

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОСТА ЕЛИ В КУЛЬТУРАХ С ИНТЕНСИВНЫМИ РУБКАМИ УХОДА

Д.Е. Румянцев¹, В.М. Сидоренков², О.В. Фатеева², А.А. Ткачева¹

¹ФГБОУ ВО «Мытищинский филиал Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана»,

²ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации
лесного хозяйства»

Особенности лесного хозяйства как отрасли сельского хозяйства подразумевают долговременный период планирования технологического цикла выращивания культивируемых растений. В связи с этим даже относительно медленно протекающие изменения климата могут вносить коррективы в успешность реализации запланированных мероприятий. В статье излагается часть результатов исследований в лесных культурах опытного объекта Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства. Опыт заключался в интенсивном проведении рубок ухода для целей интенсивного плантационного выращивания культур ели европейской. Для исследований были использованы методы дендрохронологии и дендроклиматологии. Авторы представляют результаты дендрохронологической реконструкции хода роста по диаметру в опыте и на контроле, сопоставляют динамики текущего годовичного радиального прироста в опыте и на контроле, приводят результаты дендроклиматического анализа, выполненного методом климаграмм. Сделан вывод об отсутствии выраженного вклада повышенных температур воздуха в формирование минимумов прироста у ели в исследуемых культурах. Однако при этом недостаток осадков в феврале, марте и главным образом в мае, июне, июле оказывает сильно выраженное негативное влияние на рост ели. Анализ многолетней динамики сумм осадков мая, июня и июля позволяет сделать вывод об отсутствии выраженных трендов на понижение количества осадков в рассматриваемые месяцы. Это дает возможность считать, что сценарий катастрофического ухудшения условий роста в культурах ели по мере изменения климата пока не имеет под собой оснований. Однако не исключено, что возрастание частоты засух может иметь место в последующие периоды времени.

Ключевые слова: ель европейская, плантационные культуры, дендрохронология, прогноз роста, дендроклиматология.

DENDROCLIMATIC ANALYSIS OF SPRUCE GROWTH IN CROPS WITH INTENSIVE CARE FELLING

D.E. Rumiantsev¹, V.M. Sidorenkov², O.V. Fateeva², A.A. Tkacheva¹

¹Mytishi Branch of Bauman Moscow State Technical University,

²All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry

Due to the distinctive characteristics of forestry as an agriculture sector, the technological cycle of growing cultivated plants must be planned out over a long period of time. In this regard, even relatively gradual climate change may influence how effectively the intended activities turn out. The article includes some of the findings from research on forest crops conducted at the All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry's experimental plot. The experience involved intensive care felling of trees in order to grow European spruce crops in plantations. Dendrochronology and dendroclimatology research techniques were used. The article presents the results of dendrochronological reconstruction of the course of growth in diameter in the experiment and on the control, compares the dynamics of the current annual radial growth in the experiment and on the control, and presents the results of dendroclimatic analysis performed by the method

of climagrams. It is concluded that in the studied cultures, increased air temperatures did not significantly contribute to the development of the growth minimum in spruce. However, the lack of precipitation in February, March, and primarily in May, June, and July has a significant negative impact on spruce growth. According to an analysis of the long-term dynamics of precipitation amounts in May, June, and July, there are no evident trends for a decrease in precipitation in the months under study. This suggests that the concept of a catastrophic degradation of spruce crop development conditions due to climate change is not yet supported. However, it's feasible that following periods will see an increase in the frequency of droughts.

Keywords: *European spruce, forest plantations, dendrochronology, growth forecast, dendroclimatology.*

Введение

Реалии современного лесного хозяйства, на наш взгляд, все еще можно охарактеризовать высказыванием известного лесовода, академика АН УССР П.С. Погребняка (1968): «Практически у лесовода, если не считать сбора семян и селекционного воздействия, нет другого способа воспитывать деревья и древостои, кроме рубок ухода. Пила и топор – далеко не тонкие инструменты, но при умелом их использовании получают достойные восхищения результаты». Рубки ухода существенным образом модифицируют ход естественных процессов внутривидовой и межвидовой конкуренции в формирующемся древостое, а также ведут к изменению микроклиматической обстановки в фитоценозе, что отражается на всех его компонентах.

Исследования рубок ухода на основе анализа динамики параметров годичных колец имеют достаточно длительную историю. По-видимому, к первым отечественным системным работам такого рода следует отнести исследования К.Б. Лосицкого (1948), выполнявшиеся в период 1932–1939 гг. в дубравах Белорусской ССР. Им было показано существенное влияние вариантов ухода на прирост насаждений, в частности уход по верховому и комбинированному методу в древостоях IV и V классов роста способствует увеличению прироста по диаметру и запасу в 1,5-2,5 раза по сравнению с контрольными участками.

Подробные разносторонние исследования влияния рубок ухода на параметры годичных колец, таксационные показатели древостоев и микроклиматические условия среды в них были выполнены в системе Всесоюзного научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) (Савина, 1961). Объектами исследований были древостои сосны, дуба и осины в Московской, Костромской, Воронежской, Тульской области, а также в Татарской АССР. Установлено, что рубки ухода существенным образом изменяют в насаждениях температурный режим и влажность деятельного горизонта почвы. Так, в сосняках на супесчаных и песчаных почвах при выпадении снега на талую почву под пологом непрореженных высокополнотных насаждений почва промерзает глубже и сильнее, чем в прореженных насаждениях. Чем интенсивнее прореживание, тем существеннее эти изменения. Весной под пологом прореженных насаждений почва оттаивает на 5-10 дней раньше, чем под пологом непрореженных. Это ведет к более раннему установлению положительных температур в почве прореженных насаждений и ускоряет начало вегетации. Влажность почвы в течение вегетационного сезона, особенно весной, во многом зависит от температурного режима почвы и от количества осадков. При этом в непрореженных насаждениях более высокая влажность почвы сохраняется только в начале вегетационного периода вследствие замедления снеготаяния и более позднего оттаивания почвы. В дальнейшем соотношение влажности почвы изменяется. В первый год после рубок ухода в почве прореженных насаждений сохраняется больше влаги. В последующие годы по мере

разрастания крон деревьев в прореженных насаждениях влажность почвы в обоих насаждениях становится одинаковой. Рубки ухода также способствуют проникновению лучистой энергии под полог насаждений и обеспечивают равномерность освещения крон оставленных деревьев.

Таким образом, была зафиксирована существенная модификация микроклиматических параметров, которая дает основания предполагать существенные отличия по характеру влияния динамики климатических факторов на продуктивность древостоев при разных режимах рубок ухода, что может быть установлено для каждого конкретного объекта на основе дендроклиматического анализа.

Одной из главных задач рубок ухода является создание в лесу условий для уменьшения или полного устранения естественного отпада (Турский, 1982; Лосицкий, 1948). Это в свою очередь обеспечивает депонирование углерода в заготовленной древесине на этапе проходных рубок и прореживания, а также возможное замедление его эмиссии в атмосферу за счет использования низкотоварной древесины, получаемой при осветлениях и прочистках в качестве топлива (сырья для топлива, сырья для биотоплива) и экономии таким образом ресурсов ископаемых углеводородов. Увеличение прироста, обеспечиваемое рубками ухода, также увеличивает депонирование углерода из атмосферы. Исследование климатических условий в годы высокого и годы низкого прироста позволяет выявить климатические параметры, при которых депонирование углерода идет эффективно (либо неэффективно), определить климатические параметры, критически значимые для динамики продуктивности древостоев, и дать прогноз изменения продуктивности древостоя при разных сценариях изменения климата. Применение для этих исследований дендрохронологической информации позволяет ретроспективно получать длительные ряды наблюдений за динамикой продуктивности древостоев и исследовать влияния на этот процесс разнообразных экологических факторов, в том числе и такого фактора, как рубки ухода.

В настоящее время есть примеры эффективного использования дендрохронологической информации для оценки экологических и лесохозяйственных эффектов рубок ухода. Например, исследование коллектива архангельских авторов (Тюкавина и др., 2017) было выполнено в древостоях сосны обыкновенной. Авторы отмечают, что рубки ухода трудоемки и затратны, поэтому должна быть сформирована увязанная по срокам, интенсивности, периодичности программа рубок, которая позволит интенсифицировать лесное хозяйство. Теоретической основой оптимальных рубок ухода по целевым и экономическим функциям выступает изучение естественных механизмов роста деревьев разных категорий развития. Основным показателем реакции деревьев на «социальное» положение в древостое, климатические факторы, хозяйственные мероприятия является радиальный прирост. Целью рассматриваемого исследования была оценка влияния прореживаний на радиальный прирост сосны в средневозрастных насаждениях. Рубку прореживания проводили в 1993 г. по традиционной технологии верховым методом. Учетные площадки закладывали вблизи волока и в центре пасеки. У модельных деревьев на высоте 1,3 м отбирали керны перпендикулярно прорубленным волокам (по направлению запад-восток). Классы продуктивности определяли по относительному диаметру. Категории роста деревьев выделяли по индексам радиального прироста. После рубки прореживания достоверного изменения радиального прироста не произошло, хотя отмечалась положительная динамика, особенно у деревьев вблизи волока. Все исследуемые деревья понизили класс продуктивности. Через 20 лет после рубки часть

деревьев вблизи волока перешла в более высокий класс продуктивности, за исключением деревьев пятого класса. Отсутствие реакции у деревьев, относящихся к разным категориям роста, связано с тем, что рубки ухода на исследуемом выделе начали проводить сравнительно поздно, в 50-летних насаждениях. Отсутствие прочистки перед прореживанием привело к наличию 12 % сухостоя и депрессии в радиальном приросте. В результате проведенные рубки ухода стали лишь технической подготовкой для дальнейшей выборки деревьев.

Целью исследований другого коллектива авторов (Габделхаков и др., 2022) была оценка изменчивости радиального прироста у деревьев липы мелколистной в спелом древостое, пройденной рубкой ухода. Исследования проведены в насаждении липы снытевой группы типов леса в Башкирском Предуралье. Для оценки изменчивости радиального прироста липы были взяты керны на высоте 1,3 м с западной стороны ствола. Ширина шести последних годовичных колец измерена с помощью лупы с 10-кратным увеличением у 158 деревьев с точностью $\pm 0,01$ мм. Радиальный годовичный прирост показал высокую изменчивость для деревьев как в целом по годам, так и в пределах ступеней толщины. Однофакторным дисперсионным анализом установлено различие радиального годовичного прироста по годам. Корреляционным и однофакторным дисперсионным анализами установлено наличие достоверной связи между диаметром ствола и радиальным годовичным приростом. Отмечается наличие связи текущего радиального прироста с приростом предшествующего года, что свидетельствует об их изменчивости, в том числе, за счет внутренних факторов. Установлено статистически достоверное увеличение размера радиального годовичного прироста деревьев липы после проведения проходной рубки. Причем большую «отзывчивость» на проведение рубки ухода показали деревья центральных ступеней толщины.

На основании совокупности данных о влиянии рубок ухода на прирост можно утверждать, что радиальный прирост является ценным источником информации, чутко индицирующим отличия экологических эффектов при разных режимах рубок ухода в древостоях разных лесобразующих пород.

Цель и задачи работы

Целью данной работы был анализ влияния интенсивных рубок ухода на динамику радиального прироста в культурах ели европейской, а также специфику климатической обусловленности данного показателя. Для достижения этой цели решались задачи отбора кернов, описания учетных деревьев, построения древесно-кольцевых хронологий и статистической обработки данных.

Объект исследования расположен на территории Хотьковского лесничества, в Сергиево-Посадском районе Московской области. Это лесные культуры ели, заложенные Всероссийским научно-исследовательским институтом лесоводства и механизации лесного хозяйства (Рыбальченко, 2012). При выращивании культур использован интенсивный курс рубок ухода. Целью данных мероприятий было ускоренное выращивание культур ели для получения пиловочной древесины.

Материалы и методика исследований

В ходе работ было отобрано по 15 кернов древесины с 15 учетных деревьев в опыте и на контроле. Общий вид учетных деревьев отражают рисунки 1 и 2. Характеристика учетных деревьев приведена в таблице 1.

Средние таксационные показатели учетных деревьев

Вариант	Диаметр, см	Высота, м	Класс роста	Категория состояния
Среднее опыт	28	26	II	2
Среднее контроль	18	22	III	2



Рис. 1. Учетные деревья в опыте



Рис.2. Учетные деревья на контроле

На участке, где проводились рубки ухода, деревья имеют больший диаметр, большую высоту и более высокий класс роста. По среднему баллу лесопатологического состояния учетных деревьев исследуемые участки не отличаются.

Ширина годовичных колец была измерена на кернях с помощью микроскопа МБС-10, для контроля за правильностью измерений использовалась перекрестная датировка в программе GROWLINE (Липаткин, Мазитов, 1997). Статистическая обработка данных велась в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования

Использование дендрохронологического метода позволяет выполнить ретроспективную реконструкцию роста по диаметру. Для этого суммируются значения ширины годовичного кольца за весь период роста. Далее путем последовательного вычитания значений годовичных колец получают значение радиуса в каждом году, которое переводят в значение диаметра (без коры). Полученные таким образом кривые хода роста отражены на рисунке 3.

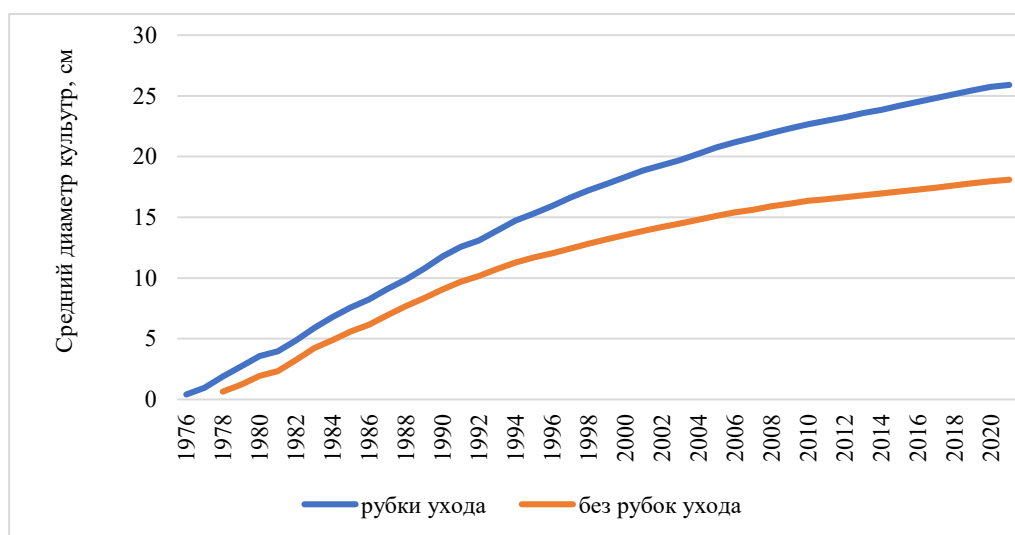


Рис. 3. Ход роста по диаметру культур ели в опыте и на контроле

В предыдущем исследовании был выполнен дендроклиматический анализ корреляционными методом (Румянцев и др., 2022). Для древостоя опыта (с интенсивными рубками ухода) установлено, что достоверные коэффициенты корреляции наблюдаются для среднемесячных температур июня и июля текущего года. Увеличение температуры отрицательно сказывается на приросте древесины. Также имеется достоверная связь с месячной суммой осадков июня и июля. Увеличение суммы осадков положительно сказывается на приросте древесины. В итоге следует заключить, что деревья ели в данном древостое демонстрируют высокую чувствительность к засухе в июне и июле, это отражается, в частности, таким индикатором, как характер колебания ширины годовичного кольца. Результаты корреляционного анализа древесно-кольцевой хронологии из древостоя, в котором не проводились рубки ухода, показали почти полное отсутствие достоверных коэффициентов корреляции. Наблюдается слабая (на границе порога достоверности) отрицательная связь с осадками февраля прошлого года, что, по-видимому, является случайным результатом. Однако в данном конкретном случае к результатам корреляционного анализа индексированных древесно-кольцевых хронологий нужно относиться с известной

долей осторожности. Проведение рубок ухода стимулирует увеличение радиального прироста в опыте, возникают локальные максимумы прироста неклиматической природы, точнее являющиеся итогом сочетания благоприятных климатических условий с благоприятными условиями светового и минерального питания в результате снижения внутривидовой и межвидовой конкуренции. В данной ситуации можно быть уверенным лишь в климатически обусловленной природе локальных минимумов прироста в опытном древостое. Сравнительную динамику ширины годичного кольца в двух древостоях отражают графики на рисунке 4.

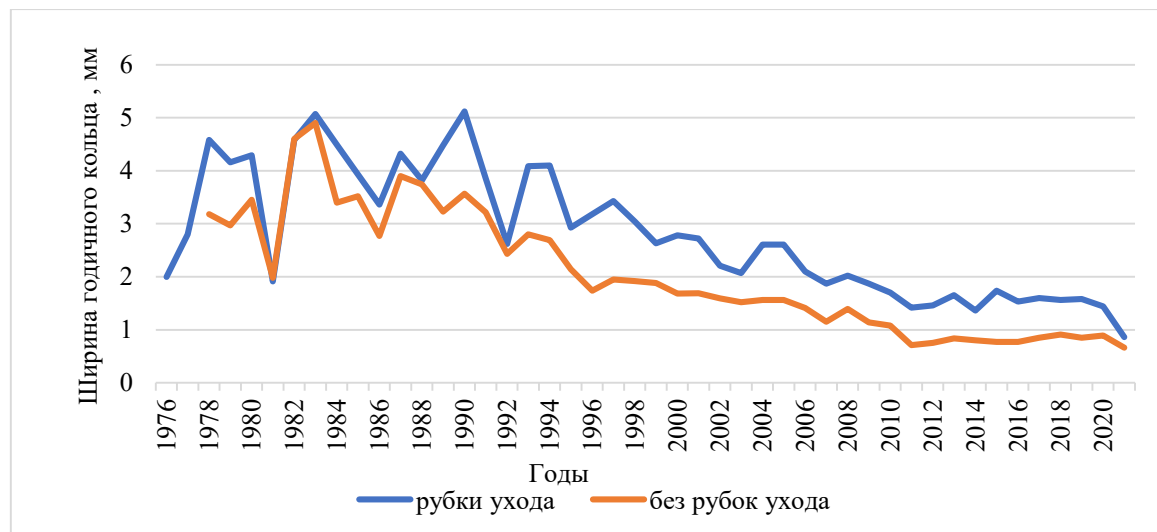


Рис. 4. Динамика средней ширины годичного кольца в исследуемых древостоях по годам

Анализируя колебания ширины годичного кольца в двух графиках и главным образом в графике из древостоя с рубками ухода, можно выделить годы локальных минимумов прироста: 1976, 1981, 1986, 1992, 1995, 2003, 2007, 2011. Далее были рассчитаны средние значения метеопараметров для этой группы (средние месячные суммы осадков; средние среднемесячные температуры воздуха) и эти данные были сопоставлены со среднемноголетними показателями за период 1949 -2019 гг. Результаты графически отражены на рисунках 5 и 6.

В итоге на основе анализа графиков следует сделать вывод об отсутствии выраженного вклада повышенных температур воздуха в формирование минимумов прироста у ели в исследуемых культурах. Однако при этом недостаток осадков в феврале, марте и главным образом в мае, июне, июле оказывает негативное влияние на рост ели. Хорошо известно, что прирост и характер влияния климатических факторов на динамику колебаний радиального прироста имеют очень сильную региональную специфику (Липаткин, Румянцев, 2007). Поэтому сопоставление результатов дендроклиматического анализа для разных районов и для разных локальных лесотипологических условий имеет ограниченную ценность. Ситуация усугубляется тем, что стандартная форма представления данных, характеризующая связь между приростом и метеопараметрами определенного месяца, на самом деле не дает полностью сопоставимой информации по причине некоторой сдвинутости в протекании фенофаз у ели, большей или меньшей для разных географических районов. Однако, с другой стороны, без такого сопоставления нельзя полностью обойтись, так как важно учитывать

неслучайность выявленных связей и иметь основания для большей уверенности в их физиологической обусловленности.

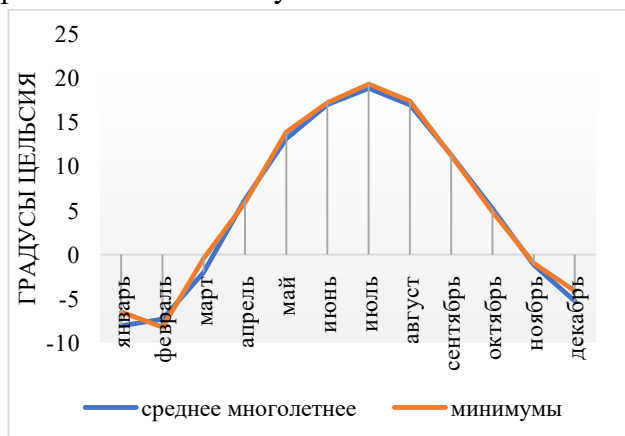


Рис. 5. Значения средних среднемесячных температур по месяцам

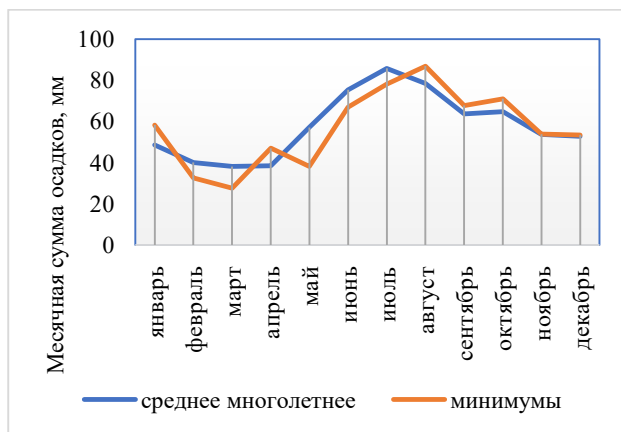


Рис. 6. Значения средних месячных сумм осадков по месяцам

В нашем случае полученные результаты в целом совпадают с данными польских ученых, установивших, что рост ели в северных районах Польши, положительно коррелирует с количеством осадков с мая по июль (Koprowski, Zielski, 2006). В условиях Баварии хронологии древостоев ели, расположенных в местообитаниях, имеющих низкую высоту над уровнем моря, также демонстрировали положительную связь между увеличением прироста и количеством осадков в марте, мае, июне и июле (Wilson, Hopfmueller, 2001). В то же время хронологии ели из местообитаний, расположенных высоко над уровнем моря, показали отрицательную корреляцию с количеством осадков с мая по июль.

Для прогноза успешности роста ели на исследуемом объекте важно попытаться предсказать динамику климатических показателей, критически значимых для роста ели. Временные ряды, отражающие динамику осадков в мае, июне и июле, вместе с линиями линейных трендов этих показателей представлены на рисунке 5.

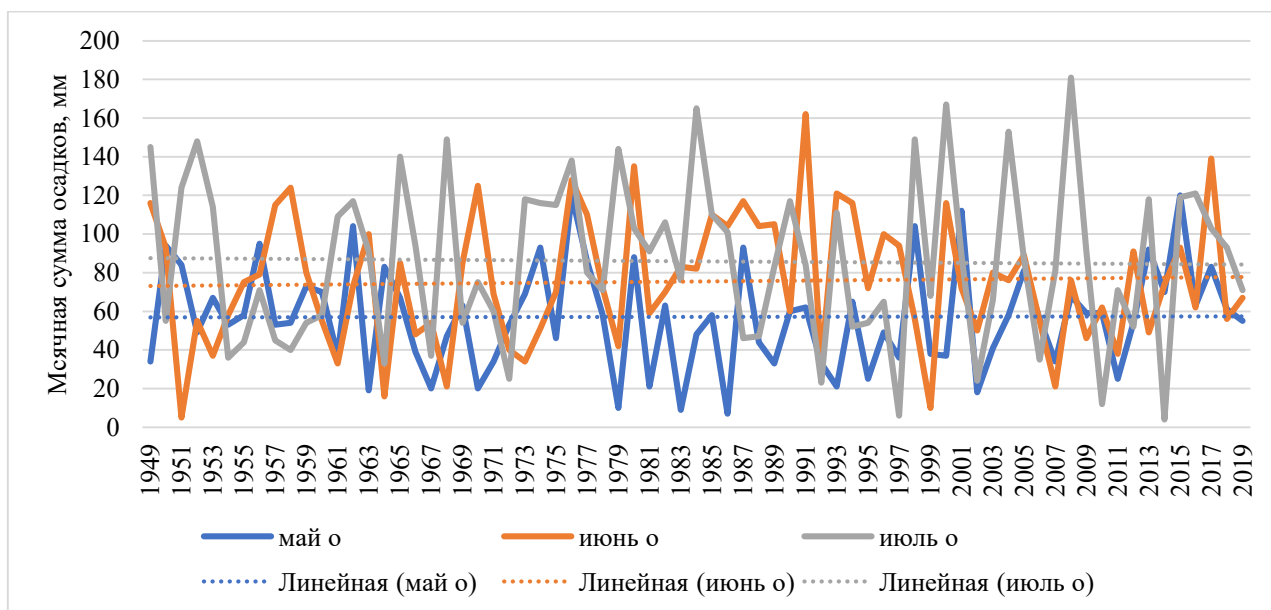


Рис. 7. Временные ряды месячной суммы осадков мая, июня, июля и их линейные тренды

Анализируя данные на графиках рисунка 7, следует отметить отсутствие выраженных трендов на понижение количества осадков в рассматриваемые месяцы. Это дает основания считать, что сценарий катастрофического ухудшения условий роста в культурах ели по мере изменения климата пока не имеет под собой оснований. Безусловно, засухи оказывают и будут оказывать негативное влияние на рост и состояние ели в культурах. Тем не менее, с учетом невыраженной реакции на изменения среднемесячной температуры и отсутствия выраженных трендов к снижению осадков в значимые для роста ели месяцы прогнозировать резкое ухудшение состояния еловых культур в связи с изменениями климата преждевременно. Однако не исключено, что возрастание частоты засух может иметь место в последующие периоды времени.

Выводы

Установлено, что таксационные показатели учетных деревьев ели в опыте выше, чем на контроле. Использование дендрохронологического метода позволило реконструировать ход роста по диаметру древостоя в опыте и на контроле. Как и следовало ожидать, с течением времени разрыв по средним значениям диаметров древостоя между опытом и контролем увеличивается. В итоге дендроклиматического анализа для опытного участка выявлены достоверные коэффициенты корреляции с отдельными метеопараметрами. Для контрольного участка достоверных биологически значимых коэффициентов не выявлено. Для успешного роста ели на опытном участке основную роль играет засушливость климата в июне и июле. Дендроклиматический анализ методом клиаграмм показал, что экстремально узкие кольца формируются в годы с недостатком осадков в марте, феврале, мае, июне, июле. Температуры (за исключением температур мая) почти не влияют на формирование экстремально узких годичных колец. Динамика осадков не имеет выраженных временных трендов, что не позволяет прогнозировать ухудшение состояния исследуемых насаждений в будущем в связи с изменениями климата. Однако необходимо иметь в виду, что насаждения вступают в возраст, наиболее благоприятный для повреждения короедом типографом, поэтому мониторинг динамики их состояния и признаков развития данного вредителя представляет собой отдельную исследовательскую задачу, связанную с оценкой влияния рубок ухода на устойчивость насаждений.

Библиографический список

1. Габделхаков А.К., Блонская Л.Н., Фазлутдинов И.И., Ябердина В.В., Мурзакаев Р.И. Изменчивость радиального прироста деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) // Российский электронный научный журнал. 2022. № 3 (45). С. 71-85. <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2022-45-3-71-85>.
2. Липаткин В.А., Мазитов С.Ю. Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. тр. Москва: МГУЛ, 1997. Вып. 288(1). С. 103-110
3. Липаткин В.А., Румянцев Д.Е. Влияние климатических факторов на прирост ели европейской в разных частях ареала // Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях. Москва: МГУЛ, 2007. С.101-113.
4. Лосицкий К. Б. Влияние рубок ухода на прирост леса в лесах БССР // Сборник работ по лесному хозяйству, вып. VII. 1948. С. 27-50
5. Погребняк П.С. Общее лесоводство. Москва: Колос, 1968. 440 с.
6. Турский М. К. Лесоводство. Москва: МГУ леса, 2000. 383 с. (репринт издания 1892 года)
7. Румянцев Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии. Москва: МГУЛ, 2010. 109 с.
8. Румянцев Д.Е., Фатеева О.В., Ткачева А.А. Влияние рубок ухода на радиальный прирост ели европейской в условиях Хотьковского лесничества Московской области // Материалы международной конференции «Цифровые технологии в лесной отрасли». Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2022. С. 1-6.

9. Рыбальченко Н.Г. Формирование искусственных насаждений ели промышленного назначения. Пушкино: ВНИИЛМ, 2012. 176 с.
10. Савина А. В. Физиологическое обоснование рубок ухода. Москва-Ленинград: Гослесбумиздат, 1961 – 97 с.
11. Тюкавина О.Н., Ильинцев А.С., Ершов Р.А. Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4 (358). С. 34-44.
12. Koprowski M., Zielski A. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centers in lowland Poland // *Trees*. 2006. Vol. 20. P. 383-390. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0051-9>
13. Wilson R., Hopfmueller M. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian Forest, Germany // *Dendrochronologia*. 2001. Vol. 19, № 1. P. 67-79.

References

1. Gabdelhakov A.K., Blonskaja L.N., Fazlutdinov I.I., Jaberina V.V., Murzakaev R.I. Izmenchivost' radial'nogo prirosta derev'ev lipy melkolistnoj (*Tilia cordata* Mill.) (Variability of the radial increment of small-leaved linden trees (*Tilia cordata* Mill.)) *Rossiiskij elektronnyj nauchnyj zhurnal*. 2022. No. 3 (45). P. 71-85. <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2022-45-3-71-85>.
2. Lipatkin V.A., Mazitov S.Ju. Perekrestnaja datirovka dendrokhronologicheskikh rjadov s pomoshh'ju PJeVM (Cross-dating of dendrochronological series using a PC). *Jekologija, monitoring i racional'noe prirodopol'zovanie: nauch. tr.* Moscow: MGUL, 1997. Vol. 288(1). P. 103-110.
3. Lipatkin V.A., Rumjancev D.E. Vlijanie klimaticheskikh faktorov na prirost eli evropejskoj v raznyh chastjah areala (Influence of climatic factors on the growth of European spruce in different parts of the range). *Dendrokhronologicheskaja informacija v lesovodstvennyh issledovanijah*. Moscow: MGUL, 2007. P.101-113.
4. Losickij K. B. Vlijanie rubok uhoda na prirost lesa v lesah BSSR (Influence of thinnings on forest growth in the forests of the BSSR). *Sbornik rabot po lesnomu hozjajstvu*, 1948. Vol. VII. P. 27-50.
5. Pogrebnjak P.S. Obshhee lesovodstvo (General forestry). Moscow: Kolos, 1968. 440 p.
6. Turskij M. K. Lesovodstvo (Forestry). Moscow: MGU lesa, 2000. 383 p.
7. Rumjancev D.E. Istorija i metodologija lesovodstvennoj dendrokhronologii (History and methodology of silvicultural dendrochronology). Moscow: MGUL, 2010. 109 p.
8. Rumjancev D.E., Fateeva O.V., Tkacheva A.A. Vlijanie rubok uhoda na radial'nyj prirost eli evropejskoj v uslovijah Hot'kovskogo lesnichestva Moskovskoj oblasti (Influence of thinnings on the radial growth of European spruce in the conditions of the Khotkovo forestry of the Moscow region). *Proc. Conf. Cifrovyje tehnologii v lesnoj otrasli*. Voronezh: VGLTU im. G.F. Morozova, 2022. P. 1-6.
9. Rybal'chenko N.G. Formirovanie iskusstvennyh nasazhdenij eli promyshlennogo naznachenija (Formation of artificial plantations of spruce for industrial use). Pushkino: VNIILM, 2012. 176 p.
10. Savina A. V. Fiziologicheskoe obosnovanie rubok uhoda (Physiological rationale for thinning). Moskva- Leningrad: Goslesbumizdat, 1961, 97 p.
11. Tjukavina O.N., Il'incev A.S., Ershov R.A. Vlijanie prorezhivaniy na radial'nyj prirost sosny obyknovennoj (The effect of thinning on the radial increment of scotch pine). *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2017. No. 4 (358). P. 34-44. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.34>.
12. Koprowski M., Zielski A. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centers in lowland Poland. *Trees*. 2006. Vol. 20. P. 383-390. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0051-9>
13. Wilson R., Hopfmueller M. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian Forest, Germany. *Dendrochronologia*. 2001. Vol. 19, No. 1. P. 67-79.