью экосистемы сосняков черничных в Полесье является присутствие в ней блюдцеобразных микро- и мезопонижений, занятых верховыми и переходными болотами с малой мощностью торфа (до 1,0 м). Причина образования такого сочетания заключена в близком залегании к дневной поверхности ультрапресных приповерхностных грунтовых вод [91]. Таким образом, сосняки черничные и насаждения сосны на верховом болоте выступают индикаторами экологических последствий (изменение первичной продуктивности лесов) под влиянием, ведущего для этого региона антропогенного фактора – осушительной мелиорации.

Сосновые леса являются неотъемлемым компонентом полесского ландшафта и наряду с огромным природоохранным значением играют большую роль в народном хозяйстве республики. Их судьба, как и других растительных формаций, оказавшихся в искусственно созданных условиях понижения грунтовых вод в результате крупномасштабных осушительно-мелиоративных работ, по-прежнему вызывает озабоченность.

Если учесть исключительную роль леса в качестве регулятора водного режима территории и его значение в формировании ландшафта такого своеобразного региона как Полесье, то становится ясным, насколько важно проследить реакцию лесных формаций, особенно сосновой, на достаточно длительное время воздействующий фактор искусственного понижения грунтовых вод. В зоне этого понижения, в первую очередь, оказались сосняки черничные, занимающие песчаные эдафотопы с приповерхностным (не глубже 0,5 м до осушения сопредельных болот и заболоченных земель) залеганием грунтовых вод.

При развертывании в конце 1960-х гг. крупномасштабных мелиоративных работ в Полесье особую остроту приобрела проблема изменения первичной продуктивности лесов. Основным показателем, количественно выявляющим характер влияния измененного водного режима песчаных почв в результате осушительной мелиорации сопредельных болот, является текущий прирост древостоя (годовой, периодический) [148], который зависит так же от многих факторов как экологического, так и биологического порядка.

Возникшие при этом методические трудности в отношении выделения роли тех или иных факторов, особенно мелиоративного, в формировании прироста и существовавшие разногласия по этому поводу позволили включить в долгосрочный прогноз «Оценка влияния осушительных мелиораций на изменение водного режима территории, природного ландшафта, флоры и фауны» [222] только предварительные соображения.

В разработанных позднее Временной комиссией «Методических рекомендаций по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий» [152] в качестве компромиссного решения было принято, что при условии неизменности климатической ситуации на Полесье понижение грунтовых вод в результате осушительной мелиорации на 0,5 м по сравнению с исходным уровнем не вызывает существенных изменений текущего радиального прироста лесов на песчаных почвах региона.

После понижения грунтовых вод на 0,5–1,0 м, если их первоначальный уровень залегал не глубже 2,0 м, следует ожидать снижение стволовой продуктивности почти во всех сериях типов полесских лесов на этих почвах: в вересковой, брусничной, мшистой, орляковой, кисличной, снытевой и черничной. При понижении грунтовых вод более чем на 1,0 м, должно происходить повсеместное (за исключением лесных фитоценозов на автоморфных почвах) снижение продуктивности лесов региона. Не исключалось, что негативное влияние понижения грунтовых вод может быть сглажено увеличением атмосферных осадков [152].

За прошедшие 35 года после разработки «Прогноза ...» и 25 лет после утверждения в Совете Министров БССР «Методических рекомендаций ...», которые использовались Союзгипромелиоводхозом и Белгипроводхозом для принятия проектных решений по конкретным объектам на заключительном этапе мелиоративного освоения Полесья, изменился климат, произошла стабилизация в снижении уровня грунтовых вод и, главное, лесные экосистемы развивались в новых экологических условиях. Для исследования привлечены насаждения сосны (тип леса – сосняк черничный) в западной и восточной части Белорусского Полесья. Хотя полную историю лесных массивов восстановить невозможно, однако их естественное происхождение очевидно: отсутствуют прямолинейные ряды в расположении деревьев.

На крайнем западе Белорусского Полесья (Брестский лесхоз) великовозрастные деревья сохранились в сосняке черничном на низменном юго-западном берегу озера Белое на удалении до 100 м от него (часть из них растет непосредственно у уреза воды). Уровень грунтовых вод (УГВ) во время отбора образцов древесины (май 2001 г.) залегал на глубине 0,35 м. Какое-либо влияние осушительно-мелиоративных работ исключается полностью. Более того, рост и развитие деревьев на всем периоде их жизни происходили, по всей видимости, при мало изменяющейся глубине залегания грунтовых вод.

Среди тестированных деревьев, сведения о которых приведены в таблице 4.23, одно из них имело возраст 175 лет, остальные 165 лет. Именно этот возраст позволяет проследить изменчивость радиального прироста сосны за длительный период в условиях зарегулированного (близость озера) положения приповерхностных грунтовых вод.

Таблица 4.23 – Основные сведения о тестированных возрастных группах деревьев в сосняке черничном

Возраст, лет	Кол-во деревьев	Высота, м	Диаметр, см	УГВ, м
<b>Брестский лесхоз</b>				
175	1	28	56	0,35
165	6	25-30	48-52	0,35
<b>Калинковичский лесхоз</b>				
155	7	25-30	48-52	0,6
130	20	20-30	42-46	0,6
110	15	22-26	36-40	0,6
95	17	20-25	34-40	0,6
<b>Светлогорский лесхоз</b>				
120	20	24-30	36-38	2,1

В восточной части Полесья исследования выполнялись в памятнике природы республиканского значения «Горбовичский ельник» (Калинковичский лесхоз), в котором сосна соседствует с насаждениями ели в «островных» локалитетах. Образцы древесины (керы)

отбирались также возрастным буровом в мае 2002 г. у великовозрастных (от 95 до 155 лет) крупномерных деревьев.

«Горбовичский ельник» интересен тем, что находится на междуречье Ипы и Неначи, канализованных еще Западной экспедицией по осушению болот под руководством И. И. Жилинского в последней четверти XIX ст. Непосредственно в памятнике природы осушительная сеть выполнена в начале 1980-х гг. Во время исследования грунтовые воды находились на глубине 0,6 м (на канале был закрыт шлюз). Данное насаждение привлекательно тем, что прирост деревьев формировался при регулируемом уровне грунтовых вод, по крайней мере, в течение последних 20 лет.

Насаждение сосны в Светлогорском лесхозе (квартал № 70, возраст 120 лет) оказалось в зоне снижения грунтовых вод на глубину 2,1 м в результате мелиоративных работ в верховьях Чирковичского канала (правый приток Березины) и Ипы (левого притока Припяти). По сравнению с насаждением у озера Белого понижение грунтовых вод составило 1,65 м. Здесь очевидно влияние осушительной мелиорации на их уровенный режим. Для дендроклиматического мониторинга привлечены наблюдения Белгидромета, начиная с 1892 г., на метеостанциях Брест (до 1945 г. нерегулярные) и Василевичи, пересчитанные для гидрологического года, начало которого 1 октября.

Исследованным насаждениям сосны в западной и восточной части Полесья свойственен один и тот же эдафотоп. Под ними сформировались иллювиально-гумусово-железистые подзолы на рыхлых песках. Их отличительной особенностью служит плотный грязно-бурый иллювиально-гумусово-железистый горизонт (на глубине 20–40 см), который залегает под белесым подзолистым и сменяется ниже иллювиальным с монотонной коричневато-оранжевой окраской.

Близкое (до осушительной мелиорации) к дневной поверхности залегание грунтовых вод и наличие плотного иллювиально-гумусово-железистого горизонта в песчаном эдафотопе оказало влияние на формирование корневой системы сосны. Основная масса корней сосредоточена в верхней части (до плотного горизонта) почвенного профиля [99]. Вертикальные корни достигают в основном уровня грунтовых вод, не исключая проникновения их в водоносный горизонт (рисунк 4.22). Последнее явление можно считать временным при подъеме грунтовых вод.

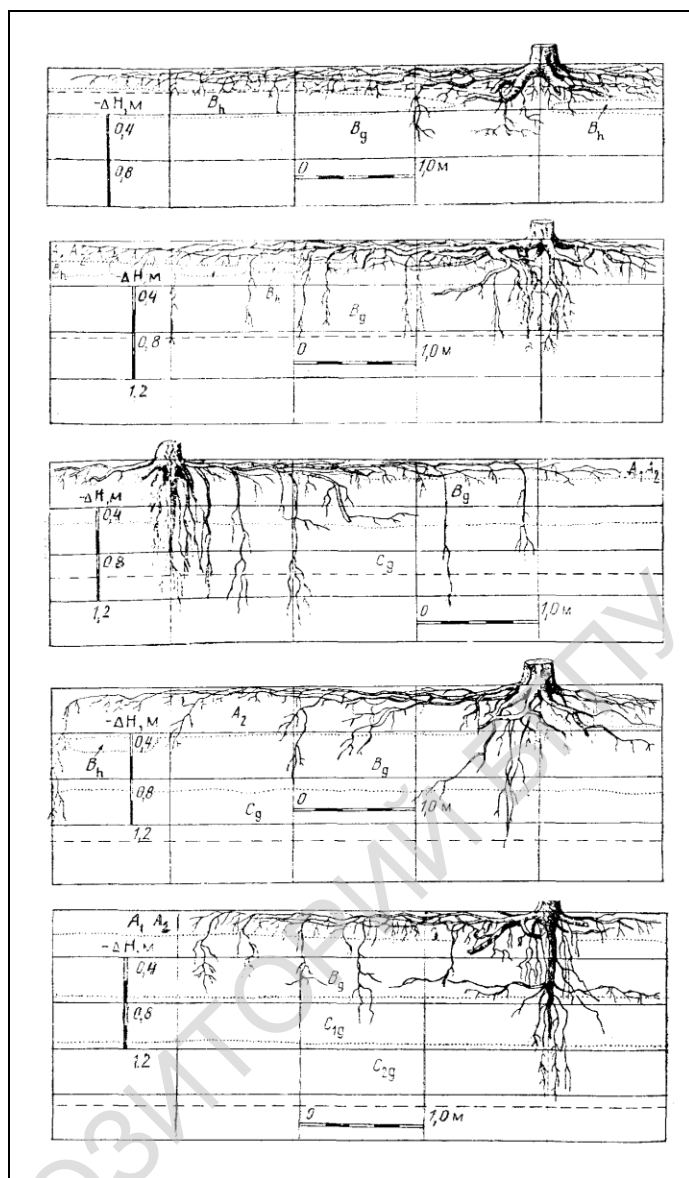


Рисунок 4.22 – Строение корневой системы деревьев в сосняке черничном при разной глубине грунтовых вод (штриховая линия – уровень грунтовых вод;  $A_1A_2$ ,  $A_2$ ,  $B_h$ ,  $B_g$ ,  $C_g$  – почвенные горизонты)

После осушительной мелиорации корневая система не оказывается «оторванной» от водоносного слоя, который понизился на глубину 2,1 м, хотя по-прежнему остается сконцентрированной в верхнем горизонте песчаной почвы. Несмотря на то, что ее проникновению ниже препятствует плотный иллювиально-гумусово-железистый горизонт, рост корней вглубь почвы происходит в местах разрушения этого горизонта или при его выклинивании. Кроме того, после понижения грунтовых вод образуются вторичные горизонтальные корни, которые отходят от стержневого и развиваются в подстилающих оглеенных песках.

При старении осушительной мелиоративной сети или в результате продолжительных обильных осадков, автодорожного и гидротехнического строительства происходит подтопление с последующим отмиранием корней в оглеенных горизонтах, в которые они проникли при понижении грунтовых вод. В этом случае наблюдается массовая гибель древостоя.

Визуализация длинных дендрометрических рядов (рисунок 4.23) указывает на то, что изменения прироста сосны по диаметру с возрастом не носят в наших случаях явно гиперболический характер [17] с довольно резким снижением кривой к 40-летнему возрасту [213]. Многолетний ход изменчивости радиального прироста дерева 175-летнего возраста и 165-летней

группы сосен у озера Белое имеет вид ломаной линии, у которой подъемы и падения отклоняются от среднего значения до 1,5 мм.

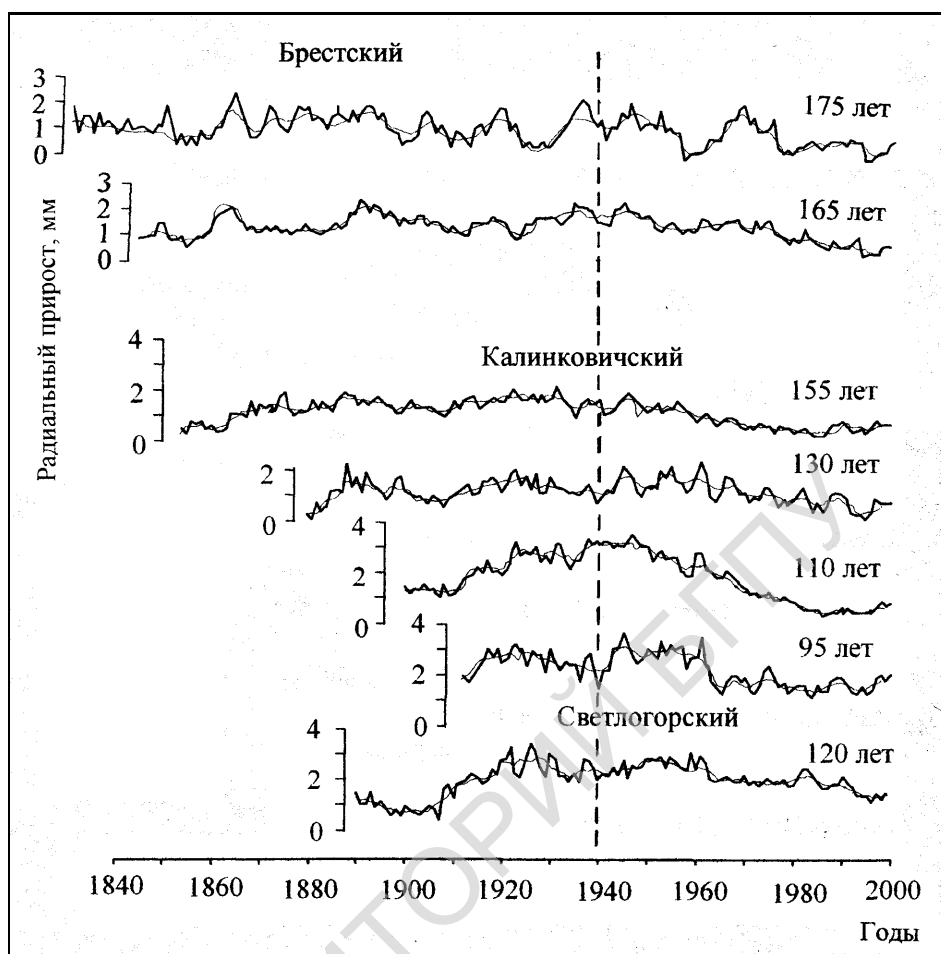


Рисунок 4.23 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняков черничных на Белорусском Полесье. Вертикальной шпrikовой линией показан 1940 г.

В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста сосны при зарегулированном положении приповерхностного водоносного горизонта выявляется его полициклический характер как в индивидуальной реакции великовозрастного дерева (175 лет), так и в групповой (165-летняя группа). Причина этой полициклическости, по всей видимости, заключена в колебании уровня грунтовых вод, вызванном изменчивостью атмосферных осадков. В данном случае лимитирующее значение имеет подтопление корневой системы в результате обильных осадков, так как трудно ожидать глубокого понижения грунтовых вод при их недоборе.

В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста 165-летней группы деревьев прослеживается 35-40-летний цикл. По своей продолжительности он, может быть, сопоставим с циклом Брикнера, который довольно часто встречается в приросте деревьев и выявлен Е. Г. Коминым [110] в приросте сосны на территории равнинного Зауралья и в Казахстане. По всей видимости, этот цикл есть отражение 35-40-летнего цикла яркости солнечного диска В. Ф. Логинова [131] в стволовой продуктивности хвойных пород. Вершина его приходилась на 1890-е и 1930-е гг., а также на первую половину 1970-х гг.

Изменение прозрачности атмосферы под влиянием вулканических извержений не нашло заметного отражения в увеличении стволовой продуктивности сосны в середине XX в. Не прослеживается строгой приуроченности депрессии радиального прироста к отклонениям в погодных условиях – высоким или низким температурам, недобору осадков или их обильному выпадению. Переход насаждения из влажной к неустойчиво влажной климатической эпохе в 1940 г. прошел практически безболезненно.

В изменчивости ширины годичных колец сосны в Калинковичском и Светлогорском лесхозах существует отличие от этого показателя стволовой продуктивности у насаждения в Брестском лесхозе. Это отличие заключается в том, что радиальный прирост у всех возрастных групп деревьев, кроме 155-летней, достаточно длительное время был более 2,0 мм: у 130-летней – с 1885 по 1980 г., у 110-летней – с 1913 по 1967 г., 95-летней – с 1914 по 1963 г. и у 120-летней – с 1913 по 1985 г.

Более высокая стволовая продуктивность деревьев в сосняке черничном в восточной части Полесья по сравнению с западной может быть объяснена улучшением лесорастительных условий заболоченного эдафотопы в результате крупномасштабного осушения болот Западной экспедицией в последней четверти XIX в.

Угнетение деревьев в первом десятилетии XX в., по всей видимости, вызвано переувлажнением эдафотопы. Это десятилетие было самым влажным по количеству осадков за всю историю инструментальных наблюдений – в среднем за гидрологический год выпадало по 774 мм осадков, к тому же 1906 год был рекордным по увлажнению (1097 мм осадков).

Обильное выпадение осадков в течение одного года, как правило, не всегда приводило к глубокой депрессии радиального прироста у всех возрастных групп деревьев, например, в 1953 г. (905 мм осадков) и в 1970 г. (826 мм). Одновременная депрессия прироста в конце 1950-х гг., очевидно, обязана наступившей засухе в 1959 г. (457 мм осадков) после переувлажнения эдафотопы в предыдущий год (777 мм осадков). Выход насаждений из угнетенного состояния произошел в теплое (8°C) 1961 г. при количестве осадков (634 мм), близкой к норме второй половины XX в. (626 мм).

Поиск причин депрессии радиального прироста у всех возрастных групп сосны после 1962 г. не является однозначным. Угнетение насаждения не может быть объяснено влиянием так называемого «глубокого осушения» сопредельных болот и заболоченных земель. Одновременно с понижением грунтовых вод на уменьшении увлажненности эдафотопы сказались недобор осадков в 1963 г. (416 мм, меньше выпадало только в 1946 г. – 355 мм) и в 1964 г. (459 мм) с одними из самых засушливых месяцами активного роста (в мае и июне выпало соответственно 63 и 57 мм осадков при норме 132 мм). При этом большое значение в снижении стволовой продуктивности имела цикличность в изменчивости радиального прироста.

У 110-летней группе деревьев очень четко выделяется 80-летний цикл изменчивости радиального прироста с такой же амплитудой и продолжительностью, который выявлен у 135-летнего насаждения на берегу Белого озера в Брестском лесхозе, находящегося вне зоны влияния осушительно-мелиоративных систем [226].

Как показали исследования по выявлению мелиоративного фактора в динамике стволовой продуктивности [99], потери запаса древесины в сосновых насаждениях, прилегающих к осушенным болотам и заболоченным землям, незначительны. Сопоставление индексов текущего радиального прироста в зоне и вне зоны влияния мелиоративной сети на уровенный режим грунтовых вод показало на тенденцию некоторого снижения радиального прироста за весь период после осушения. Относительные потери прироста массы древостоя (в куб. м/га) колебались в пределах от 0,2 до 2,0 % от наличного запаса. На слабую связь потерь древесного прироста с возможным понижением уровня грунтовых вод [262] указывают также особенности строения корневой системы сосны.

С высокой степенью контакта корневой системы древостоев с влагой почвенно-грунтовых вод сходимость прироста с осадками уменьшается [213]. В целом, климатические условия Белорусского Полесья не являются лимитирующими для насаждений сосны на иллювиально-гумусово-железистых подзолах.

За историю инструментальных наблюдений с 1892 г. у сосняков черничных отсутствовала коррелятивная зависимость индексов радиального прироста, приведенных на рисунке 4.24, с температурой гидрологического года, безлиственного и вегетационного периодов, а также месяцев активного роста.

Связь индексов радиального прироста сосны с атмосферными осадками, в основном, отсутствовала. Во всех случаях коэффициенты корреляции оказались статистически не



достоверными, не выходили за пределы двух стандартных ошибок и по этой причине не приведены.

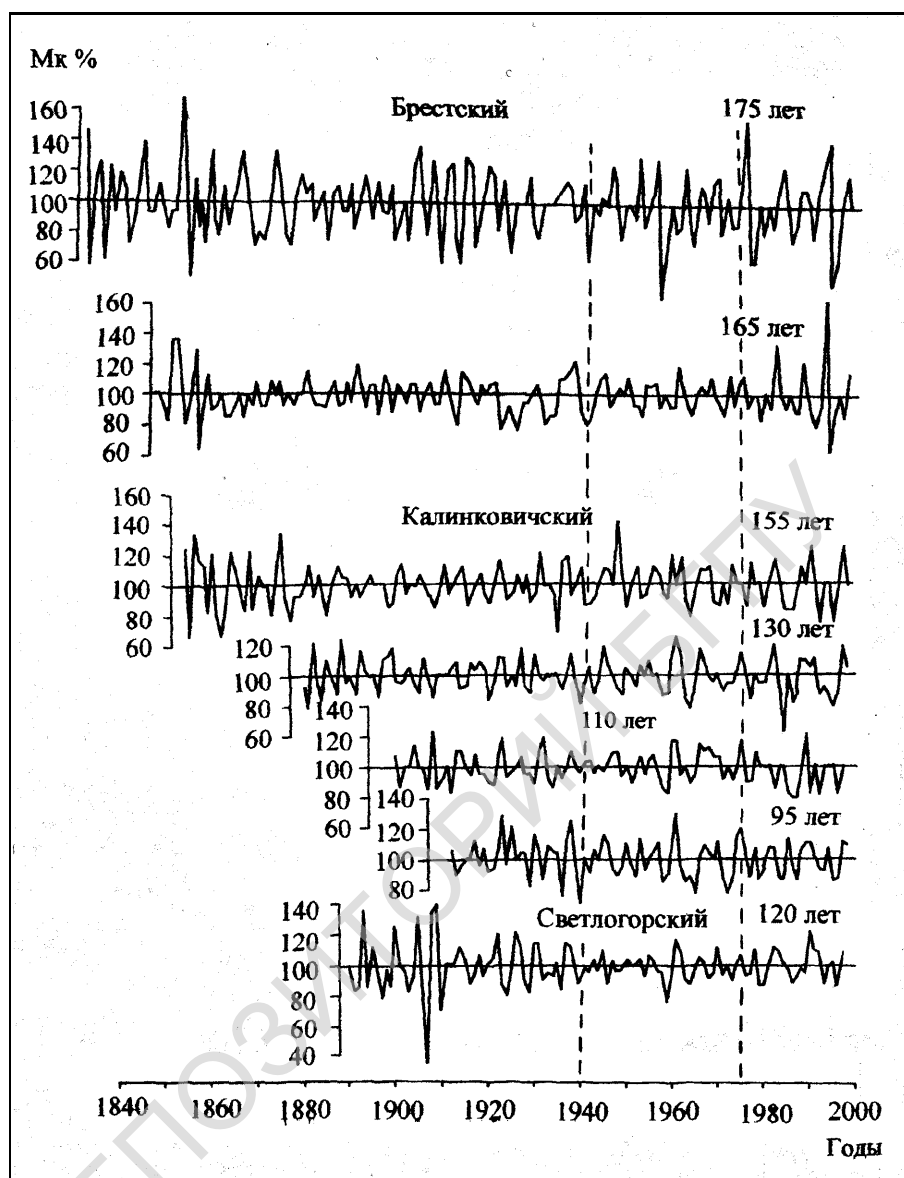


Рисунок 4.24 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста сосняков черничных в Белорусском Полесье. Вертикальными штриховыми линиями обозначены 1940 и 1976 гг.

Как отмечалось, жизнь и развитие современных поколений хвойных лесов Полесья за историю инструментальных наблюдений проходили в течение двух климатических эпох: первой – влажной и второй – неустойчиво влажной с двумя фазами – похолодания (до 1976 г.) и потепления (в последней четверти XX в.) [97].

Вариабельность ( $\sigma$ ) индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном вне зоны снижения грунтовых вод (Брестский лесхоз) и в местонахождении с их зарегулированным уровнем увеличивалась при переходе от первой климатической эпохи ко второй, от фазы похолодания к фазе потепления.

При более глубоком залегании грунтовых вод (2,1 м) вблизи мелиорированных земель вариабельность индексов прироста, наоборот, была наибольшей в первую эпоху и ниже во вторую по сравнению с древостоями, у которых не отмечено такого глубокого залегания грунтовых вод (таблица 4.24).

Таблица 4.24 – Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) индексов среднего радиального прироста у возрастных групп деревьев в сосняке черничном в первую (1892-1939 гг.) и вторую (1945-2000 гг.) климатические эпохи

Возраст, лет	Стандартное отклонение ( $\sigma$ )			
	1892-1939 гг.	1945-1976 гг.	1977-2000 гг.	1945-2000 гг.
<b>Брестский лесхоз</b>				
165	4,4	8,5	20,3	14,4
<b>Калинковичский лесхоз</b>				
155	9,4	10,1	14,1	11,9
130	8,8	10,6	10,9	10,5
110	10,4	9,4	12,6	11,0
95	11,9	12,7	9,7	11,4
<b>Светлогорский лесхоз</b>				
120	15,9	8,0	9,7	8,6

При установлении сходимости дендрошквал со средней для территории Беларуси суммой осадков обнаружено, что связь годового прироста сосновых древостоев в большинстве случаев выявляется при учете их суммы за два вегетационных периода, а также за два календарных года [213]. На Белорусском Полесье эта синхронность изменчивости индексов радиального прироста и осадков не приобрела статистически достоверной корреляционной зависимости от гидрометеофактора.

Только в первую климатическую эпоху индексы радиального прироста 95-летней группы деревьев имели прямую связь с осадками вегетационного периода ( $r = 0,42$  при  $n = 21$ ,  $P = 0,95$ ), а 110-летняя – на следующий год с осадками месяцев активного роста ( $r = 0,39$  при  $n = 33$ ,  $P = 0,95$ ). Температура вегетационного периода и месяцев активного роста в первую и вторую климатические эпохи не была значима для индексов прироста всех групп сосны: коэффициенты корреляции не отвечают  $P = 0,95$ . По этой причине в таблицах 4.25–4.27 они не приведены.

Точно также отсутствовала связь индексов прироста с гидротермическими коэффициентами, предлагаемыми Т. Т. Битвинским [17]. Следует также отметить, что возможная зависимость индексов радиального прироста 165-летней группы деревьев в Брестском лесхозе от метеорологических факторов не приобрела корреляционной значимости как в фазу похолодания (при  $n = 31$ ), так и при потеплении ( $n = 21$ ) второй эпохи.

Тенденция к снижению индексов радиального прироста у всех возрастных группах деревьев в Калинковичском лесхозе в первую эпоху была реализована в их обратной связи с температурой в следующем гидрологическом году только у 130-летнего поколения ( $r = -0,32$  при  $n = 49$ , лаг 1 год,  $P = 0,95$ ). В фазу похолодания климата эта же возрастная группа приобрела уже прямую зависимость от годичной температуры ( $r = 0,44$  при  $n = 33$ ,  $P = 0,95$ ).

Таблица 4.25 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на Полесье с метеоэлементами первой климатической эпохи (1892-1939 гг.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,..)							
	с температурой, $t$ °С				с осадками			
	года		безлист- венного периода		года		безлист- венного периода	
	Лаг, лет							
	0	1	0	1	0	1	0	1

Калинковичский лесхоз								
155	,15	-,12	,09	-,17	-,03	,19	,08	,21
130	,20	<b>-,32</b>	,23	-,17	,06	-,05	-,16	-,01
110	-,12	-,11	-,12	-,15	,20	,03	,20	,01
95	-,02	-,12	,07	-,22	,17	-,22	-,25	,00
Светлогорский лесхоз								
120	-,19	,21	-,25	,08	,07	,20	,14	,08
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ .								

Только в эту фазу существовала прямая связь индексов прироста 120-летней группы деревьев в Светлогорском лесхозе с осадками гидрологического года ( $r = 0,45$  при  $n = 31$ ,  $P = 0,99$ ) и безлиственного периода ( $r = 0,41$ ,  $P = 0,95$ ). Эти осадки были значимы для 110-летнего поколения (соответственно  $r$  равен 0,42 при лаге 1 год и 0,37;  $P = 0,95$ ) в Калинковичском лесхозе.

Таблица 4.26 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном с метеоэлементами в фазу похолодания второй климатической эпохи (1945-1976 гг.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,..)							
	с температурой, $t$ °С				с осадками			
	года		безлист- венного периода		года		безлист- венного периода	
	Лаг, лет							
	0	1	0	1	0	1	0	1
Брестский лесхоз								
165	,30	,08	,27	,08	,34	-,01	,12	,18
Калинковичский лесхоз								
155	,03	,06	,23	-,24	-,12	,10	-,16	,03
130	<b>,44</b>	-,06	,14	-,04	,17	-,01	,32	,06
110	,13	-,04	-,19	-,03	,23	<b>,42</b>	<b>,37</b>	,35
95	,32	-,07	,02	,03	,21	,06	,28	,05
Светлогорский лесхоз								
120	,11	,16	,10	,26	<b>,45</b>	,11	<b>,41</b>	,19
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ .								

При потеплении климата в последней четверти XX в. индексы радиального прироста оказались в прямой зависимости от температуры гидрологического года: у 155-летней группы ( $r = 0,52$  при  $n = 22$ ,  $P = 0,95$ ), на следующий год у 130-летней ( $r = 0,73$ ,  $P = 0,999$ ) и 95-летней ( $r = 0,52$ ,  $P = 0,95$ ) групп.

Причем, температура воздуха в безлиственный период была определяющей для этих возрастных групп также на следующий год. Именно в фазу потепления климата индексы радиального прироста оказались в статистически значимой ( $P = 0,95$ ) зависимости от осадков гидрологического года (у 155-летней группы  $r = 0,47$ ), или безлиственного периода (у 110-летней группы  $r = 0,44$ ), включая фазовый сдвиг на 1 год (у 130-летней группы  $r = 0,49$ ).

Таблица 4.27 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном с метеоэлементами в фазу потепления второй климатической эпохи (1977-2000 гг.)

Коэффициент корреляции (0,..)								
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Возраст, лет	с температурой, $t$ °С				с осадками			
	года		безлист- венного периода		года		безлист- венного периода	
	Лаг, лет							
	0	1	0	1	0	1	0	1
<b>Брестский лесхоз</b>								
165	,00	,29	,03	,24	,11	,34	,17	,21
<b>Калинковичский лесхоз</b>								
155	<b>,52</b>	,20	,19	<b>,55</b>	<b>,47</b>	,02	,36	,33
130	,23	<b>,73</b>	,23	<b>,72</b>	,31	,07	,34	<b>,49</b>
110	,34	,20	,32	,13	,22	,08	<b>,44</b>	,04
95	,15	<b>,52</b>	,20	<b>,58</b>	,38	,01	,27	,39
<b>Светлогорский лесхоз</b>								
120	<b>,53</b>	,30	<b>,63</b>	,25	,07	-,23	,31	,01
Примечание – Полуужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полуужирным курсивом – при $P = 0,99$ , полуужирным курсивом и подчеркиванием – при $P = 0,999$ .								

В условиях глубокого нахождения грунтовых вод (2,1 м) у 120-летнего поколения в Светлогорском лесхозе повышение годичной температуры воздуха положительно отражалось в индексах радиального прироста ( $r = 0,53$ ,  $P = 0,95$ ), в основном за счет более высокой температуры безлиственного периода ( $r = 0,63$ ,  $P = 0,99$ ). Осадки при этом не имели статистически значимого влияния на них.

Ростовые процессы сосны не зависят от температурных условий безлиственного периода, тем более при потеплении климата. Эти условия, по всей видимости, следует рассматривать как косвенно действующий экологический фактор, который определяет глубину и продолжительность промерзания почвы и, следовательно, пополнение почвенной влаги за счет увеличения запасов грунтовых вод.

Таким образом, понижение грунтовых вод в результате осушения болот и заболоченных земель в Полесском регионе не следует рассматривать в качестве лимитирующего фактора для стволовой продуктивности древостоя в сосняках черничных. При этом следует отметить отсутствие синхронности в изменчивости индексов радиального прироста на географически разнесённых тест участках в Брестском, Калинковичском и Светлогорском лесхозах.

Данная синхронность свойственна только изменчивости этого параметра стволовой продуктивности разновозрастных групп деревьев в пределах одного тест-участка (Калинковичский) (таблица 4.28). Причина, по всей видимости, заключена в различной глубине залегания грунтовых вод, погодно-климатические условия, при этом, не выступают в роли синхронизирующего фактора.

Таблица 4.28 – Коэффициенты корреляции (0,...) индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на тест-полигонах Белорусского Полесья (при  $n = 86$ )

Тест-полигон, возраст, лет		<i>Брест- ский</i>		<i>Калинковичский</i>			<i>Светлогорский</i>
		165	155	130	110	95	120
<i>Брестский</i>	165	-	,16	,27	,22	,14	,09
<i>Калинковичский</i>	155	-	-	<b>,36</b>	<b>,51</b>	<b>,34</b>	<b>,24</b>
	130	-	-	-	<b>,39</b>	<b>,67</b>	<b>,49</b>

	110	-	-	-	-	,32	,29
	95	-	-	-	-	-	,42
<b>Светлогорский</b>	120	-	-	-	-	-	-
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при $P = 0,999$ .							

#### 4.9 Радиальный прирост сосняков черничных в Национальном парке «Браславские озера» и на геостанции «Западная Березина»

Сосняки черничные в национальном парке «Браславские озера», которые привлечены для дендрохронологического и дендроклиматического мониторинга состояния этой растительной формации на крайнем северо-западе Беларуси, расположены в двух лесных массивах: «Лес Бельмонт», находящийся южнее озера Дривяты, и на территории Гослесфонда, окружающей гидрологический заказник «Болото Мох» в Дисненском лесхозе (Миорский район).

Они принадлежат к доминиону Евразийских темнохвойных лесов, в котором как представители трансзональной формации занимают песчаные эдафотопы с дерново-подзолисто-заболочиваемыми почвами на разнозернистых песках. Исследуемые лесные массивы расположены на  $55^{\circ}40'$  с. ш. в Атлантико-континентальной области лесов умеренного пояса.

Подлесочный ярус состоит из крушины ломкой (*Frangula alnus* Mill.), рябины (*Sorbus aucuparia* L.), ивы козьей (*Salix caprea* L.), пепельной (L.), а также лещины (*Corylus avellana* L.). Живой напочвенный покров является представительным для этого типа сосняков на севере Беларуси: черника (*Vaccinium myrtillus* L.), под пологом которой поселяются зелёные мхи (*Pterozium Schreberi* (Willd.) Mitt., *Ptilium crista castrensis* de Not., *Dicranum undulatum* Ehrh.), встречается брусника (*Vaccinium myrtillus* L.), молиния голубая (*Molinia coerulea* (L.) Moench.), подбел (*Andromeda polifolia* L.), редко багульник (*Ledum palustre* L.), осоки, хвощи, иногда пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.).

В национальном парке «Браславские озера» в качестве тест-участка выбран сосняк черничный в квадрате № 290 Браславского лесхоза в урочище «Ратьков бор» лесного массива «Бельмонт» и сосняк сфагново-черничный в урочище «Макомецкое болото». В последнем случае под напочвенным покровом из черники и сфагновых мхов с редкими фрагментами голубики и багульника (*Ledum palustre* L.) образовался верхний песчано-оторфованный горизонт  $A_0$  мощностью до 25 см., залегающий на белёсых песках ( $A_2$ , 25–40 см), сменяемых грязно-бурым горизонтом  $B_{1g}$  (40–54 см), который подстилается серовато-сизоватыми с охристыми пятнами оглеёнными песками.

В Дисненском лесхозе сосняк черничный занимает эдафотоп с дерново-подзолисто-заболоченной почвой на разнозернистых песках со слабо развитыми горизонтами: ( $A_1A_2$  0–18 см), песок разнозернистый, серый с белёсой присыпкой, ( $B_1$  18–56 см), песок разнозернистый, светлоохристый с сероватыми и буроватыми пятнами), ( $B_2$  56–130 см), песок разнозернистый с валунами и галькой, буроватый.

Подстилающей породой (глубже 130 см) служат разнозернистые пески с признаками оглеения (сизоватый оттенок). На период полевых исследований (сентябрь 2002г.) после засушливого весенне-летнего сезона мощность сухих сыпучих песков составила 90 см, и грунтовые воды не были достигнуты при закладке шурфа.

Для сравнения изменчивости радиального прироста в сосняках этого типа на более южной широте ( $54^{\circ} 05'$  с.ш.) были привлечены насаждения этой древесной породы в Воложинском лесхозе, непосредственно окружающие учебную станцию географического факультета Белгосуниверситета «Западная Березина», расположенную на западе Беларуси.

Насаждения представлены сосняком черничным. Древесный ярус включает примесь из березы пушистой (*Betula pubescens* Erch.) и бородавчатой (*Betula pendula* Roth), ели (*Abies picea*

Mill.), реже осины (*Populus tremula* L.). Подлесочный ярус состоит из крушины ломкой (*Frangula alnus* Mill.), рябины (*Sorbus aucuparia* L.), подроста дуба (*Quercus robur* L.), ирги колосистой (*Amelanchier spicata* Medic.), лещины (*Corylus avellana* L.), ивы козьей (*Salix caprea* L.), черёмухи (*Padus* L.).

Живой напочвенный покров образует черника (*Vaccinium myrtillus* L.), под пологом которой поселяются зеленые мхи (*Pterozium Schrebri* (Willd.), Mitt, *Ptilium crista castrensis* de Not., *Dicranum undulatum* Ehrh.), постоянно встречается брусника (*Vaccinium myrtillus* L.), а также довольно широко представлено разнотравье: ожика волосистая (*Luzula pilosa* (L.) Willd.), ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella* L.), скерда кровельная (*Crepis tectorum* L.), ястребинка постенная (*Hieracium murorum* L.), арника горная (*Arnica Montana* L.).

Почвы дерново-подзолистые заболоченные. Дернина – рыхлая серо-коричневая (A<sub>0</sub>, 0–2 см). Гумусовый горизонт (A<sub>1</sub>, 2–16 см) – пепельно-серый, песок рыхлый, свежий, слабо уплотненный, бесструктурный, густо пронизан корнями растений, встречаются валунчики 0,8–3,0 см, переход постепенный. Гумусово-подзолистый горизонт (A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>, 16–25 см) – светло-серый с белёсой присыпкой и бурыми пятнами, песок разнотернистый, рыхлый, свежий, бесструктурный, слабо уплотненный, редко пронизан корнями растений, встречаются валунчики, переход слабозаметный. Горизонт (A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>, 25–49 см) – буровато-желтый, песок разнотернистый, связный, свежий, слегка уплотнен, переход постепенный, (B<sub>2</sub>, 49–102 см), песок разнотернистый буровато-желтого цвета, рыхлый, свежий, бесструктурный. Материнская порода (B<sub>2</sub>C, 102–160 см) – также песок разнотернистый, но с признаками оглеения (сизоватый оттенок).

Образцы древесины отбирались возрастным буровом на высоте 1,3 м у наиболее развитых (господствующих) деревьев в насаждении в июле 2001 г. (на геостанции «Западная Березина») и в сентябре 2002 г. (в Браславском и Десненском лесхозах).

Всего было отобрано 55 образцов древесины сосны (*Pinus silvestris* L.) на северо-западе Беларуси и 42 образца в Воложинском лесхозе. Сведения о тестируемых деревьях приведены в таблице 4.29. Протяженность осреднённых дендрошкал для каждой возрастной группы деревьев на десять лет меньше, чем возраст древостоя.

Сосна на северо-западе и западе Беларуси обладает низкой чувствительностью к климатическим факторам. Коэффициент чувствительности (K<sub>r</sub>) у насаждения на песчаных дерново-подзолисто-заболоченных почвах оказался равным 0,24–0,28, непосредственно у верховых болот он несколько повысился (до 0,34–0,40).

Инструментальные наблюдения Белгидромета за температурой воздуха (с 1934 г., перерыв – 1940–1945 гг.) и осадками (не регулярно с 1932 г. по 1946 г.) на метеостанции Верхнедвинск, расположенной в 50 км к востоку от Браслава, позволяют сделать следующие выводы об изменении климата на крайнем северо-западе Беларуси. В многолетнем ходе изменчивости годичной температуры воздуха выделяются те же эпохи, что и в средней полосе Беларуси и в Полесье [97].

Во вторую эпоху неоднократно случались значительные похолодания, продолжавшиеся непрерывно в течение нескольких лет: в 1952–1954 гг. (средняя температура за эти годы 4,5 °С при норме за эпоху 5,3 °С), в 1963–1970 гг. (4,6 °С), 1976–1980 гг. (4,4 °С) и в 1985–1988 гг. (4,1 °С). Холодными были также 1994 год (4,3 °С) и 1996 г. (4,2 °С). Именно в эти отрезки времени и отдельные годы наиболее холодным был безлиственный период.

Таблица 4.29 – Основные сведения о возрастных группах деревьев в сосняке черничном на северо-западе и западе Беларуси

Возраст, лет	Кол-во деревьев	Высота, м	Диаметр, см	P, %	Коэффициент чувствительности K <sub>ч</sub>
<i>Лес «Бельмонт»</i>					
90	7	24-28	30-34	19,2	0,28
85	15	22-26	28-32	12,6	0,24
<i>Макоецкий</i>					

90	17	18-22	32-38	11,8	0,34
<b>Болото Мох</b>					
95	16	18-24	38-42	12,2	0,40
<b>Западная Березина</b>					
90	22	20-25	36-40	10,2	0,34
85	20	20-25	36-40	10,6	0,30

Самым тёплым был 1975 год (7,8 °С). Потепление конца XX ст. (6,0 °С в среднем за 1988–2000 гг.) оказалось сопоставимым с повышением средней температуры воздуха в 1930-е годы (6,05 °С). В выпадении осадков не выявлено различие двух сравнительных климатических эпох, с учётом неполноты наблюдений до 1946 г. (644 мм в среднем за первую эпоху, 622 мм – за вторую). Причём количество осадков за безлиственный период незначительно увеличилось (273 и 284 мм), за вегетационный – уменьшилось (371 и 343 мм) и за месяцы активного роста осталось неизменным (135 и 134 мм).

Изменение климата на северо-западе Беларуси согласуется с данным процессом на севере республики и северо-западе России, где потепление с середины 1970-х годов сопровождается увеличением осадков [97]. Потепление в Витебске на 0,5 °С (средняя многолетняя температура гидрологического года за 1946-1976 гг. – 5,0 °С, за 1977 – 5,5 °С) также сопровождалось увеличением осадков на 66 мм (соответственно 629 и 695 мм).

Во второй половине XX ст. на северо-западе Беларуси, также как и в средней полосе, выделяются две фазы в изменчивости климата – похолодания (до 1976 г.) и потепления (после 1976 г.). Среднегодовая температура в последней четверти XX ст. оказалась на 0,4°С выше, чем у фазы похолодания (1946–1976 гг.) за счёт потепления на 0,5°С безлиственного периода, а осадков за гидрологический год и его вегетационный период стало выпадать на 40 мм больше (таблица 4.30).

Количество осадков за безлиственный период не изменилось, их вариабельность уменьшилась на 21 мм. За вегетационный период и гидрологический год в целом изменений в отклонении осадков не произошло. Климатические условия на западном фланге темнохвойного леса отличаются от северо-западной части Беларуси более высокими многолетними среднегодовыми температурами (на 0,4 °С) и более тёплым безлиственным и вегетационным периодами (на 0,3 °С). Количество осадков больше (за гидрологический год на 40 мм).

Среднегодовые температуры фазы потепления в г. Воложине на 0,5 °С выше, чем фазы похолодания, в основном за счёт потепления безлиственного периода (на 0,9 °С). Потепление не затронуло вегетационный период. В вегетационный период осадков стало выпадать больше (на 26 мм), а за безлиственный – меньше (на 11 мм).

Главное отличие в климате двух фаз заключено в том, что в тёплую фазу увеличилась дисперсия осадков за вегетационный период (на 24 мм), за месяцы активного роста (на 32 мм) и в целом за гидрологический год (на 32 мм), а за безлиственный период она уменьшилась (на 18 мм) по сравнению с фазой похолодания.

Таблица 4.30 – Сравнительная характеристика фаз похолодания (1946-1976 гг.) и потепления (1977-2000 гг.) в Верхнедвинске и Воложине

Период	1945 -1976				1977 - 2000				1945 – 2000			
	t°С		осадки, мм		t°С		осадки, мм		t°С		осадки, мм	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Верхнедвинск</b>												
Год	5,1	0,9	610	110	5,5	1,1	650	109	5,3	1,0	627	110
Май-сентябрь	14,4	0,8	325	89	14,3	0,8	365	88	14,3	0,8	343	90

Май-июнь	14,0	1,3	127	36	14,0	1,2	142	60	13,9	1,2	134	48
Октябрь-апрель	-1,4	1,4	285	69	-0,9	1,6	285	47	-1,2	1,5	284	60
<b>Воложин</b>												
Год	5,5	1,0	660	78	6,0	1,0	675	110	5,8	1,0	667	91
Май-сентябрь	14,7	0,9	346	75	14,7	1,0	372	99	14,7	0,9	358	87
Май-июнь	14,1	1,4	139	31	14,4	1,3	148	63	14,2	1,3	143	48
Октябрь-апрель	-1,1	1,4	314	65	-0,2	0,2	303	47	-0,7	1,5	309	57

В целом, климатические условия двух сравниваемых регионов различаются несущественно. Кроме незначительно большего годового выпадения осадков на западе (Воложин) по сравнению с северо-западом (Верхнедвинск) следует отметить, что в фазу похолодания климата вариабельность осадков (за год и вегетационный период) была меньше в первом из названных регионов, а в фазу потепления – во втором.

Выдающимся признаком многолетнего изменения стволовой продуктивности деревьев в сосняке черничном на северо-западе и западе Беларуси (рисунок 4.25) служит максимальный радиальный прирост в 1920-е гг., не свойственный этому типу леса на Белорусском Полесье.

Погодно-климатические условия этого десятилетия отличаются от условий второй половины XX ст. Среднегодовое количество осадков в Верхнедвинске составило 614 мм, примерно столько же, сколько в фазу похолодания второй климатической эпохи (610 мм). За вегетационный период выпадало 398 мм (что значительно больше, чем их средний показатель за 1945-2000 гг.), за месяцы активного роста 145 мм (что также больше). Безлиственный период был мало увлажнённым (216 мм осадков) по сравнению с фазами похолодания (285 мм) и потепления (285 мм).

К сожалению, инструментальные наблюдения за температурой воздуха в 1920-е гг. в Верхнедвинске не проводились. Нет также данных о метеорологических условиях этого времени и в Воложине.

Проблематично рассматривать погодно-климатические условия 1920-х гг. как оптимальные для сосны на северо-западе и западе Беларуси. Нет также, оснований связывать наивысшую продуктивность этой древесной породы с возрастом её насаждения. Согласно Т.Т. Битвинскому [17] и А.И. Русаленко [213] изменения радиального прироста сосны с возрастом носят явно гиперболический характер. Кульминация текущего прироста у сосны по диаметру в Литве наблюдается в 10–20-летнем возрасте, в Беларуси – в 20–40-летнем.

Наш дендрохронологический анализ многолетнего хода изменчивости радиального прироста соснового древостоя в возрасте от 130 до 160 лет в Национальном парке «Браславские озёра» показал, что высокая стволовая продуктивность этой древесной породы на северо-западе Беларуси в 1920-е гг. не связана с их возрастом и погодно-климатическими условиями.



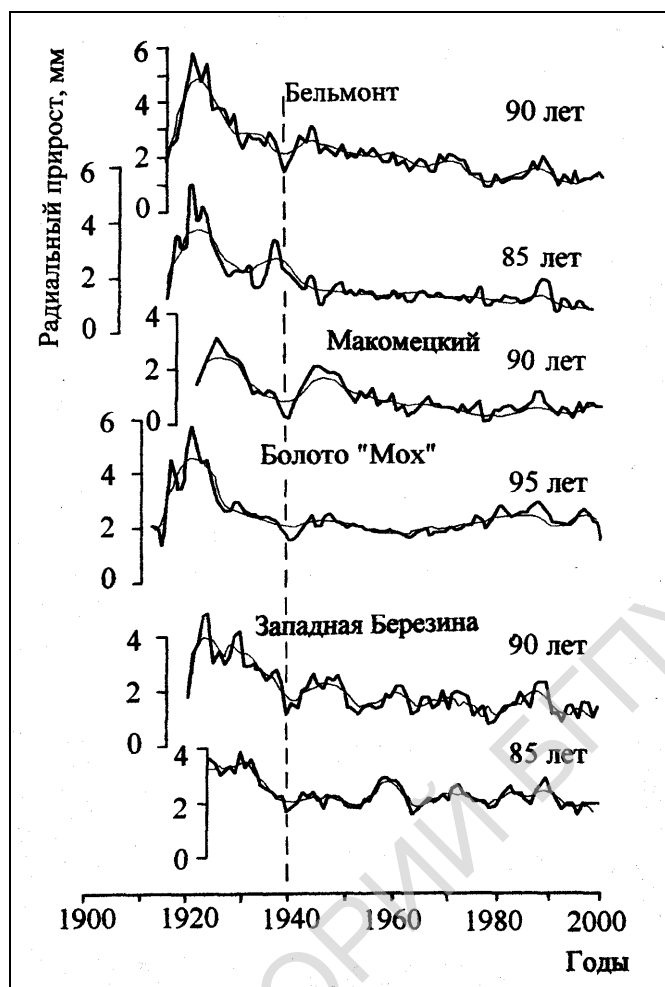


Рисунок 4.25 – Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосняка черничного на северо-западе и западе Беларуси.

Причиной, её порождающей, служит циклический характер изменчивости продукционного процесса, близкий к 20 годам, под влиянием вулканических извержений или иных факторов. Он и определил высокую стволовую продуктивность древостоя сосны независимо от её возраста и эдафической принадлежности.

Качественный анализ дендрограмм текущего радиального прироста деревьев в сосняке мшистом 130- и 150-летнего возраста в национальном парке «Браславские озёра» показал, что его кульминация не связана с возрастом древостоя и возникла с определённой последовательностью в 1880-е, 1920-е и 1940-е гг.

Для объяснения феномена «горбов» на многолетней кривой хода текущего радиального прироста может быть привлечено представление об их солнечной обусловленности. По своей продолжительности, включающей два десятилетия (1920–1930-е гг.) цикл с максимальным размером годовых колец у сосны, может быть, сопоставим с 22-летним хейловским циклом солнечной активности, объединяющим низкий по числам Вольфа XVI ( $W = 77,8$  в 1928 г.) и высокий XVII ( $W = 109,5$  в 1938 г.) 11-летние циклы. Однако кульминация радиального прироста в 1922 г. пришлась не на максимум активности Солнца, а случалась накануне её минимума в 1923 гидрологическом году ( $W = 5,8$ ).

Знаменательным событием в многолетнем ходе изменчивости радиального прироста деревьев в сосняке черничном была глубокая его депрессия в начале 1940-х гг., наступившая синхронно с угнетением древостоя сосны по всей территории Беларуси и ели в подзоне южной тайги [57, 100]. Причина её, по всей видимости, заключается в аномально суровых морозах [226].

Следует отметить, что эта депрессия радиального прироста не возникла внезапно под воздействием аномальных погодно-климатических условий, а является его минимумом, завершающим нисходящую ветвь цикла изменчивости ширины годичных колец.

В 1930-е годы на Браславщине были проведены осушительно-мелиоративные работы, в результате которых уровень воды в озёрах понизился почти на 1,3–1,7 м. Значительное понижение грунтовых вод, по всей видимости, произошло и у сосняков черничных, занимавших переувлажнённый эдафотоп. Однако связывать угнетение древостоя с этим антропогенным фактором, нет оснований, так как точно такое же угнетение было свойственно и сосняку черничному на учебной базе «Западная Березина», где осушительные работы не могли быть проведены вообще.

После 1940 г. наступил следующий цикл изменчивости радиального прироста сосны, но значительно меньший по амплитуде. В этом цикле небольшая ширина годичных колец была в 1945 г. – после минимума солнечной активности ( $W = 8,0$ ) в 1944 г. Таким образом, наибольшей стволовой продуктивностью дерева в сосняке черничном обладали у минимума солнечной активности, что и привело к образованию двух разновысоких «горбов» на возрастной кривой радиального прироста.

По своей общей продолжительности (около 40 лет) оба цикла совпадают с квазиполувековым циклом электромагнитного излучения Солнца В.Ф. Логинова (1920–1940-е гг.). Однако это может оказаться случайным совпадением, и тогда не понятна причина, по которой этот цикл в приросте деревьев не проявился в 1880–1910-е гг. и после 1960 г.

Образование второго низкого «горба», вероятно, не вызвано погодно-климатическими условиями. На северо-западе Беларуси потепление 1946–1950 гг. (до 1946 г., как отмечалось, инструментальные наблюдения не велись) по средней годичной температуре воздуха ( $5,3^{\circ}\text{C}$ ) не отличалось от средней многолетней, осадков за гидрологический год выпало на 53 мм меньше нормы для второй климатической эпохи.

На западе (Воложин) годичное количество осадков за эту пентаду превысило норму на 40 мм при годичной температуре ( $5,8^{\circ}\text{C}$ ) несколько выше средней многолетней (см. Таблицу 3.19). Из примечательных событий, которые последовали за образованием «горбов» можно выделить синхронно наступающую депрессию радиального прироста в 1964 г. и в 1979–1980 гг. Угнетение древостоя именно в эти годы, очевидно, вызвано неблагоприятными гидрологическими условиями этих лет.

На Браславщине 1964 год отмечался исключительной засушливостью: за год выпало 451 мм осадков (меньше было только в 1999 г. – 455 мм), за вегетационный период – 180 мм (52% от нормы), а за месяцы активного роста – 77 мм (57% от нормы). Только за безлиственный период количество осадков (277 мм) было близко к норме. На западе Беларуси (Воложин) этот же год был более увлажнённым (604 мм осадков, или 91% от нормы), с менее засушливым вегетационным периодом (250 мм осадков или 70% нормы), но с большим недобором осадков в мае-июле (72 мм или 50% нормы).

Погодно-климатическая ситуация в 1976–1980 гг., вызвавшая синхронную депрессию радиального прироста была иной, чем в 1964 г. Прежде всего, годичное количество осадков в Вехнедвинске (в 1979 г. – 711 мм, в 1980 г. – 607 мм) было больше и близко к норме. За вегетационный период количество осадков (407 мм и 403 мм) на 12% превысило норму, но месяцы активного роста оказались засушливыми (83 мм и 88 мм или около 60% от нормы).

Метеорологические условия в Воложине были подобны условиям на северо-западе Беларуси. Только 1979 г., наоборот, оказался менее увлажнённым (613 мм осадков или 92% от нормы), чем 1980 г. (707 мм или 106% от нормы). Месяцы активного роста, как и на северо-западе Беларуси, оказались засушливыми (в 1979 г. – 75 мм или 52% от нормы и в 1980 г. – 87 мм или 61% от нормы).

Угнетение древостоя в 1964 году было перед минимумом солнечной активности в 1965 г. ( $W = 13,0$ ), а в 1979–1980 гг. – на вершине XXI солнечного цикла ( $W = 159,6$ ), подтверждая неустойчивость связи радиального прироста с солнечной активностью.

Одновременно наступившая экспрессия в ходе изменчивости радиального прироста в 1990 г. и его индексов (рисунок 4.26), по всей видимости, обязана гидрологическому фактору: большое годовое количество осадков в Верхнедвинске (812 мм) и в Воложине (789 мм) сопровождалось высокими температурами (6,6 и 7,0°C).

Причём, безлиственный период в этот год был самым тёплым (1,9 и 2,4°C) за всю историю инструментальных наблюдений. Недобор осадков в месяцы активного роста (83 и 97 мм) при их большом выпадении за год, за безлиственный (307 и 333 мм) и вегетационный периоды (482 и 479 мм) уже не имели существенного значения в формировании радиального прироста. Дополнительно следует отметить, что увеличение ширины годовых колец в 1990 г. произошло на вершине XXII цикла солнечной активности ( $W = 49,9$ ).

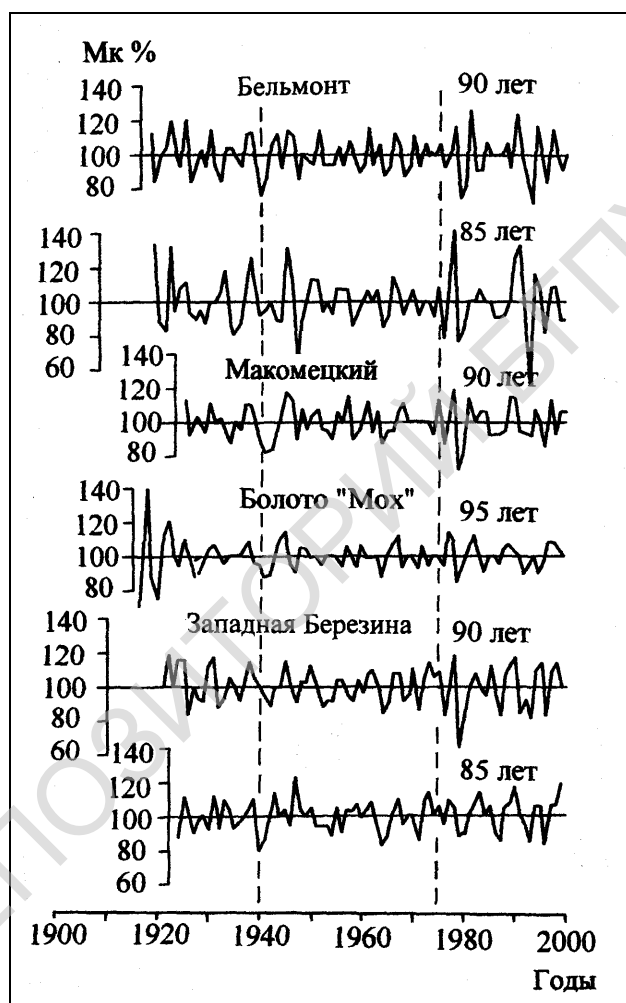


Рисунок 4.26 – Многолетний ход изменчивости индексов радиального прироста сосняка черничного на северо-западе и западе Беларуси.

Угнетение древостоя в последнем десятилетии XX ст., по всей видимости, вызвано комплексным воздействием неблагоприятных метеофакторов. Маловыраженная депрессия радиального прироста в многолетнем ходе его изменчивости связана с обильным выпадением осадков (в 1993 г. – 795 мм в Верхнедвинске и 667 мм в Воложине) или с их недобором (в 1996 г. – соответственно 472 и 556 мм). Температурный фактор при этом не имел существенного значения.

Следует отметить высокую синхронность изменчивости индексов радиального прироста древостоя не только на тест-участках на западе (Западная Березина) и на северо-западе (Бельмонт, Макомецкий и Болото Мох), но и на востоке Белорусского Полесья (Калинковичский и Светлогорский). Коэффициенты корреляции между этими показателями стволной

продуктивности древостоя на перечисленных тест-участках (в данном случае характеризующие их синхронность) имеют высокую значимость (таблица 4.31).

Таблица 4.31 – Коэффициенты корреляции (0,...) между индексами радиального прироста сосны на тест-полигонах на северо-западе и западе Беларуси

Тест-участки, возраст, лет		Бельмонт		Маковецкий	Болото Мох	Западная Березина		Брестский	Калинковичский	Светлогорский
		90	85	90	95	90	85	165	95	120
Бельмонт	90		<u><b>,65</b></u>	<u><b>,66</b></u>	<u><b>,46</b></u>	<u><b>,50</b></u>	<u><b>,37</b></u>	-,26	<u><b>,55</b></u>	<u><b>,45</b></u>
	85			<u><b>,60</b></u>	<u><b>,57</b></u>	<u><b>,52</b></u>	<u><b>,40</b></u>	,13	<u><b>,49</b></u>	<u><b>,42</b></u>
Маковецкий	90				<u><b>,46</b></u>	<u><b>,51</b></u>	<u><b>,35</b></u>	-,24	<u><b>,43</b></u>	<u><b>,47</b></u>
Болото Мох	95					<u><b>,46</b></u>	<u><b>,34</b></u>	,24	<u><b>,38</b></u>	<u><b>,38</b></u>
Западная Березина	90						<u><b>,58</b></u>	,12	<u><b>,37</b></u>	,28
	85							,02	,27	<u><b>,37</b></u>
Брестский	165							,16	,09	
Калинковичский	95									<u><b>,44</b></u>

Примечание. Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при  $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при  $P = 0,99$ , полужирным курсивом и подчеркиванием – при  $P = 0,999$ .

Эта синхронность изменчивости индексов радиального прироста не свойственна древостою на западе Белорусского Полесья: коэффициенты корреляции не отвечают значимости  $P > 0,95$ .

Ранее отмечалось, что изменчивость модульных коэффициентов прироста в восточной части Полесья не синхронна их изменчивости на западе региона. Причина, по всей видимости, заключена в региональных особенностях изменения климатических условий на территории Беларуси.

Вариабельность индексов радиального прироста деревьев в сосняках черничных на западе и северо-западе Беларуси существенно различалась как в течение климатических эпох, так и фаз похолодания и потепления последней (таблица 4.32).

Их дисперсия ( $5,0 < \sigma < 10,9$ ) была наименьшей в фазу похолодания (1945–1976 гг.) с наименьшей изменчивостью погодно-климатических условий по сравнению с другими отрезками времени (до 1939 г. и в 1977–200 гг.). При потеплении климата в последней четверти XX ст. вариабельность модульных коэффициентов значительно возросла ( $7,4 < \sigma < 18,6$ ) не только по сравнению с фазой похолодания второй эпохи, но и с первой эпохой.

Только в заказнике «Болото Мох» она оказалась меньше, что можно рассматривать как исключение из правила, подчёркивающее значение локальных условий (влияние близко расположенного верхового болота на уровень режим грунтовых вод) для продукционного процесса древостоя.

Неоднородность климатических условий за период жизни и развития исследуемых сосняков, черничных в средней полосе и на северо-западе Беларуси определили необходимость применения дендрохронологического анализа их радиального прироста за временные отрезки, которые характеризовались бы относительным постоянством метеорологических факторов. Как и при исследовании сосняков мшистых, за временные отрезки принята продолжительность первой и второй климатических эпох, а для последней из них – продолжительность фаз похолодания и потепления.

В первую климатическую эпоху изменчивость осадков не отражалась на индексах радиального прироста деревьев в сосняке черничном на северо-западе Беларуси. Коэффициенты корреляции между этим параметром стволовой продуктивности с осадками гидрологического года и периодов, принятых для дендроклиматического анализа оказались статистически недостоверны при  $n = 17$  (таблица 4.33).

Таблица 4.32 – Стандартное отклонение ( $s$ ) индексов радиального прироста сосны на тест-полигонах на северо-западе и западе Беларуси

Возраст, лет	Стандартное отклонение ( $s$ )			
	1892-1939 гг.	1945-1976 гг.	1977-2000 гг.	1945-2000 гг.
<b>Бельмонт</b>				
90	10,7	8,2	14,0	11,0
85	7,4	7,8	11,5	9,5
<b>Макоецкий</b>				
90	15,7	10,9	18,6	14,6
<b>Болото Мох</b>				
95	15,3	5,0	7,4	6,2
<b>Западная Березина</b>				
90	10,9	8,9	14,3	11,3
85	7,8	8,2	9,9	8,9

В фазу похолодания климата (1945–1976 гг.) во второй половине XX ст. корреляционная зависимость индексов радиального прироста от температуры воздуха за гидрологический год на северо-западе Беларуси выявлена только у 90-летнего поколения деревьев (лес «Бельмонт»,  $r = 0,37$  при  $n = 31$ ,  $P = 0,95$ ). Такой же уровень значимости был свойственен прямой зависимости индексов 85-летнего поколения деревьев от температуры безлиственного периода (таблица 4.34).

Таблица 4.33 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на северо-западе Беларуси с осадками первой климатической эпохи (до 1940 г.)

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)			
	с осадками			
	года	безлиств. периода	вегетацион. периода	мая-июня
<b>Бельмонт</b>				
90	-,43	-,28	,15	,12
85	-,24	-,19	,26	,25
<b>Макоецкий</b>				
90	,03	,02	,14	,27
<b>Болото Мох</b>				
95	-,30	-,27	,12	,08

На тест-участках «Макоецкий» и «Болото Мох» температурный фактор оказался не значимым, хотя насаждения здесь занимают локальные положения с оторфованными почвами или находятся вблизи верхового болота. На геостанции «Западная Березина» только у деревьев сосны 90-летнего возраста, расположенных вблизи (в 200-300 м от заболоченной поймы реки) зависимость индексов радиального прироста от температурных условий года и безлиственного периода приобрела статистическую значимость ( $r = 0,50$ ;  $n = 0,49$ ;  $P = 0,99$ ).

Таблица 4.34 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на западе и северо–западе Беларуси с метеоэлементами фазы похолодания (1945-1976 гг.) второй климатической эпохи (при  $n = 31$ )

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)							
	с температурой, $t^{\circ}\text{C}$				с осадками, мм			
	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая-июня
<b>Бельмонт</b>								
90	<b>,37</b>	,24	,29	,15	<b>,37</b>	<b>,37</b>	,12	-,03
85	,11	<b>,37</b>	,27	,16	<b>,50</b>	<b>,47</b>	,26	,20
<b>Макоецкий</b>								
90	,26	,23	,17	,04	<b>,48</b>	<b>,45</b>	,26	,16
<b>Болото Мох</b>								
95	,19	,08	,23	,19	,19	,09	,17	,26
<b>Западная Березина</b>								
90	<b>,50</b>	<b>,49</b>	,07	,10	,33	,16	,28	,32
85	,34	,33	,10	,02	,25	-,06	,30	,35
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ .								

У группы сосен 85-летнего возраста, находящихся на локальном, плоском, повышенном участке (на 2,0 м выше, чем у 90-летнего поколения) такой зависимости не прослежено.

Индексы радиального прироста сосны в Национальном парке «Браславские озёра» имели прямую зависимость от осадков за безлиственный период, а не вегетационный и месяцы активного роста. Так, у 90-летнего поколения деревьев эта зависимость ( $r = 0,37$ , при  $n = 31$ ) при уровне значимости  $P = 0,95$ , а у группы 85-летних сосен  $r = 0,47$  при  $P = 0,99$ . На тест-участке «Макоецкий» отмечена такая же связь индексов прироста с осадками этого периода ( $r = 0,45$ ,  $P = 0,99$ ). У группы сосен 85-летнего возраста, находящихся на локальном, плоском, повышенном участке (на 2,0 м выше, чем у 90-летнего поколения) такой зависимости не прослежено.

Индексы радиального прироста сосны в Национальном парке «Браславские озёра» имели прямую зависимость от осадков за безлиственный период, а не вегетационный и месяцы активного роста. Так, у 90-летнего поколения деревьев эта зависимость ( $r = 0,37$ , при  $n = 31$ ) при уровне значимости  $P = 0,95$ , а у группы 85-летних сосен  $r = 0,47$  при  $P = 0,99$ . На тест-участке «Макоецкий» отмечена такая же связь индексов прироста с осадками этого периода ( $r = 0,45$ ,  $P = 0,99$ ).

Зависимость индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном от осадков безлиственного периода определила и прямую связь этого показателя стволовой продуктивности с гидрометеорологическим фактором в течение года. Коэффициенты корреляции между этими

параметрами оказались статистически достоверными: у 90-летней группы деревьев в лесу «Бельмонт»  $r = 0,37$  ( $P = 0,95$ ), у 85-летней группы  $r = 0,50$  ( $P = 0,99$ ) и у 90-летнего поколения на тест-участке «Макомецкий»  $r = 0,48$  ( $P = 0,99$ )

Следует отметить, что в сосняке черничном у верхового болота «Мох» не выявлено зависимости стволовой продуктивности сосны от осадков, как гидрологического года, так и его периодов. Причина отсутствия этой корреляционной зависимости, по всей видимости, заключена в неглубоком залегании грунтовых вод, обеспечивающих увлажнение корнеобитаемого слоя капиллярным поднятием.

Не выявлено также связи и индексов радиального прироста деревьев сосны на западе Беларуси (тест-участок «Западная Березина»). Наиболее вероятным объяснением этого явления служат погодно-климатические особенности фазы похолодания второй эпохи. На западе Беларуси (Воложин) осадков выпало больше, чем на северо-западе (Верхнедвинск), как за гидрологический год, так и его безлиственный и вегетационный периоды, включая месяцы активного роста. Причём, их погодичная изменчивость была значительно меньше.

При потеплении климата в последней четверти XX в. зависимость индексов радиального прироста деревьев сосны от климатических факторов в Национальном парке «Браславские озёра» практически исчезла. Температурные условия уже не оказывали влияние на стволовую продуктивность. Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на западе и северо-западе Беларуси с метеоэлементами фазы потепления (1977–2000 гг.) второй климатической эпохи (при  $n = 24$ ) приведены в таблице 4.35. Сохранилась только зависимость стволовой продуктивности 90-летней группы деревьев на тест-участке «Макомецкий» от осадков безлистного периода ( $r = 0,47$  при  $n = 24$ ,  $P = 0,95$ ) и гидрологического года в целом ( $r = 0,44$ ).

Таблица 4.35 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на западе и северо-западе Беларуси с метеоэлементами фазы потепления (1977-2000 гг.) второй климатической эпохи (при  $n = 24$ )

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)							
	с температурой, $t$ °С				с осадками, мм			
	года	безлист- венного периода	вегета- ционного периода	мая- июня	года	безлист- венного периода	вегета- ционного периода	мая- июня
<b><i>Бельмонт</i></b>								
90	-,01	,18	-,06	,21	,20	,23	,34	,22
85	,25	,39	,04	-,17	-,01	,20	-,11	,00
<b><i>Макомецкий</i></b>								
90	,06	,24	-,07	-,38	<b>,44</b>	<b>,47</b>	,19	,31
<b><i>Болото Мох</i></b>								
95	,00	,15	-,16	-,16	,32	<b>,53</b>	,26	,28
<b><i>Западная Березина</i></b>								
90	,38	<b>,46</b>	,07	-,17	<b>,40</b>	,31	,29	,24
85	<b>,61</b>	<b>,60</b>	,38	-,03	,08	<b>,41</b>	-,11	,07
Примечание – Полужирным начертанием выделены коэффициенты корреляции при $P = 0,95$ , полужирным курсивом – при $P = 0,99$ .								

На западе Беларуси (тест-участок «Западная Березина») сохранилась зависимость индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном, как от температурного фактора, так и от

осадков. У 90-летней группы она выразилась в статистически значимых ( $P = 0,95$ ) коэффициентах корреляции с температурой безлиственного периода ( $r = 0,46$ ) и осадками гидрологического года ( $r = 0,40$ ).

Прямая связь индексов прироста у 85-летней группы деревьев с температурой безлиственного периода ( $r = 0,60$ ) и гидрологического года в целом ( $r = 0,61$ ) оказалась более значимой ( $P = 0,99$ ). Причём, модульные коэффициенты прироста сосны приобрели прямую зависимость от осадков гидрологического года (у 90-летней группы  $r = 0,40$ ,  $P = 0,95$ ) или безлиственного периода (у 85-летней группы  $r = 0,41$ ,  $P = 0,95$ ).

Следует подчеркнуть своеобразие реакции деревьев в сосняке черничном, приобретённое при потеплении климата в последней четверти XX в. и не выявленное кросс-корреляционным анализом в предыдущие временные отрезки. Это своеобразие заключается в приобретении древостоем отрицательной реакции на атмосферные осадки при запаздывании на два года, как указано в таблице 4.36. Такая же реакция была выявлена у насаждений ели (тип леса – ельник мшистый) на северо-востоке Беларуси [97].

Таблица 4.36 – Коэффициенты корреляции индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на западе и северо-западе Беларуси с осадками фазы потепления (1945-1976 гг.) второй климатической эпохи при запаздывании на два года ( $P = 0,95$ )

Возраст, лет	Коэффициент корреляции (0,...)			
	с осадками			
	года	безлиственного периода	вегетационного периода	мая – июня
<b>Бельмонт</b>				
90	<b>-,44</b>	-	-	<b>-,43</b>
85	<b>-,46</b>	-	-	-
<b>Макоецкий</b>				
90	-	<b>-,53</b>	-	-
<b>Болото Мох</b>				
95	-	<b>-,53</b>	-	-
<b>Западная Березина</b>				
90	<b>-,43</b>	<b>-,55</b>	-	-
<b>85</b>	<b>-,43</b>	<b>-,51</b>	-	-
Примечание – В ячейке с «-» не указаны значения коэффициента корреляции при $P < 0,95$ .				

Вероятно, такая реакция является общим свойством хвойных насаждений на территории Беларуси при определённых погодно-климатических условиях и не зависит от эдафотопы. Чётким проявлением этой реакции служат отрицательные коэффициенты индексов радиального прироста с осадками гидрологического года или безлиственного периода, и в меньшей степени, месяцев активного роста.

Подводя итог анализу изменчивости радиального прироста сосны на западе и северо-западе Беларуси, можно сделать следующие выводы. Многолетний ход изменчивости радиального прироста деревьев в сосняке черничном определялся принадлежностью насаждений к переувлажнённой эдафотопе с иллювиально-гумусово-железистым подзолом (майский уровень грунтовых вод до осушения болот не глубже 0,5 м.). Ему не свойственно появление циклов с большой размерностью годовых колец как у насаждений на автоморфных почвах (тип леса – сосняк мшистый) в Полесье и Поозерье. Причина этого явления, по всей видимости, заключена в



антагонистическом воздействии повышенной увлажнённости эдафотопы с геофизическим и гелиофизическим факторами, при ведущем значении первого (переувлажнённости).

При относительно постоянном положении приповерхностного водоносного горизонта (не глубже 0,5 м.) изменчивости текущего радиального прироста сосны свойственен короткопериодичный циклический характер, обусловленный, в основном, колебаниями уровня грунтовых вод. Увеличение прозрачности атмосферы в 1920–1950 гг. в результате очищения атмосферы от вулканического аэрозоля не отразилось в увеличении радиального прироста деревьев сосны в сосняке черничном в отличие от сосняка мшистого.

Чувствительность сосны к климатическим факторам определилась в неустойчивой связи индексов радиального прироста с температурой воздуха и атмосферными осадками. Только при потеплении климата в последней четверти XX в. в условиях понижения грунтовых вод после осушительной мелиорации индексы радиального прироста приобрели прямую связь с температурой безлиственного периода и гидрологического года в целом.

Только в пределах тест-полигонов существует синхронность в изменчивости индексов радиального прироста у разновозрастных древостоев в сосняке черничном, как и в сосняке мшистом, указывая на значение локальных природно-климатических условий в ее появлении. Кроме того, изменчивость индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном на западе и северо-западе Беларуси синхронна их изменчивости на востоке Полесья (Калинковичский и Светлогорский лесхозы) и не синхронна на западе этого региона (Брестский лесхоз).

Радиальный прирост сосняка черничного в возрасте от 90 до 130 лет оказался больше после осушения болот Западной экспедицией в 1873–1898 гг., чем на территории, где эти работы не проводились. Крупномасштабная осушительная мелиорация в начале 1960-х г. не привела к достоверно установленному изменению текущего радиального прироста (Светлогорский и Калинковичский лесхозы).

Многолетний ход изменчивости прироста сосны на верховых болотах Полесья за последние 200 лет служат индикатором наступления периодов повышенной обводнённости региона при увеличении увлажнённости и осушения в результате сокращения количества осадков и водно-земельной мелиорации. Чётко фиксируется кульминация второй волны холодной стадии Фернау в середине XIX в. с катастрофическими наводнениями и затяжными холодными дождями, а так же переход в начале 1940-х г. от влажной климатической эпохи к неустойчиво влажной. На мелиорированных водосборах температура воздуха гидрологического года или безлиственного и вегетационного периодов оказались более значимыми для изменчивости индексов радиального прироста, чем осадки.

Отличительным признаком многолетнего изменения стволовой продуктивности сосняка черничного на северо-западе (Браславский и Десненский лесхозы) и западе (геостанция «Западная Березина») служит максимальный радиальный прирост в 1920-е г., не свойственный этому типу леса на Полесье. Эта кульминация не связана с возрастом древостоя и имеет геофизическую обусловленность. Последовавшее падение прироста в национальном парке «Браславские озёра» не связано с осушительной мелиорацией в 1930-е годы. В начале 1940-х годов наступила глубокая депрессия радиального прироста. Также отличительной особенностью сосняков черничных на западе и северо-западе Беларуси служит возникновение при потеплении климата после 1976 года стрессовой ситуации, приводящее к обратной зависимости индексов радиального прироста от осадков при фазовом сдвиге на 2 года.

#### **4.10 Общие закономерности роста и развития сосновых лесов на территории Беларуси**

Сосновые леса на территории Беларуси относятся к трансзональной растительности, занимая экотопы, малопригодные для других конкурентно способных древесных пород, которые являются эдификаторами природных зон: ели и дуба – в зоне подтаёжных (смешанных) лесов и дуба – в зоне широколиственных (полесских) лесов.

Несмотря на интенсивные рубки, пожары и ветровалы, сосна благодаря своим лесоводственным свойствам (обильное и частое плодоношение, быстрый рост, устойчивость к воздействию засух и экстремальных температур) сохраняет за собой свойственные ей, как правило, песчаные эдафотопы. Способствует этому и искусственное возобновление насаждений после сплошных рубок. Угнетение насаждений сосны снижает её лесохозяйственную, водоохранную, почвозащитную, санитарно – гигиеническую и рекреационную роль.

Поиск общих закономерностей в результате выполненных исследований проводился нами исходя из представления А.А. Григорьева [59] о едином физико-географическом процессе, играющем главную роль в функционировании современной структуры географической оболочки. Согласно Д.Л. Арманду [9], природный процесс в общеметодическом плане являет собой перестройку материальной системы в результате цепи последовательных и сопряженных взаимодействий. Это означает, что материальная система в течение определённого времени меняет свое состояние, приобретая новые, ранее не характерные для неё свойства.

Наши исследования ограничены, в основном, последним 200-летием, когда экосистемы лесов на территории Беларуси развивались не только под влиянием динамичных природных процессов (особенно это свойственно климату), но и возникших антропогенных факторов (осушительная мелиорация и техногенное загрязнение воздушной среды).

Среди экологических проблем одной из главных является проблема устойчивости биосферы, имеющая пространственное содержание. Исследование этой проблемы должно проводиться на различных уровнях ландшафтной оболочки – глобальном, региональном (провинциальном) и локальном. Однако, в теории физической географии бесспорно положение о том, что ведущим уровнем организации всей оболочки является глобальный, занимающий высшее иерархическое положение [31].

На каждом уровне устойчивость геосистем регулируется процессами взаимодействия отдельных ландшафтных компонентов, поддерживающих систему в квазиравновесном состоянии. В зависимости от уровня, на котором рассматривается геосистема, меняется спектр природных факторов, ответственных за это её состояние и выход из него. При этом факторы, принадлежащие к более высокому уровню, как бы накладываются на таковые более низкого уровня [31].

Исходя из этой концепции устойчивости ландшафтной оболочки, общую систему изменчивости радиального прироста сосны на территории Беларуси необходимо было выстраивать на четырёх уровнях: глобальном (увеличения замутненности атмосферы в результате вулканических извержений и антропогенного влияния), зональном (климатическом), региональном и локальном. В своем воздействии на экосистему (или организм) экологические факторы могут накладываться (суммация), взаимно усиливаться (синергизм) или находиться в противодействии (антагонизм). В зависимости от этих уровней тот или иной экологический фактор принимал значение ведущего.

В многолетнем ходе изменчивости фактического (в мм) радиального прироста выявлено его максимальное значение в 1880-х и в 1920–1950 гг. Причем, увеличение ширины колец наступало синхронно не зависимо от возраста древостоя на географически разнесённых тест-полигонах, при неоднородных погодно-климатических условиях и в условиях техногенного загрязнения воздушной среды.

В частности, период 1920–1950 гг. включает потепление 1930-х гг., аномально холодные 1940–1942 гг. и начало фазы похолодания второй климатической эпохи с сокращением осадков. Таким образом, в ходе изменчивости радиального прироста фиксируется цикл максимальной продуктивности древостоя сосны продолжительностью около 40 лет, который совпадает с квазиполувековым циклом электромагнитного излучения Солнца В. Ф. Логинова.

Однако предшествующий цикл яркости солнечного диска не отразился в таком же увеличении ширины годичных колец, наоборот древостой переживал фазу угнетения. Как представляется, причина высокой стволовой продуктивности сосны в середине XX столетия заключается в притоке прямой солнечной радиации.

При обсуждении многочисленных экологических проблем Беларуси основное внимание (кроме черныбыльских событий) уделяется двум основным факторам, оказывающим наибольшее

влияние на состояние природной среды – осушительной мелиорации в Полесье и техногенному загрязнению. Наши дендрохронологические и дендроклиматические исследования в Полесье, средней полосе и Поозерье привели к выводу, что данные антропогенные факторы не являются лимитирующими для ели и сосны на всей территории Беларуси, включая крупнейшие промышленные центры (Минск и Могилев). Для изучения изменчивости радиального прироста сосны были привлечены также образцы древесины, отобранные у бревен строений 19 столетия (на Полесье).

Выполненные дендрохронологические исследования показали, что радиальный прирост великовозрастного древостоя сосны и ели в средней полосе и на севере Беларуси был наибольшим до 1880-х гг. и между 1930-ми и 1950-ми гг. На Полесье эта закономерность свойственна только сосновым насаждениям на автоморфных песчаных почвах (тип леса – сосняк мшистый).

Нерешенной проблемой оставалось выяснение причин прогрессирующего снижения радиального прироста хвойных лесов Беларуси во второй половине 20 столетия. На этот процесс накладывались возмущения в дендрометрических рядах, вызванные погодно-климатическими и антропогенными факторами. Причем, реакция ели на климатические факторы четко проявилась только при потеплении в последней четверти 20 столетия, а сосны – оказалась неустойчивой в течение последних двух столетий.

Климатическими, биотическими, возрастными и антропогенными факторами нельзя объяснить одновременное появление периодов максимальной стволовой продуктивности хвойных насаждений и их угнетения на обширных территориях, в частности Беларуси. Причина, по всей видимости, заключена в изменяющейся прозрачности атмосферы под влиянием вулканических извержений [132], определяющей интенсивность прямой солнечной радиации.

Угнетение радиального прироста сосны на рубеже XVIII и XIX вв., в 1816–1817, 1822–1825, 1835–1836 и в 1890–1920-х гг. наступало после крупнейших вулканических катастроф. Климатические факторы при этом не имели существенного значения.

Неустойчивый приток солнечной радиации в результате замутнения атмосферы аэрозолями вулканического происхождения после извержения Кракатау в 1883 г., Мон-Пеле в 1902 г. и Катмай в 1912 г. мог послужить причиной снижения радиального прироста по сравнению с предшествующим «докракатауским» периодом. Атмосфера к 1930-м гг. существенно очистилась от аэрозоля вулканического происхождения, и яркость солнечного диска была максимальной за последнее столетие (в квазивековом цикле В. Ф. Логинова). Устойчивое повышение значения прямой солнечной радиации в 1925–1950 гг. оказало положительное влияние на стволовую продуктивность ели и сосны.

Менее продолжительный период повышенной продуктивности сосны отмечен также (но не повсеместно на всех тест-полигонах) в 1890-е гг. с интенсивным притоком прямой солнечной радиации после краткосрочного очищения атмосферы от аэрозоля вулкана Кракатау.

Последовавшее замутнение атмосферы аэрозолями в результате извержения вулканов во второй половине 20 столетия привело к прогрессирующему снижению интенсивности прямой солнечной радиации (с минимальным значением после извержения Эль-Чичоне в 1982 г. и Пинатубо в 1991 г.). Именно после 1950-х гг. наступило устойчивое падение радиального прироста ели и сосны, а также снижение устойчивости их насаждений. Таким образом, продукционный процесс этих древесных пород на территории Беларуси может отражать изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений.

Необходимо отметить вероятный антагонизм в одномоментном воздействии солнечной радиации и приповерхностного залегания грунтовых вод на радиальный прирост сосны. При неглубоком залегании грунтовых вод (не глубже 0,5 м; Брестский лесхоз) в сосняке черничном не отмечено увеличения радиального прироста в 1880-е и в 1920–1950-х гг. Однако в случае их понижения после осушения сопредельных болот в 1930-е годы (сосняк черничный в лесу «Бельмонт») изменение ширины годовичных колец подчиняется общей закономерности, свойственной насаждениям на автоморфных почвах.

Взменчивость индексов радиального прироста деревьев в сосняке черничном при глубоком залегании грунтовых вод на западе и северо-западе Беларуси синхронна их изменчивости на востоке Полесья (Калинковичский и Светлогорский лесхозы на мелиорированных территориях) и не синхронна на западе этого региона (Брестский лесхоз, где осушительная мелиорация не выполнялась).

Для формации сосны в природных зонах на территории Беларуси климатические факторы оказались не ответственными за изменчивость продукционного процесса этой древесной породы за некоторыми исключениями. Причина, прежде всего, заключается в низкой чувствительности сосны к климатическим факторам, которая не изменилась синхронно с изменением последних.

Подтверждением тому, что климатические условия (температура воздуха и осадки за гидрологический год, вегетационный и безлиственный периоды и месяцы активного роста) не служат синхронизирующим фактором в изменении стволовой продуктивности сосны, является отсутствие синхронности в изменчивости индексов радиального прироста на географически разнесенных тест-полигонах (для одного и того же типа леса). Такая синхронность существует у древостоев различного возраста, которые относятся только к одному типу леса (сосняку мшистому или сосняку черничному) в пределах тест-полигона.

Независимое поведение выделенных биогеоценозов можно объяснить различными трендами их саморазвития в пределах коренного географического ландшафта. Нужно отметить, что экстремальные погодно-климатические условия 1940–1942 годов (прежде всего аномальные морозы) вызвали синхронное с елью [97] угнетение сосны в центральной части (Могилёв, Минск, геостанция «Западная Березина») и северо-западе Беларуси. Единый цикл максимальной продуктивности сосны в 1920–1950-е годы оказался разорванным на два, продолжительностью 20–22 года.

Изменения в климате не следует напрямую рассматривать, как нарушение равновесного состояния лесных экосистем с участием сосны. Сосна не может служить надежным индикатором происходящих изменений в природной среде на территории Беларуси под влиянием климатических факторов в силу своей лабильности, то есть не устойчивых связей с температурой воздуха и атмосферными осадками. Только при потеплении климата в последней четверти 20 столетия выявлено увеличение дисперсии индексов радиального прироста.

Во второй половине XX столетия с неустойчивой погодно-климатической ситуацией в подавляющем большинстве случаев отсутствовала статистически достоверная коррелятивная зависимость индексов радиального прироста от температуры воздуха и атмосферных осадков как при похолодании (1943–1976 гг.), так и при потеплении (1977–2002 гг.) климата.

За редким исключением температурные условия и осадки месяцев активного роста (май+июль) и вегетационного периода не были значимы для годичного кольца сосны. Исключением из этого правила явились насаждения сосны на песчаных эдафотопах на северо-западе (тест-участки «Браславский» и «Межозерный»).

В интенсивности воздействия климатических факторов на радиальный прирост сосны отразились региональные и локальные условия нахождения тест-полигонов: геоморфолого-литологические, эдафические и микроклиматические. При неустойчивой связи продуктивности сосны с метеофакторами можно отметить только некоторые региональные особенности её реакции на изменчивость температуры воздуха и осадков.

Положительное статистически значимое, увеличение индексов радиального прироста с нарастанием осадков при похолодании и потеплении климата больше свойственно насаждениям сосны на озах Поозерья (тест-полигон «Межозерный»), чем на автоморфных песчаных почвах Полесья.

При похолодании климата (1943–1976 гг.) у сосняков черничных выявлена прямая зависимость модульных коэффициентов радиального прироста от осадков безлиственного периода и гидрологического года в целом (тест-участки «Калинковичский», возраст 110 лет; «Светлогорский», возраст 120 лет). Связь этого параметра с температурными условиями статистически не значима. Такая же зависимость индексов радиального прироста от

гидрометеофакторов свойственна соснякам черничным в национальном парке «Браславские озера», где осушительные мелиоративные работы были выполнены в 1930-е гг.

В результате проведенных исследований выявлена тесная зависимость индексов радиального прироста сосны в черничном типе леса на иллювиально-гумусово-железистых подзолах от температуры безлиственного периода и гидрологического года в целом при потеплении климата, а не от атмосферных осадков за вегетационный период (тест-полигоны «Калинковичский» и «Светлогорский»). Совершенно такая же зависимость установлена для «островных» ельников (тип леса – ельник черничный) на Полесье [97, 101].

Причина этой зависимости, по всей видимости, заключается в следующем. Осушение сопредельных болот перевело экосистему сосновых лесов, как и островных ельников, на переувлажнённом эдафотопе (в сосняках черничных на Полесье майский уровень грунтовых вод залегал на глубине 0,5 м) в противоположное по значимости экологическое состояние – уменьшение увлажнённости песчаного эдафотопы. Продолжительность и глубина промерзания почвы зависит от температурных условий безлиственного периода.

Таким образом, температура безлиственного периода приобрела исключительно важное экологическое значение для пополнения запасов грунтовых вод, капиллярное поднятие которых обеспечивает потребность древесных растений (сосны и ели) во влаге с наступлением месяцев активного роста. В этом случае в изменчивости индексов радиального прироста обнаружена её связь с осадками двух лет: текущего и последующего года.

Своеобразна реакция сосны на верховых болотах Полесья на мелиорированных (тест-полигон «Мох-Озерский»), и на немелиорированных (тест-полигон «Брестский болотный») на изменение погодно-климатических условий. Наиболее статистически достоверная прямая зависимость индексов радиального прироста от температуры гидрологического года и безлиственного периода установлена только для фазы похолодания климата (1943–1976 гг.).

У сосняков черничных на западе и северо-западе Беларуси обнаружено изменение знака связи индексов радиального прироста с метеофакторами безлиственного и вегетационного периодов, при сдвиге на два года. Если эта зависимость от метеофакторов в текущем году прямая, то через два года (реже 1 или 3 года), она трансформируется в обратную. Вероятно, функция периодического угнетения древостоя может принадлежать или температурным условиям и осадкам безлиственного периода, или вегетационного.

При неустойчивой связи радиального прироста с погодно-климатическими условиями, свойственной сосне, в экстремальных эдафотопы (верховые болота) возможно появление своеобразной реакции древостоя на изменчивость их обводнённости – изменение знака связи в определённые временные отрезки, особенно при потеплении климата, сопровождающемся сокращением осадков.

Многолетний ход изменчивости радиального прироста сосны в лесопарках Минска и Могилёва подчиняется тем же закономерностям, которые свойственны её насаждениям на незагрязнённых территориях. Только уменьшение ширины годичных колец было более значимым. В условиях техногенного загрязнения воздушной среды неустойчивый характер связи индексов радиального прироста сосны с метеофакторами сохраняется.

Вероятно, эта реакция на изменчивость погодно-климатических условий определяется принадлежностью насаждения к эдафотопу. Так на серых лессовидных суглинках, подстилаемых мореными суглинками (лесопарки «Печерский» и им.50-летия Октября) положительное влияние на радиальный прирост оказывали температурные условия безлиственного периода и гидрологического года при похолодании климата в 1943–1976 годах. Не выявлено ни одного случая статистически достоверной корреляции между этим параметром стволовой продуктивности древостоя и температурой воздуха при потеплении в 1977–2002 гг., а так же осадками в течение второй неустойчиво влажной эпохи (1977–2002 гг.).

У насаждений на песчаном эдафотопе (парк им. Челюскинцев) только при потеплении климата возникла прямая зависимость индексов радиального прироста от гидрометеофакторов.

Одним из важнейших признаков реакции сосны (кроме сосняков черничных на западе и северо-западе Беларуси) на погодно-климатические условия служит отсутствие стрессовой

ситуации, которая сопровождается изменением знака связи (с лагом 2 года) при прямой зависимости индексов радиального прироста от гидрометеорофакторов, выявленное у ели [97] на территории Беларуси.

Неустойчивый характер связи радиального прироста сосны с погодно-климатическими условиями послужил причиной появления множества версий о влиянии температуры воздуха и осадков, а так же других факторов в различные периоды (от года до конкретного месяца) на стволовую продуктивность этой древесной породы.

Радиальному приросту сосны на территории Беларуси свойственны общие закономерности, выражающиеся в одновременном появлении периодов максимальной продуктивности и угнетения древостоя. Изменения в климате не следует рассматривать в качестве причины нарушения равновесного состояния лесных экосистем с участием сосны.

#### **4.11 Переломные моменты в многолетней изменчивости радиального прироста хвойных пород на территории Беларуси**

К настоящему времени конкретизировались представления об экологических последствиях водно-земельной мелиорации в Белорусском Полесье и возникли новые задачи на современном этапе использования освоенных земель. По-прежнему не снят вопрос: согласуются ли сейчас происходящие изменения в природе региона с динамикой среды на сопредельных географических территориях, или они локализованы только в самом регионе как продукт его преобразования?

Изучение экологических последствий осушительной мелиорации, наиболее активно выполняемое в 1970-е гг. по проблеме: «Оценка влияния осушительной мелиорации на изменение водного режима территории, природного ландшафта, флоры и фауны» уже стало достоянием исторической географии, вписав в ее летопись очередной этап формирования ойкумены. Природная среда Полесья выступает в новом качестве с набором сформировавшихся физико-географических условий и ресурсного потенциала. На передний план выходят именно ресурсные, а не экологические задачи: как оптимально использовать освоенные (в прошлом переувлажненные) земли в сельском производстве, вести лесное хозяйство, улучшать условия проживания населения и др.

Естественно, не снимается проблема охраны природной среды. В 1866 г. издатель–демократ Н.П. Поляков в предисловии к переведенной на русский язык книге американского географа Г. Марша «Человек и природа» подчеркнул, что «в свете живых явлений немислимо охранение без созидания». «Охранять не созидая, не допуская новых комбинаций, значит уединить явление, какое оно ни было, изъять его из общего строя явлений природы, лишить его обновляющего воздействия живых сил и тем самым приблизить к неизбежной смерти» – таким, по его мнению, не должно быть природоохранное дело в России. «Охранять, созидая» – этот не часто применяемый принцип охраны природы и использования ее ресурсов должен стать отправным применительно не только к Полесью, но и другим регионам в современных экологических реалиях в противовес исчерпавшему себя: «Охранять, запрещая».

Рациональное использование, воспроизводство и охрана лесных ресурсов Беларуси представляется одной из важнейших задач, от решения которой в значительной степени зависит экологическая безопасность и экономическое развитие государства. Исследование экологической роли лесов в центральной части Европейского субконтинента выходит и за рамки национальных интересов. Современные реалии лесного фонда вписываются составной частью в деградацию и гибель лесов в Северном полушарии. Здесь важно понять сам механизм взаимодействия лесных экосистем с постоянно меняющимися экологическими факторами как естественного, так и антропогенного происхождения. В таких исследованиях обязательно должен присутствовать территориальный и временной аспекты, чтобы ответить на основные вопросы: что, когда, где и по каким причинам происходит в лесном покрове.

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 (интенсивности света, температуры

воздуха, содержания  $\text{CO}_2$  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 и сосны независимо от их географического нахождения, возраста и экологических условий.

После серии крупных вулканических извержений в конце XIX и начале XX вв. атмосфера к 1930–1950-м гг. очистилась от аэрозоля, и ее прозрачность в эти годы стала максимальной, приведя к увеличению интенсивности солнечной радиации [134]. Этот приток энергии послужил наиболее вероятной причиной (через фотосинтез) максимальной стволовой продуктивности ели и сосны только в мшистой серии типов леса. В черничниках такого увеличения ширины годовых колец не произошло.

Падение радиального прироста у ели на лесовидносуглинистых и супесчано-суглинистых плакорах, а также сосны на автоморфных песчаных почвах Полесья после 1950-х гг., по всей видимости, вызвано сокращением притока солнечной радиации. В условиях сокращения притока лучистой энергии Солнца фотосинтетическая способность древесных растений, по всей видимости, сокращается и не смотря на увеличение  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе продуцирование стволовой массы уменьшается. Большое значение при этом, очевидно, имеют погодноклиматические условия и корневое питание растений.

В структуре временных рядов изменчивости возрастных индексов радиального прироста ели и сосны, определенных с применением пятилетнего скользящего сглаживания, на всей территории Беларуси четко выделяются два переломных момента – в 1940 и в 1976 гг. При переходе через них меняется не только дисперсия индексов прироста, но и чувствительность ели к климатическим факторам не зависимо от возраста, типа и санитарного состояния насаждения, а также экологических условий.

Наиболее вероятной причиной переломного момента в 1940 г. послужил резкий переход от влажной климатической эпохи к неустойчиво влажной с преобладанием восточной и меридиональной циркуляции воздушных масс. Ель обладает определенной стабильностью радиального прироста, и изменение температуры воздуха и осадков в тех параметрах (кроме экстремальных), которые произошли на территории Беларуси (похолодание с сокращением осадков) проявилось только в уменьшении чувствительности ели к климатическим факторам и в дисперсии индексов прироста. Корреляционный анализ не выявил статистически значимой связи индексов всех возрастных групп ели с температурой воздуха и осадками до 1976 г.

Следует отметить, что угнетение текущего радиального прироста (в мм) наступало в годы с экстремальными морозами после крупнейших вулканических извержений. В частности, при похолодании в 1940–1976 гг. суровые морозы при маломощном снежном покрове следовали за извержениями Геклы (1947–1948 гг.) и Ламингтона (1951 г.), а также Агунга (1963 г.). Следует отметить, что извержения вулканов каким-то образом связаны с солнечной активностью, хотя пока нет четкого понимания этой связи. Угнетение древесных пород (в нашем случае ели) при погодных аномалиях после вулканических извержений породило исходное предположение о зависимости радиального прироста от солнечной активности. Однако причина оказалась значительно сложнее.

После переломного момента в 1976 г. увеличилась не только дисперсия возрастных индексов, но и чувствительность ели к климатическим факторам. Этот переломный момент, вероятно, связан со скачкообразным сокращением солнечной радиации на территории Беларуси и последующим очищением от атмосферного аэрозоля. Радиальный прирост – явление биологического характера и представляет конечный результат сложных физиологических процессов, обусловленных влиянием множества факторов, из которых климатические являются определяющими [8]. Нет сомнения и в том, что годовые кольца содержат гораздо большую информацию об изменении среды (и климата) чем та, что мы научились выявлять и анализировать [26].

Если прирост деревьев в высоких широтах лимитирован дефицитом тепла, то основным прямым фактором, определяющим сопряженную динамику радиального прироста елового древостоя зеленомошной группы в южной тайге, следует считать недостаток

влагообеспеченности в летнее время. Действие температурного фактора носит косвенный характер и проявляется в изменении потребности во влаге (с учетом потенциальной эвапотранспирации) [10].

Полученные нами результаты исследования влияния климатических факторов на радиальный прирост ели оказались неожиданными. После 1976 г. его возрастные индексы на географически разнесенных тест-полигонах на территории Беларуси приобрели прямую статистически значимую связь с температурой воздуха и осадками безлиственного (октябрь-апрель), а не вегетационного периода. Эта общая закономерность свойственна ели в зеленомошной серии типов леса не зависимо от возраста и санитарного состояния насаждений на плакорах, а также ели в «островных» локалитетах Полесья (тип леса – ельник мшистый и тип леса – ельник черничный с глубоким залеганием грунтовых вод после осушения сопредельных болот).

Причем, у древостоя ели на лессовидносуглинистых и супесчано-суглинистых почвах плакоров в Средней полосе и в Поозерье возникает стрессовая ситуация, Эта ситуация проявляется в том, что возрастные индексы при лаге запаздывания на два года оказываются в обратной корреляционной зависимости с осадками безлиственного периода. Причина заключена в появлении временного анаэробноза после обильных осадков, приводящего к угнетению почвенной микрофлоры и отмиранию физиологически активных (сосущих) корневых окончаний. Причем, такая ситуация, необходимо подчеркнуть, особенно четко, повсеместно и одновременно проявилась после 1976 г. при потеплении климата.

У ели в «островных» локалитетах Полесья с иллювиально-гумусово-железистым подзолом подобная стрессовая ситуация не выявлена. При прямой связи возрастных индексов радиального прироста с осадками безлиственного периода двухлетних лаг запаздывания обратной связи не возникал. Причина заключена в невозможности появления анаэробноза в корнеобитаемом слое песчаной почвы при глубоком залегании грунтовых вод. Но в отличие от насаждений на плакорах возрастные индексы приобрели прямую зависимость только от температуры безлиственного периода текущего года и только при потеплении климата. Именно после 1976 г. между температурой и осадками на Полесье возникла прямая связь ( $0,99 < P < 0,999$ ).

Нельзя отрицать значение больших сумм осадков для лесных насаждений на песчаных почвах в силу их водно-физических особенностей, особенно при значительном снижении грунтовых вод в результате осушительной мелиорации. Прямую зависимость прироста ели от температуры безлиственного, а не вегетационного, периода частично можно объяснить пополнением запасов воды в песчаной почве при меньшей продолжительности и меньшей глубине ее промерзания с последующим использованием во время вегетации древесными растениями.

Ель может расти на почвах с близкой грунтовой водой за счет своей поверхностной корневой системы, однако в этом случае не используются минеральные ресурсы почвы. После понижения грунтовых вод, сопровождающего осушительную мелиорацию, у ели в «островных» локалитетах увеличение годового прироста могло произойти за счет вовлечения минеральных ресурсов почвы в корневое питание, потребность в котором возросла при потеплении климата.

Главным источником минерального питания растений является аммонийный и нитратный азот, возникающий при минерализации свежего органического вещества. Максимальная интенсивность минерализации наблюдается весной [54]. Наиболее плотно микроорганизмами заселена подстилка, и именно в ней выражена сезонная динамика численности и биомассы различных групп почвенных микроорганизмов.

Кроме хорошей аэрации и влажности почвы необходимым условием поддержания ее биологической активности является температура. Интенсивность отмирания микрофлоры в холодный период зависит от температурных условий. По всей видимости, аномальные морозы при маломощном снежном покрове или без него могут выступать в роли «стерилизатора» почвы. Однако такого рода явления количественно еще не изучены.

Ослабление жизненного состояния дерева после суровых зим может быть вызвано ухудшением минерального питания в период его активного роста (май–июнь). К тому же, недостаток азота подавляет фотосинтез сильнее, чем недостаток какого-либо иного элемента [178]. Только этим можно объяснить одновременно наступающую депрессию радиального прироста ели



и сосны после суровых зим и его экспрессию после «теплых» температурных условий этого сезона на всем протяжении роста и развития современных поколений этих хвойных пород.

После аномально холодной поздней осени и суровых зим при отсутствии снежного покрова или его малой мощности, которые наступали на территории Беларуси после извержения вулканов Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1991 г.), и при сокращении притока солнечного излучения ситуация с елью становилась критической, что и привело ее к массовому усыханию.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Среди современных ресурсных и экологических проблем в лесном хозяйстве выделяется проблема, которая вызвана современными изменяющимися климатическими условиями, оказывающими влияние на состояние и стволовую продуктивность лесных биогеоценозов. Региональные изменения климата отражают его глобальную динамику, поэтому исследования на региональном уровне оказались полезными для понимания причин этого процесса. Изменение климата конкретных территорий имеет свои причинно–следственные особенности. Помимо температуры и осадков на рост и развитие древесных растений оказывает влияние поступление солнечной радиации, изменяющееся со временем в соответствии с аэрозольным содержанием атмосферы.

Динамике климата во всех природных регионах Беларуси свойственны общие закономерности, единообразно проявляющиеся независимо от их географических особенностей. Эти общие закономерности вписываются в общую картину существования двух климатических эпох на всей территории Беларуси со своими фазами похолодания и потепления.

Изменчивость радиального прироста сосны на ombrotroфных верховых болотах с учетом периодически возникающих пожаров оказалась полезной для реконструкции происходивших изменений в природной обстановке полесского региона в течение двух последних столетий. Именно за эти столетия юг Беларуси превратился в напряженный по экологическому состоянию регион. Связывать это превращение только с крупномасштабной осушительной мелиорацией по сути неверно.

Первый опыт привлечения кольцевой хронологии разновозрастного древостоя на верховом болоте от 85 до 305 лет позволил получить новую информацию об изменении природной среды полесского региона под влиянием крупных вулканических извержений. Необходимость охраны верховых болот на Полесье с великовозрастным (до 300 лет и более) древостоем сосны очевидна не только для экологического мониторинга, так и для принятия решений в области природопользования.

Проведенные исследования показали, что для решения проблемы соотношения пространства и времени в едином физико–географическом процессе на современном этапе экологического состояния среды необходимо привлекать дендрохронологические и дендроклиматические исследования. Выявление пространственно–временной изменчивости природных процессов, их синхронности или гетерохронности, с применением дендрохронологического подхода является составной частью функционально–динамического направления экспериментальных ландшафтных исследований.

Продукционный процесс еловых сосновых лесов отражает изменения в природной обстановке, вызванные глобальными последствиями вулканических извержений. Наступление периодов с максимальным и минимальным размером годичных колец и угнетение древостоя

определяется изменениями в прозрачности атмосферы. Замутнение атмосферы вулканическим аэрозолем приводило к депрессии радиального прироста ели и сосны в XIX и XX вв. За очищением атмосферы от вулканического аэрозоля следовало увеличение годичных колец. Наиболее вероятной причиной прогрессирующего снижения радиального прироста этих хвойных пород во второй половине XX в. служит снижение суммарной солнечной радиации.

Ель и сосна обладают высокой адаптационной способностью к климатическим факторам, которая выразилась в неустойчивой связи ее возрастных индексов с температурой воздуха и атмосферными осадками как на автоморфных, так и заболоченных почвах. В многолетнем ходе изменчивости радиального прироста сосны на автоморфных песчаных почвах Полесья отражена только мало выраженная депрессия в годы с недобором атмосферных осадков. Синхронность изменчивости индексов радиального прироста сосны свойственна её насаждениям только в пределах одного региона и отсутствует на географически разнесённых тест-полигонах. Индексы радиального прироста ели и сосны не имеют статистически достоверной зависимости от температуры воздуха и осадков за весь период роста и развития насаждений. Положительная корреляция между ними и этими метеорологическими факторами возникла только при потеплении климата в последней четверти XX в. при сокращении солнечной радиации.

Многолетний ход изменчивости радиального прироста деревьев в ельнике черничном и сосняке черничном вне влияния мелиоративных систем определялся принадлежностью насаждений к переувлажнённому эдафотопу с иллювиально-гумусово-железистым подзолом (майский уровень грунтовых вод не глубже 0,5 м.). Изменение прозрачности атмосферы под влиянием вулканических извержений не отразилось в увеличении стволовой продуктивности этих пород в середине XX в. Причина этого явления, по всей видимости, заключена в антагонистическом воздействии повышенной увлажнённости эдафотопы с геофизическим и гелиофизическим факторами, при ведущем значении первого (переувлажнённость). Не прослеживается строгой приуроченности депрессии радиального прироста к отклонениям в погодных условиях – высоким или низким температурам воздуха, недобору осадков или их обильному выпадению.

Только при потеплении климата в последней четверти XX ст. в условиях понижения грунтовых вод после осушительной мелиорации индексы радиального прироста ельника черничного и сосняка черничного приобрели прямую связь с температурой и осадками безлиственного периода и гидрологического года в целом.

Изменчивость радиального прироста ели и сосны в условиях техногенного загрязнения Минска и Могилева (независимо от уровня этого загрязнения) подчинена тем же закономерностям, свойственным насаждениям на незагрязнённых территориях: низкая чувствительность к внешним факторам среды; неустойчивая реакция на изменчивость погодноклиматических условий; угнетение до 1920-х гг. после относительно благоприятного периода до 1880-х гг.; максимальная стволовая продуктивность 1920–1950-е гг. с синхронной депрессией в начале 1940-х гг. и прогрессирующее снижение прироста во второй половине XX столетия. При потеплении после 1976 г. в экологических условиях городов возросла дисперсия индексов радиального прироста. Современный уровень загрязнения воздушной среды Минска и Могилёва не является лимитирующим для этих хвойных пород, преадаптированность которых к данному экотопу отражена в многолетнем ходе изменчивости радиального прироста в течение XIX и XX вв.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агафонов А.Ф. Усыхание чистых сосняков по пожарищам // Лесное хозяйство. – 1989. – № 12. – С. 37–39.
2. Алексеев А.С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 82–86.
3. Алесковский Ю.М., Гутман А.Л., Нечаев А.А., Успенский В.В. К вопросу о зависимости радиального прироста деревьев от количества осадков // Лесной журнал. – 1982. – № 1. – С. 20–23.
4. Алиев Р.Р. Биоиндикация загрязнения природной среды с помощью биохимических и флуоресцентных параметров древесных растений: Автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.02, 03.00.16 / АН Респ. Узбекистан, Ин-т физиологии и биофизики. – Ташкент, 1993. – 23 с.
5. Алисов Б.П. Климаты СССР: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956. – 127 с.
6. Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Солнечные вспышки. – М.: Наука, 1982. – 247 с.
7. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Пер. с англ. И.Г. Журбенко. – М.: Мир, 1976. – 759 с.
8. Антанайтис В.В., Загребев В.В. Прирост леса – М.: Лесная пром-сть, 1969. – 240 с.
9. Арманд Д.Л. Развитие ландшафтнй среды // Известия АН СССР, Сер. географ. – 1977. – № 3. – С. 22–27.
10. Аугустайтис А.А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: Автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Ин-т глоб. климата и экологии Рос. ком. по гидрометеорологии Рос. акад наук. – М., 1992. – 23 с.
11. Ахромейко А.И. Физиологическое обоснование разведения сосны в степях // Бузулукский бор: Тр. / Бузулукск. науч. экспедиц. ВНИИЛХ 1944–1945 гг. – М. –Л, 1950. – Т. 3. – 263 с.
12. Аэрозоль и климат. / Под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 511 с.
13. Барткявичюс Э., Аугустайтис А. Древесно-кольцевой анализ сосновых древостоев, повреждённых промышленными выбросами // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по вопросам дендрохронологии, Свердловск, 29-31 мая 1990 г. / Отв. ред. С.Г. Шиятов; УрО АН СССР, Ин-т экологии растений и животных, Дендроклимат. комис. АН СССР при науч. совете «Биол. основы рацион. использ., преобразования и охраны раст. мира». – Свердловск, 1990. – С. 13–14.

14. Бедягина С.В., Кухарев В.И., Ивонайкен О.Т. Сельскохозяйственная мелиорация, как антропогенный фактор // Биологические проблемы Севера. – Сыктывкар, 1981. – Ч. 2. – С. 171.
15. Беляков А.И. Ритмы функционирования локальных геосистем среднетаёжного ледникового ландшафта // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5., География. – 2004. – № 1. – С. 53–58.
16. Беспямятов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. – Л.: Химия. Лен. отд-е, 1985. – 528 с.
17. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 172 с.
18. Бойко А.В., Смольский Н.В., Сидорович Е.А. Экспериментальное исследование ландшафтов Березинского заповедника / Под ред. Н.В. Смольского; АН БССР, Центр. бот. сад. – Минск: Наука и техника, 1975. – 373 с.
19. Болботунов А.А. Древесно-кольцевые хронологии сосны и ели Березинского государственного заповедника и национального парка «Браславские озёра» // Беловежская пуша на рубеже третьего тысячелетия: Матер. науч.-практ. конф., посвящённой 60-летию со дня образования Гос. заповедника «Беловежская пуша», 22-24 дек. 1999 г., п. Каменюки, Брест. обл. – Мн.: БГУ, 1999. – С 157–158.
20. Борисенков Е.П. Изменение энергии в биосфере и её связь с солнечной активностью // Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды: Труды 1-го Всесоюз. совещ., 30 окт. –1 ноября 1972 г.; Под ред. ч. – кор. АН СССР Э.Р. Мустеля. – Л., Гидрометеоиздат, 1974. – С. 111–120.
21. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. – М.: Мысль, 1988. – 522 с.
22. Брысова Л.П. Режим влажности песчаных почв Прииртышья: Тр. / АН СССР, Лаборатория лесоведения. – М., Изд-во Акад. наук СССР. – 1962. – Т. 4: Lentочные боры Прииртышья. – С. 58–111.
23. Будаев Х.Р. Рост и формирование корневой системы сосны в зависимости от типов лесорастительных условий: Тр. /АН СССР, Сиб. отд-е, Бурят. Фил., Бурят. ин-т естеств. наук.– Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1971.– Вып.9: Ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней.–С. 156–180.
24. Ваганов Е.А., Качаев А.В. Дендроклиматический анализ роста сосны в лесоболотных фитоценозах Томской области // Лесоведение. – 1992. – № 6. – С. 3–10.
25. Ваганов Е.А., Плешиков Ф.И. Система мониторинга лесов как основа их рационального использования и устойчивого развития // Сиб. экол. журнал. – 1998. – Т.5. – № 1. – С. 3–8.
26. Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свицерская И.В., Гистометрический анализ роста древесных растений. – Новосибирск: Наука, Сибирское отд-е, 1985. - 101 с.
27. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа С.П. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. - Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма, 1996. – 245 с.
28. Вайчис М.В. Программа-методика организации и проведения работ по региональному мониторингу лесов европейской части СССР. – Каунас: Гирионис, 1989. – С. 56.
29. Вайчис М.В., Армолайтис К. Чувствительность и устойчивость аборигенных древесных и кустарниковых пород к промышленным условиям в условиях Литвы: Тез. Всесоюз. совещ. по вопросам адаптации древесных растений к экстремальным условиям среды в северных районах СССР, Петрозаводск, 14–17 сент. 1971 г. / Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова, АН СССР, Отд-е лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ, Ин-т леса Карельск. филиала АН СССР. – Петрозаводск, 1971. – С. 16–18.
30. Васильев С.В. Изменчивость радиального прироста сосны обыкновенной на болотах и суходолах северной тайги З. Сибири // Биологические ресурсы и природопользование. – 1999. – № 3. – С. 38–51.
31. Величко А.А. Устойчивость ландшафтной оболочки и её био- и георазнообразие в свете динамики широтной зональности // Изв. Акад. наук. Сер. география. – 2002. – № 5. – С. 7–21.

32. Вербила В.В. Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны. – Каунас: Гирионис, 1980. – № 3. – С. 14–15.
33. Вербила В.В., Шлейнис Р.И. Сезонный рост сосны и его изменение под влиянием минеральных удобрений // Лесоведение. – 1981. – № 2. – С. 12–18.
34. Веретенников А.В. Физиологические основы устойчивости древесных растений к временному избытку влаги в почве. – М.: Наука, 1968. – 216 с.
35. Вернадский В.И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 376 с.
36. Винников К.Я. Чувствительность климата: Эмпирич. исслед. закономерностей современ. изменений климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 223 с.
37. Витинский Ю.И. Солнечная активность. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1983. – 192 с.
38. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 351 с.
39. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли: Сб. ст. – М.: Наука, 1971. – С. 127–138.
40. Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова / Под ред. Б. Н. Норина, В. Т. Ярмишко, АН СССР, Ботан. ин-т им. В.Л.Комарова. – Л.: БИН, 1990. – 195 с.
41. Воейков А.И. Климат Полесья // Приложения к очерку работ Западной экспедиции 1873–1892. – СПб., тип. Имп. Акад. наук, 1899. – С. 1–132.
42. Волкова Е.М. Жизнь популяций в гетерогенной среде: Материалы II Всероссийского популяционного семинара, Йошкар-Ола, 16–20 февраля 1998 г.: В 2 т. / Марийский гос. ун-т; Под ред. Л. А. Жуковой и др. – Йошкар-Ола: МГУ, 1999. – Т. 1. – С. 188–190.
43. Воронков Н.А. Влагодоборот и водообеспеченность сосновых насаждений: по материалам исследований на песчаных почвах засушливых обл. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 184 с.
44. Временная изменчивость радиального прироста ели и сосны в условиях техногенного загрязнения воздушной среды г. Минска / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, А.Я. Яротов., П.А. Митрахович // Природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 80–89.
45. Вулканические извержения и радиальный прирост хвойных лесов Белорусского Полесья / Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В., Яротов А.Е., Митрахович П.А. // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: Матэрыялы Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Брэст, 16–18 чэрвеня 2004г.; В дзвух частках. – Брэст: ПУП, «Изд-во Академия», 2004. – Ч.1. – С. 274–278.
46. Вулканические извержения и радиальный прирост хвойных лесов Белорусского Полесья / Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В., Яротов А.Е., Митрахович П.А. // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: Матэрыялы Міжнароднай навуковай канферэнцыі, Брэст, 16–18 чэрвеня 2004 г.; В дзвух частках. – Брэст: ПУП, «Изд-во Академия», 2004. – Ч.1. – С. 82.
47. Гарднер Р.В. Соотношение почвенной влаги в сухих и засушливых условиях // Растение и вода: Сб. ст. / Пер с англ. А.Д. Воронина; Под ред. д-ра физ.-мат. наук Г.Ф. Хильми. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – С. 64–109.
48. Гелиофизический фактор в изменчивости климата и радиального прироста сосны и ели на территории Белорусского Полесья / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович // Влияние антропогенных факторов на состояние и динамику экосистем Полесья: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест 14–15 ноября 2001г. – Брест, 2001. – С. 80–82.
49. Гелиофизический фактор в изменчивости климата и радиального прироста ели и сосны на территории Белорусского Полесья / Киселёв В.Н., Киселёва Е.В., Яротов А.Е., Митрахович П.А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. Химия, Биология, География. – 2001. – № 2. – С. 79–85.

50. Гельтман В.С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. - Минск: Наука и техника, 1982. - 326 с.
51. Герасименко Г.Г., Игнатов В.С. Формирование древостоя сосняка зеленомошно-лишайникового в условиях дюнного рельефа // Вестн. ЛГУ. Сер. 3. - 1989. - № 2. - С. 26-31.
52. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляц. аппарата / АН БССР, Центр. ботан. сад. - Минск: Наука и техника, 1989. - 205 с.
53. Гетко Н.В. Структурные и функциональные особенности ассимиляционного аппарата растений в техногенной среде: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.00.05 / Урал. отд-е АН СССР, Ин.-т экологии животных и растений. - Свердловск, 1991. - 39 с.
54. Головченко А.В., Полянская Л.М. Сезонная диемика численности и биомассы микроорганизмов по профилю почвы. / Почвоведение, 1996, № 10. - С. 1227-1283.
55. Голод Д.С., Пугачевский А.В., Пуховской А.С., Моложавский А.А. Растительные ресурсы, изменение флоры и растительности под влиянием естественных и антропогенных факторов. / Состояние природной среды Беларуси за 1966 год: Сборник иофр. Материалов. // Под ред. В.Ф. Логинова. - Минск: Изд. Н.А. Королев, 1997. - С. 153-185.
56. 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. 204-222.
57. Гортинский Г.Б., Тарасов А.И. О географической сопряжённости годичного прироста еловых древостоев в подзоне южной тайги: Сб. ст. - Л.: Наука, 1969. - С. 40-50.
58. Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. - М.: Изд-во Наука, 1985. - 209 с.
59. Григорьев А.А. Основы теории физико-географического процесса: Сб. науч. тр. / 2-й Всесоюз. географич. съезд, Москва, 25-31 янв. 1947 г. - М.: Географгиз. тип. «Кр. пролетарий», 1948. - Т.1. - С. 249-257.
60. Давыденко И.А. Экологические факторы и применение дендроклиматохронологических методов: Тезисы докладов III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4-6 июля 1978 г., - Архангельск: АЛТИ, 1978. - С. 148.
61. Даценко Н.М., Новотна Д., Сонечкин Д.М. Анализ изменений климата за 200 лет по наблюдениям температуры воздуха в Клементинуме (г. Прага) // Метеорология и климатология. - 1998. - № 4. - С. 33-43.
62. Дашковская И.С. Временная изменчивость радиального прироста древостоев // Факторы продуктивности леса: Сб. научн. тр. / АН СССР, Сиб. отд-е, Ин-т леса и древесины им. И.Н.Сукачёва; Отв. ред. И.Н.Елагин. - Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1989. - С. 90-102.
63. Дендрокольцевая летопись природы Белорусского Полесья / Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В., Митрахович П.А., Яротов А.Е. // Мониторинг и оценка растительного покрова: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28-31 окт. 2003г. - Минск, 2003. - С. 66-68.
64. Дендрокольцевые хронологии ели и сосны как летопись изменчивости климата / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, А.Я. Яротов., П.А. Митрахович // Изменение климата и использование климатических ресурсов; Под общ. Ред. П.А. Ковриго. - Минск: БГУ, 2001. - С. 218-238.
65. Дендрохронологические и дендроклиматические исследования для оценки, моделирования и прогноза состояния хвойных лесов Беларуси / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, А.Е. Яротов, П.А. Митрахович // Теоретические и прикладные аспекты геоэкологии: Тез. докл. Междунар. научн. конф., Минск, 26-29 сентября 2001г. - Минск, 2001. - С. 109-111.
66. Дергачёв В.А., Кочаров Г.Е. Проявление закономерностей некоторых природных процессов в прошлом и концентрации радиоуглерода годичных колец древесины // Пространственные изменения климата и годичные кольца деревьев: Сб. ст. / Ин-т ботаники АН Лит. ССР, Комис. по дендроклиматол. исслед. АН СССР при науч. совете «Биолог. основы рацион.

- использ., преобразования и охраны раст. мира»; Отв. ред. Битвинскас Т.Т. – Каунас: Ин-т ботаники, 1981. – С. 27–39.
67. Дмитриева Е.В. Динамика прироста сосны в лесостепи Русской равнины // Ботан. журн. – 1982. – Т. 67. – № 7. – С. 969–975.
68. Дорофеев А.А., Емельянов А.Г. Изменение прироста хвойных деревьев в зоне воздействия осушительных систем // Вопросы оптимизации растительного покрова Верхневолжья: Межвуз. темат. сб. / Калинин. гос. ун-т. – Калинин: КГУ, 1981. – С. 69–77.
69. Дорофеев А.А., Емельянов А.Г., Рудаковский И.В. Некоторые результаты изучения прироста хвойных деревьев на прилегающих к осушительным системам минеральных землях // Формирование и прогноз природных процессов: Межвуз. темат. сб. / Калинин. гос. ун-т. – Калинин: КГУ, 1980. – С. 41–46.
70. Дрё Ф. Экология / Пер. с фр. – М.: Атомиздат, 1976. – 167с.
71. Дроздов О. А. О фазах векового цикла количества осадков на территории Евразии: Тр. / ГУ гидромет. службы при Совете Министров СССР, ГГО им. А.И. Воейкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 299: Общая и синоптическая климатология. – С. 91–99.
72. Дроздов О.А. Колебания климата голоцена, подтвержденные ходом вулканизма, ледовитости и палеотемпературой ледников. / Материалы гляцеологических исследований. Хроника, обсуждения. – М.: 1983. Вып. 46. – С. 29–33.
73. Дроздов О.А., Логинов В.Ф., Покровская Т.В. Изменчивые солнечно-тропосферные связи и методы установления их надежности // Изв. АН СССР, Сер. Географическая. – М.: Наука, 1969. – № 6. – С. 15–26.
74. Дубах А.Д. Гидротехнические мелиорации земель: Допущ. ВКВШ при СНК СССР в качестве учебника для втузов. – М. –Л.: Гослестехиздат, тип. № 2 Упр. изд-в и полиграфии Ленгорисполкома, 1945. – 375 с.
75. Дьяконов К.Н., Солнцев В.Н. Пространственно-временной анализ геосистемной организации: основные итоги и перспективы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1998. – № 4. – С. 54–57.
76. Единович В.А. Влияние антропогенных факторов на радиальный прирост лесопарковых сосновых древостоев г. Минска // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 1992. – № 5–6. – С. 61–65.
77. Еловичева Я.К. Флора и растительность Беларуси в антропогене // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: Материалы междунар. науч. –практ. конф., Минск, 28–31 окт. 2003 г. / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск, 2003. – С. 51–53.
78. Живописная Россия. Отечество наше в его земельном, историческом, племенном и бытовом значении: В 12 т. / Под общ. ред. П. П. Семёнова. – Спб., – М.: Вольф, 1880. – 1984. – Т.3. Ч.1: Литовское полесье. Ч.2: Белорусское полесье. – 1982. – 490 с.
79. Жилинский И.И. Очерк работ западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) / Сост. ген.-лейт. И.И. Жилинским при участии чинов экспедиции: инж. пут. сообщ. И.К. Милицера, И.К. Сикорского, К.И. Малаховского и др. – СПб.: Изд-во Мин-ва земледелия и гос. имущества, 1899. – 744с.
80. Заварзин Г.А. Микроорганизмы и состав атмосферы // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе: Сб. ст. / АН СССР, Всесоюз. микробиол. о-во, Ин-т микробиологии, Науч. совет по пробл. физиологии и биохимии микроорганизмов. – М.: Наука, 1979. – С. 5–34.
81. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Мат. статистика в эксперим. ботанике. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
82. Зеленский И. Материалы для географии и статистики России, собранные офицерами Генерального штаба: Минская губерния / Сост. генерального штаба подполковник И. Зеленский. – СПб., Воен. тип., 1864. – Ч. 1–2. – 672 с.

83. Зерницкая В.П. Палеогеография Белорусского Полесья в позднеледниковье и голоцене: (по данным споро-пыльцевого анализа): Автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 11.00.04 / Акад. наук БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск, 1991. – 23 с.
84. Зибцев С.В. Влияние загрязнения атмосферы выбросами тепловых электростанций на сосновые насаждения Левобережья УССР: Автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Днепропетр. гос. ун-т. – Днепропетровск, 1990. – 18 с.
85. Иванов М.В. Роль микроорганизмов в образовании сероводорода // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе: Сб. ст. / АН СССР, Всесоюз. микробиол. о-во, Ин-т микробиологии, Науч. совет по пробл. физиологии и биохимии микроорганизмов. – М. Наука, 1979. – С. 114–130.
86. Изменения климата Беларуси и их последствия / Под общ. Ред. В.Ф. Логинова. – Минск: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.
87. Калинин В.А. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях атмосферных промышленных загрязнений и рубки ухода в них: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Урал. лесотех ин-т. – Свердловск, 1989. – 24 с.
88. Караткевич Н.А., Пугачевский А.В., Судник А.У. Влияние низовых пожаров на отпад деревьев в спелых сосняках мшистых // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: Материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–31 окт. 2003 г. / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск, 2003. – С. 130–132.
89. Катаев О.А., Лайранд Н.И., Ловелиус Н.В. К возможности дендроиндикационной оценки антропогенных воздействий на рост сосны в районе г. Братска: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 169.
90. Квазивековая флуктуация климата Белорусского Полесья / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, Л.В. Колтун, А.Е. Яротов // Научные и прикладные аспекты изменений климата и использования климатических ресурсов: Тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 31 окт. – 3 ноября 2000 г. – Минск, 2000. – С. 56–58.
91. Киселёв В.Н. Белорусское Полесье: экологические проблемы мелиоративного освоения. – Мн.: Наука и техника, 1987. – 151 с.
92. Киселёв В.Н. Зональная принадлежность территории Беларуси с позиций климатогенно-ревалитатной теории // География: проблемы выкладки. – 1998. – № 2. (11). – С. 12–18.
93. Киселёв В.Н. и др. Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий. – Минск: Ротапринт АН БССР, 1978. – 78 с.
94. Киселёв В.Н. Основы экологии. – Минск: Выш. шк., 2002. – 383 с.
95. Киселев В.Н., Киселева Е.В. Метеоциклы в гидрологическом летоисчислении (по наблюдениям на метеостанции Минск и Василевичи) // Вестник Бел. гос. ун-та. Сер. 2. – 2000. – № 1. – С. 56–62.
96. Киселёв В.Н., Киселёва Е.В. Причины усыхания ельников на плакорах Беларуси // Лесное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 27–28.
97. Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В. Экология ели. – Минск: БГУ, 2004. – 217 с.
98. Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В. Дендроклиматический мониторинг ельников в национальном парке «Браславские озера» // Лесное и охотничье хозяйство Беларуси. – 2003. – № 4. – С. 20–23.
99. Киселёв В.Н., Чубанов К.Д. Ландшафтно-экологические исследования Белорусского Полесья. – Минск: Наука и техника, 1979. – 104 с.
100. Киселева Е.В. Дендроиндикация природных процессов на территории Беларуси по данным пространственной и временной изменчивости радиального прироста ели европейской: Автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 25.00.23 / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2002. – 22 с.



101. Киселёва Е.В. Дендрокольцевая хронология ели как летопись природы Белорусского Полесья // Природные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 37–48.
102. Киселёва Е.В. Ель европейская в загрязнённой воздушной среде Минска и Могилёва // Природные ресурсы. – 2002. – № 4. – С. 22–31.
103. Киселёва Е.В. Цикличная изменчивость радиального прироста ели европейской и внутривековая динамика климата Беларуси // География и природные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 120–124.
104. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: ИГН АН РБ, 1996. – 234 с.
105. Кожаринов А.В. Климатохронологический анализ популяций лесных растений Белоруссии / АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск: Наука и техника, 1989. – 176 с.
106. Козубов Г.М., Таскаев А.И., Козлов В.А. Динамика прироста древесины у основных лесообразующих пород в репарационный период: Тр. / Коми научн. Центр УрО РАН. – 1993. – № 127. – С. 89–104.
107. Комин Г.Е. К методике дендроклиматических исследований: Тр. / Ин-т экологии растений и животных УФ АН СССР. – Свердловск, 1970. – Вып. 67. – С. 234–241.
108. Комин Г.Е. Цикличность в динамике лесов Зауралья: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук: 03.00.16 / АН СССР, Урал. науч. центр, Ин-т экологии растений и животных. – Свердловск, 1978. – 40 с.
109. Комин Г.Е. Цикличность в динамике прироста деревьев // Проблемы экспертизы растительных сообществ: Сб. ст. / ВНИИ судебных экспертиз. – М.: Наука, 1972. – С. 54–67.
110. Комин Е.Г. Цикл Брикнера в динамике прироста деревьев // Лесоведение. – 1974. – № 2. – С. 21–27.
111. Кондратьев К. Я., Лосев К. С., Ананичева М. Д., Чеснокова И. В. Баланс углерода в мире и в России / Известия АН. Сер. геогр. – 2002. № 4. – С. 7–17.
112. Коршиков И.И., Тарабрин В.П., Бойко М.И., Крауц К. Изменение свойств пероксидазы древесных растений в условиях индустриальной среды // Экологические физиолого-биохимические аспекты антропогенной устойчивости растений: Тез. докл. всесоюз. конф., 3–5 дек. 1986 г., В 2 т. / Акад. наук ЭССР; Ред.: Л. Мартин, Э. Нильсон. – Таллинн, 1986. – Т.2. – С. 60–62.
113. Котляков В.М. Наука. Общество. Окружающая среда / Рос. акад. наук, Ин-т географии. – М.: Наука, 1997. – 409 с.
114. Краучук Л.А., Какарэка С.В. Ліхенаіндыкацыйнае картаграфаванне Мінска // Весці АН Беларусі. – 1995. – № 2. – С. 23–28.
115. Кукушкин Е.Н. Формирование годичного слоя древесины в осушенном и удобренном сосняке: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР» Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 145.
116. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. – М.: Наука, 1974. – 125 с.
117. Кулагин Ю.З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. – М.: Наука, 1980. – 115 с.
118. Кулагин Ю.З. Растительность и промышленные загрязнения. – Свердловск: УФАН, 1964. – Вып.4. – С. 115–122.
119. Ландшафтная карта // Атлас Рэспублікі Беларусь / Пад. агул. рэд. Р.А. Жмайdzяка. – Мінск: ДК по зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі РБ, 1998. – С. 22.
120. Ландшафты Белоруссии / Марцинкевич Г.И., Клицунова Н.К., Хараничева Г.Т., Якушко О. Ф., Логинова Л. В. – Минск: Выш. шк., 1989. – 238 с.
121. Ле РУА Ладюри Э. История климата с 1000 г. / Пер. с фр. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 280 с.

122. Лесиньски Е.А., Армолайтис К. Оценка состояния сосны и ели в лесном мониторинге. – Умео, 1992. – С. 28.
123. Лесные ландшафты Беларуси: Структурно-функциональная организация и устойчивость к техногенным нагрузкам / Под общ. ред. Е.А. Сидоровича; АН Беларуси, Центр. ботан. сад. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 295 с.
124. Лиёпа И.Я. Единый метод таксации древостоя на антропогенное воздействие // Лесоведение. – 1985. – № 6. – С. 12–18.
125. Лиственница европейская в климатических условиях Беларуси / Киселёв В.Н., Еловичева Я.К., Матюшевская Е.В., Митрахович П.А., Яротов А.Е. // Лесное и охотничье хозяйство. – 2003. – № 2. – С. 8–11.
126. Литвак П.В. Экологическая оценка влияния влажности почвы на сосновые леса Украинского Полесья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / Укр. с.-х. акад. – Киев, 1973. – 44 с.
127. Лобжанидзе Э.Д. Камбий и формирование годичных колец древесины. – Тбилиси: Изд. АН Груз ССР, 1961. – 159 с.
128. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1979. – 231 с.
129. Ловелиус Н.В., Бельгард А.Л., Грицан Ю.И. Радиальный прирост сосны обыкновенной в степи и лесостепи в эпохи максимумов и минимумов 11-летнего цикла активности Солнца // Биомониторинг лесных экосистем степной зоны: Межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. гос. ун-т; Отв. ред. А.П. Травлеев. – Днепропетровск: Видавництво ДДУ, 1992. – С. 71–81.
130. Ловелиус Н.В., Грицан Ю.И. Черты единства и реакции сосны обыкновенной и лиственных пород Самарского бора на изменение природных условий // Биомониторинг лесных экосистем степной зоны: Межвуз. сб. науч. тр. / Днепропетр. гос. ун-т; Отв. ред. А.П. Травлеев. – Днепропетровск: Видавництво ДДУ, 1992. – С. 27–44.
131. Логинов В.Ф. Новый индекс солнечной активности // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца: Сб. науч. тр. / АН СССР, Сиб. отд-е, Сиб. ин-т земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1972. – Вып. 21. – С. 141–151.
132. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Минск: Наука и техника, 1992. – 319 с.
133. Логинов В.Ф. Солнечная обусловленность колебаний термического режима северного полушария: Докл. / АН СССР, Сиб. отд-е, Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 1972. – Вып. 33. – С. 41–58.
134. Логинов В.Ф. Характер солнечно-атмосферных связей. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 48 с.
135. Логинов В.Ф. Вулканические извержения и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 64 с.
136. Ломов В.М. к вопросу взаимосвязи солнечной активности и роста насаждений пихты Северного Кавказа: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 135.
137. Лукашев В.К., Окунь Л.В. Загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды г. Минска / Акад. наук Беларуси, Ин-т геол. наук. – Минск: ИГН АН Беларуси, 1996. – 74 с.
138. Ляэланд А. И. О связи прироста болотных сосен с метеорологическими показателями (На примере верхового болота Куресоо): Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 138.
139. Ляэланд А.И. Изучение связи прироста болотных сосен с метеорологическими факторами: Уч. зап. / Тартуский ун-т. – 1982. – № 590. – С. 39–78.

140. Мазепа В.С. Влияние осадков на динамику радиального прироста хвойных в субарктических районах Евразии // Лесоведение. – 1999. – № 6 – С. 14–21.
141. Мазепа В.С. Использование спектрального представления и линейной фильтрации стационарных последовательностей при анализе цикличности в дендрохронологических рядах // Дендрохронология дендроклиматология: Матер. совещ., Иркутск, 1983 г. / Отв. ред. Л.А. Кайрюкшпис и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1986. – С. 49–68.
142. Мазинг В.В. Проблемы биогеоценологии: Сб. ст. / Отв. ред. Е.М. Лавренко. – М.: Наука, 1973. – С. 148–157.
143. Максимов И.В. О восьмидесятилетнем цикле колебаний климата Земли // Докл. Акад. наук СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – Т. 86. – № 5. – С. 917–921.
144. Манько Ю.И., Гладкова Г.А. Усыхание ели в свете глобального ухудшения темнохвойных лесов. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 228 с.
145. Мартынюк А.А., Данилов Н.И. Влияние промышленных выбросов на рост и производительность сосновых древостоев // Лесное хозяйство. – 1989. – №4. – С. 17–19.
146. Марцинкевич Г.И., Клицунова Н.К., Мотузко А.Н. Основы ландшафтоведения: Уч. пособие для геогр. спец. высш. уч. заведений. – Минск: Выш. шк., 1986. – 204 с.
147. Маслов А.А. Динамический тренд в заповедных лесах центра Русской равнины: анализ причин сукцессионной динамики популяции растений // Экология популяций: структура и динамика: Материалы Всерос. совещ., Пушино, 15–18 ноября 1994 г. – М., 1995. – С. 643–655.
148. Матвеев С.М. Дендроклиматический анализ влияния водных объектов на состояние и прирост сосновых древостоев. – Воронеж: ВГЛА, 2002. – 24 с.
149. Матюшевская Е.В. Переломные моменты в изменчивости радиального прироста ели на территории Беларуси // Мониторинг и оценка состояния растительного покрова: Мат. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–31 окт. 2003 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперимент. ботаники; Отв. ред. В.И. Парфёнов. – Минск: ИООО «Право и экономика», 2003. – С. 148–149.
150. Мелиорация Белорусского Полесья в кольцевых хронологиях ели и сосны / В.Н. Киселёв, Е.В. Киселёва, А.Е. Яротов., П.А. Митрахович // Лесное и охотничье хозяйство. – 2003. – № 1. – С. 22–25.
151. Меншиков С.Л. Проблемы мониторинга техногенных бореальных лесов // Мониторинг леса: методология и перспективы: Сб. ст. Междуна. науч. конф. Каунас, 15–17 июля 1997г. / Каунас. гос. ун-т; Сост.: В. Стокенас, У. Армалис. – Каунас: Гирионис, 1997. – С. 76–77.
152. Методические рекомендации по оценке влияния мелиоративных систем на экологические комплексы прилегающих территорий. – Мн.: Ротапринт АН БССР, 1978. – 78 с.
153. Михович А.И. Повышение продуктивности заболоченных лесов полесья УССР с помощью лесомелиоративных мероприятий: Автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.03.03 / Укр. с.-х. акад. – Киев, 1975. – 34 с.
154. Моисеева Н.А. Исследование процесса деградации сосновых насаждений в городских условиях: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук:06.03.03 / Белор. технол. ин-т. – Минск, 1980. – 17 с.
155. Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 487 с.
156. Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. – М.: Наука, 1973. – 359 с.
157. Молчанов А.А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды / АН СССР, Лаборат. лесоведения. – М.: Наука, 1976. – 168 с.
158. Молчанов А.А. Изменчивость ширины годичного кольца в связи с изменением солнечной активности // Формирование годичного кольца и накопление органической массы у деревьев: Сб. ст. / Отв. ред. А.А. Молчанов – М.: Наука, 1970. – С. 7–49.
159. Молчанов А.А. Сосновый лес и влага. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1953. – 140 с.

160. Мониторинг сосняков черничных в Белорусском Полесье / В.Н. Киселёв, А.Е. Яротов, Е.В. Матюшевская, П.А. Митрахович // Лесное и охотничье хозяйство. - 2004 г. - № 5. - С. 20 - 25.
161. Морозов Г.Ф. Очерки по возобновлению сосны / Изд. посмертное; Под ред. проф. В.В. Гумана. – М. –Л.: Гос. с.-х. изд-во, гос. тип. им. Евг. Соколовой в Лгр., 1930. – 160 с.
162. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. 7-е изд. – Л.: Гослесбумиздат, 1949 – 456 с.
163. Мусаев Е.К. Сезонный рост и строение годичных колец сосны обыкновенной в зоне Чернобыльской катастрофы // Лесоведение. – 1996. – № 1. – С. 16–29.
164. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений 2003 г. / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси, Межведомств. координац. совет по реализации Программы Нац. системы мониторинга окружающей среды в Беларуси, Белорус. науч.-исслед. центр «Экология» (Бел. НИЦ «Экология»). – Минск: Изд-во Бел НИЦ «Экология», 2004. – 202с.
165. Нестеров В.Г. Очерки по лесоведению. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 182 с.
166. Николаев А.Н. Радиальный прирост лиственницы и сосны в различных типах леса в зависимости от гидрометеорологических условий (на примере стационара «Спасская падь») // Основные закономерности глобальных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири: Сб. ст. / ИАЭТ СО РАН. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2002. – Вып. 1. – С. 350–355.
167. Николаевская Т.В. Эколого-физиологическая оценка устойчивости растений к трём газам (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>): Автореф. дис. канд. биол. наук:03.00.16 / Моск. с.-х. акад. – М., 1992. – 19 с.
168. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1979. – 278 с.
169. Николаевский В.С. Биомониторинг, его значение и роль в системе экологического мониторинга и охране окружающей среды // Методологические и философские проблемы биологии: Сб. ст. / АН СССР. Сиб отд-е. Ин-т истории, филологии и философии, Ин-т геологии и геофизики; Сост. А.Т. Москаленко. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1979. – С. 341–354.
170. Николаевский В.С. Влияние техногенных выбросов на жизнь растений // Разработка и внедрение на комплексных фоновых станциях методов биологического мониторинга: Материалы шк., 9-12 дек. 1980 г. / СЭВ, Координац. центр по пробл. «Глобал. система мониторинга окруж. среды» ГСМОС, Ин-т биологии АН Латв. ССР. – Рига: Зинатне. – 1983. – Т.1. – С. 23–32.
171. Николаевский В.С. Некоторые вопросы методологии и методики фонового мониторинга // Опыт и методы экологического мониторинга: Сб. ст. / АН СССР, Науч. центр биол. исслед., Ин-т агрохимии и почвоведения. – Пушкино: НЦБИ АН СССР, 1978. – С. 110–116.
172. Николаевский В.С. Способ расчёта критических нагрузок химических загрязнителей для лесных экосистем: Научн. тр. / МГУЛ. – М.: Изд-во МГУЛ, 1993. – Вып. 248. – С. 55–70.
173. Николаевский В.С. Фитомониторинг, его значение и роль в системе био - и экологического мониторинга // «Методология экологического нормирования»: Тез. докл. Всесоюз. конф., Харьков, 16-20 апр. 1990 г.: Ч. 2., секция 3: Проблемы оценки антропогенного влияния на экосистемы. – Харьков, 1990. – С. 97–98.
174. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. – 22 с.
175. Николаевский В.С. Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений: Уч. пособие для студентов спец. 31.12 / Моск. лесотех. ин-т. – М.: Наука, 1989. – 65 с.
176. Николаевский В.С., Николаевская Т.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха и состояния лесной растительности в системе ОВОС: Сб. науч. тр. / МГУЛ. – М.: Изд-во МГУЛ, 1995. – Вып. 268. – С. 33–47.
177. Николаевский В.С., Николаевская Т.В., Придатченко А. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха и состояния зелёных насаждений г. Калининграда Московской

- области // Известия жилищно-коммунальной академии. Городское хозяйство и экология. – 1996. – № 2. – С. 27–35.
178. Ничипорович А.А. Световое и углеродное питание растений (фотосинтез). – М.: Изд АН СССР, 1955. – 288 с.
179. Ножевников А.Н., Юрганов Л.Н. Цикл атмосферной окиси углерода и использование ее бактериями // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе: Сб. ст. / АН СССР, Всесоюз. микробиол. об-во, Ин-т микробиологии, Науч. совет по проблемам физиологии и биохимии микроорганизмов; Отв. ред. Г.А. Заварзин. – М. Наука, 1979. – С. 178–204.
180. Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф. Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и её использование для реконструкции летних температур // География и природные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 102–108.
181. Одум Ю.П. Экология: В 2 ч. / Пер. с англ. Ю.М. Фролова, Б.Я. Виленкина; Под. ред. В.Е. Соколова. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
182. Оленин С.М. Учёт цикличности природных экологических факторов при мониторинговых исследованиях // Охрана природных территорий. Проблемы выявления, исследования, организации систем: Тез. докл. Междунар. науч. конф., Пермь, ноябрь 1994 г. / ПГУ. – Пермь, 1994. – Ч. 2. – С. 18–19.
183. Оль А.И. Ритмические процессы в земной атмосфере // Ритмика природных явлений: Тезисы докл. к III совещ. ВГО, Ленинград, 30 ноября 1976 г. / Геогр. о-во СССР. – Л.: Изд-во ВГО, 1976. – С. 42–44.
184. Орлов А.Я. Рост и отмирание корней сосны, берёзы и ели при периодическом затоплении почвенно-грунтовыми водами: Сообщения / АН СССР, Лаборатория лесоведения. – М.: Наука, 1962. – № 6. – 102 с.
185. Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. – М.: Наука, 1971. – 323 с.
186. Память. Светлогорск. Светлогорский р-н: Гіст.-дак. хронікі гарадоу і р-нау Беларусі: У 2 кн. – Мінск: Беларусь, 2000. – Кн. 1. – 510 с.
187. Панюшкина И.П., Ваганов Е.А., Шишков В.В. Статистический анализ прироста лиственницы на севере Средней Сибири // География и природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 80–90.
188. Панюшкина И.П., Ваганов Е.А., Шишков В.В. Статистический анализ прироста лиственницы на севере Средней Сибири // География и природные ресурсы. – 1996. – № 4. – С. 93–100.
189. Парфенов В.И. О внутривидовой систематике *Picea abies* [L.] Karst. / новости систематики высших растений. Т. 8. – Л.: Наука, 1971. – С.4-11.
190. Парфенов В.И. Обусловленность распространения и адаптации видов растений на границе ареалов. Минск: Наука и техника, 1980. – 208 с.
191. Петров Е.Г. Водный режим и продуктивность лесных фитоценозов на почвах атмосферного увлажнения. - Минск: Наука и техника, 1983. - 213 с.
192. Пидопличко А.П., Горбутович Г.Д., Канойко М.А., Лопотко М.З. Торфяные и сапропелевые месторождения // Проблемы Полесья: Сб. ст. / АН БССР, Науч. совет АН БССР по проблемам Полесья. – Минск: Наука и техника, 1972. – Вып. 1. – С. 292–313.
193. Писанов В.С. Влияние подтопления на продуктивность сосны в лишайниковом типе леса // Лесной журнал. – 2000. – № 1. – С. 16–22.
194. Плотников В.В. Эволюция структуры растительных сообществ. - М.: Наука, 1979. – 275 с.
195. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. – 2-е испр. и доп. изд. – Киев: Изд-во АН УССР, 1955. – 456 с.
196. Подзоров Н.В. Влияние задымления атмосферного воздуха на прирост сосны по диаметру // Лесной журнал. – 1973. – № 2. – С. 167–165.

197. Покальнис Р.Ю. Бессточные болота как объекты дендрохронологических исследований: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 139.
198. Покровская Т.В. Долгосрочные прогнозы, атмосферная циркуляция и солнечная активность: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 11.00.09 / Глав. геофиз. обсерватория. – Л., 1967. – 31 с.
199. Покровская Т.В. Солнечная активность и климат // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли: Сб. ст. / АН СССР, Астрономический совет; Отв. ред. М.Н. Гневышев. – М.: Наука, 1971. – С. 12–32.
200. Побынов Б.Б. Учение о ландшафтах // Вопросы географии. – 1953. – № 33. – С. 38.
201. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. – М.: Наука, 1975. – 176 с.
202. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / АН СССР, Лаборат. лесоведения. – М.: Наука, 1974. – 191 с.
203. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. / Под ред. А.Н. Каштанова. – М.: Колос, 1983. – 336 с.
204. Раст Х. Вулканы и вулканизм / Пер. с нем. Е.Ф. Бурштейна. – М.: Мир, 1982. – 344 с.
205. Растительные ресурсы, изменение флоры и растительности под влиянием естественных и антропогенных факторов / Голод Д.С., Пугачевский А.В., Пуховский А.С., Моложавский А.А. // Состояние природной среды Беларуси: Экол. бюл. – Минск: Королёв и др., 1997. – С. 153–185.
206. Рахтеенко А.И., Савельев В.В., Пискунов В.С. Повышение продуктивности сосновых насаждений в условиях Белоруссии путем внесения удобрений: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 134.
207. Ровинский Ф.Я., Афанасьев М.И., Бурцева Л.В., Егоров В.И. Фоновое загрязнение природных сред на Евразийском континенте // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды: Труды II Междунар. симпозиума СССР, Тбилиси, 12–17 окт. 1981 г. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – С. 106–113.
208. Ровинский Ф.Я., Егоров В.И., Пастухов Б.В., Черханов Ю.П. Фоновое содержание озона, пыли, соединений азота и серы в атмосфере (по мировым данным) // Мониторинг фонового загрязнения природных сред: Сб. ст. / Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, АН СССР, Лаборат. мониторинга прир. среды и климата; Под ред. Ю.А. Израэля. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – Вып. 1. – С. 3–14.
209. Рожков А.А., Казак В.Т. Устойчивость лесов / Ред. Т.А. Руденко. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
210. Романова Е.А. Геоботаническая основа гидрологического изучения верховых болот. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 231 с.
211. Романова М.Л. Временные ассоциации сосняков мшистых как эталон развития не нарушенных фитоценозов // Охраняемые природные территории и объекты Белорусского Поозерья: современное состояние, перспективы развития: Тез. докл. науч. – практ. конф., Витебск, 25–27 ноября 1997 г. – Витебск: Изд. Витеб. гос. ун-та, 1997. – С. 120–122.
212. Рубин Б.А. Курс физиологии растений. – М.: Высшая школа, 1976. – 576 с.
213. Русаленко А.И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность / АН БССР, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск: Наука и техника, 1986. – 236 с.
214. Сабиров Р. В., Железников Ю. Ф. Дендроклиматический анализ основных лесобразующих пород учебно-опытного лесхоза ПСХИ // Повышение продуктивности лесов Дальнего Востока: Сб. науч. тр. / Примор. с.-х. ин-т. – Уссурийск: ПСХИ, 1981. – С. 30–33.
215. Савва Ю.В., Ваганов Е.А. Адаптация сосны обыкновенной к изменению климатических условий: Докл. РАН / Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН. – М.: Наука, 2002. – Т. 385. – №1. – С. 135–138.

216. Саввова Ю.В. Влияние климатических факторов на динамику радиального прироста географических культур южной тайги Красноярского края // Основные закономерности глобальных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири: Сб. ст. / ИАЭТ СО РАН. - Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2002. – Вып. 1. – С. 376–382.
217. Сазонов Б.И., Логинов В.Ф. Солнечно-тропосферные связи. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 115 с.
218. Сарнацкий В.В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. – Минск: Тэхналогія, 2009. – 334 с.
219. Сачок Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов / АН БССР, Ин-т геохимии и геофизики. – Минск: Наука и техника, 1980. – 222 с.
220. Сватков Н. М. Земное зеркало Солнца (очерк истории палеотемпературы Земли). – М.: Мысль. – 1979. – 119 с.
221. Сидорович Е.А., Рупасова Ж.А., Бусько Е.Г. Функционирование лесных фитоценозов в условиях антропогенных нагрузок / Белор. ком. по прогн. ЮНЕСКО «Человек и биосфера», Центр. бот. сад АН БССР. – Минск: Наука и техника, 1985. – 205 с.
222. 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, 1970. – Ч.1. – С. 5–14.
223. Смоляк Л.П. Болотные леса и их мелиорация / АН БССР, Ин-т эксперим. ботаники; Под ред. акад. И.Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1969. – 210 с.
224. Смоляк Л.П., Болботунов А.А., Романов В.С., Влияние рельефа на изменчивость радиального прироста сосны // Дендрохронология дендроклиматология: Матер. совещ., Иркутск, 1983 г. / Отв. ред. Л.А. Кайрюкшис и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1986. – С. 114–122.
225. Смоляк Л.П., Петров Е.Г. Водное питание и продуктивность сосновых фитоценозов / Под ред. акад. И.А. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1978. – 184 с.
226. Сосняки Беларуси. Ретроспектива и перспектива / Киселёв В.Н., Яротов А.Е., Матюшевская Е.В., Митрахович П.А. // Лесное и охотничье хозяйство. – 2004. – № 1. – С. 22–27.
227. Сравнительная характеристика дендрокольцевых хронологий в «Островных» нахождении ели и сосны на верховых болотах Белорусского Полесья / Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В., Яротов А.Е., Митрахович П.А. // Региональная география: проблемы развития и преподавания: Материалы Междунар. науч. –практ. конф., Могилёв, 10–13 марта 2004г. – Могилёв, 2004. – С. 97–99.
228. Столпянский И. Девять губерний Западно-Русского края: В топогр., геогност., стат., экон., этногр. и ист. отношениях / Н. Столпского; Изд. В. Дерикера. – Спб.: Тип. Гогенфельдена и К°, 1866. – XVI, 200 с.
229. Стоянов Г.А. Своеобразное разрастание корней сосны при наличии ортзандовых прослоек в почве // Ботанический журнал. – 1951. – № 6. – С. 36.
230. Стравинскене В.П. Дендроклиматический анализ прироста деревьев в гидромелиоративных лесах Литовской ССР: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лес. хоз-ва. – М., 1981. – 21 с.
231. Стравинскене В.П. Изменения радиального прироста избыточно увлажнённых лесов в связи с циклической изменчивостью климата в Литовской ССР // Роль науки в создании лесов будущего: Тез. докл. на Всесоюз. конф. молодых учёных, посвящ. XXVI съезду КПСС, Пушкино Моск. обл., 5–7 мая 1981 г. – Л.: Лен НИИЛХ, 1981. – С. 49–50.
232. Таранков В.И., Мамонов Д.Н., Колычев И.А. Особенности прогноза динамики прироста в зеленомошных сосняках Иркутской области. – Воронеж: Изд-во ВЛИ, 1992. – С. 5.
233. Тарасов А.И. Связь изменчивости годичного прироста сосны по толщине со степенью угнетения деревьев: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии

«Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 146.

234. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / АН Беларуси, Центр. бот. сад; Под общ. ред. Е.А. Сидоровича. – Минск: Наука і тэхніка, 1995. – 319 с.

235. Тимофеев А.В. Динамика прироста сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) под влиянием естественных и антропогенных факторов в условиях лесостепного Поволжья: Автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 25.00.23 / С. – Петерб. гос. ун-т. – СПб., 2003. – 18 с.

236. Тихомиров Ф.А. Действие ионизирующих излучений на экологические системы. – М.: Атомиздат, 1972. – 174 с.

237. Усова Д.А. Особенности сезонного прироста сосны в связи с метеорологическими условиями Архангельской области: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 105–106.

238. Федюков В.И., Рубцов В.Г. Влияние гидромелиорации и фактора климата на рост суходольных древостоев в условиях южной тайги Камско-Вятского междуречья // Лесоведение. – 1981. – № 1. – С. 12–19.

239. Фильрозе Е.М., Гладушко Г.М. Способ проявления границ и структуры годичных колец // Дендрохронология дендроклиматология: Матер. совещ., Иркутск, 1983 г. / Отв. ред. Л.А. Кайрюкшпис и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1986. – С. 68–71.

240. Фогель Г.А., Чернавская М.М. Зависимость прироста годичных колец сосны от изменения климатических условий // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. по вопросам дендрохронологии, Свердловск, 29–31 мая 1990 г. / УрО АН СССР, Ин-т экологии растений и животных, Дендроклимат. комис. АН СССР при науч. совете «Биол. основы рацион. использ., преобразования и охраны раст. мира»; Отв. ред. С.Г. Шиятов. – Свердловск, 1990. – С. 152–153.

241. Фомин Ф.И. Опыт районирования семенного хозяйства обыкновенной сосны на основе изучения её климатических экотипов: Сб. науч. тр. / ЦНИИ лесного хоз-ва. – Л.: Гослестехиздат. – 1940. – 46 с.

242. Хантемиров Р.М., Горланова Л.А., Шиятов С.Г. Тысячелетняя древесно-кольцевая реконструкция климатических событий на полярном Урале // Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы междунар. конф., Пушино, ноябрь 2002 г. / Пушин. научн. центр Рос. акад. наук. – Пушино, 2002. – С. 137–138.

243. Харин Ю.С., Абрамович М.С., Милитин В.И. Компьютерный учебник по статистике. – Минск: БГУ, 2000. – 184 с.

244. Хвойные леса Беларуси и вулканические извержения / Яротов А.Е., Киселёв В.Н., Матюшевская Е.В., Митрахович П.А. // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивости использования биологического разнообразия: Материалы II Респ. науч.-практ. конф., Минск, 1–2 дек. 2004г. / УИЦ БГПУ. – Минск, 2004. – С. 49–50.

245. Хромова Л.В., Романовский М.Г., Духарев В.А. Частичная стерильность сосны 1986 и 1987гг. в зоне Чернобыльской АЭС // Радиобиология. – 1990. – Т. 30. – Вып. 4. – С. 450–457.

246. Чанг Конг Тау, Гинзбург М.Е. Влагообеспеченность сосновых культур на песчаных почвах на Аргединских песках // Почвоведение. – 1972. – № 4. – С. 83–88.

247. Чибисов Г.А., Москалёва С.А., Жариков В.М. Динамика ширины годичного слоя и анатомических показателей древесины сосны в связи с методами рубок ухода в Архангельской области: Материалы III Всесоюз. конф. по дендроклиматологии «Дендроклиматические исследования в СССР», Архангельск, 4–6 июля 1978 г. – Архангельск: АЛТИ, 1978. – С. 167.

248. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь / Изд. 2-е. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.

249. Чубанов К.Д., Киселёв В.Н., Бойко А.В. Природная среда в зонах влияния промышленных центров: Сосновые леса Белоруссии / АН БССР, Центр. бот. сад. – Минск: Наука и техника, 1989. – 179 с.



250. Шведов Ф.Н. Дерево как летопись засух // Метеорологический вестник. – 1892. – № 5. – С. 15–20.
251. Шингарева–Попова Н. С. Влияние водного режима почвы на возобновление в некоторых типах леса осинорошинской дачи Парголово лесничества: Труды по лесному опытному делу. – Л., 1930. – № 6. – С. 27–34.
252. Шипунов Ф.Я. Организованность биосферы. – М.: Наука, 1980. – 291с.
253. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А. Методические основы организации системы дендроклиматического мониторинга в лесах азиатской части России // Сибирский экол. журнал. – 1998. – Т. 5. – № 1. – С. 31–38.
254. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / Отв. ред. П.Л. Горчаковский; АН СССР, Урал. науч. центр, Ин-т экологии растений и животных – М.: Наука, 1986. – 135с.
255. Шиятов С.Г. Дендрохронология её принципы и методы // Записки Свердл. отд. ВБО. – 1973. – Вып. 6. – С. 53–81.
256. Шиятов С.Г. К методике расчёта индексов прироста деревьев // Экология. – 1970. – № 3. – С. 85–87.
257. Шиятов С.Г. Климатически обусловленные колебания радиального прироста древесных растений на Приобском Севере // Структура и функционирование биогеоценозов Приобского Севера: Сб. ст. / АН СССР, Урал. науч. центр. – Свердловск, 1981. – С. 45–53.
258. Шиятов С.Г., Комин Г.Е. Итоги дендрохронологических исследований в восточных районах страны за 1968-1982 гг. и перспективы их развития // Дендрохронология дендроклиматология: Матер. совещ., Иркутск, 1983 г. / Отв. ред. Л.А. Кайрюкшис и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-е, 1986. – С. 3–19.
259. Шкляр А.Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве. – Минск: Вышэйшая школа, 1973. – 430 с.
260. Шлейнис Р.И., Вербила В.В. Роль минеральных удобрений в повышении производительности подзолистых песчаных почв сосновых насаждений // Пути и методы лесорастительной оценки почв и повышения их продуктивности: Тез. докл. Всесоюз. совещ., Пушкино Моск. обл., 10–11 апр. 1980 г. – М.: ВНИИЛМ, 1980. – С. 84–92.
261. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажнённости материков северного полушария. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – 337 с.
262. Шурикова В. И. Изменение биомассы и продуктивность насаждений в зависимости от глубины залегания глея // Вопросы почвоведения и продуктивность насаждений: Сб. работ / Моск. лесотехн. ин-т; Отв. ред. С.С. Соболев. – М., 1970. – Вып. 33. – С. 73–78.
263. Эндрю П. Ингерсол. Атмосфера Земли. / В мире науки: Scientific American: издание на русском языке. М.: Мир, 1983. – С. 88–101.
264. Юркевич И.Д. Гельтман В.С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. – Минск: Наука и техника, 1965. – С. 228.
265. Юркевич И.Д., Голод Д.С., Адерихо В.С. Растительность Белоруссии, её картографирование, охрана и использование. – Минск: наука и техника, 1979. – 288 с.
266. Юркевич И.Д., Голод Д.С., Парфенов В.И. Типы и ассоциации еловых лесов (по исследованиям в Белдоруссии). Минск: наука и техника. 1971. – 352 с.
267. Якубец Ю.В., Гамбурцев А.Г. Цикличность как всеобщее свойство природы // Вестн. РАН. – 1996. – Т. 66. – № 8. – С. 729–735.
268. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) и её сообщества в условиях атмосферного загрязнения на Европейском Севере: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук: 03.00.05 / АН Рос. Федерации, Ботан. ин-т. – СПб., 1994. – 36 с.
269. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / Рос. акад. наук, Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. – СПб.: Изд-во НИИ химии С.–Петерб. гос. ун-та, 1997. – 210 с.

270. Яротов А. Е. Исследование радиального прироста сосны обыкновенной как индикатора изменения экологической среды г. Могилёва // Региональная география: проблемы развития и преподавания: Сб. науч. статей / Под ред М.И. Вишневого. – Могилёв: МГУ им. А.А. Кулешова, 2004. – С. 209–210.
271. Яротов А.Е. Дендрохроноклиматический анализ радиального прироста сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения // Теоретические и прикладные аспекты оценки изменений климата и использования климат. ресурсов: Тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 31 окт.-3 ноября 2000г. / БГУ, Ин-т проблем использования прир. рес. и экологии АН Беларуси, Гос. ком. по гидрометеорологии. – Минск: БГУ, 2000. – С. 151–153.
272. Яротов А.Е. Изменчивость радиального прироста сосны на автоморфных почвах территории Беларуси / География в XXI веке: проблемы и перспективы: Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию географического факультета БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004г. / БГУ – Минск: Квадрограф, 2004. – С. 115–116.
273. Яротов А.Е. Использование лесных насаждений верховых болот для дендроиндикации природных условий Белорусского Полесья // Влияние антропогенных факторов на состояние и динамику экосистем Полесья: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 14–15 ноября 2001г. / Брестский госуниверситет; гл. ред. Е.Н. Мешечко. – Брест: БрГУ, 2001. – С. 92–93.
274. Borycka J., Stopa–Borycka M. Natural and anthropogenic changes of climatic in Europe // *Acta Univ. Carol. Geogr.* – 1997. – Vol. 32. – P. 57–64.
275. Douglass A.E. A study of the annual rings in relation to climate and solar activity. – 1928. – Vol. 2. – P. 736–770.
276. Douglass A.E. Climatic cycles and tree growth. – Wash. Publ., 1936. – Vol. 3. – 289 p.
277. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. Stahle D. W., Arrigo K. D., Krusic P. J. e. a. // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* – 1998. – Vol. 79, № 10. – P. 2137–2152.
278. Fritts H.C. Tree-Ring Analysis «*Transactions of the American Geophysical Union*», Vol. 50. – 1969.
279. Fritts H.C. Tree rings and climate. – Academic Press Inc. (London) Ltd., 1976. – 567 p.
280. Huber B. Beitrage zur Methodik der Zahringschronologie // *Holzworschung*. – 1952. – Bd. 6. – № 3. – S. 33–37.
281. Huttel R.T., Schneider B.U., Farrell E.P., Forest of temperate region gaps in knowledge and research needs // *Forst. Ecol. Management*, 2000. V. 132. – P. 83–96.
282. Keller T. Zum Nachweis einer Umweltbelastung durch Luftverunreinigungen // *Schweiz. Z. Forstwesen*. – 1982. – Vol. 133. – № 10.
283. Larsen C.P.S., MacDonald G.M. Relations between tree-ring widths climate, and annual area burned in the boreal forests of Alberta. // *Can. J. Forests res.* – 1995. – Vol. 25, № 11. – P. 1746–1755.
284. Lyly Olavi, Saksa Timo Pituuskasvun vaintelu ja puuluokkien eriytyminen nuorena istutusmannikissa. – *Folia forest.*, 1982, 532, – S.11.
285. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich Peter B., Adaption to changing environmentis Scots pine across a latitudinal gradient // *Silva fenn.* – 1998. – 32, №2. – P. 129–140.
286. Oswalt W.H/ Volcanbic activity and Alaskan spruce growth in A. D. 1783. / *Sciens*, 1957. Vol. 126, N 3279. – P. 928–929.
287. Rathegeber Cyrille, Nicault Antoine, Guiot Joel, Keller Thierry, Guibal Frederic, Roche Philip // *Clobal and Planet change*. 2000. – Vol. 26, № 4. – P. 405–421.
288. Rehfuess R.E. Review of forest decline reseach activities and results in the Ftdtral Republic of Gtrvany. / *Environ. Sci. and Health*. 1991. N 3. – P. 415–445.
289. Zaher R., Saucier J., Myers R.R. Tree-ring model interprets growth deceine in natu ral stands of loblolly pine in the southeastern United Steates // *Can. J. Forest res.* – 1989. – Vol. 19, №5 – P. 612–621.

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	4
1.1 Зональная принадлежность территории Беларуси с позиций климатогенно-ривалитатной теории .....	4
1.2 Использование ландшафтной привязке в лесоводстве в связи с периодическим усыханием ели .....	6
1.3 Факторы среды в изменчивости радиального прироста ели .....	10
1.4 Факторы среды в изменчивости радиального прироста сосны .....	13
1.5 Методика исследования.....	24
<b>2. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ</b> .....	31
2.1 Актинометрическая индикация состояния атмосферы над Минском за последние 50 лет .....	31
2.2 Состояние атмосферы над Белорусским Полесьем за последние 50 лет (по наблюдениям на метеостанции Василевичи).....	39
2.3 Особенности состояния атмосферы над Белорусским Поозерьем .....	45
2.4 Изменение температуры и осадков .....	53
<b>3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ</b>	

<b>НА ВЕРХОВЫХ БОЛОТАХ</b> .....	65
3.1 Периодичность пожаров на верховых болотах Белорусского Полесья .....	65
3.2 Верховые болота как индикатор изменчивости природной среды в восточной части Белорусского Полесья в XVIII–XX веках .....	69
3.3. Радиальный прирост сосны на верховом болоте в западной части Полесья вне зоны влияния мелиоративной сети на уровенный режим грунтовых вод .....	73
3.4 Радиальный прирост сосны на верховом болоте мелиорированного водосбора в Полесье .....	78
3.5 Радиальный прирост сосны на верховом болоте в центральной части Беларуси в изменяющихся климатических условиях .....	82
3.6 Климатический отклик сосны на верховых болотах на западе подзоны грабово–дубово–темнохвойных лесов .....	85
3.7 Дендроклиматический мониторинг лесных верховых болот на северо–западе подзоны дубово–темнохвойных лесов .....	91
3.8 Особенности радиального прироста сосны в омбротрофноболотно–лесном экотоне .....	94
<b>4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ В ИЗМЕНЧИВОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ЕЛИ И СОСНЫ В XIX И XX ВЕКАХ</b> .....	99
4.1 Влияние вулканических извержений на хвойные леса Беларуси .....	99
4.2 Радиальный прирост сосны на автоморфных почвах Белорусского Полесья .....	109
4.3 Ель и сосна в лесопарках Минска и Могилева .....	113
4.4 Межландшафтные различия в реакции ели на изменчивость климатических факторов .....	118
4.5 Радиальный прирост островных ельников Припятского Полесья .....	127
4.6 Ельники Брестского Полесья в изменяющихся климатических условиях .....	132
4.7 Сравнительный анализ радиального прироста сосны на автоморфных почвах Полесья и Поозерья .....	136
4.7.1 Характеристика тест–полигонов .....	136
4.7.2 Дендрохронологический анализ изменчивости радиального прироста .....	140
4.7.3 Дендроклиматический анализ изменчивости радиального прироста .....	147
4.8 Изменчивость радиального прироста сосняков черничных в Белорусском Полесье .....	153
4.9 Радиальный прирост сосняков черничных в национальном парке «Браславские озера» и на геостанции «Западная Березина» .....	162
4.10 Общие закономерности роста и развития сосновых лесов на территории Беларуси .....	174
4.11 Переломные моменты в многолетней изменчивости радиального прироста хвойных пород на территории Беларуси .....	179
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	182
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	184

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

Научное издание

**КИСЕЛЕВ** Виктор Никифорович  
**МАТЮШЕВСКАЯ** Екатерина Викторовна  
**ЯРОТОВ** Алексей Евгеньевич  
**МИТРАХОВИЧ** Петр Анисимович

**ХВОЙНЫЕ ЛЕСА БЕЛАРУСИ  
В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ  
(дендроклиматический анализ)**

Монография

Печатается в авторской редакции

Технический редактор *Гавриленко В.Г.*

Подписано в печать 15.04.2010. Формат 60x84 1/8 Бумага офсетная  
Гарнитура Roman. Печать цифровая Усл.печ.л. 25.2 Уч.изд.л. 25,3  
Тираж 100 экз. Заказ № 983  
ИООО «Право и экономика» Лицензия ЛИ № 02330/0494335 от 16.03.2009.  
220072 Минск Сурганова 1, корп.2. Тел. 284 18 66, 8 029 684 18 66.  
Отпечатано на настольно-издательской системе XEROX  
В ИООО «Право и экономика»