

Д.А. Данилов, М.В. Коберницкий

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ МЕСТА ПРОИЗРАСТАНИЯ
НА ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ
(*PINUS CONTORTA* DOUGL.)
В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Введение. На рост и развитие древесных растений влияет множество почвенных факторов, начиная от ее химического состава и заканчивая гранулометрическим составом. Особенно важна роль почвы в процессе развития пород интродуцентов. Сосна скрученная, естественно произрастающая в Северной Америке, обладает широкой экологической амплитудой [Корчагов и др., 2020; Jansons et al., 2013; Liepe et al., 2016; Novotný et al., 2018]. Выбор сосны скрученной в качестве объекта интродукции в России обусловлен, прежде всего, стремлением создать постоянную лесосырьевую базу для целлюлозно-бумажной промышленности [Раевский, Мордась, 2005; Демидова и др., 2018; Gutii, Fedorkov, 2016]. Правильно выбранный участок для культур может повысить количественные и качественные характеристики древесины и помочь адаптации породы к условиям произрастания. Решение вопросов переработки и воспроизводства древесины как сырья невозможно без качественной и точной информации о ее объемных и технических свойствах. Одна из основных характеристик качества древесины – плотность, которая, в свою очередь, является универсальным показателем. Плотность древесины дает ее массовую характеристику, что само по себе является фактором качества древесных материалов. Также, зная плотность, можно определить содержание сухого вещества в древесном сырье. Анализ флуктуации значений плотности древесины позволяет оценить эффективность хозяйственных мероприятий, степень влияния природных факторов на производительность древостоев [Мелехов и др., 2021; Щекалёв и др., 2023; Януш и др., 2023; Sobolev et al., 2022].

Целью проводимого исследования было проанализировать плотность древесины сосны скрученной в 40-летних культурах, произрастающих на разных по гранулометрическому составу и подстилающих породах почвах, и провести сравнительный анализ сходств и различий данного показателя по опытным объектам.

Материалы и методика исследования. Объектом исследования являлись культуры сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.), расположенные на территории Ленинградской области в Орлинском участковом лесничестве (кварталы 1, 105, 82) Гатчинского лесничества и Врудском участковом лесничестве (квартал 1) Волосовского лесничества. Густота посадки – 3,3 тыс. деревьев на га. Годы создания лесных культур на опытных участках – 1988–1990. Все участки были заложены на разных типах почвы [Алексеев и др., 2014; Zhigunov, Butenko, 2019].

На опытных участках были заложены пробные площади 25×50 м параллельно высаженным рядам. Далее была произведена таксация всех деревьев в рядах по таким параметрам, как: высота, диаметр, запас в пересчете на гектар. Также были сделаны почвенные прикопки для определения протяжённости гумусированного горизонта и гранулометрического состава и типа почв.

Плотность древесины насаждений определялась по кернам, взятым с представленных ступеней толщины деревьев сосны скрученной с помощью бурава Пресслера.

Базисная плотность измерялась методом максимальной влагоёмкости по О.И. Полубояринову [1976].

Статистическая обработка полученного массива данных проводилась с использованием дисперсионного анализа по критерию Фишера. Методами дисперсионного анализа устанавливается наличие влияния заданного фактора на изучаемый процесс. Корреляционный анализ позволяет оценить силу такой связи. Был использован корреляционный ранговый анализ Кендалла, где для оценки силы зависимости между признаками применяют не их значения, а соответствующие им ранги. Коэффициент инвариантен по отношению к любому монотонному преобразованию шкалы измерения (по возрастанию или убыванию) и хорошо применим при небольших выборках. Он изменяется от -1 до $+1$, где -1 указывает на полную антикорреляцию, $+1$ – на полную корреляцию, а 0 – на отсутствие корреляции. Также, как и другие меры ранговой корреляции, коэффициент Кендалла является непараметрической оценкой, т. е. не требует каких-либо предположений относительно распределения значений набора данных и его параметров. Это существенно упрощает его использование.

Результаты исследования. Результаты проведенного анализа таксационных характеристик насаждений сосны скрученной показали, что почвенные условия значимо повлияли на формирование запаса. По таксационным

характеристикам данные насаждения отличаются только по средним диаметрам и количеству крупных ступеней толщины стволов. Наиболее производительные древостои к возрасту 40 лет сформировались на перегнойно-торфянистых на суглинках и на дерново-карбонатных почвах (табл. 1). Количество сухих деревьев, перешедших в отпад, составило в Орлинском участковом лесничестве: квартал №1 – 16%, квартал №105 – 13%, квартал №82 – 31%. Очевидно, что сосна скрученная в условиях Ленинградской области хуже растет на песках из-за более бедных условий произрастания.

Для Врудского участкового лесничества (кв. 1) количество сухих деревьев в отпад составило 23%.

Таблица 1

Таксационные показатели опытных объектов сосны скрученной

Taxation indicators lodgepole pine on experimental objects

D _{ср} , см	H _{ср} , м	N, шт. на га	M, м ³
Орлинское участковое лесничество			
кв. 1 (супесчано-суглинистые на моренном валунном суглинке)			
16	21	2420	148
кв. 82 (песчаные сильноподзолистые иллювиально-малогумусовые)			
14	18,5	2036	60
кв. 105 (перегнойно-торфянистые на суглинках)			
18	19,5	2070	187
Врудское участковое лесничество			
кв. 1 (дерново-карбонатные оподзоленные суглинки на моренном карбонатном суглинке)			
16	20,5	1155	210

Полученные результаты показывают, что имеется общая тенденция для всех объектов по наибольшей плотности в средних ступенях толщины стволов деревьев сосны скрученной (рис. 1).

Для выявления влияния почвенного фактора на плотность древесины сосны скрученной нами был проведён непараметрический анализ по коэффициенту Кендалла. Этот ранговый коэффициент корреляции характеризует общий характер нелинейной зависимости – возрастание или убывание результативного признака при возрастании факторного. Это показатель тесноты

монотонной нелинейной связи. Для этого почвенным разностям были присвоены индексы, связанные с утяжелением гранулометрического состава и степенью увлажнения почв, от песчаных до оторфованных [Чертов, 1981].

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1; \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4 \cdot 580}{42(42-1)} - 1 = 0,35. \quad (2)$$



Рис. 1. Базисная плотность древесины сосны скрученной на различных почвах на объектах исследования в Ленинградской области, кг/м³

Fig. 1. Basic density of twisted pine wood on various soils at research sites in the Leningrad region, kg/m³

Для того чтобы при уровне значимости α проверить нулевую гипотезу о равенстве нулю генерального коэффициента ранговой корреляции Кендалла при конкурирующей гипотезе $H_1: \tau \neq 0$, надо вычислить критическую точку:

$$T_{кр} = z_{кр} \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}}, \quad (3)$$

где n – объем выборки; $z_{кр}$ – критическая точка двусторонней критической области, которую находят по таблице функции Лапласа по равенству

$\Phi(z_{кр}) = (1-\alpha)/2$. Если $|\tau| < T_{кр}$ – нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, ранговая корреляционная связь между качественными признаками незначима. Если $|\tau| > T_{кр}$ – нулевую гипотезу отвергают, между качественными признаками существует значимая ранговая корреляционная связь.

Найдем критическую точку $z_{кр}$:

$$\Phi(z_{кр}) = \frac{1-\alpha}{2} = \frac{1-0,1}{2} = 0,45. \quad (4)$$

По таблице Лапласа находим $z_{кр} = 1,65$.

Найдем критическую точку:

$$T_{кр} = 1,65 \sqrt{\frac{2(2*42+5)}{9*42(42-1)}} = 0,18. \quad (5)$$

Так как $\tau > T_{кр}$, отвергаем нулевую гипотезу; ранговая корреляционная связь между оценками по двум тестам значимая, следовательно, существует значимая связь между почвенными условиями произрастания и изменением плотности древесины сосны скрученной.

Проведённое исследование плотности древесины сосны скрученной, произрастающей в разных почвенно-гидрологических условиях, выявило, что средние её показатели по пробным площадям имеют близкие значения и различаются в небольших пределах – от 408 до 425 кг на м³ (рис. 1). Вычисленный коэффициент вариации плотности древесины для всех опытных объектов находится на уровне 3%, так как плотность древесины хвойных пород имеет обусловленный характер и малую вариабельность по ступеням толщины. Однако проведенный однофакторный анализ выявил, что существуют значимые различия между показателями плотности древесины по ступеням толщины стволов деревьев сосны скрученной в зависимости от условий произрастания (табл. 2–3).

Таблица 2

Однофакторный дисперсионный анализ различий плотности древесины сосны скрученной по ступеням толщины

One-way analysis of variance for differences in the density of twisted pine wood by thickness grades

Варьирование	Сумма квадратов	Сумма квадратов, %	Степени свободы	F фактическое	F теоретическое при $p=0,05$	Критерий Стьюдента теоретический
Общее	32512,75	100,00	41			
Повторностей	2496,244	7,68	3	3,51	2,99	2,06
Вариантов	24091,43	74,10	13	7,82	2,14	
Остаточное	5925,08	18,22	25			

Таблица 3

Показатели наименьшей существенной разницы показателей плотности древесины между опытными объектами

Least significant difference values of wood density between experimental objects

Повторности	1	2	3	4	Средние повторностей	Доверительные интервалы
1 <i>НСП</i>		4,391 13,547	12,661 14,568	8,33787 14,947	420,62	10,569
2 <i>НСП</i>			17,052 13,128	3,947 13,547	425,01	8,474
3 <i>НСП</i>				20,999 14,568	407,96	10,027
4 <i>НСП</i>					428,96	10,569
Средние повторностей	420,86	425,01	407,96	428,96	420,86	

Заключение. Проведённое исследование выявило значимое и достоверное влияние почвенных факторов на формирование плотности древесины сосны скрученной. В ходе исследования выявлено, что, хотя вариабельность плотности древесины сосны невелика, существует достоверное различие по показателям плотности древесины данной породы по ступеням толщины ствола к возрасту 40 лет, связанное с условиями произрастания. Следовательно, данная порода-интродуцент должна выращиваться с учётом соответствия её возможностей по продуцированию максимальной фитомассы в регионе исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алексеев В.М., Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Бурцев Д.С. Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. №3 (339). С. 24-33.

Демидова Н.А., Дуркина Т.М., Гоголева Л.Г., Быков Ю.С., Парамонов А.А. Результаты 35-летнего испытания сосны скрученной на Европейском Севере России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 90–105.

Корчагов С.А., Грибов С.Е., Хамитов Р.С. Опыт выращивания сосны скрученной (*Pinus contorta*) в Вологодской области // Лесной вестник. 2020. Т. 24, №3. С. 60-65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А., Щекалев Р.В. Комплексная оценка качества древесины сосны в лесных культурах разных условий местопроизрастания // Лесоведение. 2021. №2. С. 208-216.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М., 1976. 160 с.

Раевский Б.В., Мордаев А.А. Ход роста культур сосны скрученной в подзоне средней тайги // ИВУЗ. Лесной журнал. 2005. №1-2. С. 23-33.

Щекалев Р.В., Беляева Н.В., Чавчавадзе Е.С. Характеристики прочности древесины сосны обыкновенной в древостоях Европейского северо-востока России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 246. С. 282–296. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.246.282-296.

Чертов О.Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981. 192 с.

Януш С.Ю., Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Плотность древесины сосны и ели в насаждениях на старопахотных и лесных землях в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 243. С. 46-67. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.243.46-67.

Gutii L.N., Fedorkov A.L. Experimental cultures of lodgepole pine in Syktyvkar forestry of the Komi Republic // Russian Forestry Journal. 2016. No. 1. P. 48-54. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.48.

Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins J. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia // iForest. 2013. Vol. 6. P. 10-14. DOI: 10.3832/ifor0637-006.

Liepe K.J., Hamann A., Smets P., Fitzpatrick C.R., Aitken S.N. Adaptation of lodgepole pine and interior spruce to climate: implications for reforestation in a warming world // Evol. Appl. 2016. Vol. 9, iss. 2. P. 409-419. DOI: 10.1111/eva.12345.

Novotný P., Fulín M., Čáp J., Dostál J. Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Douglas ex Loudon) from the Perspective of Its Possible Utilization in Conditions of Changing Central European Climate // Conifers. 2018. Ch. 1. DOI: 10.5772/intechopen.79713.

Sobolev A., Feklistov P., Bolotov I., Barzu O. The results of the introduction of twisted pine (*Pinus contorta*) in Bolshoy Solovetsky Island // Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2022. Vol. 64, no. 1. P. 1-6. DOI: 10.2478/ffp-2022-0001.

Zhigunov A.V., Butenko O.Y. Estimating the growth of 20-to 26-year-old lodgepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia // Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2019. Vol. 61, iss. 1. P. 58-63. DOI: 10.2478/ffp-2019-0006.

References

Alekseev V.M., Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Burtsev D.S. Introduction of twisted pine in the Leningrad region. Russian Forestry Journal, 2014, no. 3(339), pp. 24-33. (In Russ.)

Chertov O.G. Ecology of forest lands (soil and ecological study of forest habitats). Leningrad: Nauka, 1981. 192 p. (In Russ.)

Demidova N.A., Durkina T.M., Gogoleva L.G., Bykov Yu.S., Paramonov A.A. Results of 35-year testing of twisted pine in the European North of Russia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2018, iss. 225, pp. 90-105. (In Russ.)

Gutii L.N., Fedorkov A.L. Experimental cultures of lodgepole pine in Syktyvkar forestry of the Komi Republic. *Russian Forestry Journal*, 2016, no. 1, pp. 48-54. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.48.

Jansons A., Sisenis L., Neimane U., Rieksts-Riekstins J. Biomass production of young lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) stands in Latvia. *iForest*, 2013, vol. 6, pp. 10-14. DOI: 10.3832/for0637-006.

Korchagov S.A., Gribov S.E., Khamitov R.S. The experience of growing twisted pine (*Pinus contorta*) in the Vologda region. *Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 60-65. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-60-65. (In Russ.)

Liepe K.J., Hamann A., Smets P., Fitzpatrick C.R., Aitken S.N. Adaptation of lodgepole pine and interior spruce to climate: implications for reforestation in a warming world. *Evol. Appl.*, 2016, vol. 9, iss. 2, pp. 409-419. DOI: 10.1111/eva.12345.

Melekhov V.I., Babich N.A., Koragov S.A., Shchekalev R.V. Comprehensive assessment of pine wood quality in forest crops of different growing conditions. *Lesovedenie*, 2021, no. 2, pp. 208-216. (In Russ.)

Novotný P., Fulin M., Čáp J., Dostál J. Lodgepole Pine (*Pinus contorta* Douglas ex Loudon) from the Perspective of Its Possible Utilization in Conditions of Changing Central European Climate. *Conifers*. 2018, ch. 1. DOI: 10.5772/intechopen.79713.

Poluboyarinov O.I. Wood density. Moscow, 1976. 160 p. (In Russ.)

Rayevsky B.V., Mordas A.A. The course of growth of twisted pine crops in the middle taiga subzone. *Russian Forestry Journal*, 2005, no. 1-2, pp. 23-33. (In Russ.)

Shchekalev R.V., Belyaeva N.V., Chavchavadze E.S. Characteristics of the strength of Scots pine wood in the stands of the European Northeast of Russia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2023, iss. 246, pp. 282-296. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.246.282-296. (In Russ.)

Sobolev A., Feklistov P., Bolotov I., Barzu O. The results of the introduction of twisted pine (*Pinus contorta*) in Bolshoy Solovetsky Island. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 2022, vol. 64, no. 1, pp. 1-6. DOI: 10.2478/ffp-2022-0001.

Yanush S.Yu., Danilov D.A., Zaitsev D.A. Density of pine and spruce wood in plantations on old arable and forest lands in the Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2023, iss. 243, pp. 46-67. (In Russ.)

Zhigunov A.V., Butenko O.Y. Estimating the growth of 20-to 26-year-old lodgepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 2019, vol. 61, iss. 1, pp. 58-63. DOI: 10.2478/ffp-2019-0006.

Материал поступил в редакцию 17.08.2025

Данилов Д.А., Коберницкий М.В. Влияние условий местопроизрастания на плотность древесины сосны скрученной (*Pinus contorta*) в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 258. С. 196–205. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.196-205

Проведённое исследование посвящено влиянию различных типов почв на качество древесины сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.), интродуцированной в Ленинградскую область. Основной акцент сделан на изучении показателей плотности древесины в зависимости от особенностей почвенного покрова и гидрогеологических условий. Исследование также включает статистическое обоснование полученных результатов методами дисперсионного и корреляционного анализов. Исследования проводились на четырех опытных участках, расположенных в Орлинском и Врудском участковых лесничествах. Участки представлены различными типами почв: суглинистыми, карбонатными, торфянистыми и песчанистыми. Возраст исследуемых культур – около 40 лет. Проведены замеры высоты, диаметра, запасов древесины на каждом участке. Для определения плотности древесины использовались образцы (керны), полученные буром Пресслера, обработанные методом максимальной влагоемкости по методике О.И. Полубояринова. Проведен расчет коэффициента корреляции Кендалла для оценки взаимосвязей между характеристиками почв и плотностью древесины. Анализ показал следующее. Почва оказывает значительное влияние на продуктивность лесов и структуру роста сосны скрученной. Древесина показала наименьшую плотность на песчаных почвах, наиболее высокую – на тяжелых суглинках и дерново-карбонатных почвах. Статистически установлено слабое варьирование средней плотности (около 3%), однако выявлены существенные различия по толщине стволов в зависимости от местоположения участка. Расчет коэффициента корреляции Кендалла подтвердил положительную связь плотности древесины с тяжелым гранулометрическим составом и степенью увлажненности почвы. Исследование подтвердило значимость учета почвенных условий при культивировании сосны скрученной в России. Полученные данные свидетельствуют о влиянии структуры и плодородия почв на качественный состав древесины, подчеркивая необходимость выбора оптимальных условий выращивания для повышения экономической эффективности производства лесных ресурсов.

Ключевые слова: сосна скрученная, почва, плотность, интродукция, статистика, корреляция, древесина.

Danilov D.A., Kobernitskiy M.V. The influence of growing site conditions on wood density of lodgepole pine (*Pinus contorta*) in Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 258, pp. 196–205 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.258.196-205

The abstract is devoted to the study of the influence of different types of soils on the quality of wood from lodgepole (*Pinus contorta* Dougl.), introduced in Leningrad region.

The main focus is placed on studying the indicators of wood density depending on soil cover and hydrogeological conditions. The research also includes statistical validation of results using methods of variance and correlation analysis. Studies were conducted at four experimental sites located in Orlino and Vrud forest districts. The areas are represented by various soil types: loams, carbonates, peats, and sands. The age of studied cultures is about 40 years old. Measurements of height, diameter, and timber reserves have been carried out for each site. To determine wood density, samples (cores) obtained with Pressler's drill, processed according to Poluboyarinov's maximum moisture capacity method. Correlation-disperse analysis: Kendall's rank correlation coefficient was calculated to assess relationships between soil characteristics and wood density. Results showed that soil significantly affects forest productivity and growth structure of twisted pine. The lowest wood density was observed on sandy soils, while the highest values occurred on heavy loamy and sod-carbonate soils. Statistically, there is a slight variation in average density (about 3%); however, significant differences were found in stem thickness across different locations. Calculation of Kendall's correlation coefficient confirmed positive relationship between wood density and granulometric composition as well as soil humidity level. This study confirms the importance of considering soil conditions when cultivating twisted pine in Russia. Obtained data indicate the impact of soil structure and fertility on wood quality, emphasizing the need for optimal growing conditions selection to improve economic efficiency of forestry production.

Key words: lodgepole pine, soil, density, introduction, statistics, correlation, wood.

ДАНИЛОВ Дмитрий Александрович – заведующий кафедрой почвоведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор сельскохозяйственных наук. SPIN-код: 5826-3852. ORCID: 0000-0002-7504-5743.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: stown200@mail.ru

DANILOV Dmitry A. – DSc (Agriculture), Head of Soil Science Department, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 5826-3852. ORCID: 0000-0002-7504-5743.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: stown200@mail.ru

КОБЕРНИЦКИЙ Михаил Владимирович – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: johny_cagemk12@mail.ru

KOBERNITSKY Mikhail V. – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: johny_cagemk12@mail.ru