

**Ю.П. Демаков, Е.С. Шарапов, В.Г. Краснов, А.С. Королев,
Т.В. Нуриева**

**ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ
ПЛАНТАЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
НА СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

Введение. Актуальность темы исследований обусловлена необходимостью совершенствования комплекса различных мероприятий по воспроизведству и повышению эколого-ресурсного потенциала лесов [Романов и др., 2007; Романов, 2021], предусматривающих оптимизацию их породного состава [Демаков и др., 2018], технологий создания и режимов выращивания насаждений [Калиниченко и др., 1973; Шинкаренко, Дзедзюля, 1983; Юодвалькис, Озолинчус, 1987; Писаренко и др., 1992; Демаков, 2022], а также отбора генетически ценных деревьев для их последующего размножения [Потылев, 1997; Царёв и др., 2002; Царёв, Лаур, 2006; Ефимов, 2008; Видякин, 2008, 2010; Рогозин, 2013; Бессчётнова, 2016]. В настоящее время требуется не просто воспроизводить леса, а выращивать их для конкретного потребителя [Лесные..., 1984; Плантационное..., 2007; Демаков и др., 2021], ускоренно получая большое количество древесины нужного качества. Ведение лесного хозяйства предусматривает, кроме того, оптимизацию трудовых и материальных затрат, направленных на получение наивысшего экономического эффекта [Демаков и др., 2018].

Цель работы – обоснование целесообразности создания плантаций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в дубравных и судубравных лесорастительных условиях Республики Марий Эл, позволяющих сократить сроки выращивания насаждений, повысить количество и качество получаемой продукции, на основе изучения развития древостоев естественного и искусственного происхождения, а также формирования у деревьев плотности древесины.

Материалы и методика исследования. Для написания статьи использовали сведения о таксационных параметрах древостоев, содержащиеся в электронной базе данных по Республике Марий Эл (более 45 тыс. выделов в ТЛУ D2 и C2), а также материалы натурной оценки на 15 научных объектах в древостоях естественного происхождения и в плантационных

культурах сосны обыкновенной, произрастающих на дерново-подзолистых и серых лесных суглинистых почвах. Деревья при учете разделяли по ступеням толщины и состоянию, отмечая наличие у них различных пороков. Для оценки внутреннего состояния и косвенного определения технических свойств древесины использовали метод измерения сопротивления сверлению устройством IML-RESI PowerDrill 400 (IML System GmbH, Вислох, Германия). Оценку проводили в каждом биотопе у 25 деревьев разного диаметра на высоте 1,3 м с северной стороны в радиальном направлении. С помощью бурава Прессслера (Haglöf Sweden AB, Лонгсле, Швеция) отбирали цилиндрические керны длиной 50 мм, которые сразу же помещали в индивидуальные пластиковые замаркированные контейнеры. Лабораторные измерения базисной плотности древесины проводили по ГОСТ 16483.1-84 в течение того же дня. Для этого определяли на весах VibraALE-623 (Shinko Denshi Co., Ltd., Токио, Япония) массу сырого керна с погрешностью 10^{-6} кг, измеряли с помощью штангенциркуля его длину, а также диаметр вдоль и поперек волокон с погрешностью $\pm 0,01$ мм и вычисляли его объем. После этого керны высушивали при температуре 103 °C до постоянной массы и вновь взвешивали на этих же весах. В каждом биотопе у 10–15 господствующих деревьев также брали керны древесины для анализа динамики их радиального годичного прироста, который проводили по общепринятым методикам [Битвинская, 1974; Методы..., 2000]. Измерение ширины годичных колец проводили на микроскопе МБС-10 с точностью $\pm 0,05$ мм. Цифровой эмпирический материал обработан стандартными методами математической статистики [Зайцев, 1991; Гринин и др., 2003] на ПК с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel® 2016 и Statistica 10 (Dell, Раунд-Рок, TX, США).

Результаты исследования. Лесные плантации будут иметь наиболее высокую производительность, как можно предположить, на богатых суглинистых почвах. Здесь, однако, очень часто формируются лиственные или же сложные многопородные древостоя. Так, в дубравах и раменях Республик Среднего Поволжья (Татарстан, Чувашия и Марий Эл) довольно много малоценных березняков и осинников [Пуряев, Демаков, 2014; Демаков и др., 2018; Демаков, Краснов, 2018], что свидетельствует о необходимости коренного изменения структуры лесов за счет создания плантаций хвойных пород деревьев, особенно сосны обыкновенной.

Основным показателем фактической производительности древостоев является запас стволовой древесины (M , $m^3 \times ga^{-1}$), который, как было уста-

новлено нами ранее [Демаков и др., 2018], увеличивается с возрастом (A, лет) лишь до определенного момента, а затем неуклонно снижается, что с высокой точностью аппроксимируют уравнения оптимума (1) и (2):

в ТЛУ D₂

$$M = \frac{100 \cdot A}{30,01 \cdot 10^{-4} \cdot A^2 - 30,75 \cdot 10^{-2} \cdot A + 23,11}; R^2 = 0,959; \quad (1)$$

в ТЛУ C₂

$$M = \frac{100 \cdot A}{41,73 \cdot 10^{-4} \cdot A^2 - 36,42 \cdot 10^{-2} \cdot A + 29,23}; R^2 = 0,924. \quad (2)$$

Расчеты, проведенные по данным уравнениям, показали, что кульминация запаса стволовой древесины наступает в сосновках в возрасте 85–90 лет, составляя в свежих дубравах 456 м³×га⁻¹, а в свежих раменях – всего лишь 300 м³×га⁻¹, что связано с большой долей участия в их составе лиственных пород деревьев. Кульминация же среднего годичного прироста запаса, определяющего возраст количественной спелости древостоя, наступает в свежих дубравах в возрасте 55 лет, а в раменях – в 45 лет, составляя соответственно 6,55 и 4,70 м³×га⁻¹, свидетельствуя о целесообразности выращивания древостоев в этих условиях с коротким оборотом рубки. Производительность насаждений, состоящих из других пород деревьев, здесь значительно ниже [Пуряев, Демаков, 2014; Демаков и др., 2016, 2018; Демаков, Краснов, 2018].

Ярким примером высокой производительности древостоев в ТЛУ C₂ являются чистые культуры сосны обыкновенной, созданные на приовражных землях Советского, Куженерского и Сернурского районов Республики Марий Эл (табл. 1, рис. 1), запас стволовой древесины которых в возрасте 45 лет достигает 624 м³×га⁻¹, в том числе крупной и средней – 57,2%. Высока также производительность в сходных условиях кулисных сосново-лиственничных культур (рис. 2). Создавать же на богатых суглинистых дерново-подзолистых почвах смешанные сосново-елово-березовые культуры, как показали наши исследования [Демаков и др., 2017; Демаков, 2022; Демаков и др., 2022], не целесообразно, так как это снижает производительность и устойчивость насаждений. Береза в смешанных древостоях обгоняет хвойные деревья не только в росте, но и в развитии: в возрасте 45 лет она уже полностью достигает спелости, и промедление с ее вырубкой ведет лишь к потере товарных качеств древесины. Деревья же сосны и ели еще требуют дозривания.

Таблица 1

Производительность 45-летних культур сосны, созданных на приовражных землях Марийского Заволжья в ТЛУ С₂

Variability of the basis density values of sapwood in Scots pine trees at the research sites in the oakeries and ramens in Mari Zavolzhye

Параметр древостоя	Значения статистических показателей (N = 12)*				
	M ± m	min	max	S _x	CV
Густота, экз.×га ⁻¹	1374 ± 116	776	2108	402	29,3
Средний диаметр ствола, см	21,1 ± 0,6	17,7	25,3	1,99	9,4
Средняя высота деревьев, м	22,5 ± 0,7	18,2	25,5	2,48	11,0
Площадь сечения стволов, м ² ×га ⁻¹	48,77 ± 2,10	40,43	67,63	7,27	14,9
Относительная полнота	1,19 ± 0,06	0,94	1,77	0,22	18,5
Запас стволовой древесины, м ³ ×га ⁻¹	493 ± 15	450	624	51,0	10,3
Доля крупной и средней древесины, %	57,2 ± 2,1	42,6	70,0	7,1	12,4

Примечание: M ± m – среднее значение параметра и его ошибка; min, max – минимальное и максимальное значения параметра; S_x – стандартное отклонение значений параметра; CV – коэффициент вариации значений, %

Каждый из таксационных показателей древостоя на объектах исследования, как следует из приведенных данных, варьирует по-разному. Наиболее сильно изменяется объем крупной древесины (CV=65,2%), во многом зависящий от густоты насаждений, которая в свою очередь очень сильно влияет на величину среднего диаметра деревьев. Значения коэффициента вариации большинства показателей изменяются от 11 до 25%, что свидетельствует о высокой однородности условий произрастания древостоев и технологий создания плантаций. В культурах сосны пока не отмечено значительных патологий деревьев, о чем свидетельствует небольшое количество сухостоя, который отмечается в основном среди деревьев низших ступеней толщины, и очагов корневой губки. Основную долю в культурах занимают здоровые деревья (рис. 3), а доля деревьев с кривизной ствола, многовершинностью и сильной сучковатостью, слабым очищением его от отмерших ветвей, которые должны быть удалены при рубках ухода, варьирует от 13,2 до 23,9%.

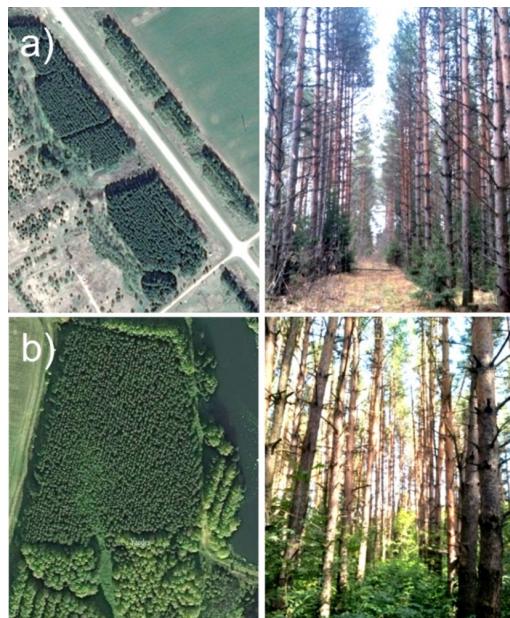


Рис. 1. Спутниковые и наземные снимки высокопроизводительных противоэрозионных 45-летних (а) и 55-летних (б) сосновых насаждений на суглинках в ТЛУ С₂

Fig. 1. Satellite and ground images of highly-productive erosion-preventing 45-year-old (a) and 55-year-old (b) pine plantations on the clay-loam soils in the C₂ type forest growth conditions



Рис. 2. Пятирядно-кулисные 50-летние сосново-лиственничные культуры, созданные на суглинистых почвах в пригороде г. Ижевска по схеме 4×2 м с исходной густотой 1250 экз.×га⁻¹

Fig. 2. Five-row strip 50-year-old pine and larch plantations established on the clay-loam soils in the Izhevsk suburb according to the 4×2 m pattern with an original thickness of 1250 trees×ha⁻¹

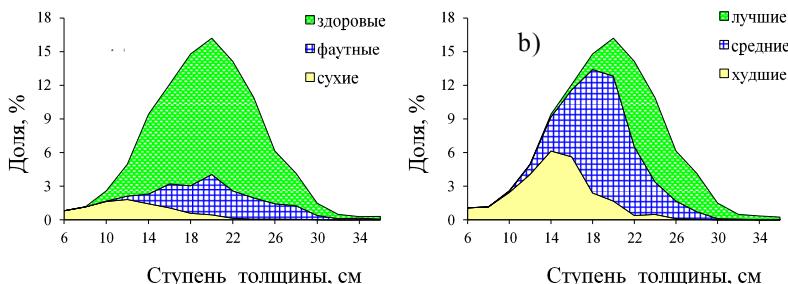


Рис. 3. Закономерности распределения деревьев сосны разных категорий санитарного состояния (а) и роста по ступеням их толщины (б) в противоэрозионных насаждениях на суглинистых почвах

Fig. 3. Distribution patterns of pine trees of different categories in terms of their sanitary state (a) and growth in relation of their thickness degrees (b) in the erosion-preventive plantations on the clay-loam soils

Насаждения, создаваемые в богатых лесорастительных условиях Республики Марий Эл и смежных субъектах Приволжского Федерального округа России, способны производить не только древесину, но и выполнять важные экологические функции. Так, абсолютно сухая фитомасса древостоя в чистых 45-летних культурах сосны составляет в среднем $316,8 \text{ т} \times \text{га}^{-1}$ [Демаков и др., 2017; Демаков, 2018]. Один гектар такой лесной плантации ежегодно поглощает 12,9 т углекислоты и выделяет 9,3 т кислорода. Эти насаждения украшают ландшафт и значительно повышают его рекреационный потенциал, который можно использовать не только для нужд местного населения, но и для организации спортивных мероприятий, туризма и экологического просвещения, а также в качестве воспроизводственных участков охотничье-промышленных видов животных.

Повысить производительность и качество сортиментной структуры лесных плантаций можно путем оптимизации их исходной густоты, достигаемой в основном за счет изменения ширины между рядами, а также режимов дальнейшего выращивания [Калиниченко и др., 1973; Шинкаренко, Дзедзюля, 1983; Юодвалькис, Озолинчус, 1987; Писаренко и др., 1992; Демаков, 2022]. Так, по данным [Штейнбок, Киселев, 1980], максимум товарной продукции к моменту рубки сосновых древостоев может быть обеспечен при их полноте в возрасте 30 лет всего 0,4 единицы. Относительная величина текущего прироста запаса древесины в сосняках, как показали некоторые исследователи [Загреев, 1962; Севко, 1994], возрастает по мере снижения их полноты. Нами было установлено, что при изменении расстояния между рядами деревьев на плантациях с 1,5 до 4 м величина их среднего диаметра в 45-летнем возрасте

увеличится с 15,3 до 24,9 см, а объем крупной и средней древесины – с 227 до 363 $\text{м}^3 \times \text{га}^{-1}$ [Демаков и др., 2017; Демаков, 2022].

Выращиванию сосны в дубравах и раменях нашей республики и смежных субъектов Приволжского Федерального округа России, а особенно созданию культур этой древесной породы, мешает ложное убеждение лесоводов о якобы формировании у деревьев в этих условиях так называемой «мяндовской», т. е. рыхлой древесины, имеющей низкие технические качества и сильно поражающейся стволовыми гнилями. Проведенные нами исследования полностью опровергают его. Так, базисная плотность сосновой древесины закономерно возрастает с возрастом, достигая максимума в 90–120 лет, а затем вновь снижается (табл. 2). Деревья же сосны, как свидетельствуют результаты измерения сопротивления древесины сверлению в радиальном направлении устройством PowerDrill 400, проведенные в смешанных естественных насаждениях Марийского Заволжья, не поражаются стволовыми гнилями в большинстве случаев до 180–200 лет.

Таблица 2

Вариабельность значений базисной плотности заболонной древесины у деревьев сосны обыкновенной на объектах исследования в дубравах и раменях Марийского Заволжья

Variability of the basis density values of sapwood in Scots pine trees at the research sites in the oakeries and ramens in Mari Zavolzhye

Объект исследования	ТЛУ	Возраст, лет	Статистика значений показателя, $\text{кг} \times \text{м}^{-3}$				
			$M \pm m$	min	max	S	CV, %
Плантация в Сернурском лесничестве	C ₂₋₃	30	357,6 ± 1,7	290,7	446,4	27,8	7,8
Культуры в Куженерском лесничестве	C ₂	45	456,5 ± 5,1	408,2	508,0	25,4	5,6
Культуры на р. Манага	C ₂	55	428,6 ± 3,7	368,9	491,2	28,7	6,7
Культуры в Сосновой роще	D ₂	70	475,6 ± 7,9	393,8	559,1	39,3	8,3
Естественный древостой в п. Горняк	C ₂	120	469,2 ± 5,8	414,6	520,3	28,5	6,1
Естественный древостой в Сосновой роще	D ₂	200	408,2 ± 8,0	329,7	478,2	39,8	9,8

Большую роль в повышении производительности и качества сортиментной структуры древостоя может сыграть селекция по улучшению потомства деревьев за счет отбора особей по целевым признакам, одним из которых является, в частности, плотность древесины [Полубояринов, 1976; Рябоконь, Литаш, 1981; Мелехов и др., 2003; Тюкавина и др., 2017; Усольцев, Цепордей, 2020; Sharapov et al., 2024]. Ее величина в каждой ценопопу-

ляции, как следует из приведенных данных, изменяется в довольно больших пределах и практически не связана с диаметром деревьев ($r = -0,208 \dots 0,427$). Другим наследуемым признаком, во многом связанным с особенностями гормональной системы деревьев [Меняйло, 1987; Гормоны..., 2007; Haffner et al., 1991; Groover, Robischon, 2006], является скорость их старения, проявляющаяся в особенностях роста особей [Демаков, Нуриева, 2019], а также неодинаковой способности к резервированию и распределению питательных веществ между разными органами [Романовский, Щекалев, 2016; Наргер, 1977; Keddy, 1990; Wedin, Tilman, 1993]: быстрорастущие особи основную часть аккумулированной солнечной энергии вкладывают в прирост древесной массы и не создают долговременных запасов питательных веществ, а медленнорастущие оставляют их в резерве.

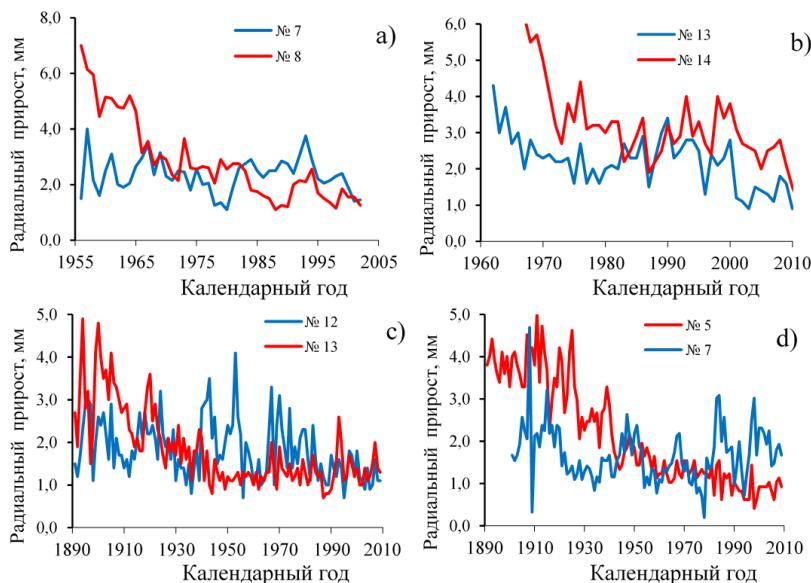


Рис. 4. Особенности динамики радиального прироста деревьев сосны: а) – культуры в Учебно-опытном лесничестве; б) – культуры в лесопарке «Сосновая роща»; в) – естественные древостои в лесопарке «Сосновая роща»; г) – естественные древостои в заповеднике «Большая Кокшага»; № 5, 7, 8, 12, 13, 14 – порядковый номер дерева в выборке

Fig. 4. Characteristics of radial growth dynamics of pine trees: a) plantations in the training and experimental forest district; b) plantations in the Pine Grove urban forest; c) natural stands in the Pine Grove urban forest; d) natural stands in the Bolshaya Kokshaga nature reserve; № 5, 7, 8, 12, 13, 14 – ordinal number of the tree in the sample

Анализ динамики радиального прироста деревьев на объектах исследования показал большие различия в степени выраженности у них возрастного тренда (рис. 4), описываемого в большинстве случаев уравнением

$$Y = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times X) + b. \quad (3)$$

Каждый из параметров уравнения, имеющий конкретный биофизический смысл, изменяется в больших пределах (табл. 3). Так, параметр K численно связан с величиной годичного прироста деревьев в первые 1-2 года их жизни. Параметр a , варьирующий наиболее значительно, отражает скорость его снижения во времени, обусловленную процессом их старения. Параметр b , также изменяющийся весьма значительно, характеризует нижний предел величины годичного прироста деревьев, к которому они постепенно приближаются в процессе своего развития.

Таблица 3

Вариабельность значений параметров уравнения возрастного тренда радиального годичного прироста деревьев сосны обыкновенной в дубравах и раменях Республики Марий Эл

Variability of the parameter values in the equation of the age trend of radial annual growth of Scots pine trees in the oakeries and ramens in the Mari El Republic

Статистический показатель	Значения параметров уравнения $Y = K \times \exp(-a \times 10^{-2} \times X) + b$			
	K	a	b	R^2
Смешанные древостои естественного происхождения возрастом от 100 до 200 лет (n = 89)				
M ± m	4,97 ± 0,22	4,36 ± 0,60	0,61 ± 0,09	0,63 ± 0,02
Лимит	1,68–13,80	0,00–30,56	0,00–3,80	0,02–0,95
S	2,12	5,68	0,81	0,22
CV, %	42,7	130,3	131,8	35,1
Лесные культуры возрастом от 40 до 100 лет (n = 81)				
M ± m	6,34 ± 0,35	15,95 ± 1,55	1,20 ± 0,08	0,76 ± 0,02
Лимит	2,25–18,70	0,16–87,40	0,00–3,27	0,01–0,98
S	3,16	13,93	0,76	0,19
CV, %	49,8	87,3	63,4	25,1

Заключение. Результаты проведенного нами исследования показали, что породная структура лесов в дубравах и раменях Республики Среднего Поволжья нуждается в коренном изменении, поскольку она далеко не в полной мере соответствует лесоводственным и экологическим требованиям, а также социальным запросам местного населения. Установлено, что наиболее высокую производительность в данных лесорастительных условиях имеют древостои естественного происхождения с преобладанием в их составе сосны обыкновенной. Кульминация среднего годичного прироста их запаса, определяющего возраст количественной спелости древостоя, наступает в ТЛУ D_2 в возрасте 55 лет, а в ТЛУ C_2 – в 45 лет, составляя, соответственно, 6,55 и $4,70 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1}$, что свидетельствует о целесообразности выращивания насаждений с коротким оборотом рубки.

Для повышения эколого-ресурсного потенциала лесов в богатых лесорастительных условиях целесообразно создавать чистые культуры сосны обыкновенной, запас стволовой древесины в которых к 45 годам может достичь при оптимальном режиме их выращивания более $500 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1}$. По базисной плотности она не уступает древесине, выращенной в боровых условиях, составляя в этом возрасте около $460 \text{ кг} \times \text{м}^{-3}$, достигая максимума в 90–120 лет. Многие деревья сосны способны дожить в богатых лесорастительных условиях до 200 лет и не поражаться при этом стволовыми гнилями.

Надежной основой для получения новых знаний о закономерностях изменения производительности древостоев на плантациях сосны является созданная нами сеть стационарных объектов.

Плантации сосны обыкновенной, позволяющие получать большое количество качественной древесины в короткие сроки, целесообразно создавать в богатых лесорастительных условиях не только Республики Марий Эл, но и других регионов зоны хвойно-широколиственных лесов европейской части России.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00220, <https://tscf.ru/project/23-16-00220/> с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бессчётнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев. Нижний Новгород: Нижегородская Государственная Сельскохозяйственная академия, 2016. 464 с.

- Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 172 с.
- Видякин А.И. Плюсовая селекция сосны и ели: итоги и перспективы развития // Лесохозяйственная информация. 2008. № 3–4. С. 33–35.
- Видякин А.И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1–2. С. 18–24.
- Гормоны растений: регуляция концентрации, связь с ростом и водным обменом / Ин-т биол. УНЦ РАН. М.: Наука, 2007. 158 с.
- Гринин А.С., Орехов Н.А., Новиков В.Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
- Демаков Ю.П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл. Йошкар-Ола: Поволжский Государственный Технологический Университет, 2018. 432 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., Пуряев А.С., Мифтахов Т.Ф. Экономический подход к выбору целевой древесной породы для лесовыращивания в Предкамье Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (42). С. 20–27.
- Демаков Ю.П., Нуреева Т.В., Краснов В.Г., Рыжков А.А. Эколого-ресурсный потенциал лесных насаждений на приовражно-балочных землях Среднего Поволжья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 3 (35). С. 73–87.
- Демаков Ю.П., Краснов В.Г. Изменение структуры и ресурсного потенциала лесов Чувашии за период с 1942 по 2014 годы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1 (37). С. 19–32.
- 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. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 4. С. 274–285.
- Демаков Ю.П., Романов Е.М., Краснов В.Г., Нуреева Т.В. Опыт искусственно-го 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.
- Демаков Ю.П., Исаев А.В., Нуреева Т.В. Опыт создания смешанных лесных культур в Марийском Заволжье // Сибирский лесной журнал. 2022. № 2. С. 41–47.

- Ефимов Ю.П.* Современные проблемы и перспективы улучшения лесов селекционно-генетическими методами // Лесохозяйственная информация. 2008. № 3–4. С. 30–32.
- Загреев В.В.* Влияние полноты на текущий прирост сосновых насаждений // Лесное хозяйство. 1962. № 9. С. 42–47.
- Зайцев Г.Н.* Математический анализ биологических данных. М.: Высшая школа, 1991. 182 с.
- Калиниченко Н.П., Писаренко А.И., Смирнов Н.А.* Лесовосстановление на вырубках. М.: Лесная промышленность, 1973. 328 с.
- Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесная промышленность, 1984. 248 с.
- Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А.* Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: Издательство АГТУ, 2003. 110 с.
- Меняйло Л.Н.* Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. Новосибирск: Наука, 1987. 184 с.
- Методы дендрохронологии. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
- Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д.* Искусственные леса. Ч. 2. М.: Всероссийский научно-исследовательский информационный центр Лесресурс, 1992. 240 с.
- Плантационное лесоводство / под общ. ред. Шутова И.В. СПб.: СПбПУ, 2007. 366 с.
- Полубояринов О.И.* Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
- Потылев В.Г.* Проблемы лесного селекционного семеноводства // Лесохозяйственная информация. 1997. № 3. С. 14–30.
- Пуряев А.С., Демаков Ю.П.* Структура лесов Предкамья Республики Татарстан // Научный журнал Кубанского аграрного университета. 2014. № 104 (10). С. 1–13.
- Рогозин М.В.* Селекция сосны обыкновенной для плантационного выращивания. Пермь: ПГНИУ, 2013. 200 с.
- Романов Е.М.* Воспроизводство лесов в новой стратегии перехода к устойчивому развитию лесного сектора России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 1 (49). С. 5–22.
- Романов Е.М., Еремин Н.В., Нуриева Т.В.* Состояние и проблемы воспроизводства лесов России // Вестник Поволжского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2007. № 1. С. 5–14.
- Романовский М.Г., Щекалев Р.В.* Продукционный бюджет кроны дерева: гиганты и карлики в древостое // Лесоведение. 2016. № 6. С. 438–444.
- Рябоконь А.П., Литаш Н.П.* Физико-механические свойства древесины сосны в культурах разной густоты // Лесоведение. 1981. № 1. С. 39–45.
- Севко О.А.* Моделирование оптимальной производительности сосновых древостоев по классам бонитета // Труды БГТУ. Сер.: Лесное хозяйство. 1994. Вып. 2. С. 88–91.

Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // ИВУЗ. Лесной журнал. 2017. № 6. С. 56–64.

Усольцев В.А., Цепордэй И.С. Квадиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 178 с.

Царёв А.П., Лаур Н.В. Вопросы и проблемы плюсовой селекции // Лесной вестник. 2006. № 5. С. 118–123.

Царёв А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2002. 497 с.

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

Штейнбок А.Г., Киселев В.В. Динамика полнот изреженных древостоев и целесообразность их реконструкции // Лесоведение и лесное хозяйство: республиканский межведомственный сборник. 1980. Вып. 15. С. 66–70.

Юодвалькис А.И., Озолинчус Р.В. Лесоводственно-биологические аспекты оптимизации первоначальной густоты сосновых насаждений // Лесное хозяйство. 1987. № 9. С. 20–22.

Groover A., Robischon M. Developmental mechanisms regulating secondary growth in woody plants // Current Opinion in Plant Biology. 2006. Vol. 9. P. 55–58.

Haffner V., Enjalric F., Lardet L., Carron M.P. Maturation of woody plants: a review of metabolic and genomic aspects // Annals of Forest Science. 1991. Vol. 48. P. 615–630.

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

Keddy P.A. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities // Perspectives on Plant Competition. San Diego, CA, 1990. P. 266–290.

Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // Forests. 2024. Vol. 15, no. 2. Art. no. 233. DOI: 10.3390/f15020233.

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.

References

Besschetnova N.N. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Efficiency of selection of plus trees. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2016. 464 p. (In Russ.)

Bitvinskas T.T. Dendroclimatic studies. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. 172 p. (In Russ.)

Demakov Yu.P. Structure and patterns of forest development in the Mari El Republic. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2018. 432 p. (In Russ.)

Demakov Yu.P. Results of long-term experiments on the creation and cultivation of Scots pine crops in the Mari El Republic. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2022. 242 p. (In Russ.)

Demakov Yu. P., Puryaev A. S., Miftakhov T. F. Economic approach to the selection of target tree species for forest cultivation in the Kama region of the Republic of Tatarstan. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*, 2016, no. 4 (42), pp. 20–27. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Krasnov V.G., Ryzhkov A.A. Ecological and resource potential of forest plantations on ravine-gully lands of the Middle Volga region. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2017, no. 3 (35), pp. 73–87. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Krasnov V.G. Changes in the structure and resource potential of forests in Chuvashia for the period from 1942 to 2014. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2018, no. 1 (37), pp. 19–32. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V., Puryaev A.S., Krasnov V.G. Economic foundations and experience of plantation forest cultivation in the Middle Volga region. *Siberian Forestry Journal*, 2018, no. 2, pp. 3–14. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Nureeva T.V. Patterns of change in the rank position of trees by their size in Scots pine cenopopulations. *Forest Science*, 2019, no. 4, pp. 274–285. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Isaev A.V., Nureeva T.V. Experience of creating mixed forest crops in the Mari Trans-Volga region. *Siberian Forestry Journal*, 2022, no. 2, pp. 41–47. (In Russ.)

Demakov Yu.P., Romanov E.M., Krasnov V.G., Nureeva T.V. Experience of artificial forest restoration in the Middle Volga region and further strategy of actions to improve it. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2021, no. 1 (49), pp. 23–46. (In Russ.)

Efimov Yu.P. Current problems and prospects for improving forests using selection and genetic methods. *Forestry information*, 2008, no. 3–4, pp. 30–32. (In Russ.)

Forest plantations (accelerated cultivation of spruce and pine). Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1984. 248 p. (In Russ.)

Grinin A.S., Orekhov N.A., Novikov V.N. Mathematical modeling in ecology. Moscow: UNITY-DANA, 2003. 269 p. (In Russ.)

Groover A., Robischon M. Developmental mechanisms regulating secondary growth in woody plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 2006, vol. 9, pp. 55–58.

Haffner V., Enjalric F., Lardet L. Carron M.P. Maturation of woody plants: a review of metabolic and genomic aspects. *Annals of Forest Science*. 1991, vol. 48, pp. 615–630.

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

Juodvalkis A.I., Ozolinhus R.V. Silvicultural and biological aspects of optimizing the initial density of pine plantations. *Lesnoye khozyaystvo*, 1987, no. 9, pp. 20–22. (In Russ.)

- Kalinichenko N.P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. Reforestation in clearings. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1973. 328 p. (In Russ.)
- Keddy P.A. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities. *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, CA, 1990, pp. 266–290.
- Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. Quality of pine wood in crops. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2003. 110 p. (In Russ.)
- Menyailo L.N. Hormonal regulation of xylogenesis in conifers. Novosibirsk: Nauka, 1987. 184 p. (In Russ.)
- Methods of dendrochronology. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University, 2000. 80 p. (In Russ.)
- Pisarenko A.I., Redko G.I., Merzlenko M.D. Artificial forests. Part 2. Moscow: All-Russian Research Information Center Lesresurs, 1992. 240 p. (In Russ.)
- Plantation forestry / under gen. ed. of I.V. Shutov. St. Petersburg: St. Petersburg State Polytechnical University, 2007. 366 p. (In Russ.)
- Plant hormones: regulation of concentration, relationship with growth and water exchange / Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 2007. 158 p. (In Russ.)
- Poluboyarinov O.I. Wood density. Moscow: Lesn. prom-st', 1976. 160 p. (In Russ.)
- Potylev V.G. Problems of forest selection seed production. *Forestry information*, 1997, no. 3, pp. 14–30. (In Russ.)
- Puryaev A.S., Demakov Yu.P. Structure of forests of the Pre-Kama region of the Republic of Tatarstan. *Scientific journal of the Kuban Agrarian University*, 2014, no. 104 (10), pp. 1–13. (In Russ.)
- Rogozin M.V. Selection of Scots pine for plantation cultivation. Perm: Perm State National Research University, 2013. 200 p. (In Russ.)
- Romanov E.M. Forest reproduction in the new strategy of transition to sustainable development of the forest sector of Russia. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*, 2021, no. 1 (49), pp. 5–22. (In Russ.)
- Romanov E.M., Eremin N.V., Nureeva T.V. State and problems of reproduction of Russian forests. *Bulletin of the Volga State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2007, no. 1, pp. 5–14. (In Russ.)
- Romanovsky M.G., Shchekalev R.V. Production budget of a tree crown: giants and dwarfs in a tree stand. *Russian Journal of Forest Science*, 2016, no. 6, pp. 438–444. (In Russ.)
- Ryabokon A.P., Litash N.P. Physical and mechanical properties of pine wood in crops of different densities. *Russian Journal of Forest Science*, 1981, no. 1, pp. 39–45. (In Russ.)
- Sevko O.A. Modeling of optimal productivity of pine stands by quality classes. *Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series: Forestry*, 1994, iss. 2, pp. 88–91. (In Russ.)
- Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forests*, 2024, vol. 15, no. 2, art. no. 233. DOI: 10.3390/f15020233.

Shinkarenko I.B., Dzedzyulya A.A. Optimization of forest density regimes for targeted cultivation of pine crops. *Forestry and silviculture: Review information of the Central Scientific and Technical Institute of Forestry*, 1983, no. 3, pp. 1–40. (In Russ.)

Shteynbock A.G., Kiselev V.V. Dynamics of the density of thinned forest stands and the feasibility of their reconstruction. *Forestry and forestry: republican interdepartmental collection*, 1980, iss. 15, pp. 66–70. (In Russ.)

Tsarev A.P., Laur N.V. Issues and problems of plus selection. *Forestry Bulletin*, 2006, no. 5, pp. 118–123. (In Russ.)

Tsarev A.P., Pogiba S.P., Trenin V.V. Selection and reproduction of forest tree species. Moscow: Logos, 2002. 497 p. (In Russ.)

Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood density of Scots pine under different growing conditions. *Russian Forestry Journal*, 2017, no. 6, pp. 56–64. (In Russ.)

Usoltsev V.A., Tseporday I.S. Qualimetry of forest tree phytomass: density and dry matter content. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020. 178 p. (In Russ.)

Vidyakin A.I. Plus selection of pine and spruce: results and development prospects. *Forestry information*, 2008, no. 3–4, pp. 33–35. (In Russ.)

Vidyakin A.I. Efficiency of plus selection of woody plants. *Conifers of the boreal area*, 2010, vol. XXVII, no. 1–2, pp. 18–24. (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.

Zagreev V.V. Effect of density on the current growth of pine stands. *Lesnoye khozyaystvo*, 1962, no. 9, pp. 42–47. (In Russ.)

Zaitsev G.N. Mathematical analysis of biological data. Moscow: Vysshaya shkola, 1991. 182 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 18.11.2024

Демаков Ю.П., Шарапов Е.С., Краснов В.Г., Королев А.С., Нуреева Т.В.

Обоснование целесообразности создания плантаций сосны обыкновенной на суглинистых почвах республики Марий Эл // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 162–180. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.162-180

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования комплекса мероприятий по воспроизводству и повышению эколого-ресурсного потенциала лесов. Цель работы – обоснование целесообразности создания плантаций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в дубравных и судубравных лесорастительных условиях Республики Марий Эл, позволяющих сократить сроки выращивания насаждений, повысить количество и качество получаемой продукции.

Для написания статьи использованы лесоустроительные материалы, содержащие информацию о таксационных параметрах древостоев (более 45 тыс. выделов), а также данные натурной оценки, проведенной на 15 научных объектах в древостоях естественного происхождения и в культурах сосны обыкновенной, произрастающих в свежих дубравах и раменях Республики Марий Эл. Установлено, что породная структура лесов в дубравах и раменях Республики Марий Эл далека от оптимума и нуждается в коренном изменении. Наиболее высокую производительность имеют сосновые древостои, кульминация среднего годичного прироста запаса которых наступает в возрасте 45–55 лет, свидетельствуя об их хозяйственной спелости. Для повышения эколого-ресурсного потенциала лесов в данных лесорастительных условиях целесообразно создавать чистые по составу плантации сосны обыкновенной, запас стволовой древесины в которых к 45 годам может достичь при оптимальном режиме их выращивания более $500 \text{ м}^3 \times \text{га}^{-1}$. По базисной плотности их древесина не уступает древесине, выращенной в боровых условиях, составляя в этом возрасте около $460 \text{ кг} \times \text{м}^{-3}$ и достигая максимума в 90–120 лет. Многие деревья сосны способны дожить в богатых лесорастительных условиях до 200 лет и не поражаться при этом стволовыми гнилями.

Ключевые слова: Республика Марий Эл, дубравные и судубравные лесорастительные условия, деревья и древостои сосны обыкновенной, таксационные параметры, плотность древесины, динамика, математические модели.

Demakov Yu.P., Sharapov E.S., Krasnov V.G., Korolev A.S., Nureeva T.V.
Justification of the feasibility of creating Scots pine plantations on loamy soils of the Mari El Republic. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 162–180 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.162-180

The relevance of the paper is defined by the need of improving activities in the sphere of forest regeneration and increasing the forest potential from the ecological and resource point of view. The goal of this study is to summarize experience in establishing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the nemoral and subnemoral forest growth conditions of the Mari El Republic. Such plantations can provide a great amount of qualified wood in a shorter time than forest stands of the natural origin. For this paper, we used forest management documents containing the data on the taxation parameters of stands (over 45 thousands of strata) as well as the data of full-scale assessment performed at 15 research sites in the natural stands and Scots pine plantations growing in the fresh oakeries and ramens of the Mari El Republic. It is established that the forest species structure of oakeries and ramens in the Mari El Republic is far from optimal and needs to be radically changed. The highest productivity here is demonstrated by pine stands with the high point of the average annual increase in their stock occurring at the age of 45 to 55 years old and indicating their economic maturity. In order to increase the

ecological and resource potential of forests in these forest growth conditions, it is appropriate to establish pure Scots pine plantations that can give the stock of stem wood more than $500 \text{ m}^3 \times \text{ha}^{-1}$ by the age of 45 years old under the optimal conditions of their cultivation. In terms of basic density, their wood is as good as the wood grown in the pine forest conditions and amounts to about $460 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ at this age and achieves the maximum at the age of 90 to 120 years old. In the rich forest growth conditions, many pine trees are capable to live up to 200 years old and avoid any damage by trunk rots.

Keywords: the Mari El Republic, nemoral and subnemoral forest growth conditions, Scots pine trees and stands, taxation parameters, wood density, dynamics, mathematical models.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, профессор, доктор биологических наук, лауреат Государственной премии Республики Марий Эл. SPIN-код: 1270-0945. ORCID: 0009-0006-1084-4700.

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

DEMAKOV Yuri P. – DSc (Biological), Associate Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology, Laureate of the State Prize of the Republic of Mari El. SPIN-code: 1270-0945. ORCID: 0009-0006-1084-4700.

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

ШАРАПОВ Евгений Сергеевич – профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-6500-5377. SPIN-код: 9119-8261. ResearcherID: D-7953-2015

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

SHARAPOV Evgenii S. – DSc (Technical), Professor, Department of Building Structures and Water Supply, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0002-6500-5377. SPIN-code: 9119-8261. ResearcherID: D-7953-2015

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

КРАСНОВ Виталий Геннадьевич – профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, доктор сельскохозяйственных наук. ORCID: 0000-0003-0742-0393. SPIN-код: 3179-8907.

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

KRASNOV Vitaly G. – DSc (Agricultural), Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0003-0742-0393. SPIN-code: 3179-8907

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

КОРОЛЕВ Александр Сергеевич – старший научный сотрудник департамента научной и международной деятельности, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук. ORCID: 0009-0000-1370-1285. SPIN-код: 8836-4618.

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

KOROLEV Alexander S. – PhD (Technical), Senior Researcher Department of scientific and international activities, Associate Professor Department of Emergency Management, Volga State University of Technology. ORCID: 0009-0000-1370-1285. SPIN-code: 8836-4618.

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

НУРЕЕВА Татьяна Владимировна – доцент кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета, кандидат сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 8769-5779. AuthorID: 398116.

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

NUREEVA Tatyana V. – PhD (Agricultural), Associate Professor, Department of Forest Crops, Breeding and Biotechnology, Volga State University of Technology. SPIN-code: 8769-5779. AuthorID: 398116.

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