

Научная статья
УДК 630.561.24
EDN EMZQIB
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.01

Дендрохронологическое исследование роста культур ели с интенсивными рубками ухода в условиях Сергиево-Посадского района Московской области

Денис Евгеньевич Румянцев¹

доктор биологических наук

Виктор Михайлович Сидоренков²

кандидат сельскохозяйственных наук

Алена Александровна Ткачева³

Оксана Викторовна Фатеева⁴

Мария Алексеевна Мелихова⁵

Аннотация. В работе исследованы закономерности изменчивости радиального прироста в культурах ели европейской с интенсивными рубками ухода в условиях Сергиево-Посадского района Московской области. Культуры ели созданы как опытный объект ВНИИЛМ для изучения влияния рубок ухода на формирование древостоев ели, предназначенных для заготовки балансовой древесины. Выполнены дендрохронологические исследования особенностей роста ели в опыте и контроле. На основе такого индикатора, как доля поздней древесины в годичном кольце, исследовано качество древесины в опыте с рубками ухода и в контрольном древостое.

Ключевые слова: ель европейская, рубки ухода, лесоводственная дендрохронология, целевое выращивание древесины, прогноз реакции лесов на глобальное изменение климата.

Для цитирования: Румянцев Д.Е., Сидоренков В.М., Ткачева А.А., Фатеева О.В., Мелихова М.А. Дендрохронологическое исследование роста культур ели с интенсивными рубками ухода в условиях Сергиево-Посадского района Московской области. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2023. № 4. С. 5–20. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.01. <https://elibrary.ru/emzqib>.

¹ Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, доцент, профессор кафедры лесоводства, экологии и защиты леса (Мытищи, Московская область, Российская Федерация), dendro@mgul.ac.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, зам. директора (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), lesvn@yandex.ru

³ Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, магистрант (Мытищи, Московская область, Российская Федерация), alena.tkacheva1999@mail.ru

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ведущий специалист (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), fateevaoksana5@gmail.com

⁵ Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, магистрант (Мытищи, Московская область, Российская Федерация), melikhova2000@mail.ru

Original article

EDN EMZQIB

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.01

Dendrochronological Study of the Growth of Spruce Crops with Intensive Care Felling in the Sergiev Posad District of the Moscow region

Denis E. Rumyantsev¹

Doctor of Biological Sciences

Viktor M. Sidorenkov²

Candidate of Agricultural Sciences

Alyona A. Tkacheva³

Oksana V. Fateeva⁴

Maria A. Melikhova⁵

Abstract. The paper investigates the patterns of variability of radial growth in European spruce crops in the conditions of the Sergiev Posad district of the Moscow region. Spruce crops were created as an experimental object of VNIILM for the purpose of studying the impact of logging on the formation of spruce stands intended for harvesting balance wood. Dendrochronological studies of spruce growth features in the experiment and on the control were performed. On the basis of such an indicator as the proportion of late wood in the annual ring, the quality of wood was studied in the experiment with care felling and in the control stand.

Key words: Norway spruce, felling care, forestry dendrochronology, targeted cultivation of wood, forecast of the reaction of forests to global climate change.

For citation: Rumyantsev D., Sidorenkov V., Tkacheva A., Fateeva O., Melikhova M. Dendrochronological Study of the Growth of Spruce Crops with Intensive Care Felling in the Sergiev Posad district of the Moscow region. – Text : electronic // Forestry information. 2023. № 4. P. 5–20. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.01. <https://elibrary.ru/emzqib>.

¹ Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University, Associate Professor, Professor of the Department of Forestry, Ecology and Forest Protection (Mytishchi, Moscow region, Russian Federation), dendro@mgul.ac.ru

² Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Director (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), lesvn@yandex.ru

³ Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University, Master's Student (Mytishchi, Moscow region, Russian Federation), alena.tkacheva1999@mail.ru

⁴ Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Leading Specialist (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), fateevaoksana5@gmail.com

⁵ Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University, Master's Student (Mytishchi, Moscow region, Russian Federation), melikhova2000@mail.ru

Введение

Годичные кольца деревьев являются уникальным, часто безальтернативным, источником информации для ретроспективного исследования закономерностей роста древесных растений, оценки эффективности лесохозяйственных мероприятий, диагностики потребности деревьев в разного рода агротехнических уходах, а также прогноза реакции лесных насаждений на глобальное изменение климата [1–6]. При этом дендрохронологическая информация давно и достаточно результативно используется для изучения экологических эффектов от проведения рубок ухода [7–17]. Реалии современного лесного хозяйства, на наш взгляд, все еще можно охарактеризовать высказыванием известного лесоведа, академика П.С. Погребняка [18]: «Практически у лесоведа, 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 получаются 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 [7, 8, 18–20].

Исследования эффективности 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 [7], выполнявшиеся в 1932–1939 гг. в дубравах Белорусской ССР. Используя дендрохронологическую информацию, он показал существенное влияние вариантов ухода на прирост насаждений, в частности им установлено, что уход по верховому и комбинированному методам 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 ВНИИЛМ [8]. Так, было установлено, что рубки ухода существенно изменяют температурный режим и влажность верхнего плодородного горизонта почвы в насаждениях.

Одной из главных задач рубок ухода является создание в лесу условий для уменьшения или полного устранения естественного отпада [18, 20]. 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 сырья для топлива и биотоплива, и экономии таким образом ресурсов ископаемых углеводородов. Увеличение прироста, обеспечиваемое рубками ухода, также повышает депонирование углерода из атмосферы.

Исследование климатических условий в годы высокого и низкого прироста древесины позволяет выявить климатические параметры, критически значимые для динамики продуктивности древостоев, при которых депонирование углерода идет эффективно (либо неэффективно), и спрогнозировать 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 влияние на этот процесс разнообразных экологических факторов, в том числе и такого фактора, как рубки ухода.

Цель работы – проанализировать изменчивость радиального прироста в культурах ели (*Picea abies* (L.) H.Karst.) на территории Алексеевского участкового лесничества Сергиево-Посадского лесничества Московской обл. и оценить влияние рубок ухода на рост культур на основе дендрохронологической информации.

Для достижения цели были поставлены и реализованы следующие задачи:

- ✓ отбор образцов древесины, измерение ширины годичных колец и проверка правильности измерений методом перекрестной датировки;

- ✓ составление описания учетных деревьев на пробных площадях;
- ✓ статистическая обработка данных об изменчивости радиального прироста на опытном и контрольном участках;
- ✓ дендроклиматический анализ особенностей роста деревьев ели в опыте и контроле;
- ✓ исследование специфики формирования технических свойств древесины в опыте и контроле по соотношению ранней и поздней древесины в годичном кольце.

Результаты выполненных исследований ранее были частично опубликованы [21–23].

Объект и методы исследования

Исследования проведены в июле–августе 2021 г. Объект расположен на территории Сергиево-Посадского района Московской обл. – это лесные культуры ели, заложенные сотрудниками ВНИИЛМ в 1975 г. [19]. На момент исследований возраст культур составлял 46 лет. Географическое положение опытного объекта отражено на рис. 1.

Технология закладки культур ели европейской включала расчистку корчевателем полос шириной до 2,5 м, посадку лесопосадочной машиной СКЛ-1 саженцев рядами в полосы; размещение посадочных мест 0,75 × 5,5–9 м, густота посадки – 2 420 шт./га. Для исследования выбран

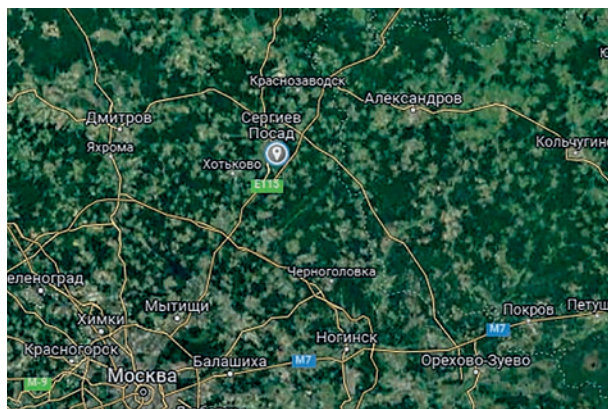


Рис. 1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОПЫТНОГО ОБЪЕКТА

участок с наиболее интенсивными рубками ухода. Здесь было проведено два осветления с полосным способом изреживания – рубка коридоров в возобновившемся на площади лиственном молодняке вдоль рядов культур; прочистка – прикатывание лиственного молодняка в междурядьях культур катком-осветлителем КОК-2; первое прореживание – срезание бензопилами оставшихся после прочистки в междурядьях деревьев лиственных пород, превышающих по высоте культуры ели.

Цель данных мероприятий – ускоренное выращивание культур ели для получения балансовой древесины. Для сопоставления был выбран контрольный участок, на котором ухода не проводили, а лесные культуры были заложены по той же технологии, что и в опыте.

В ходе полевых работ отобрано по 15 учетных деревьев (по ряд в одном ряду) на опытном и контрольном участках и составлено их таксационное описание. С каждого учетного дерева на высоте 1,3 м отобран керн древесины с помощью бурава Пресслера [24]. Керны помещали в бумажные пакеты, этикетировали и доставляли в лабораторию дендрохронологии МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Измерения ширины колец на кернах проводили на деревянных подложках с помощью микроскопа бинокулярного стереоскопического МБС-10. Перед измерением керн смачивали, зачищали лезвием бритвы и натирали порошком мела, что способствовало более четкому проявлению структуры годичных колец. Для контроля за правильностью измерений, наличием выпавших и ложных колец применяли процедуру перекрестной датировки в программе GROWLINE [25, 26].

Для дендроклиматического анализа были использованы временные ряды по таким метеопараметрам, как среднемесячные температуры воздуха и ежемесячные суммы осадков¹. Данные, характеризующие состояние учетных деревьев, приведены в табл. 1 и 2. Средний диаметр, средняя высота и средний класс роста у учетных деревьев в опыте выше, чем в контроле.

Общий вид объектов представлен на рис. 2–4.

¹ <http://www.pogodaiklimat.ru/history/27612.htm>.

Таблица 1. ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕТНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ОПЫТЕ С РУБКАМИ УХОДА

№ УЧЕТНОГО ДЕРЕВА	ДИАМЕТР, СМ	ВЫСОТА, М	КЛАСС РОСТА	КАТЕГОРИЯ СОСТОЯНИЯ
1	43	27	I	1
2	27	26,5	II	1
3	35	27	I	1
4	28	26,5	II	1
5	18	25	III	2
6	34	27	I	2
7	23	26	III	1
8	11	20	V	5
9	19	26	IV	2
10	34	27	II	1
11	33	27	I	1
12	34	27	I	2
13	27	26,5	I	1
14	27	26	II	2
15	31	26,5	I	1
Среднее	28,2	26,1	II,1	3,2

Таблица 2. ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕТНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В КОНТРОЛЕ

№ УЧЕТНОГО ДЕРЕВА	ДИАМЕТР, СМ	ВЫСОТА, М	КЛАСС РОСТА	КАТЕГОРИЯ СОСТОЯНИЯ
1	30	31	I	1
2	19	30	II	2
3	17	10	III	2
4	15	12	III	2
5	15	11	III	2
6	12	9	V	2
7	23	30	I	1
8	15	28	III	2
9	29	31	I	1
10	19	30	II	1
11	23	30	I	1
12	11	10	V	2
13	11	10	V	2
14	21	30	I	1
15	16	30	II	1
Среднее	15	15,1	II,7	2,6

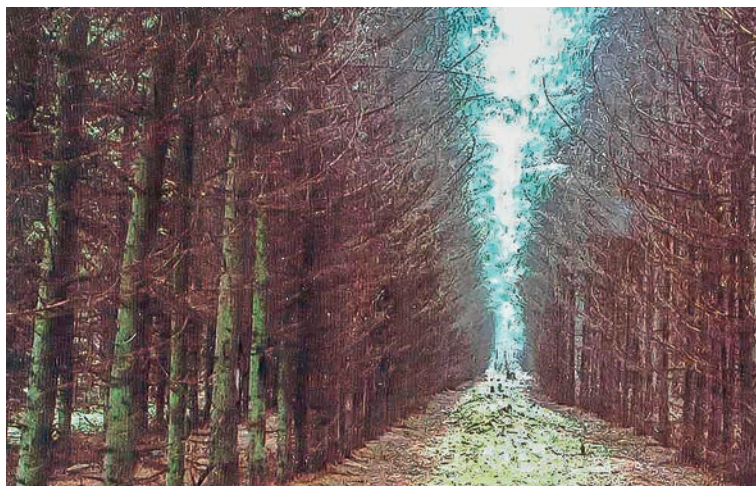


Рис. 2. АРХИВНОЕ ФОТО ОБЪЕКТА, ВОЗРАСТ КУЛЬТУР – ОКОЛО 20 ЛЕТ



Рис. 3. ОБЩИЙ ВИД УЧЕТНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В ОПЫТЕ С РУБКАМИ УХОДА



Рис. 4. ОБЩИЙ ВИД УЧЕТНЫХ ДЕРЕВЬЕВ НА КОНТРОЛЬНОМ УЧАСТКЕ

Результаты и обсуждение

На основе индивидуальных древесно-кольцевых хронологий была рассчитана средняя древесно-кольцевая хронология для опытного и контрольного участков. Как и следовало ожидать, проведение серии рубок ухода привело к увеличению текущего радиального прироста в древостое ели. После прореживания в 1992 г. он в среднем был в 1,65 выше, чем в контрольном древостое. Сопоставление кривых радиального

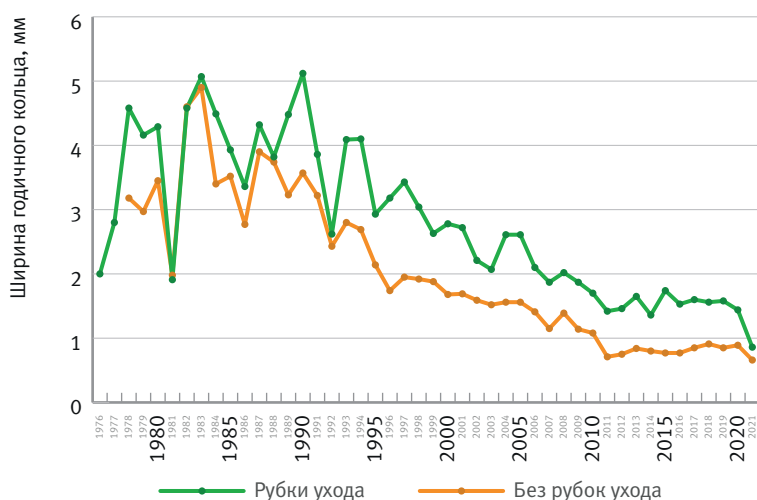


Рис. 5. Сопоставление динамики радиального прироста

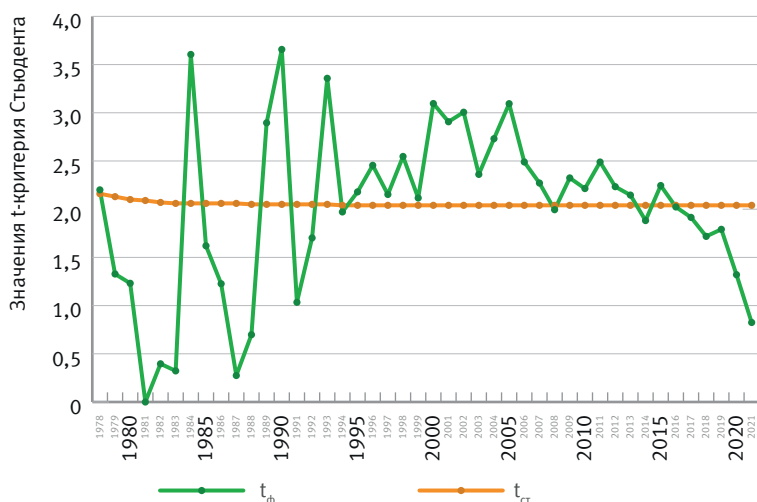


Рис. 6. Динамика достоверности различий по ширине годичного кольца для древостоя с проведенными рубками ухода и в контроле (t_{ϕ} — фактическое значение критерия Стьюдента; t_{ct} — стандартное значение критерия Стьюдента)

прироста для двух древостоев приведено на рис. 5. Как видно из графиков, на начальных этапах формирования древостоя с проведенным уходом тенденция к повышенному приросту по сравнению с контролем слабо выражена. Эффект повышения прироста проявляется в годы уходов, но он непродолжителен. Приблизительно после 1992 г. (это год сильной засухи) тенденция увеличения разницы прироста между вариантами становится более четко выраженной. В 1993–2020 гг. средняя ширина годичного кольца в древостое, пройденном рубками ухода, в 1,4–2,3 раза больше, чем в контроле.

Оценка достоверности различий по ширине годичного кольца проведена путем сопоставления фактического и стандартного значений t-критерия Стьюдента [27]. Важно отметить, что дендрохронологический материал обладает определенной спецификой для подобного рода оценок. Во-первых, временные ряды прироста имеют выраженный возрастной тренд, во-вторых, для разных лет в силу различного метеорологического режима и генетического разнообразия ценопопуляции такие оценки отличаются. Поэтому оценку достоверности различий по приросту необходимо проводить в динамике. Графики на рис. 6 отражают динамику фактического значения t-критерия Стьюдента (t_{ϕ}) и стандартного значения (t_{ct}). Стандартное значение имеет слабую динамику, связанную с изменением числа годичных колец в выборке для начальных лет.

Превышение значений t_{ϕ} над t_{ct} свидетельствует о достоверности различий по ширине годичного кольца между древостоем с проведенным уходом и контролем и, таким образом, об эффективности воздействия ухода.

В течение 44-летнего временного интервала достоверные различия наблюдаются для 24 лет, т. е. в 54 % наблюдаемых случаев. Следует отметить, что диаметр — это интегральная функция прироста, и важно, что по мере увеличения радиуса ствола одной и той же ширине годичного кольца соответствует разная площадь годичного кольца и разная биомасса ксилемы. У более толстых деревьев в опыте при одинаковом по ширине

годовом кольце прирост биомассы больше, чем у более тонких деревьев контроля.

Пики значений t-критерия Стьюдента соответствуют годам проведения рубок ухода: два осветления, прочистка и прореживание. Таким образом, этот метод пригоден для ретроспективного установления календарных дат рубок ухода в древостоях, год проведения которых неизвестен.

Использование дендрохронологического метода позволяет выполнить ретроспективную реконструкцию хода роста древостоя по диаметру. Для этого суммируются значения ширины годовичного кольца за весь период роста. Далее путем последовательного вычитания значений годовичных колец получают значение радиуса для каждого года, которое переводят в значение диаметра (без коры). Полученные таким образом кривые хода роста отражены на рис. 7.

Для проведения дендроклиматического анализа индивидуальные хронологии были индексированы. Это значит, что ширина каждого годовичного кольца была поделена на среднюю ширину годовичного кольца за последние 5 лет. На основе индивидуальных индексированных хронологий рассчитаны средние хронологии для опытного и контрольного древостоев. Далее рассчитывали

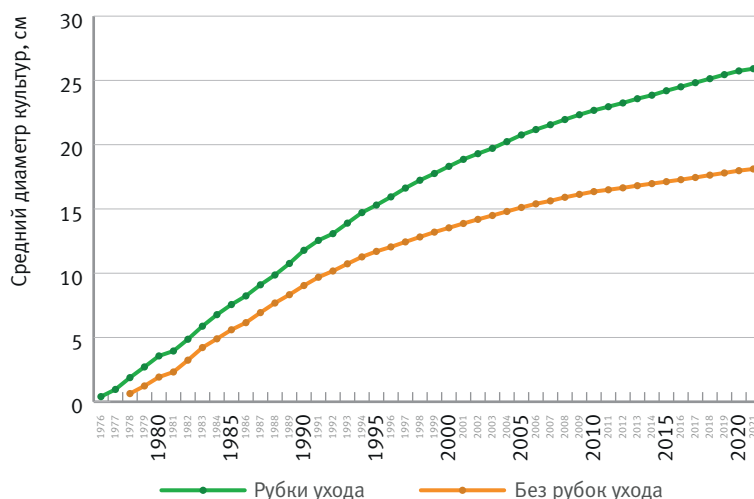


Рис. 7. Ход роста по диаметру культур ели в опыте и контроле

коэффициенты корреляции между временным рядом динамики индексов радиального прироста и временными рядами метеопараметров. Достоверность коэффициентов корреляции оценивалась на 5 %-м уровне значимости [27]. Результаты расчетов приведены в табл. 3 и 4.

В итоге для опытного участка определены достоверные коэффициенты корреляции (отмечены в табл. 3 полужирным шрифтом). Установлено, что достоверные коэффициенты корреляции наблюдаются для среднемесячных

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции между индексом радиального прироста и метеопараметрами для учетных деревьев в опыте

Месяц	Температура текущего года	Осадки текущего года	Температура предшествующего года	Осадки предшествующего года
Январь	0	0,12	0,03	0,22
Февраль	0,15	-0,02	0,11	-0,17
Март	0	-0,02	0,18	-0,05
Апрель	0,10	0,11	0,19	0,04
Май	-0,15	0,27	0,29	-0,28
Июнь	-0,38	0,33	-0,11	-0,27
Июль	-0,36	0,33	0,04	-0,01
Август	-0,28	-0,06	-0,01	-0,01
Сентябрь	-0,02	-0,06	0,00	0,03
Октябрь	-0,08	-0,10	-0,17	-0,03
Ноябрь	-0,02	0,03	-0,08	-0,02
Декабрь	0,17	-0,03	0,15	0,28

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между индексом радиального прироста и метеопараметрами для учетных деревьев в контроле

Месяц	Температура текущего года	Осадки текущего года	Температура прешествующего года	Осадки прешествующего года
Январь	-0,05	0,12	0,10	0,27
Февраль	-0,04	-0,08	0,10	-0,31
Март	-0,14	-0,10	0,01	0,04
Апрель	-0,19	0,29	-0,29	0,09
Май	0,06	-0,16	0,04	-0,13
Июнь	0,24	-0,02	-0,07	-0,06
Июль	0,14	-0,04	-0,19	0,21
Август	0,25	0,00	-0,19	0,08
Сентябрь	0,05	0,11	-0,12	0,12
Октябрь	0,08	-0,07	0,13	-0,02
Ноябрь	-0,13	-0,04	0,03	-0,16
Декабрь	0,06	0,28	0,27	0,19

температур июня и июля текущего года. Повышение температуры негативно сказывается на приросте древесины. Также выявлена достоверная связь с месячной суммой осадков июня и июля: ее увеличение положительно влияет на прирост древесины. Можно заключить, что деревья ели в данном древостое демонстрируют высокую чувствительность к засухе в июне и июле, что выражается, в частности, таким индикатором, как характер колебания ширины годичного кольца.

Результаты корреляционного анализа древесно-кольцевой хронологии для древостоя, в котором не проводили рубки ухода, показали почти полное отсутствие достоверных коэффициентов корреляции. Наблюдается слабая (на границе порога достоверности) отрицательная связь с осадками февраля прешествующего 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. Если точнее, то они

являются итогом сочетания благоприятных климатических условий с оптимальными 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 радиального прироста в опытном древостое.

Сравнительную динамику ширины годичного кольца в опытном и контрольном древостоях отражают графики (см. рис. 5). Анализируя колебания ширины годичного кольца в обоих древостоях и, прежде всего, в древостое с проведенными рубками ухода, нами выделены годы локальных минимумов прироста: 1976, 1981, 1986, 1992, 1995, 2003, 2007, 2011. Далее для дендроклиматического анализа был использован метод климаграмм [3, 5]. Рассчитаны средние значения метеопараметров для этой группы (средние месячные суммы осадков, средние среднемесячные температуры воздуха) и эти данные были сопоставлены со среднемноголетними показателями за 1949–2019 гг. Результаты отражены на рис. 8 и 9.

На основе анализа графиков следует сделать вывод об отсутствии выраженного вклада повышенных температур воздуха в формирование

минимумов прироста у ели в исследуемых культурах.

При этом недостаток осадков в феврале, марте и, главным образом, в мае, июне и июле оказывает негативное влияние на рост ели. Известно, что характер влияния климатических факторов на радиальный прирост имеет четко выраженную региональную специфику [28]. Поэтому сопоставление результатов дендроклиматического анализа для разных районов и 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 без такого сопоставления нельзя обойтись полностью, так как важно учитывать неслучайность выявленных связей, чтобы быть уверенными в их физиологической обусловленности.

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 [29].

В условиях Баварии хронологии древостоев ели, произрастающих на небольшой высоте над уровнем моря, также показывали положительную связь между увеличением прироста и количеством осадков в марте, мае, июне и июле [30]. В то же время хронологии ели из местообитаний, расположенных высоко над уровнем моря, демонстрировали 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 [31] приведены на рис. 10.

Анализируя данные на графиках рис. 10, следует отметить отсутствие выраженных трендов

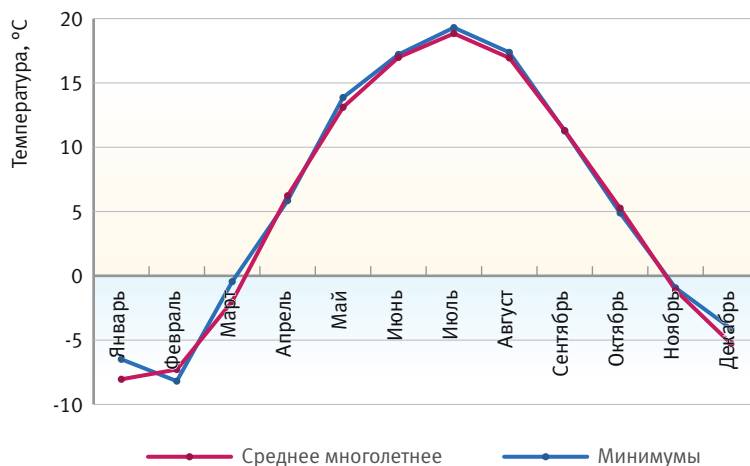


Рис. 8. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ГОДЫ МИНИМУМОВ ПРИРОСТА СО СРЕДНЕГОЛЕТНИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

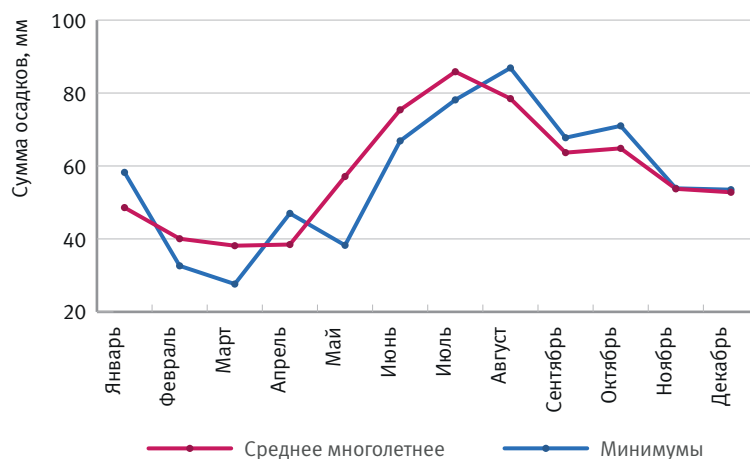


Рис. 9. СРАВНЕНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ МЕСЯЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ В ГОДЫ МИНИМУМОВ ПРИРОСТА СО СРЕДНЕГОЛЕТНИМИ СУММАМИ ОСАДКОВ

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, но, с учетом невыраженной реакции на изменения именно среднемесячной температуры и при отсутствии выраженных трендов к снижению осадков в значимые для роста ели месяцы, прогнозировать резкое ухудшение состояния еловых культур в связи

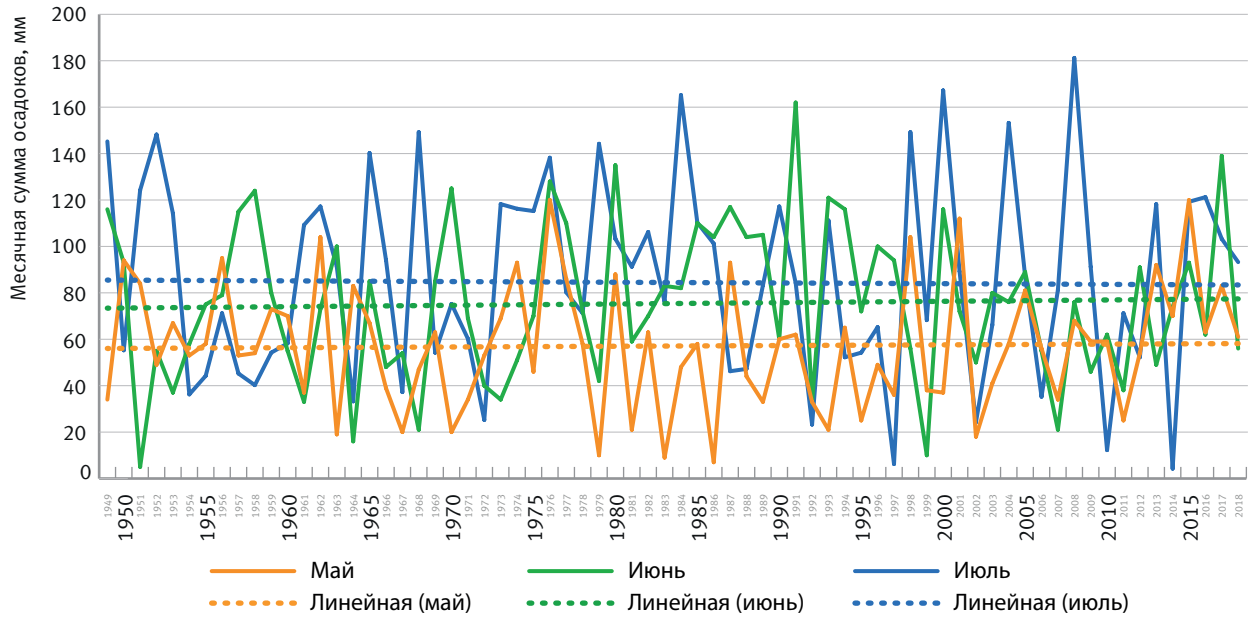


Рис. 10. Временные ряды месячной суммы осадков мая, июня, июля и их линейные тренды

с изменениями климата преждевременно. Однако не исключено, что возрастание частоты засух может иметь место в последующие периоды времени.

Надежным индикатором технических свойств древесины у хвойных пород является доля поздней древесины в годичном кольце [32–34]. Данный признак характеризуется широкой фенотипической пластичностью – на разном

экологическом фоне один и тот же генотип может формировать годичные кольца с разной долей поздней древесины.

Для оценки плотности древесины были проведены измерения ширины годичного кольца и ширины слоя поздней древесины у учетных деревьев в опыте с рубками ухода и в контроле. Измерения велись для последних пяти лет прироста с помощью микроскопа МБС-10 с точностью до ±0,05 мм. Это позволило рассчитать долю поздней древесины в годичном кольце и сопоставить рост ели в опыте и контроле с учетом этого индикатора. Данные о средней доле поздней древесины в годичном кольце и среднем квадратическом отклонении (ско) приведены на рис. 11.

Из данных, приведенных на рис. 12, видно, что рубки ухода привели к снижению доли поздней древесины в годичном кольце: в 2020, 2019, 2018, 2017 и 2016 г. она стабильно ниже (более чем в 2 раза) в опыте, чем в контроле.

Для общего контроля за правильностью измерений и расчетов в анализ условно были включены данные по 2021 г.: они изначально некорректны, так как отбор кернов древесины проводили в период интенсивного формирования слоя поздней древесины, когда оно еще не завершилось полностью. Оценку достоверности

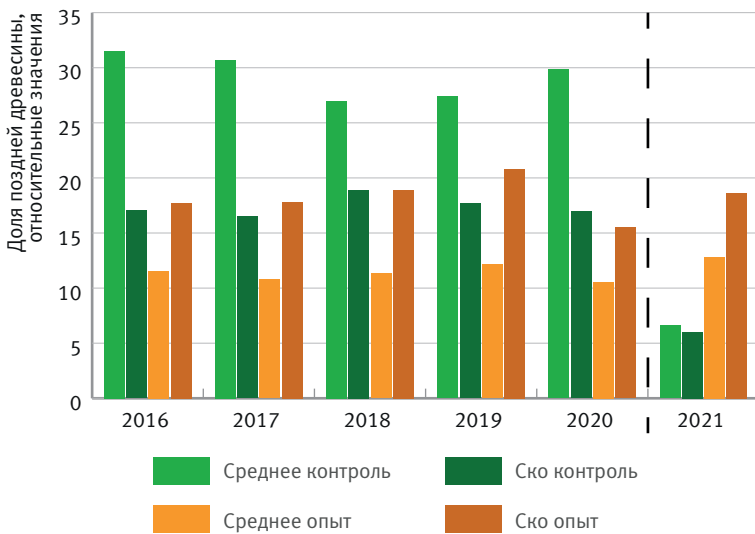


Рис. 11. Доля поздней древесины и среднее квадратическое отклонение (ско) доли поздней древесины в опыте и контроле

различий средних можно проводить с помощью t-критерия Стьюдента.

Доля поздней древесины является индикатором и плотности, и прочности древесины, а также индикатором концентрации углерода в древесине. Чем больше доля поздней древесины, тем выше эти показатели. В опыте формируются более широкие кольца, однако доля поздней древесины при 5 %-м уровне значимости в них достоверно ниже, чем в контроле для всех рассматриваемых пяти лет (2016–2020). Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что различия по доле поздней древесины в опыте и контроле достоверны. При этом в 2021 г., когда мы анализируем заведомо некорректные данные, достоверных различий не отмечено.

Таким образом, увеличение продуктивности в культурах ели при рубках ухода не имеет прямой связи с увеличением их углероддепонирующей способности – существует более сложная зависимость, которую нужно тщательно оценивать количественно с учетом химического состава древесины. Однозначно ясно, что увеличение углероддепонирующей функции древостоя за счет рубок ухода гораздо ниже, чем это кажется на первый взгляд: его нельзя оценивать только по увеличению годичного кольца, необходимо вводить поправочный снижающий коэффициент, отражающий снижение доли поздней древесины в годичном кольце и плотности древесины.

Заключение

1. Таксационные показатели деревьев в опыте выше, чем в контроле. Рубки ухода существенным образом влияют на экологическую среду фитоценоза, что индицируется по ярко выраженным флористическим отличиям между исследованными лесными участками.

2. Дендрохронологический анализ показал превышение среднего значения радиального прироста в опыте (проведение рубок ухода) над контролем (полное отсутствие рубок ухода).

3. Достоверность различий по средней ширине годичного кольца между опытом

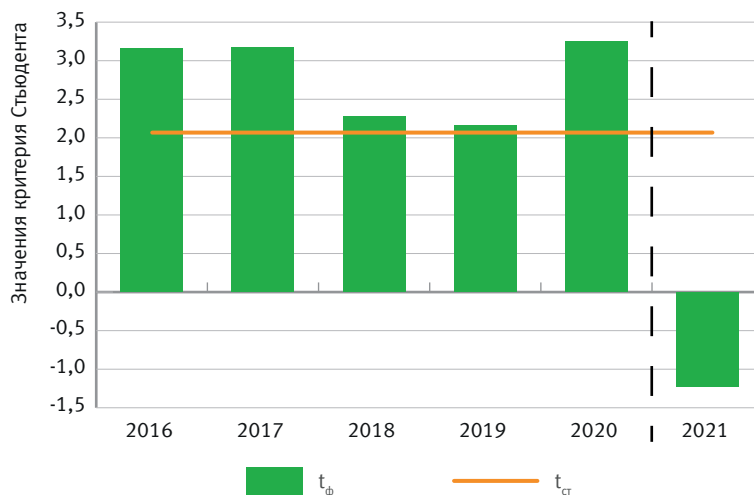


Рис. 12. Динамика достоверности различий по доле поздней древесины для древостоя с рубками ухода и контроля

и контролем имеет выраженную динамику по годам и позволяет точно реконструировать годы проведенных рубок ухода.

4. Дендрохронологический метод позволяет реконструировать ход роста по диаметру древостоя в опыте и контроле: как и следовало ожидать, с течением времени разница средних значений между опытом и контролем увеличивается.

5. Зафиксированное увеличение таксационных параметров и ширины годичного кольца в опыте не является синонимом усиления углероддепонирующей функции насаждения. В контроле формируется древесина с достоверно большей долей поздней древесины, а следовательно, с более высокой плотностью и углероддепонирующей способностью. Снижение биомассы в древостое компенсируется увеличением концентрации углерода в древесине. Для точного установления характера этих связей необходимы количественные химические анализы состава древесины.

6. При дендроклиматическом анализе для опытного участка выявлены достоверные коэффициенты корреляции. Для контрольного участка достоверных биологически значимых коэффициентов не выявлено. В успешности хода роста ели на опытном участке основную роль играет засушливость климата в июне и июле.

7. Метод климаграмм показывает, что экстремально узкие кольца у ели формируются в годы с недостатком осадков в марте, феврале, мае, июне и июле. Температура воздуха (за исключением температур мая) почти не влияет 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.

Список источников

1. ДЕНДРО 2012: перспективы применения древесно-кольцевой информации для целей охраны, воспроизводства и рационального использования древесной растительности : матер. Международной конференции (7–10 ноября 2012). – Москва : МГУЛ, 2013. – 84 с.
2. Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях : монография / М.С. Александрова, В.В. Коровин, С.А. Коротков, А.М. Крылов, В.А. Липаткин, Д.Е. Румянцев, Д.К. Николаев, П.Г. Мельник, О.В. Степанова, Л.В. Стоноженко ; под ред. В.А. Липаткина, Д.Е. Румянцева. – Москва : МГУЛ, 2007. – 137 с.
3. Ловелиус, Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных явлений / Н.В. Ловелиус. – Ленинград : Наука, 1979. – 231 с.
4. Матвеев, С.М. Дендрохронология : учебное пособие. – 2-е изд., доп. / С.М. Матвеев, Д.Е. Румянцев. – Воронеж : ВГЛТА, 2013. – 140 с.
5. Румянцев, Д.Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии / Д.Е. Румянцев. – Москва : МГУЛ, 2010. – 109 с.
6. Fritts, H.C. Tree rings and climate / H.C. Fritts. – London-New-York-San Francisco : Academic press, 1976. – 576 p.
7. Лосицкий, К.Б. Влияние рубок ухода на прирост леса в лесах БССР / К.Б. Лосицкий // Сборник работ по лесному хозяйству. – Вып. VII, 1948. – С. 27–50.
8. Савина, А.В. Физиологическое обоснование рубок ухода / А.В. Савина. – Москва-Ленинград : Гослесбумиздат, 1961. – 97 с.
9. Борисов, А.Н. Оценка реакции сосновых древостоев Красноярской лесостепи на рубку ухода / А.Н. Борисов, В.В. Иванов, А.Е. Петренко // Лесоведение. – 2014. – № 4. – С. 22–27.
10. Изменчивость радиального прироста деревьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). – Текст : электронный / А.К. Габделхаков, Л.Н. Блонская, И.И. Фазлутдинов, В.В. Ябердина, Р.И. Мурзакаев // Российский электронный научный журнал. – 2022. – № 3 (45). – С. 71–85. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-45-3-71-85. – Режим доступа: [genj_3_2022.pdf](#).
11. Данчева, А.В. Оценка эффективности рубок ухода в сухих сосняках казахского мелкосопочника / А.В. Данчева, В.К. Панкратов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2021. – № 2 (380). – С. 45–55. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-45-55.
12. Дебков, Н.М. Динамика радиального прироста кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour при различных режимах рубок ухода / Н.М. Дебков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 6 (372). – С. 9–24. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9.
13. Дружинин, Ф.Н. К применению комплексных рубок / Ф.Н. Дружинин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 3 (339). – С. 17–23.
14. Левковская, М.В. Влияние рубок ухода на текущий прирост и состояние сосняков мшистых Барановичского лесхоза / М.В. Левковская, В.В. Сарнацкий // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2015. – № 1 (174). – С. 70–74.
15. Пшеничникова, Л.С. Оценка рубок промежуточного пользования в сосновых древостоях / Л.С. Пшеничникова // Хвойные boreальной зоны. – 2008. – Т. 25. – № 1–2. – С. 80–84.
16. Севко, О.А. Зависимость радиального прироста сосны и ели от изменения пространственной структуры сложного древостоя / О.А. Севко, В.В. Коцан // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2022. – № 2 (258). – С. 20–26. DOI: 10.52065/2519-402x-2022-258-2-20-26.
17. Тюкавина, О.Н. Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной / О.Н. Тюкавина, А.С. Ильинцев, Р.А. Ершов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2017. – № 4 (358). – С. 34–44. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34.
18. Погребняк, П.С. Общее лесоводство / П.С. Погребняк. – Москва : Колос, 1968. – 440 с.

19. Рыбальченко, Н.Г. Формирование искусственных насаждений ели промышленного назначения / Н.Г. Рыбальченко. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2012. – 176 с.
20. Турский, М.К. Лесоводство / М.К. Турский. – Москва : МГУЛеса, 2000. – 383 с. (репринт издания 1892 года).
21. Румянцев, Д.Е. Влияние рубок ухода на радиальный прирост ели европейской в условиях Хотьковского лесничества Московской области / Д.Е. Румянцев, О.В. Фатеева, А.А. Ткачева // Цифровые технологии в лесной отрасли : матер. Междунар. конф. – Воронеж: ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 1–6.
22. Дендроклиматический анализ роста ели в культурах с интенсивными рубками ухода / Д.Е. Румянцев, В.М. Сидоренков, О.В. Фатеева, А.А. Ткачева // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – № 8. – 2022. – С. 35–44.
23. Румянцев, Д.Е. Оценка достоверности отличий древостоев ели по ширине годичного кольца при проведении серии рубок ухода / Д.Е. Румянцев, О.В. Фатеева, А.А. Ткачева // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2021 г. ; под общ. ред. В.Г. Санаева. – Красноярск, 2022. – С. 35–37.
24. Методические рекомендации по отбору кернов древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве : учебно-методическое пособие / Д.Е. Румянцев, В.А. Липаткин, А.В. Черакшев, Н.С. Воробьева. – Москва : Профессиональная наука, 2022. – 44 с. DOI 10.54092/9785907607187.
25. Липаткин, В.А. Перекрестная датировка дендрохронологических рядов с помощью ПЭВМ / В.А. Липаткин, С.Ю. Мазитов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование : науч. тр. – Вып. 288 (1). – Москва : МГУЛ, 1997. – С. 103–110.
26. Матвеев, С.М. Дендрохронология. Методика дендрохронологического анализа: методические указания / С.М. Матвеев. – Воронеж : ВЛТА, 2013. – 43 с.
27. Лакин, Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – Москва : Высшая школа, 1973. – 343 с.
28. Липаткин, В.А. Влияние климатических факторов на прирост ели европейской в разных частях ареала / В.А. Липаткин, Д.Е. Румянцев // Дендрохронологическая информация в лесоводственных исследованиях. – Москва : МГУЛ, 2007. – С. 101–113.
29. Koprowski, M. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centers in lowland Poland. – Текст : электронный / М. Koprowski, A. Zielski // Trees. – Vol. 20. – 2006. – P. 383–390. DOI:10.1007/s00468-006-0051-9. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0051-9>.
30. Wilson, R. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian Forest, Germany / R. Wilson, M. Hopfmüller // Dendrochronologia. – 2001. – Vol. 19. – № 1. – P. 67–79.
31. Макарова, Н.В. Статистика в Excel : учеб. пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – Москва : Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
32. Вихров, В.Е. Исследование строения технических свойств древесины в связи с типами леса / В.Е. Вихров // Вопросы лесоведения и лесоводства. – Москва : АН СССР, 1954. – С. 317–325.
33. Мелехова, И.С. Значение типов леса и лесорастительных условий в изучении строения древесины и ее физико-механических свойств / И.С. Мелехова // Тр. Ин-та леса. – Москва-Ленинград, 1949. – Т. 4. – № 6. – С. 11–20.
34. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б.Н. Уголев. – Москва : Академия, 2004. – 495 с.

References

1. DENDRO 2012: perspektyvy primeneniya drevesno-kol'cevoj informacii dlya celej ohrany, vosproizvodstva i racional'nogo ispol'zovaniya drevesnoj rastitel'nosti : mater. Mezhdunarodnoj konferencii (7–10 noyabrya 2012). – Moskva : MGUL, 2013. – 84 s.

2. Dendrochronologicheskaya informatsiya v lesovodstvennykh issledovaniyakh : monografiya / M.S. Aleksandrova, V.V. Korovin, S.A. Korotkov, A.M. Krylov, V.A. Lipatkin, D.E. Romyancev, D.K. Nikolaev, P.G. Mel'nik, O.V. Stepanova, L.V. Stonozhenko ; pod red. V.A. Lipatkina, D.E. Romyanceva. – Moskva : MGUL, 2007. – 137 s.
3. Lovelius, N.V. Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiya prirodnykh processov i antropogennykh yavlenij / N.V. Lovelius. – Leningrad : Nauka, 1979. – 231 s.
4. Matveev, S.M. Dendrochronologiya : uchebnoe posobie. – 2-e izd., dop. / S.M. Matveev, D.E. Romyancev. – Voronezh : VGLTA, 2013. – 140 s.
5. Romyancev, D.E. Istoriya i metodologiya lesovodstvennoj dendrochronologii / D.E. Romyancev. – Moskva : MGUL, 2010. – 109 s.
6. Fritts, H.C. Tree rings and climate / H.C. Fritts. – London-New-York-San Francisco : Academic press, 1976. – 576 p.
7. Losickij, K.B. Vliyanie rubok uhoda na prirost lesa v lesakh BSSR / K.B. Losickij // Sbornik rabot po lesnomu hozyajstvu. – Vyp. VII, 1948. – С. 27–50.
8. Savina, A.V. Fiziologicheskoe obosnovanie rubok uhoda / A.V. Savina. – Moskva-Leningrad : Goslesbumizdat, 1961. – 97 s.
9. Borisov, A.N. Ocenka reakcii sosnovykh drevostoev Krasnoyarskoj lesostepi na rubku uhoda / A.N. Borisov, V.V. Ivanov, A.E. Petrenko // Lesovedenie. – 2014. – № 4. – С. 22–27.
10. Izmenchivost' radial'nogo prirosta derev'ev lipy melkolistnoj (*Tilia cordata* Mill.). – Tekst : elektronnyj / A.K. Gabdelhakov, L.N. Blonskaya, I.I. Fazlutdinov, V.V. Yaberdina, R.I. Murzakaev // Rossijskij elektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2022. – № 3 (45). – С. 71–85. DOI: 10.31563/2308-9644-2022-45-3-71-85. – Rezhim dostupa: renj_3_2022.pdf.
11. Dancheva, A.V. Ocenka effektivnosti rubok uhoda v suhih sosnyakah kazahskogo melkosopochnika / A.V. Dancheva, V.K. Pankratov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2021. – № 2 (380). – С. 45–55. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-45-55.
12. Debkov, N.M. Dinamika radial'nogo prirosta kedra sibirskogo *Pinus sibirica* Du Tour pri razlichnykh rezhimakh rubok uhoda / N.M. Debkov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2019. – № 6 (372). – С. 9–24. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9.
13. Druzhinin, F.N. K primeneniyu kompleksnykh rubok / F.N. Druzhinin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2014. – № 3 (339). – С. 17–23.
14. Levkovskaya, M.V. Vliyanie rubok uhoda na tekushchij prirost i sostoyanie sosnyakov mshistykh Baranovichskogo leskhoza / M.V. Levkovskaya, V.V. Sarnackij // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov. – 2015. – № 1 (174). – С. 70–74.
15. Pshenichnikova, L.S. Ocenka rubok promezhutochnogo pol'zovaniya v sosnovykh drevostoyah / L.S. Pshenichnikova // Hvoynye boreal'noj zony. – 2008. – Т. 25. – № 1–2. – С. 80–84.
16. Sevko, O.A. Zavisimost' radial'nogo prirosta sosny i eli ot izmeneniya prostranstvennoj struktury slozhnogo drevostoya / O.A. Sevko, V.V. Kocan // Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov. – 2022. – № 2 (258). – С. 20–26. DOI: 10.52065/2519-402x-2022-258-2-20-26.
17. Tyukavina, O.N. Vliyanie prorezhivaniy na radial'nyj prirost sosny obyknovnoy / O.N. Tyukavina, A.S. Il'incev, R.A. Ershov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal. – 2017. – № 4 (358). – С. 34–44. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34.
18. Pogrebnyak, P.S. Obshchee lesovodstvo / P.S. Pogrebnyak. – Moskva : Kolos, 1968. – 440 s.
19. Rybal'chenko, N.G. Formirovanie iskusstvennykh nasazhdenij eli promyshlennogo naznacheniya / N.G. Rybal'chenko. – Pushkino : VNIILM, 2012. – 176 s.
20. Turskij, M.K. Lesovodstvo / M.K. Turskij. – Moskva : MGULESA, 2000. – 383 s. (reprint izdaniya 1892 goda).
21. Romyancev, D.E. Vliyanie rubok uhoda na radial'nyj prirost eli evropejskoj v usloviyakh Hot'kovskogo lesnichestva Moskovskoj oblasti / D.E. Romyancev, O.V. Fateeva, A.A. Tkacheva // Cifrovye tekhnologii v lesnoj otrasli : mater. Mezhdunar. konf. – Voronezh: VGLTU im. G.F. Morozova, 2022. – С. 1–6.

22. Dendroklimaticeskij analiz rosta eli v kul'turah s intensivnymi rubkami uhoda / D.E. Rummyancev, V.M. Sidorenkov, O.V. Fateeva, A.A. Tkacheva // Lesnye ekosistemy v usloviyah izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distancionnyj monitoring. – № 8. – 2022. – S. 35–44.
23. Rummyancev, D.E. Ocenka dostovernosti otlichij drevostoev eli po shirine godichnogo kol'ca pri provedenii serii rubok uhoda / D.E. Rummyancev, O.V. Fateeva, A.A. Tkacheva // Ezhegodnaya nacional'naya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov i studentov Mytishchinskogo filiala MGU im. N.E. Bauman po itogam nauchno-issledovatel'skih rabot za 2021 g. ; pod obshch. red. V.G. Sanaeva. – Krasnoyarsk, 2022. – S. 35–37.
24. Metodicheskie rekomendacii po otboru kernov drevesiny dlya celej dendrohronologicheskikh issledovaniy v lesovedenii i lesovodstve : uchebno-metodicheskoe posobie / D.E. Rummyancev, V.A. Lipatkin, A.V. Cherakshev, N.S. Vorob'eva. – Moskva : Professional'naya nauka, 2022. – 44 s. DOI 10.54092/9785907607187.
25. Lipatkin, V.A. Perekrestnaya datirovka dendrohronologicheskikh ryadov s pomoshch'yu PEVM / V.A. Lipatkin, S.Yu. Mazitov // Ekologiya, monitoring i racional'noe prirodopol'zovanie : nauch. tr. – Vyp. 288 (1). – Moskva : MGUL, 1997. – S. 103–110.
26. Matveev, S.M. Dendrohronologiya. Metodika dendrohronologicheskogo analiza: metodicheskie ukazaniya / S.M. Matveev. – Voronezh : VGLTA, 2013. – 43 s.
27. Lakin, G.F. Biometriya / G.F. Lakin. – Moskva : Vysshaya shkola, 1973. – 343 s.
28. Lipatkin, V.A. Vliyanie klimaticeskikh faktorov na prirost eli evropejskoj v raznykh chastykh areala / V.A. Lipatkin, D.E. Rummyancev // Dendrohronologicheskaya informaciya v lesovodstvennykh issledovaniyakh. – Moskva : MGUL, 2007. – S. 101–113.
29. Koprowski, M. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centers in lowland Poland. – Tekst : elektronnyj / M. Koprowski, A. Zielski // Trees. – Vol. 20. – 2006. – P. 383–390. DOI:10.1007/s00468-006-0051-9. – Rezhim dostupa: <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-006-0051-9>.
30. Wilson, R. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian Forest, Germany / R. Wilson, M. Hopfmueller // Dendrochronologia. – 2001. – Vol. 19. – № 1. – P. 67–79.
31. Makarova, N.V. Statistika v Excel : ucheb. posobie / N.V. Makarova, V.YA. Trofimec. – Moskva : Finansy i statistika, 2002. – 368 s.
32. Vihrov, V.E. Issledovanie stroeniya tekhnicheskikh svoystv drevesiny v svyazi s tipami lesa / V.E. Vihrov // Voprosy lesovedeniya i lesovodstva. – Moskva : AN SSSR, 1954. – S. 317–325.
33. Melekhova, I.S. Znachenie tipov lesa i lesorastitel'nykh uslovij v izuchenii stroeniya drevesiny i ee fiziko-mekhanicheskikh svoystv / I.S. Melekhova // Tr. In-ta lesa. – Moskva-Leningrad, 1949. – T. 4. – № 6. – S. 11–20.
34. Ugolev, B.N. Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie / B.N. Ugolev. – Moskva : Akademiya, 2004. – 495 s.