







## **Особенности строения лесных культур сосны, созданных различной густотой посадки**

Михаил Д. Мерзленко<sup>1</sup>, [md.merzlenko@mail.ru](mailto:md.merzlenko@mail.ru),  <https://orcid.org/0000-0002-0887-3178>  
Владимир А. Брынцев<sup>2</sup> , [bryntsev@mail.ru](mailto:bryntsev@mail.ru),  <https://orcid.org/0000-0002-6271-1444>  
Анна А. Коженкова<sup>2</sup>, [kozhenkovaa@yandex.ru](mailto:kozhenkovaa@yandex.ru),  <https://orcid.org/0000-0003-1518-7165>

<sup>1</sup>Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., 143030, Российская Федерация

<sup>2</sup>Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, д. 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация

Проведено изучение особенностей строения 40-летних лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных различной густотой посадки на территории зоны хвойно-широколиственных лесов Русской равнины. Актуальность работы обусловлена отсутствием подобных исследований для искусственных дендроценозов. Проведен анализ структуры лесных культур сосны, основанный на результатах ранжирования насаждений по классам Крафта. С увеличением густоты посадки происходят не только изменения таксационных показателей, но и характера дифференциации качественного перераспределения деревьев разных классов Крафта: уменьшается доля деревьев высших классов (I и II) и увеличивается доля деревьев низших классов (IV и V). Установлено, что в 40-летних культурах сосны редуцированные числа как по высоте, так и по диаметру, а также относительные высоты строго дифференцированы по классам Крафта. Значения величин редуцированных чисел не зависят от густоты посадки, но имеют тенденцию их уменьшения от I к V классу. С увеличением густоты посадки для деревьев всех классов Крафта свойственно увеличение относительных высот. Причём наиболее сильно это проявляется в культурах сосны, произрастающих в свежем бору. Расчленение на ранговую структуру по классам роста и развития Крафта отражает функциональную иерархию в строении лесных культур.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, лесные культуры, густота посадки, классы Крафта, редуцированные числа, относительная высота

**Финансирование:** Работа В.А. Брынцева, А.А. Коженковой выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН по теме № 126020916823-0.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


**Для цитирования:** Мерзленко, М. Д. Особенности строения лесных культур сосны, созданных различной густотой посадки / М. Д. Мерзленко, В. А. Брынцев, А. А. Коженкова // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16. – № 1 (61). – С. 88-97. – Библиогр.: с. 95-97 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.1/6>.


Поступила 23.12.2025. Пересмотрена 02.03.2026. Принята 15.03.2026. Опубликована онлайн 27.03.2026.

Article

## **Structural features of pine forest crops created at various planting densities**

**Michail D. Merzlenko**<sup>1</sup>, md.merzlenko@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-0887-3178>

**Vladimir A. Bryntsev**<sup>2</sup>✉, bryntsev@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-6271-1444>

**Anna A. Kozhenkova**<sup>2</sup>, kozhenkova@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-1518-7165>

<sup>1</sup>*Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., Uspenskoe, Moscow Region, 140030, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin Russian Academy of Sciences, st. Botanicheskaya 4, Moscow, 127276, Russian Federation*

### **Abstract**

This study examined the structural features of 40-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest stands created at varying planting densities in the mixed-coniferous-broadleaf forest zone of the Russian Plain. The relevance of this study is due to the lack of similar studies for artificial dendrocenoses. An analysis of the pine forest stand structure was conducted based on the results of ranking the stands according to Kraft classes. With increasing planting density, not only changes in the taxation indicators but also in the nature of differentiation in the qualitative redistribution of trees of different Kraft classes occur: the proportion of trees of higher classes (I and II) decreases, and the proportion of trees of lower classes (IV and V) increases. It was found that in 40-year-old pine stands, reduction numbers for both height and diameter, as well as relative heights, are strictly differentiated by Kraft classes. Reduction numbers are independent of planting density but tend to decrease from class I to V. With increasing planting density, trees of all Kraft classes tend to increase in relative height. This is most pronounced in pine stands growing in fresh pine forests. The rank structure of Kraft growth and development classes reflects the functional hierarchy in the structure of forest stands.

**Keywords:** *Scots pine, forest crops, planting density, Kraft classes, reduction numbers, relative height*

**Funding:** The research was V.A. Bryntsev, A.A. Kozhenkova carried out within the framework of the state assignment of Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences on topic № 126020916823-0.

**Acknowledgments:** authors thank the reviewers for their contribution to the peer review.

**Conflict of interest:** the authors declares no conflict of interest.

**For citation:** Merzlenko M. D., Bryntsev V. A., Kozhenkova A. A. (2026). Structural features of pine forest crops created at various planting densities. *Forestry Engineering journal*, Vol. 16, No. 1 (61), pp. 88-97 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.1/6>.

**Received** 23.12.2025. **Revised** 02.03.2026. **Accepted** 15.03.2026. **Published online** 27.03.2026.

### **Введение**

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) имеет самый большой ареал в роде *Pinus* L. простирающийся через всю Евразию. Она является основополагающим видом разнообразных лесных экосистем и демонстрирует большое экологическое и формовое разнообразие [1], сохраняя при этом, на

всем протяжении своего ареала, генетическое единство [2, 3, 4]. Хозяйственное значение сосны обыкновенной трудно переоценить. На всей территории своего ареала она является ценнейшим лесообразователем [5].

Вопросы густоты посадки лесных культур насчитывают почти 300-летнюю давность их

изучения [6], но остаются актуальными для лесного хозяйства и в настоящее время [7, 8, 9]. Численность древесных растений существенно влияет на рост и производительность формирующегося древостоя [10, 11, 12], морфологию деревьев [13]. При этом густота посадки влияет не только на таксационные показатели лесных культур, но и на ценогическую структуру искусственных насаждений [14, 15, 16] и экосистему в целом [17, 18, 19]. В частности, это чётко отражается на ранговой характеристике насаждений<sup>19</sup>, а также хорошо фиксируемой классами роста и развития Крафта.

Классификация Крафта<sup>20</sup> базируется на свойственной природе леса дифференциации деревьев по степени их господства и угнетения.

Она находит применение не только в лесоведении, но и в практике лесного хозяйства<sup>21</sup>. Например, используется в ходе выполнения рубок ухода по низовому методу, когда удаляются деревья V и, частично, IV классов, а сбор семян осуществляется с деревьев I, II и III классов, дающих максимальное количество семенного материала<sup>22</sup> [20].

Целью настоящих исследований являлось выявление особенностей строения культур сосны разной густоты на предмет специфики значений редуционных чисел по высоте и диаметру, а также относительных высот в разрезе разных классов Крафта.

### **Объекты и методы исследования**

В качестве объектов исследования были взяты экспериментальные культуры сосны обыкновенной 40-летнего возраста, произрастающие на территории Русской равнины в свежем бору Муромцевского лесничества (Владимирская обл.) и свежей сложной субори Истринского лесничества (Московская обл.). В

каждом из объектов экспериментальных культур содержится по три участка с разной густотой посадки: 5; 8; и 11 тыс. сеянцев на 1га (Муромцевское лесничество); 2; 4 и 8 тыс. сеянцев на 1га (Истринское лесничество). Во всех участках заложены пробные площади согласно ОСТ 56-69-83<sup>23</sup>. Ни рубок ухода, ни санитарных рубок на протяжении 40-летнего периода роста лесных культур не проводилось.

В ходе перечислительной таксации у каждого дерева замерялись диаметр и высота, и фиксировался класс роста и развития по Крафту. Это позволило рассчитать редуционные числа для каждого класса Крафта как по высоте, так и по диаметру, в %.

$$R_h = h/H \cdot 100;$$

где  $R_h$  – редуционное число по высоте конкретного класса;  $h$ ,  $H$  – средние высоты для конкретного класса и насаждения соответственно.

Аналогично рассчитывались редуционные числа по всем классам Крафта и по диаметру.

Помимо редуционных чисел в разрезе каждого класса Крафта также фиксировались относительные высоты ( $H/D$ ) по Я.С.Медведеву<sup>24</sup>.

На всех пробных площадях по каждому из вариантов густоты посадки рассчитывалось доленое участие (%) деревьев каждого класса Крафта в насаждении.

Запас стволовой древесины –  $M$  м<sup>3</sup>/га, рассчитывался по формуле:

$$M = H \cdot F \cdot G;$$

где:

$H$  – средняя высота насаждения, м;

$F$  – видовое число;

$G$  – сумма площадей сечений, м<sup>2</sup>/га.

<sup>19</sup> Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 168 с.

<sup>20</sup> Kraft G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover: Klind worths Verlag, 1884. 144 s.

<sup>21</sup> Морозов Г.Ф. Основания учения о лесе: лекции, читанные в Таврическом Университете. Репринтное издание. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2011. 330 с.; Burschel P., Huss Jür., Grundriß des Waldbaus. Berlin: Parey Buchverlag, 1997. 487 s.

<sup>22</sup> Соболев А.Н. Плодоношение лесных насаждений // Плодоношение лесных насаждений. СПб.: Типо-лиграфия М.П. Фроловой, 1908. С. 1–62.

<sup>23</sup> ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесостроительные, методы закладки. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 59 с.

<sup>24</sup> Медведев Я.С. К учению о влиянии света на развитие древесных стволов. // Лесной журнал 1884. Вып. 5 и 6. С. 326-373.

## Естественные науки и лес

### Результаты и обсуждение

С увеличением значения густоты посадки на экспериментальных участках 40-летних лесных культур сосны обыкновенной снижаются все

таксационные показатели насаждения и как итог производительность, т.е. запас (табл. 1 и 2)

Таблица 1

Таксационная характеристика 40-летних культур сосны обыкновенной разной густоты в условиях свежего бора (A<sub>2</sub>)

Table 1

Inventory characteristics of 40-year-old Scots pine stands of varying density in fresh pine forest conditions (A<sub>2</sub>)

Показатели   Indicators	Густота посадки, тыс. шт./га   Planting density, thousand pcs/ha		
	5	8	11
Средняя высота, м   Average height, m	15,1	13,2	10,9
Средний диаметр, см   Average diameter, cm	13,6	10,3	8,4
Класс бонитета   Bonitet class	I	II	III
Сумма площадей сечений деревьев, м <sup>2</sup> /га   Sum of tree cross-sectional areas, m <sup>2</sup> /ha живых   alive сухостоя   dead wood	35,6	36,5	28,5
	1,5	2,1	1,2
Густота стояния деревьев, шт/га   Tree density, pcs/ha	2230	3950	4367
Сохранность, %   Preservation, %	44,6	49,4	39,7
Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га   Volume of stem wood, m <sup>3</sup> /ha живых деревьев   living trees сухостоя   dead wood	289	260	181
	10	12	7

Таблица 2

Таксационная характеристика 40-летних культур сосны обыкновенной разной густоты в условиях свежей сложной субори (C<sub>2</sub>)

Table 2

Inventory characteristics of 40-year-old Scots pine stands of varying densities in fresh complex subforest conditions (C<sub>2</sub>)

Показатели   Indicators	Густота посадки, тыс. шт./га   Planting density, thousand pcs/ha		
	2	4	8
Средняя высота, м   Average height, m	21,0	21,4	20,8
Средний диаметр, см   Average diameter, cm	22,2	20,0	19,7
Класс бонитета   Bonitet class	Ia	Ia	Ia
Сумма площадей сечений деревьев, м <sup>2</sup> /га   Sum of tree cross-sectional areas, m <sup>2</sup> /ha живых   alive сухостоя   dead wood	31,4	30,8	29,9
	3,8	8,0	5,0
Густота стояния деревьев, шт/га   Tree density, pcs/ha	781	980	941
Сохранность, %   Preservation, %	39,1	24,5	11,8
Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га   Volume of stem wood, m <sup>3</sup> /ha живых деревьев   living trees сухостоя   dead wood	308	302	291
	36	74	43

Как видно из таблиц 1 и 2, очень существенно снижаются значения среднего диаметра, а также средней высоты. То, что снижается средняя высота с увеличением густоты лесных культур, является признанным фактом<sup>25</sup>. А это приводит и к снижению класса бонитета, причем наиболее существенно в бедных лесорастительных условиях – А<sub>2</sub>. Отпад к 40-летнему возрасту лесных культур имеет тенденцию увеличиваться с повышением густоты посадки. Самая низкая величина сохранности наблюдается в свежих сложных суборах (С<sub>2</sub>). Так

при одной и той же густоте посадки равной 8 тыс. шт/га сохранность в С<sub>2</sub> в 4 раза меньше, чем в А<sub>2</sub>.

В целом лесоводственный эффект (запас древесины растущей части насаждения в сочетании с классом бонитета и значением среднего диаметра) в 40-летнем возрасте дал следующие наилучшие результаты исходя из густоты посадки: для А<sub>2</sub> – 5 тыс. шт. на 1 га; в С<sub>2</sub> – 2 и 4 тыс. шт на 1 га.

Дифференциация [21] зависит от густоты посадки лесных культур (табл. 3).

Таблица 3

Дифференциация в чистых по составу 40-летних культурах сосны обыкновенной в зависимости от густоты посадки

Table 3

Differentiation in pure 40-year-old Scots pine stands depending on planting density

Густота посадки, тыс. шт./га   Planting density, thousand pcs/ha	Распределение деревьев по классам Крафта, %   Distribution of trees by Kraft classes, %				
	I	II	III	IV	V
Лесорастительные условия свежего бора (А <sub>2</sub> )   Forest growth conditions of fresh pine forest (А <sub>2</sub> )					
5	16	20	22	22	20
8	11	17	21	27	24
11	9	14	19	28	30
Лесорастительные условия свежей сложной субори (С <sub>2</sub> )   Forest growth conditions of fresh complex subori (С <sub>2</sub> )					
2	15	21	38	18	8
4	10	25	31	23	11
8	8	19	27	28	18

Как видно из таблицы 3, с увеличением густоты посадки происходит качественное перераспределение деревьев разных классов, выражающее в уменьшении числа особей высших классов (I и II) и увеличение низших (IV и V) классов Крафта. В наших экспериментальных культурах сосны с разной густотой посадки это отмечается для свежего бора начиная с густоты посадки 8 тыс. шт/га, а в богатых лесорастительных условиях свежей сложной субори – с 4-х тыс. шт/га. Эта особенность свидетельствует о том, что в богатых лесорастительных условиях процессы роста и развития древесного сообщества идут быстрее (интенсивнее). Это подтверждается меньшей сохранностью деревьев сосны в свежей сложной субори по сравнению со свежим бором (табл. 1 и 2).

Явное превалирование деревьев IV и V классов, т.е. когда они в долевого отношении

превышают 50% деревьев насаждения, создает резерв отпада. Это фиксируется в свежем бору для лесных культур, созданных густотой посадки 8 и 11 тыс. шт/га, где совокупность деревьев низших классов Крафта составляет соответственно 51 и 58%.

Наилучшее состояние лесных культур имеет место в свежей сложной субори при густоте посадки 4 и 2 тыс. шт/га. В этих 40-летних насаждениях максимум деревьев приходится на третий класс (табл. 3), а долевого распределение всей совокупности деревьев по пяти классам соответствует кривой нормального распределения.

В лесных культурах сосны одного и того же возраста редуцированные числа по высоте и диаметру строго дифференцированы по классам Крафта (табл.4).

<sup>25</sup> Рубцов В.И., Новосельцева А.И., Попов В.К., Рубцов В.В. Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне. М.: Наука, 1976. 223 с.

Значения редуционных чисел по высоте ( $R_h$ ) и по диаметру ( $R_d$ ) в разрезе классов Крафта в 40-летних культурах сосны

The values of reduction numbers for height ( $R_h$ ) and diameter ( $R_d$ ) in the context of Kraft classes in 40-year-old pine stands

Показатели   Indicators	Густота посадки, тыс. шт./га   Planting density, thousand pcs/ha	Классы Крафта   Kraft classes				
		I	II	III	IV	V
Лесорастительные условия свежего бора ( $A_2$ )   Forest growth conditions of fresh pine forest ( $A_2$ )						
$R_h$	5	123	115	106	99	77
	8	120	114	110	101	80
	11	129	119	114	98	73
	Среднее   average value	124	116	110	99	77
$R_d$	5	152	134	110	90	57
	8	161	140	120	94	63
	11	170	139	117	87	60
	Среднее   average value	161	138	116	90	60
Лесорастительные условия свежей сложной субори ( $C_2$ )   Forest growth conditions of fresh complex subori ( $C_2$ )						
$R_h$	2	107	102	98	95	85
	4	107	100	99	91	85
	8	110	103	100	96	80
	Среднее   average value	108	102	99	94	83
$R_d$	2	132	113	96	83	68
	4	128	112	98	86	73
	8	136	118	103	88	73
	Среднее   average value	132	114	99	86	71

Причем, как видно из таблицы 4, вне зависимости от густоты посадки редуционные числа, как по высоте, так и по диаметру, в пределах каждого класса имеют очень близкие значения. Это указывает на общность процессов рангового строения в искусственных насаждениях, не зависящих не только от густоты посадки и густоты стояния, но и от условий местопроизрастания. Ранжирование по классам Крафта можно

рассматривать как закон строения насаждения, обеспечивающий функционирование древесного сообщества. Ранговая иерархия – это основа существования чистого по составу искусственного насаждения.

Значения относительных высот в разрезе классов Крафта представлены в таблице 5.

Значения относительных высот у разных классов Крафта

Table 5

Relative height values for different Kraft classes

Густота посадки, тыс. шт./га   Planting density, thousand pcs/ha	Классы Крафта   Kraft classes				
	I	II	III	IV	V
Лесорастительные условия свежего бора (A <sub>2</sub> )   Forest growth conditions of fresh pine forest (A <sub>2</sub> )					
5	89	95	107	122	152
8	96	105	117	137	163
11	99	111	126	146	170
Лесорастительные условия свежей сложной субори (C <sub>2</sub> )   Forest growth conditions of fresh complex subori (C <sub>2</sub> )					
2	77	86	96	108	129
4	87	96	108	114	125
8	90	99	103	116	119

Как видно из таблицы 5, в обоих типах условий местопроизрастания (A<sub>2</sub> и C<sub>2</sub>) с увеличением густоты посадки для деревьев всех классов Крафта свойственно увеличение относительных высот. Причем наиболее сильно это проявляется в культурах сосны произрастающих в свежем бору.

Считается<sup>26</sup>, что в лесных культурах сосны относительные высоты деревьев не должны превышать 115. Иначе деревья, у которых относительная высота больше 115, в силу своей ослабленности являются кандидатами на отмирание, что особенно свойственно деревьям V класса, как в культурах свежего бора, так и в свежей сложной субори (табл. 5). Диспропорция в соотношении высот и диаметров, приводящая к ослаблению деревьев наиболее отчетливо выражена в бедных лесорастительных условиях свежего бора. Так неблагоприятные величины относительных высот в A<sub>2</sub> по всем значениям экспериментальных густот имеют не только деревья IV и V классов

Крафта, но и деревья III класса с густотой посадки лесных культур 11 и даже 8 тыс. шт/га.

**Выводы**

1. Лесные культуры, созданные различной густотой посадки, имеют различия не только в таксационных показателях, но и в особенностях строения насаждений.

2. Расчленение на ранговую структуру по классам роста и развития Крафта отражает функциональную иерархию в строении лесных культур.

3. В 40-летних культурах сосны редуционные числа, как по высоте, так и по диаметру, а также относительные высоты, строго дифференцированы по классам роста и развития Крафта.

4. Значение величин редуционных чисел не зависят от густоты посадки, но имеют тенденцию их уменьшения от I к V классу.

<sup>26</sup> Рубцов В.И. Рост и биологическая продуктивность 18-летних культур сосны разной

густоты. // Экспресс информация ЦБНТИлесхоза. 1977. Вып. 3. 27 с.

## Список литературы

1. Брынцев В.А. Эндогенная и индивидуальная изменчивость морфометрических показателей шишек сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29. – № 5. – С. 62–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-62-74.
2. Hall D., Zhao W., Wennström U., Gull B.A., Wang X.-R. Parentage and relatedness reconstruction in *Pinus sylvestris* using genotyping-by-sequencing. Heredity. 2020; 124: 633–646. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0302-3>.
3. Bruhaux J., Zhao W., Hall D., Curtu A.L., Androsiuk P., Drouzas A.D., Gailing O., Konrad H., Sullivan A.R., Semerikov V., Wang X.-R. Scots pine – panmixia and the elusive signal of genetic adaptation. New Phytologist. 2024; 243: 1231–1246. DOI: 10.1111/nph.19563.
4. Danusevičius D., Rajora O.P., Kavaliauskas D. et al. Stronger genetic differentiation among within-population genetic groups than among populations in Scots pine provides new insights into within-population genetic structuring. Sci Rep. 2024; 14: 2713. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52769-y>.
5. Brichta J., Vacek S., Vacek Z., Cukor J., Mikeska M., Bílek L., Šimůnek M., Gallo J., Brabec P. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. Central European Forestry Journal. 2023; 69: 3-20. DOI: 10.2478/forj-2022-0020.
6. Мерзленко М.Д. Очерки о лесокультурной науке. – М.: Издательский Дом Рученькиных, 2024. – 114 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83220891>.
7. Gabira M.M., Girona M.M., DesRochers A., Kratz D., da Silva R.B.G., Duarte M.M., de Aguiar N.S., Wendling I. The impact of planting density on forest monospecific plantations: An overview. Forest Ecol. Manag. 2023; 534: 120882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120882>.
8. Šilinskas B., Varnagiryte-Kabašinskiene I., Aleinikovas M., Beniušienė L., Aleinikovienė J., Škėma M. Scots pine and Norway spruce wood properties at sites with different stand densities. Forests. 2020; 11: 587. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11050587>.
9. Пшеничникова Л. С. Динамика роста и продуктивность разногустотных культур ели в южной тайге Средней Сибири. Хвойные бореальной зоны. – 2020. – Т. 38. – № 3-4. – С. 107-114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44127968>.
10. Kremer K., Jonsson B.-G., Tavares M.F., Bauhus J. Effects of planting density on the performance of reforestation and afforestation plantings in temperate and boreal forests: a systematic review. Restoration Ecology. 2025; 33: 5. DOI: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.70103/suppinfinfo>.
11. Пшеничникова Л.С., Собачкин Д.С., Собачкин Р.С. Лесоводственная оценка 35-летних культур сосны, лиственницы, ели разной густоты в южной тайге средней Сибири. Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2021. – № 60. – С. 61-63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47200121>.
12. Пшеничникова Л.С., Онучин А.А., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста сосновых культур разной густоты в условиях южной тайги Сибири. Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 24–33. DOI: 10.15372/SJFS20220303.
13. Осипенко А.Е., Залесов С.В. Формирование морфологии деревьев культивируемых сосновых древостоев. Изв. вузов. Лесн. журн. – 2024. – № 2. – С. 105–117. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-105-117>.
14. Залесова Е.С., Ананьев Е.М., Осипенко А.Е., Шубин Д.А., Терехов Г.Г. Влияние густоты посадки на устойчивость искусственных сосновых насаждений. Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2019. – Т. 23. – № 1. – С. 22–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-22-27.
15. Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Forests. 2024; 15: 233. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15020233>.
16. Ganbaatar B., Jamsran T., Gradel A., Sukhbaatar G. Assessment of the Effects of Thinnings in Scots Pine Plantations in Mongolia: a Comparative Analysis of Tree Growth and Crown Development Based on Dominant Trees. Forest Science and Technology. 2021; 17: 3: 135–143. DOI: <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1963326>.
17. Zhang, Y., Zeng, D.H., Sheng, Z. et al. Stand density influences soil organic carbon stocks and fractions by mediating soil biochemical properties in Mongolian pine plantations. Plant Soil. 2025; 513: 2309–2323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07317-6>.
18. Selvalakshmi S., Vasu D., Yang X. Planting density affects soil quality in the deep soils of pine plantations. Applied Soil Ecology. 2022; 178: 104572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104572>.
19. Bai Y.-F., Shen Y.-Y., Jin Y.-D., Hong Y., Liu Y.-Y Li., Y.-Q., Liu R., Zhang Z.-W., Jiang Ch.-Q., Wang Y.-J. Selective thinning and initial planting density management promote biomass and carbon storage in a chronosequence of evergreen conifer plantations in Southeast China. Global Ecology and Conservation. 2020; 24: e01216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01216>.

20. Редько Г.И., Мерзленко М.Д., Бабищ Н.А. Лесные культуры. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – В 2 ч. Часть 2. – 260 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43013776>.
21. Мерзленко М.Д. Лес как социум древесного сообщества. – М.: Издательский Дом Рученькиных, 2025. – 88 с.

### References

1. Bryntsev V.A. *Endogennaya i individual'naya izmenchivost' morfometricheskikh pokazateley shishek sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Endogenous and individual variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cones morphometric parameters]. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*. 2025; vol.29; 5: 62–74. (In Russ.). DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-62-74.
2. Hall D., Zhao W., Wennström U., Gull B.A., Wang X.-R. Parentage and relatedness reconstruction in *Pinus sylvestris* using genotyping-by-sequencing. *Heredity*. 2020; 124: 633–646. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0302-3>.
3. Bruxaux J., Zhao W., Hall D., Curtu A.L., Androsiuk P., Drouzas A.D., Gailing O., Konrad H., Sullivan A.R., Semerikov V., Wang X.-R. Scots pine – panmixia and the elusive signal of genetic adaptation. *New Phytologist*. 2024; 243: 1231–1246. DOI: 10.1111/nph.19563.
4. Danusevičius D., Rajora O.P., Kavaliauskas D. et al. Stronger genetic differentiation among within-population genetic groups than among populations in Scots pine provides new insights into within-population genetic structuring. *Sci Rep.* 2024; 14: 2713. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52769-y>.
5. Brichta J., Vacek S., Vacek Z., Cukor J., Mikeska M., Bílek L., Šimůnek M., Gallo J., Brabec P. Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. *Central European Forestry Journal*. 2023; 69: 3-20. DOI: 10.2478/forj-2022-0020.
6. Merzlenko M.D. *Ocherki o lesokul'turnoj nauke*. [Essays on Silvicultural Science] M.: Izdatel'skij Dom Ruchen'kinykh.. 2024; 114. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=83220891>.
7. Gabira M.M., Girona M.M., DesRochers A., Kratz D., da Silva R.B.G., Duarte M.M., de Aguiar N.S., Wendling I. The impact of planting density on forest monospecific plantations: An overview. *Forest Ecol. Manag.* 2023; 534: 120882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120882>.
8. Šilinskas B., Varnagiryte-Kabašinskiene I., Aleinikovas M., Beniušienė L., Aleinikovienė J., Škėma M. Scots pine and Norway spruce wood properties at sites with different stand densities. *Forests*. 2020; 11: 587. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11050587>.
9. Pshenichnikova L. S. *Dinamika rosta i produktivnost' raznogustotnykh kul'tur eli v yuzhnoj tajge Srednej Sibiri*. [Growth dynamics and productivity of spruce crops of different densities in the southern taiga of Central Siberia] *Khvojnye boreal'noj zony*. 2020; 38; 3-4: 107-114. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44127968>.
10. Kremer K., Jonsson B.-G., Tavares M.F., Bauhus J. Effects of planting density on the performance of reforestation and afforestation plantings in temperate and boreal forests: a systematic review. *Restoration Ecology*. 2025; 33: 5. DOI: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.70103/supinfo>.
11. Pshenichnikova L.S., Sobachkin D.S., Sobachkin R.S. *Lesovodstvennaya otsenka 35-letnikh kul'tur sosny, listvennitsy, eli raznoj gustoty v yuzhnoj tajge srednej Sibiri*. [Forestry assessment of 35-year-old pine, larch, and spruce cultures of varying density in the southern taiga of central Siberia.] *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2021; 60: 61-63. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47200121>.
12. Pshenichnikova L. S., Onuchin A. A., Sobachkin R. S., Petrenko A. E. *Osobennosti rosta sosnovy'x kul'tur raznoj gustoty v usloviyax yuzhnoj tajgi Sibiri*. [The growth specifics of pine crops of various density in the Siberian southern taiga] // *Sibirskij Lesnoj Zurnal = Sib. J. For. Sci.* 2022; 3: 24–33. (In Russ.). DOI: 10.15372/SJFS20220303.
13. Osipenko A.E., Zalesov S.V. *Formirovanie morfologii derev'ev kul'tiviruemykh sosnovykh drevostoev*. [Formation of the morphology of cultivated pine forests] *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 2024; 2: 105–117. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-105-117>.
14. Zalesova E.S., Ananiev E.M., Osipenko A.E., Shubin D.A., Terekhov G.G. *Vliyanie gustoty posadki na ustoychivost' iskusstvennykh sosnovykh nasazhdeniy* [Planting density effect on artificial pine stands stability]. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*. 2019; 23; 1: 22–27. (In Russ.). DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-22-27.
15. Sharapov E., Demakov Y., Korolev A. Effect of Plantation Density on Some Physical and Technological Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forests*. 2024; 15: 233. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15020233>.
16. Ganbaatar B., Jamsran T., Gradel A., Sukhbaatar G. Assessment of the Effects of Thinnings in Scots Pine Plantations in Mongolia: a Comparative Analysis of Tree Growth and Crown Development Based on Dominant Trees. *Forest Science and Technology*. 2021; 17; 3: 135–143. DOI: <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1963326>.
17. Zhang, Y., Zeng, D.H., Sheng, Z. et al. Stand density influences soil organic carbon stocks and fractions by mediating soil biochemical properties in Mongolian pine plantations. *Plant Soil*. 2025; 513: 2309–2323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07317-6>.

18. Selvalakshmi S., Vasu D., Yang X. Planting density affects soil quality in the deep soils of pine plantations. *Applied Soil Ecology*. 2022; 178: 104572. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104572>.

19. Bai Y.-F., Shen Y.-Y., Jin Y.-D., Hong Y., Liu Y.-Y Li, Y.-Q., Liu R., Zhang Z.-W., Jiang Ch.-Q., Wang Y.-J. Selective thinning and initial planting density management promote biomass and carbon storage in a chronosequence of evergreen conifer plantations in Southeast China. *Global Ecology and Conservation*. 2020; 24: e01216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01216>.

20. Red'ko G.I., Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesny`e kul'tury`*. [Forest crops]. V 2 ch. Chast' 2. M.: Izdatel'stvo Yurajt. 2020; 260. (in Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43013776>.

21. Merzlenko M.D. *Les kak socium drevesnogo soobshhestva*. [Forest as a society of tree community]. M.: Izdatel'skij Dom Ruchen`kiny`x. 2025; 88. (in Russ.).

### **Сведения об авторах**

*Мерзленко Михаил Дмитриевич* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Института лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Российская Федерация, 143030, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0887-3178>, e-mail: [md.merzlenko@mail.ru](mailto:md.merzlenko@mail.ru).

✉ *Брынцев Владимир Альбертович* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник ГБС РАН, ул. Ботаническая, д. 4, г. Москва, Российская Федерация, 127276, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6271-1444>, e-mail: [bryntsev@mail.ru](mailto:bryntsev@mail.ru).

*Коженкова Анна Альбертовна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, научный сотрудник ГБС РАН, ул. Ботаническая, д. 4, г. Москва, Российская Федерация, 127276, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1518-7165>, e-mail: [kozhenkovaa@yandex.ru](mailto:kozhenkovaa@yandex.ru).

### **Information about authors**

*Michail D. Merzlenko* – Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher at the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., Uspenskoe, Moscow Region, Russian Federation, 140030, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0887-3178>, e-mail: [md.merzlenko@mail.ru](mailto:md.merzlenko@mail.ru).

✉ *Vladimir A. Bryntsev* – Dr. Sci. (Agriculture), associate professor, Chief Scientific Officer of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, st. Botanicheskaya 4, Moscow, 127276, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6271-1444>, e-mail: [bryntsev@mail.ru](mailto:bryntsev@mail.ru).

*Anna A. Kozhenkova* – Cand. Sc. (Agriculture), associate professor, Researcher of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, st. Botanicheskaya 4, Moscow, Russian Federation, 127276, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1518-7165>, e-mail: [kozhenkovaa@yandex.ru](mailto:kozhenkovaa@yandex.ru).

✉ Для контактов | Corresponding author