

Ю.П. Демаков, О.В. Шейкина, Е.С. Шарапов

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗРЕЖИВАНИЯ
ЗАГУЩЕННЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА РАЗНООБРАЗИЕ ХАРАКТЕРА РОСТА ДЕРЕВЬЕВ**

Введение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий плантационного лесовыращивания, обеспечивающих повышение его экономической эффективности и производительности древостоев [Демаков и др., 2018, 2021], во многом зависящих от их густоты, регулируемой рубками ухода, которые являются одним из самых трудоемких, сложных и, несмотря на длительную историю их изучения, проблематичных лесохозяйственных мероприятий [Георгиевский, 1957; Эйтинген, 1962; Вакуров, 1967; Давыдов, 1971; Сеннов, 1977, 1984, 1987; Атрохин, 1987]. Они позволяют в полной мере использовать эколого-ресурсный потенциал лесных экосистем. Получить правильные ответы на многие спорные вопросы, связанные с проведением данного мероприятия по устойчивому управлению развитием лесных биогеоценозов, можно только на основе системного анализа, а также длительных наблюдений за их состоянием [Сеннов, 1999; Шутов, 2001; Романов и др., 2020; Демаков, 2022].

Установлено, что эффективность рубок ухода зависит от многих факторов, в том числе от их интенсивности и сроков проведения [Кузнецов, Лисов, 1976; Шинкаренко и др., 1979; Гвоздев, 1980; Набатов и др., 1980; Попов, 1980; Шинкаренко, Дзедзюля, 1983; Кузнецов, 1984; Бриндум, 1987; Бухт, 1987; Буш, 1987; Мищ, 1987; Морозов и др., 1987, 1988; Роллинсон, 1987; Суворов, 1987; Хару и др., 1987; Эрикссон, 1987; Демаков и др., 2020]. С экономических позиций выгоднее проводить изреживание древостоев реже, но интенсивнее, так как это позволяет существенно улучшить их товарную структуру. Повышенная интенсивность рубок позволяет отодвинуть время повторения изреживания, но связана с потерей общего запаса древесины, величина которого зависит от климата, типа лесорастительных условий и возраста насаждений. Первоочередными объектами проведения рубок ухода являются искусственно созданные насаждения (инженерные экосистемы), где процессы изреживания древостоя могут отличаться от естественных биогеоценозов. Изреживание однопородных

древостоев, имея много достоинств, может снизить их структурное разнообразие по характеру роста деревьев, а, следовательно, их устойчивость к воздействию неблагоприятных климатических факторов. Этот вопрос, имеющий важное значение при проектировании инженерных экосистем, пока никем не изучался, что и определило выбор темы нашего исследования.

При изучении структуры ценопопуляций древесных растений, которые в этом отношении очень неоднородны [Санников, Петрова, 2003; Романовский, Щекалев, 2014], а также вскрытии механизмов регуляции их состояния в нестабильной среде обитания целесообразно использовать количественные показатели индивидуальной изменчивости рядов годичного прироста особей [Демаков, Нуреева, 2019], несущие большой объем информации о характере происходящих изменений.

Цель работы – оценка влияния разных вариантов изреживания 15-летних культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на структурное разнообразие древостоя по характеру роста деревьев и их реакций на колебания климата.

Материалы и методика исследования. Исследования проведены на опытном объекте, созданном в 1974 году в кв. 80 Старожильского участкового лесничества Республики Марий Эл по гаре 1972 года и состоящем из 22 секций, включая три контрольные, размер которых варьировал от 0,08 до 0,12 га. Рельеф участка ровный, почва – дерново-подзол иллювиально-железистый песчаный, тип условий произрастания – А2 (свежий бор). Изреживание древостоя проведено в августе 1987 года путем повала катком КОК-2, установленным на тракторе ЛХТ-55, двух рядов деревьев и оставления в различных вариантах опыта 2-, 3-, 4- и 6-рядных кулис. На половине секций объекта осенью 1989 года проведена дополнительная ручная селективная вырубка отставших в росте и фаутных деревьев. Интенсивность изреживания древостоя изменялась в вариантах опыта от 25 до 82% по количеству стволов, которое исходно составляло в среднем 10 тыс. экз./га. Подробное описание объекта приведено в нашей предыдущей работе [Демаков, 2022].

В каждом из пяти вариантов опыта в случайном порядке было выбрано по 12 деревьев, у которых на высоте 1,3 м от поверхности почвы с помощью возрастного бурава Пресслера взяли керны древесины для оценки индивидуальных особенностей динамики радиального годичного прироста. Измерение ширины годичных колец проведено по окуляр-шкале бинокулярного микроскопа МБС-10 с погрешностью $\pm 0,05$ мм. Цифровой материал обработан на ПК с использованием пакетов прикладных программ Excel

и Statistica стандартными методами математической статистики [Дрейпер, Смит, 1973; Ким и др., 1989; Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003].

Результаты и обсуждение. Исследования показали, что изреживание древостоя на опытном объекте привело к некоторому изменению его размерной структуры, выразившемуся в снижении величины асимметрии и эксцесса распределения, а также небольшому увеличению среднего диаметра деревьев, но практически не отразилось на вариабельности их размера в ценопопуляциях (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Вариабельность диаметра деревьев на опытном объекте спустя 30 лет после проведения изреживания

Variability of tree diameter at the experimental site 30 years after thinning

Интенсивность изреживания	Значения статистических показателей						
	N, шт.	M	min	max	S	A	E
Контроль	281	11,5	6	24	3,62	0,831	0,514
25%	485	15,4	8	28	3,71	0,395	0,004
50%	455	12,9	6	24	3,71	0,495	-0,423
68%	175	14,8	8	24	3,36	0,118	-0,383
80%	361	14,5	8	26	3,70	0,294	-0,321

Примечание: здесь и в табл. 3, 4 М – среднее арифметическое значение диаметра деревьев, см; min, max – нижняя и верхняя величина ступеней толщины деревьев, см; S – среднеквадратическое отклонение диаметра деревьев в выборке, см; A – коэффициент асимметрии распределения; E – коэффициент эксцесса

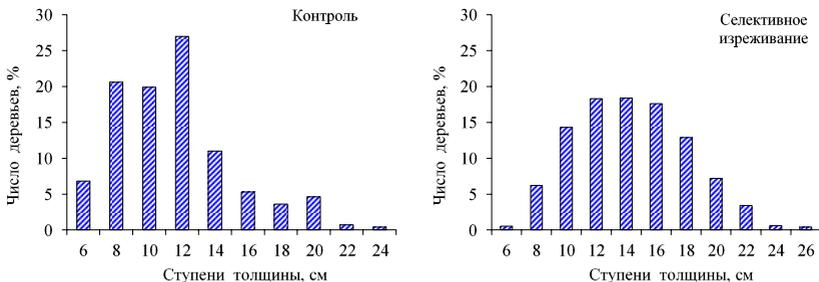


Рис. 1. Гистограммы распределения деревьев по ступеням толщины в 45-летних насаждениях при разных вариантах их изреживания

Fig. 1. Histograms of the distribution of trees by thickness level in 45-year-old plantations under different thinning options

Изреживание древостоя привело, как было установлено на основе полного перечета всех деревьев, к увеличению в целом за 30 лет прироста площади поперечного сечения их ствола, хотя величина его сильно варьировала между секциями опытного объекта (рис. 2). Анализ материала по выборкам показал, что увеличение радиального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после проведения изреживания, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой (рис. 3). Особенно впечатляющими оказались изменения реакции деревьев в ответ на одинаковые по величине колебания факторов внешней среды, которые оказались диаметрально противоположными. Причиной этого феномена явились индивидуальные особенности деревьев, закрепленные, вероятно, в их геноме. Игнорирование индивидуальных особенностей деревьев при отборе их в рубку может привести к совершенно разным последствиям проводимых лесохозяйственных мероприятий, поэтому весьма важно выявить простые диагностические признаки, позволяющие уверенно отличать в ценопопуляциях одни особи от других.

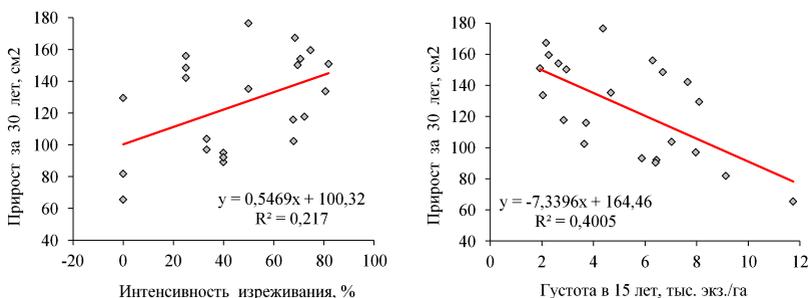


Рис. 2. Влияние изреживания древостоя на величину прироста площади поперечного сечения ствола среднего дерева в культурах сосны на опытном объекте

Fig. 2. The influence of tree stand thinning on the increase in the cross-sectional area of the trunk of an average tree in pine crops at an experimental site

Увеличение интенсивности изреживания древостоев не привело, как показали расчеты, к снижению степени разнообразия ответных реакций деревьев на межгодовые колебания погодных условий, о чем свидетельствуют практически одинаковая во всех вариантах опыта доля вклада «шумов» в общую дисперсию их радиального прироста (табл. 2), а также степень варьирования величины коэффициента корреляции между рядами значений прироста (табл. 3).

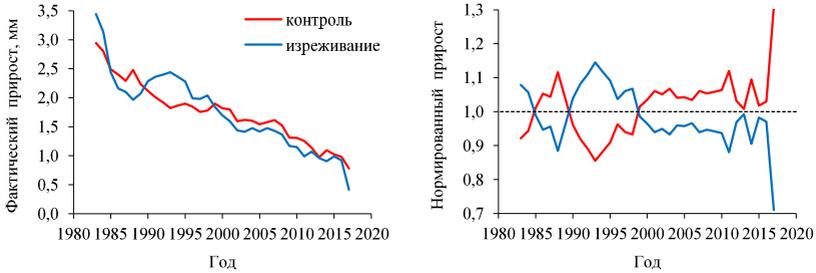


Рис. 3. Динамика радиального прироста деревьев на объекте исследования в контроле и при высокой интенсивности изреживания (68–80%)

Fig. 3. Dynamics of radial growth of trees at the study site in control and with high intensity of thinning (68–80%)

Таблица 2

Вклад факторов в дисперсию годичного прироста деревьев на объекте исследования

Contribution of factors to the dispersion of annual tree growth at the study site

Интенсивность изреживания	Фактор дисперсии и его вклад в изменчивость годичного прироста				
	Скорость роста дерева		Возраст и погодные условия		Вклад шумов, %
	Вклад, %	Значение p	Вклад, %	Значение p	
Контроль	24,6	< 0,001	43,4	< 0,001	32,0
25%	26,7	< 0,001	40,8	< 0,001	32,5
50%	22,8	< 0,001	49,7	< 0,001	27,5
68%	8,3	< 0,001	52,4	< 0,001	39,3
80%	8,8	< 0,001	54,7	< 0,001	36,5

Таблица 3

Сопряженность рядов годичного прироста деревьев на объекте исследования

Conjugacy of series of annual growth of trees at the study site

Интенсивность изреживания	Показатели изменчивости коэффициента корреляции				
	Среднее	min	max	Размах	S
Контроль	0,53	0,00	0,90	0,90	0,22
25%	0,56	0,05	0,84	0,79	0,16
50%	0,67	0,24	0,88	0,64	0,13
68%	0,50	-0,02	0,91	0,93	0,26
80%	0,63	0,14	0,87	0,73	0,17

Древостой во всех вариантах опыта, как следует из представленных данных, очень неоднороден, и деревья в нем группируются между собой по характеру ответных реакций на изменения условий среды обитания в ряд относительно однородных кластеров, диаметрально отличающихся друг от друга по экологическим требованиям, что особенно четко проявляется при использовании нормированных значений годового прироста относительно их средней величины по каждому конкретному году (рис. 4 и 5). Различия ритмики роста деревьев в ценопопуляциях могут быть обусловлены генетическими особенностями особей по резервированию и характеру распределения в своих органах ресурсов накопленных питательных веществ [Harper, 1977; Keddy et al., 1990; Wedin, Tilman, 1993], а также особенностями архитектуры их корневых систем [Тихонова, 2013; Baldwin, 1976; Wilson, 1988; Grubb, 1994; Kadmon, 1995] и соотношением между массой хвои и размером водопроводящей зоны ствола [Вомперский, Иванов, 1984; Кайбияйнен и др., 1986; Иванов, Дубинин, 1992].

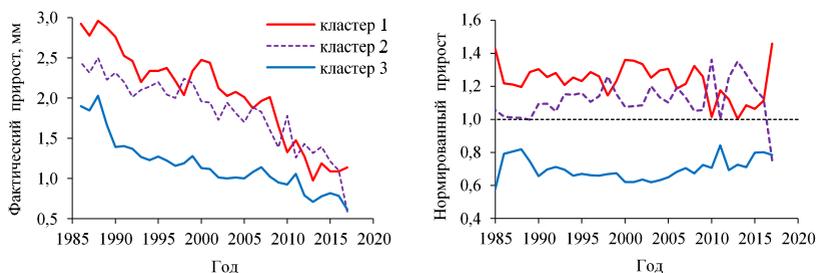


Рис. 4. Динамика радиального прироста деревьев разных кластеров на контрольных секциях объекта исследования и в варианте опыта с интенсивностью изреживания 25% по числу стволов

Fig. 4. Dynamics of radial growth of trees of different clusters in control sections of the study object and in the experimental variant with a thinning intensity of 25% in terms of the number of trunks

В ходе проведения исследования удалось выявить интересную закономерность, выразившуюся в том, что у деревьев с большим приростом в предыдущем году его величина в текущем, как правило, уменьшалась, а у деревьев же с малым, наоборот, увеличивалась (рис. 6). Этот феномен, механизм действия которого в ценопопуляциях пока не вскрыт и требует проведения специальных исследований, является ярким проявлением зако-

на стабилизирующего отбора, действующего в любой популяции и направленного на удержание какого-либо признака организма в рамках средних для вида значений [Шмальгаузен, 1968; Тимофеев-Ресовский и др., 1977; Яблоков, Юсуфов, 1989]. Изреживание древостоя не оказывало на эту закономерность существенного влияния (табл. 4), однако в отдельные годы (1992, 2000, 2003, 2006 и 2013) отмечались значительные отклонения от нее (рис. 7), причины которых нами пока не выяснены.

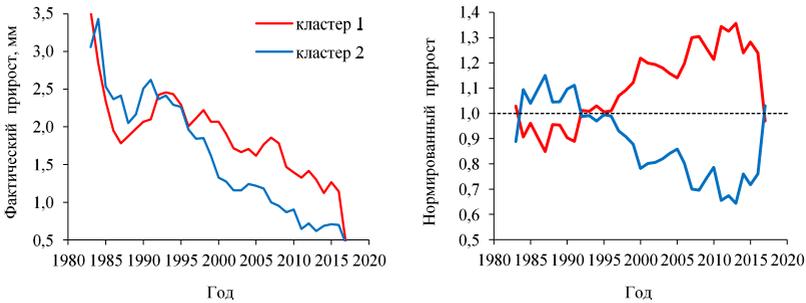


Рис. 5. Динамика радиального прироста деревьев разных кластеров на объекте исследования в варианте опыта с высокой интенсивностью изреживания (68–80%)

Fig. 5. Dynamics of radial growth of trees of different clusters at the study site in the experimental variant with high thinning intensity (68–80%)

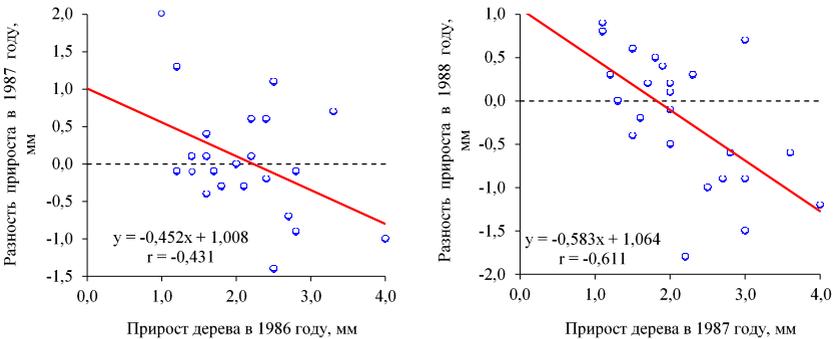


Рис. 6. Характер связи между годичным приростом деревьев в смежные годы в вариантах опыта с наиболее высокой интенсивностью изреживания до и после его проведения

Fig. 6. The nature of the relationship between the annual growth of trees in adjacent years in the experimental variants with the highest intensity of thinning before and after it

Таблица 4

Сопряженность рядов значений разности прироста деревьев между смежными годами и фактического прироста в предыдущем году

Conjucy of series of values of the difference in tree growth between adjacent years and the actual growth in the previous year

Интенсивность изреживания	Показатели изменчивости коэффициента корреляции				
	Среднее	min	max	Размах	S
Контроль	-0,346	-0,755	0,227	0,982	0,229
25%	-0,372	-0,797	0,476	1,273	0,280
50%	-0,379	-0,765	0,260	1,025	0,233
68%	-0,404	-0,770	0,157	0,927	0,222
80%	-0,446	-0,713	0,108	0,821	0,175

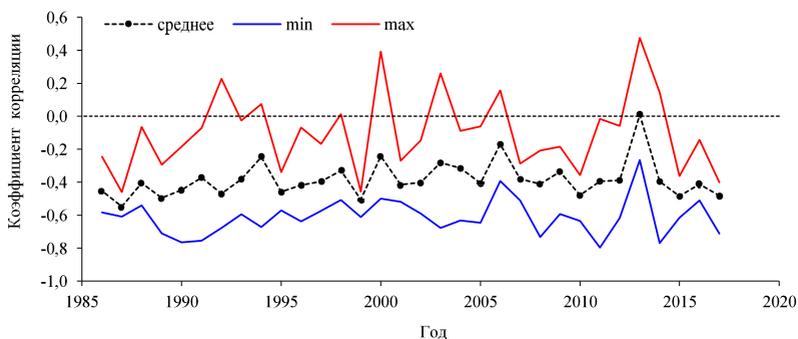


Рис. 7. Динамика значений коэффициента корреляции рядов разности прироста деревьев на объекте исследования между смежными годами и фактического их прироста в предыдущем году

Fig. 7. Dynamics of the correlation coefficient values of the series of differences in tree growth at the study site between adjacent years and their actual growth in the previous year

Заклучение. Результаты опыта свидетельствуют об отсутствии влияния раннего интенсивного изреживания загущенных древостоев искусственного происхождения, созданных в борах Республики Марий Эл, на разнообразие их структуры по характеру роста деревьев. Увеличение ра-

диального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после этого мероприятия, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой. Древостой во всех вариантах опыта очень неоднороден по характеру роста деревьев, среди которых выделяются группы, диаметрально отличающиеся друг от друга по экологическим требованиям к условиям среды. Игнорирование индивидуальных особенностей деревьев при отборе их в рубку может привести к совершенно разным последствиям проводимых лесохозяйственных мероприятий, поэтому весьма важно выявить простые диагностические признаки, позволяющие уверенно отличать в ценопопуляциях одни особи от других. Изреживание древостоя не оказывало существенного влияния и на характер взаимосвязи между величиной прироста деревьев в смежные между собой годы, которая проявляется в форме стабилизирующего отбора, направленного на удержание этого признака в ценопопуляциях, являющихся саморегулирующимися динамическими системами, в рамках средних значений, соответствующих сложившимся условиям среды.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00220, <https://rscf.ru/project/23-16-00220>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Атрохин В.Г. Биоэкологические основы рубок ухода как средства создания лесов будущего // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 14–21.

Бриндум Х. Эксперименты по рубкам ухода за хвойными и твердолиственными породами в Дании // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 48–65.

Бухт С. Рубки ухода за лесом в Швеции: требования и пути для достижения хорошего лесоводственного качества насаждений // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 27–33.

Буш К.К. Экологические основы рубок ухода // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 21–24.

Вакуров А.Д. Рубки ухода в культурах разной густоты // Лесное хозяйство. 1967. № 2. С. 24–25.

Вомперский С.Э., Иванов А.И. Связь площади поперечного сечения заболони с массой хвои сосны обыкновенной // Лесоведение. 1984. № 3. С. 60–65.

Гвоздев В.К. Влияние комплексного ухода на фотосинтез, транспирацию и некоторые диагностические показатели жизнеспособности сосновых культур // Лесоведение и лесное хозяйство. 1980. Вып. 15. С. 48–52.

Георгиевский Н.П. Рубки ухода за лесом. М.-Л.: Сельхозгиз, 1957. 142 с.

Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.

Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 180 с.

Демаков Ю.П. Результаты многолетних опытов по созданию и выращиванию культур сосны обыкновенной в Республике Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2022. 242 с.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. №4. С. 274–285.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Пуряев А.С., Краснов В.Г. Экономические основы и опыт плантационного лесовыращивания в Среднем Поволжье // Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 3–14.

Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г. Результаты 30-летнего опыта по изреживанию культур сосны в борах Марийского Заволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 3 (47). С. 5–18.

Демаков Ю.П., Романов Е.М., Краснов В.Г., Нуреева Т.В. Опыт искусственного восстановления лесов в Среднем Поволжье и дальнейшая стратегия действий по его совершенствованию // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 1 (49). С. 23–46.

Дрейтер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. М.: Высшая школа, 1991. 182 с.

Иванов А.И., Дубинин А.И. Площадь сечения заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // Лесоведение. 1992. № 5. С. 28–37.

Кайбияйнен Л.К., Хари П., Сазонова Т.А., Мякеля А. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящейсилемы и масса хвои // Лесоведение. 1986. № 1. С. 31–37.

Ким Дж.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфилдс Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.

Кузнецов Н.А. Прочистки в густых культурах сосны и их влияние на ассимиляционную поверхность и текущий прирост // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. М., 1984. С. 42–48.

Кузнецов Н.А., Лисов Н.А. Влияние рубок ухода на формирование и санитарное состояние древостоев густых культур сосны в очагах майского хруща // Рубки и восстановление леса в Среднем Поволжье. М., 1976. С. 27–34.

Миц Р. Определение интенсивности рубок ухода при ведении лесного хозяйства // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 84–89.

Морозов В.А., Шиманский П.С., Штукин С.С. Рост сосны: влияние изреживания и многолетнего люпина // Лесное хозяйство. 1987. № 9. С. 36–38.

Морозов В.А., Шиманский П.С., Штукин С.С. Влияние изреживания, средств химии и биологической мелиорации на рост сосны // Лесоводство, лесоведение, лесные пользования: Экспресс-информация. 1988. Вып. 5. С. 2–11.

Набатов Н.М., Лепехин В.В., Миронов О.В. Влияние разреживания на процесс естественного отпада в сосняках // Лесное хозяйство. 1980. № 2. С. 14–16.

Попов В.К. Линейно-выборочные рубки ухода в культурах сосны // Лесное хозяйство. 1980. № 2. С. 28–31.

Роллинсон Т.Дж.Д. Рубки ухода в Великобритании // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 33–43.

Романов Е.М., Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Заболотских П.В. О необходимости создания учебно-опытных стационаров для разработки и внедрения интенсивных технологий лесовыращивания и подготовки специалистов лесного дела // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 2 (46). С. 5–26.

Романовский М.Г., Щекалев Р.В. Система вида у древесных растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 212 с.

Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2003. 248 с.

Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 160 с.

Сеннов С.Н. Уход за лесом (экологические основы). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 128 с.

Сеннов С.Н. Рубки ухода при выращивании целевых древостоев // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 9–14.

Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса. СПб: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с.

Суворов В.И. Физиологические основы рубок ухода в хвойных культурах // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 24–27.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 302 с.

Тихонова И.В. Карликовые сосны Ширинской лесостепи // Лесоведение. 2013. № 2. С. 22–30.

Хару П.А., Стоун Р.Дж., Мадер Д.А. Экономичность интенсивных рубок ухода в лесных посадках // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 280–286.

Шинкаренко И.Б., Говорова Т.Т., Головчанский И.Н., Рябоконт А.П. Влияние различных режимов выращивания сосновых культур на продуктивность, дифференциацию и строение средневозрастных древостоев // Лесоводство и агролесомелиорация. 1979. Вып. 54. С. 3–9.

Шинкаренко И.Б., Дзедзюля А.А. Оптимизация режимов густоты при целевом выращивании сосновых культур // Лесоведение и лесоводство: Обзорная информация ЦБНТИ–лесхоз. 1983. № 3. С. 1–40.

Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. Теория стабилизирующего отбора. М.: Наука, 1968. 454 с.

Шутов И.В. Фактор времени в лесоводстве и оценка его значения в стационарных опытах // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Тула, 2001. С. 16–22.

Эйтинген Г.Р. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1962. 500 с.

Эрикссон Г. Аспекты рубок ухода и удобрения насаждений ели и сосны обыкновенной, основанные на опытах, проведенных в Швеции // Проблемы рубок ухода: материалы конференции Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). М., 1987. С. 72–84.

Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение. М.: Высшая школа, 1989. 335 с.

Baldwin J.P. Competition for plant nutrients in soil: a theoretical approach // Journal of Agricultural Science. 1976. Vol. 87. P. 341–356.

Grubb P.J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? // Phytocoenologia. 1994. Vol. 24. P. 495–505. DOI: 10.1127/phyto/24/1994/495.

Harper J.L. The effects of neighbors // Population Biology of Plants. London, 1977. P. 151–347.

Kadmon R. Plant competition along soil moisture gradients: a field experiment with the desert annual *Stipa capensis* // Journal Ecology. 1995. Vol. 83. P. 253–262.

Keddy P.A., Grace J.B., Tilman D. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities // *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, 1990. P. 266–290.

Wedin D., Tilman D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition // *Ecological Monographs*. 1993. Vol. 63. P. 199–229.

Wilson B.J. Shoot competition and root competition // *Journal of Applied Ecology*. 1988. Vol. 25. P. 279–296.

References

Atrohin V.G. Bioekologicheskie osnovy rubok ukhoda kak sredstva sozdaniya lesov budushchego [Bioecological foundations of thinning as a means of creating forests of the future]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 14–21. (In Russ.)

Baldwin J.P. Competition for plant nutrients in soil: a theoretical approach. *Journal of Agricultural Science*, 1976, vol. 87, pp. 341–356.

Brindum H. Eksperimenty po rubkam ukhoda za khvojnyimi i tverdolistvennymi porodami v Danii [Experiments in thinning of coniferous and hardwood species in Denmark]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 48–65. (In Russ.)

Bukht S. Rubki ukhoda za lesom v Shvetsii: trebovaniya i puti dlja dostizheniya khoroshego lesovodstvennogo kachestva nasazhdenij [Forest thinning in Sweden: requirements and ways to achieve good silvicultural quality of stands]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 27–33. (In Russ.)

Bush K.K. Ekologicheskie osnovy rubok ukhoda [Ecological foundations of thinning]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 21–24. (In Russ.)

Davydov A.V. Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1971. 180 p. (In Russ.)

Demakov Ju.P. Rezul'taty mnogoletnikh opytov po sozdaniyu i vyrashchivaniju kul'tur sosny obyknovnoy v Respublike Marij El [Results of long-term experiments on the creation and cultivation of Scots pine crops in the Republic of Mari El]. Joshkar-Ola: PGTU, 2022. 242 p. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Nureeva T.V. Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya drev'jev po ikh razmeram v tsenopopulyakh sosny obyknovnoy [Patterns of change in the rank position of trees by their size in Scots pine cenopopulations]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2019, no. 4, pp. 274–285. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Purjaev A.S., Krasnov V.G. Ekonomicheskie osnovy i opyt plantatsionnogo lesovyrashchivaniya v Srednem Povolzh'e [Economic foundations and experience of plantation forest cultivation in the Middle Volga region]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian journal of forest science]*, 2018, no. 2, pp. 3–14. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G. Rezul'taty 30-letnego opyta po izrezhivaniyu kul'tur sosny v borakh Marijskogo Zavolzh'ja [Results of 30 years of experience in thinning pine crops in the pine forests of the Mari Trans-Volga region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2020, no. 3 (47), pp. 5–18. (In Russ.)

Demakov Ju.P., Romanov E.M., Krasnov V.G., Nureeva T.V. Opyt iskusstvennogo vosstanovleniya lesov v Srednem Povolzh'e i dal'nejshaja strategija dejstvij po ego sovershenstvovaniyu [Experience of artificial forest restoration in the Middle Volga region and further strategy of actions for its improvement]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2021, no. 1 (49), pp. 23–46. (In Russ.)

Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz [Applied Regression Analysis]. Moscow: Statistika, 1973. 392 p. (In Russ.)

Ejtingen G.R. Izbrannye Trudy [Selected Works]. Moscow: Sel'hozgiz, 1962. 500 p. (In Russ.)

Erikson G. Aspekty rubok ukhoda i udobreniya nasazhdenij eli i sosny obyknovenoj, osnovannye na opytakh, provedennykh v Shvetsii [Aspects of thinning and fertilization of spruce and Scots pine stands based on experiments conducted in Sweden]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJUFRO)*. Moscow, 1987, pp. 72–84. (In Russ.)

Georgievskij N.P. Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow-Leningrad: Sel'hozgiz, 1957. 142 p. (In Russ.)

Grinin A.S., Orekhov N.A., Novikov V.N. Matematicheskoe modelirovanie v ekologii [Mathematical modeling in ecology]. Moscow: JUNITI-DANA, 2003. 269 p. (In Russ.)

Grubb P.J. Root competition in soils of different fertility: a paradox resolved? *Phytocoenologia*, 1994, vol. 24, pp. 495–505. DOI: 10.1127/phyto/24/1994/495.

Gvozdev V.K. Vlijanie kompleksnogo ukhoda na fotosintez, transpiratsiju i nekotorye diagnosticheskie pokazateli zhiznesposobnosti sosnovyh kul'tur [The influence of complex care on photosynthesis, transpiration and some diagnostic indicators of viability of pine crops]. *Lesovedenie i lesnoe hozjajstvo*, 1980, iss. 15, pp. 48–52. (In Russ.)

Harper J.L. The effects of neighbors. *Population Biology of Plants*. London, 1977, pp. 151–347.

Haru P.A., Stoun R.Dzh., Mader D.A. Ekonomichnost' intensivnykh rubok ukhoda v lesnykh posadkakh [Costeffectiveness of intensive thinning in forest plantations]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 280–286. (In Russ.)

Ivanov A.I., Dubinin A.I. Ploshchad' sechenija zaboloni i ploshchad' zony tranzita vlagi v nej u sosny obyknovnoj [The cross-sectional area of sapwood and the area of the moisture transit zone in it in Scots pine]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1992, no. 5, pp. 28–37. (In Russ.)

Jablokov A.V., Jusufov A.G. Evoljucionnoe uchenie [Evolutionary teaching]. Moscow: Vysshaja shkola, 1989. 335 p. (In Russ.)

Kadmon R. Plant competition along soil moisture gradients: a field experiment with the desert annual *Stipa capensis*. *Journal Ecology*, 1995, vol. 83, pp. 253–262.

Kajbijajnen L.K., Hari P., Sazonova T.A., Mjaketja A. Sbalansirovannost' sistemy vodnogo transporta u sosny obyknovnoj. III. Ploshchad' provodjashchej ksilemy i massa khvoi [Balance of the water transport system in Scots pine. III. Area of conducting xylem and mass of needles]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1986, no. 1, pp. 31–37. (In Russ.)

Keddy P.A., Grace J.B., Tilman D. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities. *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, 1990, pp. 266–290.

Kim D.O., M'juller Ch.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfilzh R.K. Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz [Factor, discriminant and cluster analysis]. Moscow: Finansy i statistika, 1989. 215 p. (In Russ.)

Kuznetsov N.A. Prochistki v gustykh kul'turakh sosny i ikh vlijanie na assimiljatsionnuju poverkhnost' i tekushchij prirost [Clearings in dense pine cultures and their impact on the assimilation surface and current growth]. *Rubki i vosstanovlenie lesa v Srednem Povolzh'e*. Moscow, 1984, pp. 42–48. (In Russ.)

Kuznetsov N.A., Lisov N.A. Vlijanie rubok ukhoda na formirovanie i sanitarnoe sostojanie drevostoev gustykh kul'tur sosny v ochagakh majskogo khrushcha [The influence of thinning on the formation and sanitary condition of dense pine stands in the foci of cockchafer]. *Rubki i vosstanovlenie lesa v Srednem Povolzh'e*. Moscow, 1976, pp. 27–34. (In Russ.)

Mishch R. Opredelenie intensivnosti rubok ukhoda pri vedenii lesnogo khozjajstva [Determination of the intensity of thinning in forest management]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 84–89. (In Russ.)

Morozov V.A., Shimanskij P.S., Shtukin S.S. Rost sosny: vlijanie izrezhivaniya i mnogoletnego ljupina [Pine growth: the influence of thinning and perennial lupine]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1987, no. 9, pp. 36–38. (In Russ.)

Morozov V.A., Shimanskij P.S., Shtukin S.S. Vlijanie izrezhivaniya, sredstv khimii i biologicheskoy melioratsii na rost sosny [The influence of thinning, chemicals and biological melioration on the growth of pine]. *Lesovodstvo, lesovedenie, lesnye pol'zovaniya: Ekspress-informatsija*, 1988, iss. 5, pp. 2–11. (In Russ.)

Nabatov N.M., Lepekhin V.V., Mironov O.V. Vlijanie razrezhivaniya na protsess estestvennogo otpada v sosnjakakh [The influence of thinning on the process of natural mortality in pine forests]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1980, no. 2, pp. 14–16. (In Russ.)

Popov V.K. Linejno-vyborochnye rubki ukhoda v kul'turakh sosny [Linear selective thinning in pine crops]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1980, no. 2, pp. 28–31. (In Russ.)

Rollinson T.Dzh.D. Rubki ukhoda v Velikobritanii [Thinning in the UK]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 33–43. (In Russ.)

Romanov E.M., Demakov Ju.P., Nureeva T.V., Zabolotskikh P.V. O neobkhodimosti sozdaniya uchebno-opytnykh stacionarov dlja razrabotki i vnedrenija intensivnykh tekhnologij lesovyrashchivaniya i podgotovki spetsialistov lesnogo dela [On the need to create educational and experimental stations for the development and implementation of intensive forest cultivation technologies and the training of forestry specialists]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management]*, 2020, no. 2 (46), pp. 5–26. (In Russ.)

Romanovskij M.G., Shchekalev R.V. Sistema vida u drevesnykh rastenij [Species system in woody plants]. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdanij KMK*, 2014. 212 p. (In Russ.)

Sannikov S.N., Petrova I.V. Differentsiatsiya populjatsij sosny obyknovnennoj [Differentiation of Scots pine populations]. Ekaterinburg: *Ural'skoe otdelenie RAN*, 2003. 248 p. (In Russ.)

Sen'nov S.N. Rubki ukhoda za lesom [Forest thinning]. Moscow: *Lesn. prom-st'*, 1977. 160 p. (In Russ.)

Sen'nov S.N. Ukhod za lesom (ekologicheskie osnovy) [Forest care (ecological principles)]. Moscow: *Lesn. prom-st'*, 1984. 128 p. (In Russ.)

Sen'nov S.N. Rubki ukhoda pri vyrashchivanii tselevykh drevostoev [Thinning during cultivation of target stands]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issledovatel'skikh organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 9–14. (In Russ.)

Sen'nov S.N. Itogi 60-letnikh nabljudenij za estestvennoj dinamikoj lesa. [Results of 60 years of observations of natural forest dynamics]. St. Petersburg: *SPbNILH*, 1999. 98 p. (In Russ.)

Shinkarenko I.B., Dzedzjulja A.A. Optimizatsiya rezhimov gustoty pri tsel'evom vyrashchivanii sosnovykh kul'tur [Optimization of density regimes in targeted cultivation of pine crops]. *Lesovedenie i lesovodstvo: Obzornaja informatsija CBNTI-leshoz*, 1983, no. 3, pp. 1–40. (In Russ.)

Shinkarenko I.B., Govorova T.T., Golovchanskij I.N., Rjabokon' A.P. Vlijanie razlichnykh rezhimov vyrashchivaniya osnovnykh kul'tur na produktivnost', differentsiatsiju i stroenie srednevozrastnykh drevostoev [The influence of different modes of growing pine crops on the productivity, differentiation and structure of middle-aged forest stands]. *Lesovodstvo i agrolesomelioratsija*, 1979, iss. 54, pp. 3–9. (In Russ.)

Shmal'gauzen I.I. Faktory evoljutsii. Teorija stabilizirujushchego otbora [Factors of evolution. The theory of stabilizing selection]. Moscow: Nauka, 1968. 454 p. (In Russ.)

Shutov I.V. Faktor vremeni v lesovodstve i otsenka ego znachenija v stacionarnykh opytakh [The time factor in forestry and assessment of its importance in stationary experiments]. *Lesnye stacionarnye issledovaniya: metody, rezul'taty, perspektivy*. Tula, 2001, pp. 16–22. (In Russ.)

Suvorov V.I. Fiziologicheskie osnovy rubok ukhoda v khvojnykh kul'turakh [Physiological basis of thinning in coniferous crops]. *Problemy rubok ukhoda: materialy konferentsii Mezhdunarodnogo sojuza lesnykh issle-dovatel'skih organizatsij (IJuFRO)*. Moscow, 1987, pp. 24–27. (In Russ.)

Tikhonova I.V. Karlikovye sosny Shirinskoj lesostepi [Dwarf pines of the Shirinskaya forest-steppe]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 2013, no. 2, pp. 22–30. (In Russ.)

Timofeev-Resovskij N.V., Vorontsov N.N., Jablokov A.V. Kratkij ocherk teorii evoljucii [A Brief Outline of the Theory of Evolution]. Moscow: Nauka, 1977. 302 p. (In Russ.)

Vakurov A.D. Rubki ukhoda v kul'turakh raznoj gustoty [Thinning in crops of different density]. *Lesnoe khozjajstvo*, 1967, no. 2, pp. 24–25. (In Russ.)

Vomperskij S.Je., Ivanov A.I. Svjaz' ploshchadi poperechnogo sechenija zaboloni s massoj khvoi sosny obyknovennoj [Relationship between the cross-sectional area of sapwood and the mass of needles of Scots pine]. *Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]*, 1984, no. 3, pp. 60–65. (In Russ.)

Wedin D., Tilman D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. *Ecological Monographs*, 1993, vol. 63, pp. 199–229.

Wilson B.J. Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*, 1988, vol. 25, pp. 279–296.

Zajtsev G.N. Matematicheskij analiz biologicheskikh dannykh [Mathematical analysis of biological data]. Moscow: Vysshaja shkola, 1991. 182 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 19.09.2024

Демаков Ю.П., Шейкина О.В., Шарапов Е.С. Оценка влияния истреживания загущенных сосновых насаждений на разнообразие характера роста деревьев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 135–154. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.135-154

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологий плантационного лесовыращивания, включающих в том числе и рубки ухода, обеспечивающих повышение его экономической эффективности и производительности древостоев. Цель исследования – оценка влияния разных вариантов изреживания 15-летних искусственно созданных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на структурное разнообразие древостоя по характеру роста деревьев и их реакций на колебания климата. Исследования проведены на опытном объекте, расположенном в одном из лесничеств Республики Марий Эл, спустя 30 лет после проведения изреживания древостоя, интенсивность которого изменялась от 25 до 80% по количеству стволов, густота первоначально составляла 10 тыс. экз./га. Измерение радиального годичного прироста проведено у 60 деревьев (по 12 в каждом из пяти вариантов опыта) с погрешностью $\pm 0,05$ мм. Установлено, что древостой во всех вариантах опыта очень неоднороден по характеру роста деревьев, среди которых выделяются группы, диаметрально отличающиеся друг от друга по экологическим требованиям к условиям среды. Ранее интенсивное изреживание загущенных древостоев, созданных в борах Республики Марий Эл, не оказало существенного влияния на разнообразие их структуры по характеру роста деревьев. Увеличение радиального прироста деревьев отмечалось только в первые восемь лет после этого мероприятия, а затем его величина на контрольных секциях была более высокой. Ценопопуляции древесных растений являются саморегулирующимися динамическими системами, величина текущего годичного прироста деревьев в которых управляется механизмом стабилизирующего отбора, действующего на основе обратных связей между ними: у особей с высоким значением прироста его величина в следующем году обычно снижается, что обеспечивает удержание этого параметра в рамках конкретных условий среды. Изреживание древостоя не оказывало существенного влияния на работу этого механизма.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, древостой, изреживание, радиальный годичный прирост деревьев, индивидуальные особенности.

Demakov Yu.P., Sheikina O.V., Sharapov E.S. Assessing the impact of thinning of dense pine stands on tree growth pattern diversity. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 135–154 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.135-154

There is a high need to improve plantation forest cultivation technologies, including thinning, that ensures an increase in its economic efficiency and productivity of forest stands. The objective of the research is to assess the impact of different thinning options of 15-year-old artificially regenerated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands on the structural diversity of the forest stand in terms of tree growth patterns and their responses to climate fluctuations. The authors studied an

experimental site based in one of the Mari El forestries, 30 years after the thinning of the forest stand, the intensity of which varied from 25 to 80% by the number of trunks with the initial density of 10 thousand specimens/ha. The radial annual growth was measured on 60 trees (12 in each of the five experimental variants) with an error of ± 0.05 mm. The authors proved that the forest stand in all experimental variants was heterogeneous in the nature of tree growth, among which there are groups that are diametrically different from each other in terms of ecological requirements for environmental conditions. Early intensive dense forest stands thinning generated in the pine forests of the Mari El Republic did not have a significant impact on the diversity of their structure in terms of tree growth patterns. However, an increase in the radial growth of trees was traceable within the first eight years after thinning, later on its value in the control sections was higher. Coenopopulations of woody plants are self-regulating dynamic systems, the value of the current annual growth of trees in which is guided by the mechanism of stabilizing selection, based on the feedback among them. The specimens with a high growth rate normally will show a decrease in value in the following year, which ensures that this parameter is maintained within the framework of specific environmental conditions. Thus, we are concluding that the thinning of the tree stand has not had a significant impact on the way this mechanism works.

Key words: Scots pine, forest stand, thinning, radial annual growth of trees, specimen characteristics.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор биологических наук. SPIN-код: 1270-0945. ORCID: 0000-0002-7153-5729.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ДЕМАКОВ Yury P. – DSc (Biological), Professor of the Department of Forest Plantations, Selection, and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 1270-0945. ORCID: 0000-0002-7153-5729.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ШЕЙКИНА Ольга Викторовна – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор биологических наук. SPIN-код: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: ShejkinaOV@volgatech.net

SHEIKINA Olga V. – DSc (Biological), Professor of the Department of Forest Plantations, Selection, and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 2215-3308. ORCID: 0000-0002-7507-8588.

424000, Lenin sq. 3, Yoshkar-Ola, Russia. E-mail: ShejkinaOV@volgatech.net

ШАРАПОВ Евгений Сергеевич – профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук. SPIN-код: 4400-2367. ORCID: 0000-0002-6500-5377.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Россия. E-mail: SharapovES@volgatech.net

SHARAPOV Evgenii S. – DSc (Technical), Professor of the Department of Structural Engineering and Water Supply, Volga State University of Technology. SPIN-code: 4400-2367. ORCID: 0000-0002-6500-5377.

424000, Lenin sq. 3, Yoshkar-Ola, Russia. E-mail: SharapovES@volgatech.net