

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ 40-ЛЕТНИХ КУЛЬТУР СОСНЫ РАЗНОЙ ИСХОДНОЙ ГУСТОТЫ

Ю. П. Демаков, Т. В. Нуреева, В. Г. Краснов, А. В. Иванов
Поволжский государственный технологический университет

Отражены результаты оценки производительности 40-летних культур сосны обыкновенной разной исходной густоты (от 0,5 до 11 тыс. экз./га) на стационарном опытном объекте, созданном в сухом бору Силикатного лесничества Республики Марий Эл. Показано, что по мере возрастания исходной густоты культур происходит закономерное уменьшение размеров средних и господствующих деревьев, снижение пределов варьирования их диаметра в древостое, увеличение общей производительности древостоя, а также значений асимметрии и эксцесса распределения, что с высокой достоверностью описывают соответствующие математические уравнения. Средний диаметр деревьев при густоте посадки 11 тыс. экз./га, которая обычно применялась при облесении гарей 1972 года в борах Марийского Заволжья, в 2,3 раза ниже, чем при густоте 500 экз./га. Протяженность кроны среднего дерева различается в 4 раза, коэффициент напряженности роста – в 4,3 раза, объем ствола – в 6 раз, а площадь проекции кроны – в 7,8 раз. Запас крупной и средней древесины наиболее высок в варианте с густотой 1 тыс. экз./га, а таксовая цена древостоя – в варианте с густотой 3 тыс. экз./га. Сделан вывод о том, что в сухих и свежих борах Республики Марий Эл по экономическим критериям целесообразно создавать лесные культуры сосны обыкновенной с исходной густотой не менее 3 тыс. экз./га при условии высокой их сохранности, что позволяет не только существенно снизить затраты на их производство, но и избежать необходимости проведения нерентабельных рубок ухода, обеспечивая длительный интенсивный прирост деревьев. Однако учитывая риски повреждения культур засухами, вредными насекомыми, болезнями и копытными животными, исходную густоту культур целесообразно увеличить до 3,5-4,0 тыс. экз./га.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лесные культуры, исходная густота, таксационные параметры древостоя, таксовая стоимость, математические модели.

PRODUCTIVITY OF 40-YEAR-OLD PINE PLANTATIONS OF DIFFERENT ORIGINAL DENSITY

Yu. P. Demakov, T. V. Nureeva, V. G. Krasnov, A. V. Ivanov
Volga State Technological University

The paper provides the results of evaluating the productivity of 40-year-old Scots pine plantations of different initial density (from 0.5 thousand trees/ha to 11 thousand trees/ha) at a stationary experimental forestry enterprise established in the dry forest of Silikatnoe forestry enterprise (Republic of Mari El). It has been demonstrated that the increase in the initial density of plantations results in a regular decrease in the size of medium and dominant trees, a decrease in stem diameter, an increase in the overall productivity of the forest stand as well as asymmetry and excesses of distribution. The corresponding mathematical equations ensure the accuracy of calculations. The average diameter of trees with a planting density of 11 thousand trees/ha, which was usually used for afforestation after 1972 forest fires in pine forests of Mari Trans-Volga region, is 2.3 times lower than with a density of 500 trees/ha. The length of the crown of a mean tree is 4 times different, the coefficient of growth tension is 4.3 times different, the trunk volume is 6 times different, and the crown projection area is 7.8 times different. The highest stock of large and medium wood is recorded in a stand with a density of 1 thousand trees/ha, and the highest stumpage price for a stand is recorded in a stand with a density of 3 thousand trees/ha. The authors conclude that in dry fresh pine forests of the Republic of Mari El, it is reasonable to establish Scots pine plantations with the

initial density of no less than 3 thousand trees/ha provided they are highly preserved. It will not only significantly reduce the costs for production of plantations but will also help avoid the unprofitable thinning, thus providing a long-term intensive growth of trees. Taking into account the risks of plantation damage caused by droughts, pests, diseases and ungulates, it is recommended that the initial density of plantations should be increased to 3.5-4.0 thousand trees/ha.

Key words: Scots pine, forest plantations, initial density, dendrometry indicators of a stand, stumpage price, mathematical models.

Введение. Одним из основных факторов, определяющих производительность, товарность и жизнеспособность искусственных лесных насаждений (лесных культур), а также экономическую эффективность процесса их выращивания, является исходная густота посадки. Вопрос об её оптимизации, имеющий большое практическое значение и давно обсуждаемый в литературе (Рубцов В.И., Рубцов В.В., 1975; Вакуров, 1979; Шинкаренко, Дзедзюля, 1983; Юодвалькис, Озолинчюс, 1987; Писаренко и др., 1992; Сухов, 1993), не потерял своей актуальности до наших дней, что объясняется многогранностью проблемы и различием подходов исследователей к ее решению. Плантации с интенсивным управлением представляют собой значительные финансовые вложения, которые требуют детального планирования и прогнозирования для обеспечения адекватного возврата (Бузыкин и др., 2002; Усольцев, Маленко, 2008, 2014; Собачкин и др., 2009; Пшеничникова, 2011; Мерзленко, Глазунов, 2014). Важными проблемами в правильном управлении плантацией являются начальная густота посадки, а также контроль, время и интенсивность лесоводственных уходов за ними и оптимальный период выращивания (Weiskitte, 2014; Рогозин, Разин, 2015; Демаков и др., 2016).

В настоящее время исследователями признано, что безотносительного оптимума исходной густоты лесных культур не существует. Он определяется поставленной целью, в качестве которой может выступать либо получение древесины нужного качества и в необходимом количестве в минимально короткие сроки, либо увеличение комплексной продуктивности с учетом всех биологических компонентов лесных экосистем, либо повышение устойчивости и долговечности насаждений, их средообразующих и средоохраняющих функций, а также привлекательности для отдыха людей. Немаловажное значение имеет экономическая составляющая. Так, более низкая густота посадки выгоднее при производстве лесопильной древесины, в то время как более высокая плотность может быть более выгодной для производства биомассы (Węgiel et al., 2018).

Результаты исследований и предлагаемое разделение древостоев на 3 группы с различной густотой показали, что в сосновых насаждениях на почвах, типичных для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), должно оставаться около 550 деревьев на гектар в древостоях, поступающих в 5-й возрастной класс. Такое количество деревьев означает стабильность в сохранении древесины, и это также приводит к увеличению ее стоимости. Большее количество деревьев на гектар не увеличивает общий объем древесины, а скорее приводит к снижению стоимости товарной древесины (Vembenek et al., 2014). Высокая густота может вызвать чрезмерную конкуренцию за природные ресурсы и несбалансированный вертикальный прирост, ведущие деревья будут более восприимчивы к ветрам (Chirici et al., 2015; Dupont et al., 2015).

Хорошо известно, что здоровье и механическая устойчивость деревьев тесно связаны с густотой насаждений. Marchi и др. (2017) предлагают использовать модельный подход при регулировании густоты и выборе стабильных деревьев в плантациях сосны черной (*Pinus nigra* J.) на основе зависимости количества живых сучьев и соотношения диаметра и высоты (HD).

Исследование сосновых насаждений в Чехии подтвердило существенное негативное влияние метеорологической засухи на прирост диаметра изучаемых сосняков в период последних 30 лет. В то же время наблюдалось значительное положительное влияние более высоких ве-

сенних температур воздуха на годовой прирост диаметра доминирующих деревьев. При этом влияние густоты насаждений на соотношение между ростом диаметра и климатическими характеристиками не было значительным (Novak et al., 2010).

Таким образом, добиться того, чтобы лесные культуры выполняли одновременно все функции по максимуму, ни теоретически, ни практически невозможно, поэтому при создании культур необходимо заранее точно определить целевое назначение будущих насаждений. Оптимальная густота насаждений должна дифференцироваться при этом по природно-климатическим зонам, а в пределах последних – по эдафическим условиям.

Цель исследований заключалась в выборе оптимального варианта исходной густоты культур сосны в борах Марийского Заволжья на основе комплексной оценки производительности и таксовой стоимости древостоя в возрасте 40 лет, обеспечивающего получение наивысшего экономического эффекта.

Объекты исследования. Исследования проведены на стационарном объекте, созданном в кв. 20 Силикатного лесничества на обширной гари 1972 года, расчищенной от погибшего 50-летнего соснового древостоя естественного происхождения (рис. 1). Опытный объект состоит из 15 секций и представляет собой чистые культуры сосны разной исходной густоты (от 0,5 до 11 тыс. экз./га). Рельеф участка ровный, почва слабо гумусированная песчаная сухая, тип лесорастительных условий – сухой бор. Дополнительную обработку почвы после расчистки корчевателем-собирателем Д-513А не проводили. Посадку осуществляли весной 1977 года лесопосадочной машиной СБН-1, используя 2-летние сеянцы сосны. Агротехнических и лесоводственных уходов на опытном объекте не проводилось в течение всего периода развития культур. Результаты исследований, проведенных до 2012 года, опубликованы (Демаков и др., 2016).



Рис.1. Спутниковый снимок опытного объекта в кв. 20 Силикатного лесничества

Материалы и методика исследований. В мае 2018 года на всех 15 секциях объекта был проведен очередной (восьмой по счету) пересчет деревьев с обмером таксационных параметров у 205 моделей. Цифровой эмпирический материал обработан общепринятыми методами математической статистики (Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003) на ПК с использованием пакетов стандартных прикладных программ Excel и Statistica. Объем ствола деревьев, фитомассу различных фракций древостоя, его товарную структуру и таксовую цену рассчитывали на основе выведенных нами ранее уравнений (Демаков и др., 2015; Демаков, 2018).

Результаты исследования. Исследования показали, что влияние исходной густоты культур сосны на таксационные параметры 40-летнего древостоя выражено очень четко (табл. 1). Так, к примеру, средний диаметр деревьев при густоте посадки 11 тыс. экз./га, которая обычно применялась при облесении гарей 1972 года в борах Марийского Заволжья, в 2,3 раза ниже, чем при густоте 500 экз./га. Протяженность кроны среднего дерева различается в 4 раза, коэффициент напряженности роста – в 4,3 раза, объем ствола – в 6 раз, а площадь проекции кроны – в 7,8 раз. Густота посадки культур менее всего оказала влияние на высоту деревьев, максимальное значение которой отмечается в варианте с густотой посадки 3 тыс. экз./га, что связано с так называемым эффектом Олли (Одум, 1975; Титов, 1978), согласно которому у объединенных в группу особей, по сравнению с одиночными, значительно повышаются успешность развития и устойчивость к неблагоприятным факторам среды. По мере смыкания древесного полога конкурентные отношения между деревьями приводят к снижению их высоты.

Таблица 1

Параметры среднего дерева в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты

Исходная густота, экз./га	Значения параметров*						
	D, см	H, м	K _{нр} **	Объем ствола, м ³	Протяженность кроны		Проекция кроны, м ²
					м	%	
500	21,7	14,0	298	0,264	6,8	48,2	12,5
1000	18,5	14,4	421	0,199	6,4	44,7	10,5
3000	14,1	14,6	733	0,121	5,1	35,2	7,3
5000	12,6	13,8	868	0,094	4,1	29,7	5,9
11000	9,3	11,0	1273	0,044	1,7	15,1	1,6

*Значения всех таксационных параметров вычислены по данным трех повторностей опыта.

**K_{нр} – коэффициент напряженности роста деревьев ($K_{нр} = H / D^2$, где высота и диаметр дерева выражены в метрах).

Расчеты показали, что изменение параметров среднего дерева в 40-летних культурах сосны под влиянием их исходной густоты с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывают следующие уравнения регрессии:

$$D = 14.7 \times \exp(-26.0 \times 10^{-2} \times N) + 8.0; \quad (1)$$

$$H = 0.637 \times (m + 4)^{1.284} \times \exp[-48.38 \times 10^{-4} \times (N + 4)^{2.5}] + 10.5; \quad (2)$$

$$K_{нр} = 283.3 \times N^{0.579} + 150.0; \quad (3)$$

$$V = 0.253 \times \exp(-36.3 \times 10^{-2} \times N) + 0.04; \quad (4)$$

$$L_{кр.} = 6.0 \times \exp(-18.75 \times 10^{-2} \times N) + 1.5; \quad (5)$$

$$Lh = 37.3 \times \exp(-21.35 \times 10^{-2} \times N) + 15.0; \quad (6)$$

$$S_{кр.} = 12.0 \times \exp(-23.56 \times 10^{-2} \times N) + 1.5, \quad (7)$$

в которых: D – средний диаметр деревьев, см; H – средняя высота деревьев, м; $K_{нр}$ – коэффициент напряженности роста, м⁻¹; V – объем ствола, м³; $L_{кр.}$ – абсолютная величина протяженности кроны, м; Lh – относительная величина протяженности кроны, %; $S_{кр.}$ – площадь проекции кроны, м²; N – исходная густота культур, тыс. экз./га.

Исходная густота культур оказывает большое влияние также на характер распределения деревьев по ступеням их толщины: по мере ее увеличения происходит снижение пределов варьирования их диаметра, смещение его средней величины в сторону низких значений и возрастание эксцесса, что особенно резко проявляется в варианте с самой густой посадкой

(рис. 2, табл. 2). Приведенные данные показывают, что дифференциация древостоя происходит при любой густоте посадки, поскольку в ценопопуляциях присутствуют особи, существенно различающиеся как по энергии роста, так и по конкурентоспособности. При свободном стоянии деревьев в варианте с самой низкой густотой посадки полностью раскрывается их жизненный потенциал, который в загущенном древостое проявляется гораздо слабее. Исходная густота культур оказывает влияние не только на параметры среднего дерева в ценопопуляции, но и господствующих особей (табл. 3), существенно снижая их размеры, а также потенциал роста.

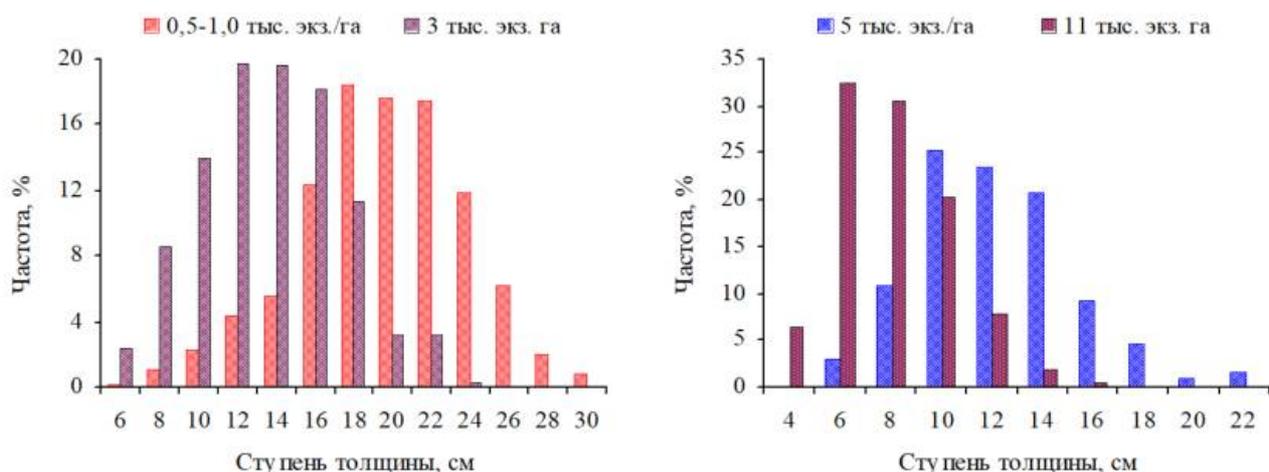


Рис. 2. Распределение деревьев по ступеням толщины в 40-летних культурах сосны разной густоты

Таблица 2
Статистика диаметра деревьев в 40-летних культурах сосны разной исходной густоты

Исходная густота, экз./га	Значения статистических показателей*							
	N	M_x	min	max	S_x	V	A	E
500	341	21,3	8	32	4,18	19,6	-0,356	0,054
1000	403	18,1	6	26	3,82	21,1	-0,487	0,031
3000	424	13,6	6	24	3,65	26,8	0,160	-0,355
5000	425	12,2	6	24	3,21	26,4	0,635	0,669
11000	685	9,0	4	18	2,34	26,0	0,623	0,403

*Обозначения показателей: N – объем выборки, экз.; M_x – среднее арифметическое значение, см; min , max – минимальное и максимальное значения, см; S_x – среднее квадратическое отклонение, см; V – коэффициент вариации, %; A – коэффициент асимметрии распределения; E – коэффициент эксцесса.

Таблица 3
Параметры 500 наиболее крупных деревьев в 40-летних культурах сосны разной густоты

Исходная густота, экз./га	Значения параметров						
	D, см	H, м	Кнр*	Объем ствола, м ³	Протяженность кроны		Проекция кроны, м ²
					м	%	
500	21,7	14,0	298	0,264	6,8	48,2	12,5
1000	20,2	14,8	363	0,241	6,7	45,6	11,7
3000	18,0	16,5	511	0,213	5,9	35,7	9,6
5000	16,8	16,1	570	0,183	5,6	34,6	8,4
11000	12,8	12,8	784	0,090	2,1	16,3	3,5

Изменение параметров у 500 наиболее крупных деревьев в 40-летних сосновых культурах под влиянием их исходной густоты с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывают, как показали расчеты, следующие уравнения регрессии:

$$D = 13.0 \times \exp(-11.1 \times 10^{-2} \times N) + 9.0 ; \quad (8)$$

$$H = 0.149 \times (m + 3)^{2.134} \times \exp[-31.85 \times 10^{-4} \times (N + 3)^{2.75}] + 12.5 ; \quad (9)$$

$$K_{np} = 161.3 \times N^{0.536} + 200.0 ; \quad (10)$$

$$V = 0.228 \times \exp(-12.84 \times 10^{-2} \times N) + 0.05 ; \quad (11)$$

$$L_{кр.} = 5.1 \times \exp(-10.9 \times 10^{-2} \times N^{2.269}) + 1.9 ; \quad (12)$$

$$Lh = 33.5 \times \exp(-7.21 \times 10^{-2} \times N^{1.44}) + 15.0 ; \quad (13)$$

$$S_{кр.} = 11.4 \times \exp(-14.26 \times 10^{-2} \times N) + 2.0 . \quad (14)$$

Исходная густота культур сосны, как показали исследования, во много определяет не только параметры деревьев, но и производительность древостоя, которая неуклонно возрастает по мере ее увеличения, достигая предельно возможных значений для данных лесорастительных условий в варианте опыта с самой густой посадкой (табл. 4). Процесс изреживания древостоя протекает в культурах медленнее, чем это требуется для его нормального развития, и его текущая густота увеличивается прямо пропорционально исходной. В результате этого вариант с исходной густотой 11 тыс. экз./га превышает вариант с густотой 500 экз./га по сомкнутости полога 40-летнего древостоя в 4,3 раза, по запасу и абсолютно сухой массе стволов – в 2,6 раза, по массе корней – в 2,2 раза, а по массе хвои – в 3,8 раза. В густых культурах, несмотря на это, эффективность работы ассимиляционного аппарата, как нами ранее было показано (Демаков и др., 2016; Демаков, Нуреева, 2018), ниже, чем в редких, в результате чего он производит меньшее количество массы стволовой древесины. С увеличением исходной густоты культур происходит также возрастание нагрузки на сосущие корни, которым становится всё труднее обеспечивать влагой и питательными веществами крону деревьев, что приводит к их ослаблению и снижению засухоустойчивости. Деревья же в редких культурах наиболее эффективно используют солнечную энергию и депонируют углекислоту.

Таблица 4

Параметры производительности 40-летних культур сосны разной исходной густоты

Исходная густота, экз./га	Сохранность		Сомкнутость крон деревьев	Полнота относит.	Запас, м ³ /га	Фитомасса, т/га			
	экз./га	%				стволов	ветвей	корней	хвои
500	396	82,1	0,50	0,43	104	47,3	5,9	19,3	2,27
1000	728	73,8	0,85	0,57	145	65,7	8,0	24,3	3,18
3000	1723	59,8	1,65	0,78	209	94,3	11,5	30,5	4,78
5000	2303	47,4	1,93	0,86	215	97,5	12,2	31,4	5,31
11000	6109	55,5	2,14	1,37	269	122,9	16,8	41,8	8,60

Изменение параметров древостоя в 40-летних сосновых культурах под влиянием их исходной густоты с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывают, как показали расчеты, следующие уравнения регрессии:

$$N_{40} = 743 \times N_0^{0.716} ; \quad (15)$$

$$W = 61.3 \times \exp(-20.3 \times 10^{-2} \times N_0) + 25.5 ; \quad (16)$$

$$S = 2.14 \times [1 - \exp(-50.4 \times 10^{-2} \times N_0)] ; \quad (17)$$

$$P = 1.24 \times [1 - \exp(-39.2 \times 10^{-2} \times N_0)] ; \quad (18)$$

$$V = 238 \times [1 - \exp(-96.0 \times 10^{-2} \times N_0)] ; \quad (19)$$

$$M_{ств.} = 108.1 \times [1 - \exp(-95.1 \times 10^{-2} \times N_0)] ; \quad (20)$$

$$M_{вет.} = 14.3 \times [1 - \exp(-76.1 \times 10^{-2} \times N_0)] ; \quad (21)$$

$$M_{кор.} = 34.8 \times [1 - \exp(-133.8 \times 10^{-2} \times N_0)]; \quad (22)$$

$$M_{хв.} = 8.32 \times [1 - \exp(-30.0 \times 10^{-2} \times N_0)], \quad (23)$$

в которых: N_0 – исходная густота культур, тыс. экз./га; N_{40} – густота древостоя в возрасте 40 лет, тыс. экз./га; W – сохранность деревьев в культурах, %; S – сомкнутость полога древостоя, отн. един.; P – полнота древостоя относительная, доля един.; V – запас стволовой древесины, м³/га; $M_{ств.}$ – абсолютно сухая масса стволов с корой, т/га; $M_{вет}$ – абсолютно сухая масса ветвей, т/га; $M_{кор.}$ – абсолютно сухая масса корней, т/га; $M_{хв.}$ – абсолютно сухая масса хвои, т/га.

Окончательное решение по выбору оптимального варианта исходной густоты культур можно сделать лишь на основе оценки товарной структуры и таксовой цены древостоя. Суммарный запас крупной и средней древесины в 40-летних культурах наиболее высок, как показали расчеты, в варианте с густотой 1 тыс. экз./га, а таксовая цена древостоя – в варианте с густотой 3 тыс. экз./га (табл. 5). Запасы же мелкой, дровяной и неликвидной древесины максимальны в варианте с самой высокой густотой.

Таблица 5

Товарная структура и таксовая цена древостоя в 40-летних культурах сосны разной густоты

Исходная густота, экз./га	Запас древесины различных категорий, м ³ /га					Таксовая цена, тыс. руб./га
	крупная	средняя	мелкая	дрова	неликвид	
500	5,7	57,3	25,4	3,5	12,1	13,24
1000	2,0	65,8	54,7	5,2	17,3	16,60
3000	0,0	44,6	129,9	9,0	25,5	19,69
5000	0,0	27,4	151,9	10,2	25,5	18,68
11000	0,0	0,0	221,3	16,0	31,7	18,34

Изменение параметров товарной структуры 40-летнего древостоя в культурах сосны под влиянием их исходной густоты с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывают следующие уравнения регрессии:

$$V_{кр+ср} = 100.5 \times N_0^{0.382} \times \exp(-40.0 \times 10^{-2} \times N_0); \quad (24)$$

$$V_{мел} = 61.2 \times N_0^{0.548}; \quad (25)$$

$$V_{др} = 5.05 \times N_0^{0.476}; \quad (26)$$

$$V_{нел} = 16.9 \times N_0^{0.272}; \quad (27)$$

$$C_{такс} = 16.73 \times N_0^{0.242} \times \exp(-4.56 \times 10^{-2} \times N_0)], \quad (28)$$

в которых: N_0 – исходная густота культур, тыс. экз./га; $V_{кр+ср}$ – запас крупной и средней древесины, м³/га; $V_{мел}$ – запас мелкой древесины, м³/га; $V_{др}$ – запас дровяной древесины, м³/га; $V_{нел}$ – запас неликвидной древесины, м³/га; $C_{такс}$ – таксовая цена всей древесины на корню, тыс. руб./га.

Таким образом, результаты проведенного исследования убедительно свидетельствуют об экономической эффективности создания лесных культур сосны обыкновенной в сухих и свежих борах Республики Марий Эл с исходной густотой не менее 3,0 тыс. экз./га (при условии их высокой сохранности), что позволяет не только существенно снизить затраты на их производство, но и избежать необходимости проведения нерентабельных рубок ухода (Сеннов, 1984; Загреев, Сеницын, 1988), обеспечивая длительный интенсивный прирост деревьев. При этом, однако, необходимо иметь в виду риски повреждения культур вредными насекомыми, болезнями и копытными животными, с учетом воздействия которых исходную густоту культур целесообразно увеличить до 3,5-4,0 тыс. экз./га.

Выводы

1. По мере возрастания исходной густоты 40-летних культур сосны происходит закономерное уменьшение размеров средних и господствующих деревьев, снижение пределов варьирования их диаметра в древостое, а также увеличение значений асимметрии и эксцесса распределения, что с высокой достоверностью описывают соответствующие математические уравнения.

2. Дифференциация древостоя происходит при любой густоте посадки, поскольку в ценопопуляциях присутствуют особи, существенно различающиеся как по энергии роста, так и по конкурентоспособности. При свободном стоянии деревьев в варианте с самой низкой густотой посадки полностью раскрывается их жизненный потенциал, который в загущенном древостое проявляется гораздо слабее.

3. Процесс изреживания древостоя протекает в культурах медленнее, чем это требуется для его нормального развития, и его текущая густота увеличивается прямо пропорционально исходной, что приводит к неуклонному возрастанию конкурентных отношений между деревьями и торможению их роста. Вариант с исходной густотой 11 тыс. экз./га превышает вариант с густотой 500 экз./га по сомкнутости полога 40-летнего древостоя в 4,3 раза.

4. Производительность древостоя неуклонно возрастает по мере увеличения исходной густоты культур сосны, достигая предельно возможных значений для данных лесорастительных условий в варианте опыта с самой густой посадкой. Запас крупной и средней древесины наиболее высок в варианте с густотой 1 тыс. экз./га, а таксовая цена древостоя – в варианте с густотой 3 тыс. экз./га.

5. В сухих и свежих борах Республики Марий Эл по экономическим критериям целесообразно создавать лесные культуры сосны обыкновенной с исходной густотой не менее 3 тыс. экз./га, что позволяет не только существенно снизить затраты на их производство, но и избежать необходимости проведения нерентабельных рубок ухода, обеспечивая длительный интенсивный прирост деревьев. Но с учетом высоких рисков весенних засух, повреждения культур вредными насекомыми, болезнями и копытными животными, исходную густоту культур целесообразно увеличить до 3,5-4,0 тыс. экз./га.

Библиографический список

1. Бузыкин, А.И. Густота и продуктивность древесных ценозов / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский. – Новосибирск: Наука, 2002. – 152 с.
2. Вакуров, А. Д. Тридцатилетний опыт выращивания сосновых культур разной густоты под Москвой / А.Д. Вакуров // Лесоведение. – 1979. – № 6. – С. 81-85.
3. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии / А.С. Гринин, Н.А. Орехов, В.Н. Новиков. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.
4. Демаков, Ю. П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – 432 с.
5. Демаков, Ю. П. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, В.Л. Черных, Л.В. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2. – С. 19-36.
6. Демаков, Ю. П. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т. В.Нуреева, А.С. Пуряев, А. А. Рыжков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2016. – № 4 (32). – С. 19-33.
7. Демаков, Ю. П. Производительность хвой и камбия среднего дерева в культурах сосны разной исходной густоты / Ю.П. Демаков, Т. В.Нуреева // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: международный сборник научных статей. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. – С. 75-81.
8. Загреев, В. В. Древесный отпад: величина, товарная структура, использование / В.В. Загреев, С.Г. Синицын // Лесное хозяйство. – 1988. – № 11. – С. 33-37.
9. Зайцев, Г. Н. Математический анализ биологических данных / Г.Н. Зайцев. – Москва: Высшая школа, 1991. – 182 с.

10. Мерзленко, М. Д. Рост и состояние культур сосны разной густоты в Серебряноборском опытном лесничестве / М.Д. Мерзленко, Ю.Б. Глазунов // ИВУЗ: Лесной журнал. – 2014. – № 6. – С. 32-40.
11. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
12. Писаренко, А. И. Искусственные леса / А.И. Писаренко, Г.И. Редько, М.Д. Мерзленко. – Москва: ВНИИЦлесресурс, 1992. Ч. 2. – 239 с.
13. Пшеничникова, Л. С. Влияние густоты экспериментальных посадок на радиальный прирост лиственницы сибирской / Л.С. Пшеничникова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2011. – № 28. – С. 61-65.
14. Рогозин, М. В. Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы / М.В. Рогозин, Г.С. Разин. – Пермь: ПГНИУ, 2015. – 277 с.
15. Рубцов, В. И. Биологическая продуктивность 20-летних культур сосны при разной густоте посадки / В.И. Рубцов, В.В. Рубцов // Лесоведение. – 1975. – № 1. – С. 28-36.
16. Сеннов, С. Н. Уход за лесом (экологические основы) / С.Н. Сеннов. – Москва: Лесная промышленность, 1984. – 128 с.
17. Собачкин, Д. С. Влияние густоты на таксационные показатели сосновых молодяков естественного и искусственного происхождения / Д.С. Собачкин, В.Е. Бенькова, Р.С. Собачкин, А.И. Бузыкин // Лесоведение. – 2009. – № 2. – С. 3-9.
18. Сухов, И. В. Закономерности роста и продуктивности опытных культур сосны разной густоты в Воронежской области / И.В. Сухов // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования. – Воронеж: ВЛТИ, 1993. – Кн. 2. – С. 40-41.
19. Титов, Ю. В. Эффект группы у растений / Ю.В. Титов. – Ленинград: Наука, 1978. – 151 с.
20. Усольцев, В. А. Культуры сосны разной густоты посадки и проблема ее оптимизации / В.А. Усольцев, А.А. Маленко // Ботанические исследования в Сибири. Вып. 16. – Красноярск: Красноярское отд. Российского ботанического общества, 2008. – С. 136-164.
21. Усольцев, В. А. Лесные культуры разной начальной густоты. Сообщение 1. Оптимизационные аспекты группы и плотности / В.А. Усольцев, А.А. Маленко // Эко-потенциал. – 2014. – № 3 (7). – С. 23-33.
22. Усольцев, В. А. Лесные культуры разной начальной густоты. Сообщение 2. Анализ опытных посадок сосны обыкновенной / В.А. Усольцев, А.А. Маленко // Эко-потенциал. – 2014. – № 3 (7). – С. 34-47.
23. Шинкаренко, И. Б. Оптимизация режимов густоты при целевом выращивании сосновых культур / И.Б. Шинкаренко, А.А. Дзедзюля // Лесоведение и лесоводство: Обзорная информация ЦБНТИлесхоз. – 1983. – № 3. – С. 1-40.
24. Юодвалькис, А. И. Лесоводственно-биологические аспекты оптимизации первоначальной густоты сосновых насаждений / А.И. Юодвалькис, Р.В. Озолинчюс // Лесное хозяйство. – 1987. – № 9. – С. 20-22.
25. Bembenek, M. Value of merchantable timber in scots pine stands of different densities/ M. Bembenek, Z. Karaszewski, K. Kondracki, A. Łacka, P.S. Mederski, M. Skorupski, P. Strzeliński, S. Sułkowski, A. Węgie // WOOD: Research papers. Research reports. Announcements. – 2014. – Vol. 57, No. 192. – P.133-142.
26. Chirici, G. Attivita di monitoraggio dei danni da vento ai comprensori forestali della Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015 / G. Chirici, L. Bottai, F. Bottalico, A. Bronzi, C. Chiostri, O. Ciancio, M. Fioravanti, M. Germani, F. Giannetti, B. Gozzini, E. Gravano, A.M. Melara, S. Nocentini, D. Travaglini // In SiSEF (Ed.), SiSEF National Congress. - Abstract Book. Florence.
27. Dupont, S. Wind damage propagation in forests. / S. Dupont, D. Pivato, Y. Brunet // Agricultural and Forest Meteorology. – Vol. 214-215. – P. 243–251.
28. Marchi, M. Assessing the mechanical stability of trees in artificial plantations of *Pinus nigra* J. F. Arnold using the LWN tool under different site indexes / M. Marchi, U. Chiavetta, P. Cantiani // Annals of Silvicultural Research. – 2017. – Vol. 41. – № 1. – P.48-53.
29. Novak, J. The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations / J. Novak, M. Slodicak, D. Káčálek, D. Dušek // Journal of Forest Science. – 2010. – Vol.56. – №10. – P. 461-473.
30. Weiskitte, A. R. Forest Growth and Yield Models for Intensively Managed Plantations. The / J.G. Borges, L. Diaz-Balteiro, M.E. McDill, L.C.E. Rodriguez // Management of Industrial Forest Plantations. Projects: The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications Forest Growth and Yield Modeling Plantation Models. – Editors, 2014. – P.61-91.
31. Węgie, A. Relationship between stand density and value of timber assortments: a case study for Scots pine stands in north-western Poland / A. Węgie, M. Bembenek, A. Łacka, P. S. Mederski // New Zealand Journal of Forestry Science. – 2018. – Vol. 48, № 12. – P. 2-9.

References

1. Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S., Sukhovol'skii V.G. Gustota i produktivnost' drevesnykh tsenozov [Density and productivity of wood cenoses], Novosibirsk, Nauka, 2002, 152 p.
2. Vakurov A. D. Tridtsatiletnii opyt vyrashchivaniya sosnovykh kul'tur raznoi gustoty pod Moskvoi [Thirty years of experience growing pine crops of different densities near Moscow], *Lesovedenie* [Forest science], 1979, No. 6, pp. 81-85.
3. Grinin A.S., Orekhov N.A., Novikov V.N. Matematicheskoe modelirovanie v ekologii [Mathematical modeling in ecology], Moscow, YuNITI-DANA, 2003, 269 p.
4. Demakov, Yu. P. Struktura i zakonomernosti razvitiya lesov Respubliki Marii El [The structure and patterns of forest development of the Mari El Republic], Yoshkar-Ola: PGTU, 2018, 432 p.

5. Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Chernykh V.L., Chernykh L.V. Ispol'zovanie allometricheskikh zavisimosti dlya otsenki fitomassy razlichnykh fraktsii derev'ev i modelirovaniya ikh dinamiki [The use of allometric dependencies for assessing the phytomass of various tree fractions and modeling their dynamics], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2015, No. 2, pp. 19-36.
6. Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Ryzhkov A.A., Zakonomernosti razvitiya drevostoya v kul'turakh sosny obyknovnoy raznoi iskhod-noi gustoty [Patterns of development of the stand in the cultures of common pine of different initial density], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management], 2016, No. 4 (32), pp. 19-33.
7. Demakov Yu.P., Nureeva T.V. Proizvoditel'nost' khvoi i kambiya srednego dereva v kul'turakh sosny raznoi iskhod-noi gustoty [Productivity of conifers and cambium of a middle tree in pine crops of different initial density], *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyi monitoring* [Forest Ecosystems under Climate Change: Biological Productivity and Remote Monitoring]: *mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh statei*, Yoshkar-Ola: PGTU, 2018, pp. 75-81.
8. Zagreev V.V., Sinitsyn S.G. Drevesnyi otpad: velichina, tovarnaya struktura, ispol'zovanie [Woody mortality: size, commodity structure, using], *Lesnoe khozyaistvo [Forestry]*, 1988, No. 11, pp. 33-37.
9. Zaitsev G. N. Matematicheskiy analiz biologicheskikh dannykh [Mathematical Analysis of Biological Data], Moscow, Vysshaya shkola, 1991, 182 p.
10. Merzlenko M.D., Glazunov Yu.B. Rost i sostoyanie kul'tur sosny raznoi gustoty v Serebryanoborskom opytном lesnichestve [Growth and condition of pine crops of different densities in Serebryanoborsky experimental forestry], *IVUZ, Lesnoi zhurnal* [Forest magazine], 2014, No. 6, pp. 32-40.
11. Odum Yu. Osnovy ekologii [Fundamentals of ecology], Moscow, Mir, 1975, 740 p.
12. Pisarenko A.I., Red'ko G.I., Merzlenko M.D. Iskusstvennye lesa [Planted forests], Moscow, VNIITslesresurs, 1992, Part 2, pp.239.
13. Pshenichnikova L.S. Vliyanie gustoty eksperimental'nykh posadok na radial'nyi prirost listven-nitsy sibirskoi [The influence of the density of experimental plantings on the radial growth of Siberian larch], *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2011, No. 28, pp. 61-65.
14. Rogozin M.V., Razin G.S. Razvitie drevostoev. Modeli, zakony, gipotezy [The development of stands. Models, laws, hypotheses], Perm', PGNIU, 2015, 277 p.
15. Rubtsov V.I., Rubtsov V.V. Biologicheskaya produktivnost' 20-letnikh kul'tur sosny pri raznoi gustote posadki [Biological productivity of 20-year-old pine crops with different planting densities], *Lesovedenie* [Forest science], 1975, No. 1, pp. 28-36.
16. Sennov S.N. Ukhod za lesom (ekologicheskie osnovy) [Forest care (environmental fundamentals)], Moscow, *Lesnaya promyshlennost'* [Forest industry], 1984, 128 p.
17. Sobachkin D.S., Ben'kova V.E., Sobachkin R.S., Buzykin A.I. Vliyanie gustoty na taksatsionnye pokazateli sosnovykh molodnyakov estestvennogo i iskusstvennogo proiskhozhdeniya [The influence of density on taxation indicators of pine young growths of natural and artificial origin], *Lesovedenie* [Forest science], 2009, No. 2, pp. 3-9.
18. Sukhov I.V. Zakonomernosti rosta i produktivnosti opytnykh kul'tur sosny raznoi gustoty v Voronezhskoi oblasti [Patterns of growth and productivity of experimental pine crops of different densities in the Voronezh region], *Sosnovye lesa Rossii v sisteme mnogotsелеvogo lesopol'zovaniya* [Russian Pine Forests in the Multipurpose Forest Management System], Voronezh, VLTI, 1993, Book 2, pp. 40-41.
19. Titov Yu.V. Effekt gruppy u rastenii [Group effect in plants], Leningrad, Nauka, 1978, 151 p.
20. Usoltsev V.A., Malenko A.A. Kul'tury sosny raznoi gustoty posadki i problema ee optimizatsii [Pine crops of different planting density and the problem of its optimization], *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri* [Botanical research in Siberia], Release 16, Krasnoyarsk, Krasnoyarskoe otd. Rossiiskogo botanicheskogo obshchestva, 2008, pp. 136-164.
21. Usoltsev V.A., Malenko A.A. Lesnye kul'tury raznoi nachal'noi gustoty. Soobshchenie 1. Optimizatsionnye aspekty gruppy i plotnosti xForest crops of different initial densities. Communication 1. Optimization aspects of the group and density], *Eko-potentsial* [Eco potential], 2014, No. 3 (7), pp. 23-33.
22. Usoltsev V.A., Malenko A.A. Lesnye kul'tury raznoi nachal'noi gustoty. Soobshchenie 2. Analiz opytnykh posadok sosny obyknovnoy [Forest crops of different initial densities. Message 2. Analysis of experimental plantings of Scots pine], *Eko-potentsial* [Eco potential], 2014, No. 3 (7), pp. 34-47.
23. Shinkarenko I.B., Dzedzyulya A.A. Optimizatsiya rezhimov gustoty pri tselevom vyrashchivaniy sosnovykh kul'tur [Optimization of density regimes for targeted cultivation of pine crops], *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forestry science and forestry]: *Obzornaya informatsiya*, TsBNTIleskhoz, 1983, No. 3, pp. 1-40.
24. Yuodval'kis A.I., Ozolinchys R.V. Lesovodstvenno-biologicheskie aspekty optimizatsii pervonachal'noi gustoty sosnovykh nasazhdenii [Forestry-biological aspects of optimization of the initial density of pine plantations], *Lesnoe khozyaistvo* [Forestry], 1987, No. 9, pp. 20-22.
25. Bembenek M., Karaszewski Z., Kondracki K., Łacka A., Mederski P.S., Skorupski M., Strzełiński P., Sułkowski S., Węgie A. Value of merchantable timber in scots pine stands of different densities, *WOOD: Research papers. Research reports. Announcements*, 2014, Vol. 57, No. 192, pp.133-142.
26. Chirici G., Bottai L., Botalico F., Bronzi A., Chiostrì C., Ciancio O., Fioravanti M., Germani M., Giannetti F., Gozzini B., Gravano E., Melara AM., Nocentini S., Travaglini D. Attivita di monitoraggio dei danni da vento ai comprensori forestali della Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015., *SISEF National Congress - Abstract Book*. Florence.

27. Dupont S., Pivato D., Brunet Y. Wind damage propagation in forests, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 214-215, pp. 243–251.
28. Marchi M., Chiavetta U., Cantiani P. Assessing the mechanical stability of trees in artificial plantations of *Pinus nigra* J. F. Arnold using the LWN tool under different site indexes, *Annals of Silvicultural Research*, 2017, Vol. 41, № 1, pp.48-53.
29. Novak J., Slodicak M., Kacálek D., Dušek D. The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations, *Journal of Forest Science*, 2010, Vol.56, No. 10, pp. 461-473.
30. Weiskitte A.R., Borges J.G., Diaz-Balteiro L., McDill M.E., Rodriguez L.C.E. Forest Growth and Yield Models for Intensively Managed Plantations. In book: *The Management of Industrial Forest Plantations. Projects: The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications Forest Growth and Yield Modeling Plantation Models*, 2014, pp.61-91.
31. Węgie A., Bembenek M., Łacka A., Mederski P.S. Relationship between stand density and value of timber assortments: a case study for Scots pine stands in north-western Poland, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2018, Vol. 48, No. 12, pp. 2-9.