

Научная статья

УДК 630*52:630*174.754

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44>

EDN: BRQGYX

Моделирование доли коры в фитомассе ветвей сосны обыкновенной в степной зоне

Н. И. Плюха¹, В. А. Усольцев^{1,2✉}, И. С. Цепордей²

¹ Уральский государственный лесотехнический университет,
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

² Ботанический сад УрО РАН,
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
Usoltsev50@mail.ru ✉

Введение. Количество стволовой древесины надлежащего качества для промышленности постоянно сокращается, и возникает необходимость эффективного использования ветвей деревьев в производстве технологической щепы, целлюлозы, плитных материалов. Поскольку базисная плотность коры ветвей существенно меньше, чем в древесине, доля коры в массе ветвей влияет на качество продукции, изготавливаемой из ветвей деревьев. С другой стороны, кора деревьев, наряду с защитными функциями, выполняет важные физиологические функции, связанные, в частности, с влагопроводимостью внутренней части коры и влагоёмкостью её внешней части, и в последнее время интерес к этим экофизиологическим процессам в древесном пологе непрерывно растёт. **Цель исследования.** В настоящем исследовании предпринята первая попытка разработки моделей процентного содержания коры в массе ветвей сосны обыкновенной и сравнительного анализа содержания коры в массе ветвей естественных сосняков и культур. **Объекты и методы.** Объектом исследования послужили чистые сосняки естественного и искусственного происхождения островных боров в степной зоне Тургайского прогиба. Всего в анализе использовано 482 модельных дерева, взятых на 48 пробных площадях. **Результаты.** Анализ зависимости доли коры в массе ветвей от возраста и диаметра ствола на высоте 1,3 м показал, что названные переменные объясняют в естественных сосняках и культурах соответственно 71 и 91 % её изменчивости. Установлено различное соотношение доли коры в естественных сосняках и культурах в связи как с возрастом деревьев, так и с диаметром ствола. **Вывод.** Разработанные регрессионные модели зависимости доли коры в массе ветвей от дендрометрических показателей деревьев в естественных сосняках и культурах показали наличие разного её соотношения в зависимости от происхождения древостоев и в связи с дендрометрическими показателями деревьев.

Ключевые слова: естественные сосняки; культуры; регрессионные модели

Финансирование: работа выполнена согласно государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

Введение. Количество стволовой древесины надлежащего качества для промышленности постоянно сокращается, и возникает необходимость эффективного использования ветвей деревьев в производстве технологической щепы, целлюлозы, плитных материалов [1]. Поскольку базис-

ная плотность коры ветвей на 40–80 % меньше плотности их древесины [1], доля коры в массе ветвей влияет на качество продукции, изготавливаемой из ветвей деревьев. В производстве древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит из ветвей деревьев доля коры в нашей стране была

© Плюха Н. И., Усольцев В. А., Цепордей И. С., 2024

Для цитирования: Плюха Н. И., Усольцев В. А., Цепордей И. С. Моделирование доли коры в фитомассе ветвей сосны обыкновенной в степной зоне // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 1 (61). С. 44–54. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44>; EDN: BRQGYX

лимитирована техническими условиями на уровне 12–20 %, а фактическая доля коры в такой щепе, полученной из ветвей, превышала допустимые значения и составляла 21–24 %, что ограничивало использование ветвей в производстве древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит [2].

Однако современные технологии дают возможность производства древесно-стружечных плит из ветвей любых древесных пород без потери качества продукции [3], но с повышенными технологическими затратами [4]. Нужно отметить, что в технологии производства лигноуглеводных древесных пластиков (без добавления связующих смол), разрабатываемой в 1970–80-е годы в Уральском лесотехническом институте, увеличение доли коры в сырье не только не ухудшало, а, напротив, повышало их качество [5, 6], по-видимому, вследствие наличия в коре дубильных веществ, выступающих в качестве клеев для древесных плит [7].

Кора деревьев, наряду с защитными функциями, выполняет в рамках «функциональной экологии коры» [8] важные физиологические функции, связанные, в частности, с влагопроводимостью внутренней части коры и влагоёмкостью её внешней части [9, 10], и в последнее время интерес к этим экогидрологическим процессам в древесном пологе непрерывно растёт [9, 11, 12]. Многофункциональная роль коры, значительное количество содержащегося в ней углерода [13] и высокое морфологическое разнообразие позволяют предположить, что изменчивость морфологии коры может быть важным компонентом изменчивости экологических стратегий растений. Однако роль коры в этих стратегиях остаётся неясной, учитывая пока ещё слабое понимание закономерностей и причин её изменчивости [8].

Вследствие большего наличия элементов питания в коре по сравнению с древесиной [14, 15], в ветвях с их повышенной долей коры содержится больше

элементов питания, чем в стволах. У вишни птичьей (*Prunus avium* L.) с увеличением диаметра ствола доля коры в массе ветвей снижается вследствие увеличения средней площади сечения ветвей. В то же время наблюдается баланс между образованием новых ветвей с низким диаметром и высокой долей коры и утолщением более крупных ветвей с относительно меньшей долей коры [14].

По мере роста древостоя после смыкания полога непрерывно изменяются его морфоструктура и квалитетические характеристики ветвей, в том числе соотношение коры и древесины в ветвях, содержание сухого вещества, базисная плотность и др. Исследованию названных показателей было посвящено специальное исследование в 20-летних естественном сосняке и культуре [16]. Установлено, что доля коры в ветвях возрастает в направлениях от центра к периферии кроны в естественном сосняке и культуре соответственно с 36 до 53 и с 33 до 47 % и по вертикальному профилю кроны – снизу вверх, соответственно с 36 до 65 и с 33 до 54 %. Регрессионные модели для естественного сосняка и для культуры характеризовались коэффициентами детерминации соответственно 0,629 и 0,850.

По данным 525 и 325 модельных деревьев, полученных соответственно на 45 и 32 пробных площадях в березняках и осинниках лесостепной зоны Северного Казахстана, разработаны регрессионные модели для фракций фитомассы деревьев ($R^2 = 0,97–0,98$) и соответствующие таблицы их изменения в связи с возрастом, диаметром ствола и высотой дерева [17, 18]. Согласно составленным таблицам, доля коры в массе ветвей деревьев одного и того же диаметра ствола не зависит от условий местопроизрастания и с возрастом закономерно снижается, поскольку у деревьев старшего возраста при более выраженной ажурности кроны преобладают толстые ветви, содержащие меньший процент коры. При одном

и том же возрасте доля коры с увеличением диаметра ствола снижается также вследствие большего участия толстых ветвей в общей их массе (рис. 1).

В ельниках Чешской Республики в возрасте от 82 до 107 лет, при среднем диаметре стволов от 38 до 30 см и средней высоте от 20 до 33 м доля коры в массе ветвей в абсолютно сухом состоянии колеблется в диапазоне от 17 до 24 % при среднем коэффициенте изменчивости 43 % [1]. Для четырёх древесных пород штата Алабама в США выведены уравнения зависимости массы древесины ветвей и коры ветвей от диаметра ствола и высоты дерева с коэффициентами детерминации соответственно 0,87 и 0,89 [19], для трёх пород штата Юта с коэффициентами детерминации 0,97 и 0,91 [20] и для двух пород в Канаде с коэффициентами детерминации 0,94 и 0,95 [21]. В 17-летних культурах дуба летнего (*Quercus longipes* Stev.) в Болгарии доля коры в ветвях дерева при диаметре ствола от 4 до 17 см варьирует в диапазоне от 17 до 31 % [22]. В 49-летних древостоях робинии (*Robinia pseudoacacia* L.) в Словакии у деревьев с диаметром ствола от 22 до 40 см доля коры в ветвях колеблется в диапазоне от 11 до 25 % [23]. В сосняках чернично-зеленомошных Архангельской области в возрасте деревьев 55 и 90 лет доля коры в ветвях составляет соответственно 32 и 29 % [24]. В сосняках брусничных

на юге Карелии при увеличении возраста дерева от 22 до 185 лет доля коры в ветвях снижается с 38 до 21 % [25].

У 11 древесных пород Индии в штате Керала доля коры в массе ветвей варьирует в пределах от 10 до 29 % и снижается по мере увеличения диаметра ветвей [26]. В берёзовых древостоях Западно-Сибирской лесостепи на 24 пробных площадях в возрасте древостоев от 11 до 86 лет по данным 325 деревьев получены аналогичные закономерности при $R^2 = 0,812$, согласно которым доля коры в ветвях по мере увеличения их диаметра с 0,4 до 11 см снижается: в свежесрубленном состоянии с 55 до 22 % и в абсолютно сухом – с 50 до 23 % [27]. В тех же условиях для осиновых древостоев закономерности (при $R^2 = 0,974$) были аналогичны, но доля коры в ветвях осины оказалась больше по отношению к берёзе на 15 % у тонких ветвей и на 10 % у толстых [27, 28].

В литературе также приводятся показатели доли коры в массе ветвей, подразделённых на крупную и мелкую фракции [29], иногда с выделением фракции годичных побегов [30]. Однако в большинстве литературных источников масса ветвей на древесину и кору не разделены, и доля коры в них неизвестна [31–33]. Не показана доля коры в ветвях и в современных мировых базах данных о фитомассе деревьев и древостоев [34–36].

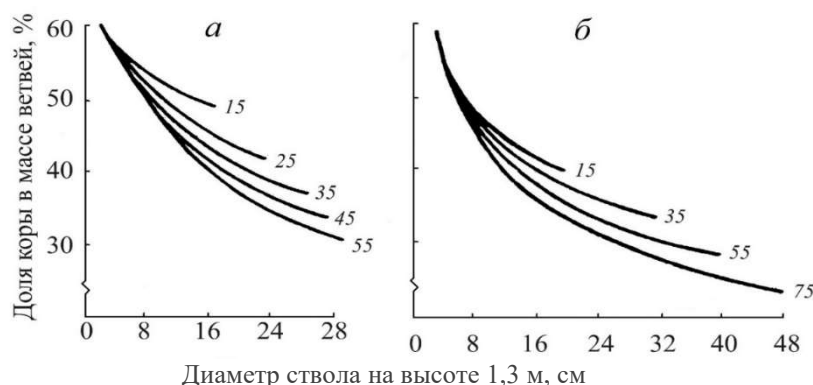


Рис. 1. Изменение доли коры в массе ветвей в абсолютно сухом состоянии в зависимости от диаметра ствола и возраста деревьев (показан цифрами) осины (а) и берёзы (б) [18]
Fig. 1. Variation in the bark share in the mass of branches in absolute dry condition depending on the stem diameter and the tree age (indicated with numbers) of aspen (a) and birch (b) [18]

Целью настоящего исследования было:

- разработать модели процентного содержания коры в массе ветвей сосны;
- выполнить сравнительный анализ содержания коры в массе ветвей естественных сосняков и культур.

Объекты и методика исследования.

Объектом исследования послужили чистые сосняки естественного и искусственного происхождения островных боров в степной зоне Тургайского прогиба (52°20' с. ш., 64°00' в. д) [37]. Полученные в этих сосняках материалы о качественных показателях фитомассы деревьев опубликованы ранее в базе данных для лесов Центральной Евразии [38]. Поскольку в упомянутой базе данных масса ветвей представлена без разделения на древесину и кору, для реализации поставленной цели по нашим первичным полевым материалам дополнительно рассчитана масса коры и определена для каждого дерева доля коры в массе ветвей в абсолютно сухом состоянии. Всего в анализе использованы данные 482 модельных деревьев, взятых

на 48 пробных площадях. Методика выборочного учёта массы различных фракций изложена ранее [18]. Статистики выборок анализируемых показателей модельных деревьев показаны в таблице. В статистическом анализе экспериментальных данных для получения надёжного значения средней величины требуется минимальная дисперсия при данном числе наблюдений. В регрессионном анализе ситуация прямо противоположная: чем больше общая дисперсия признака при одной и той же остаточной дисперсии, тем надёжнее результат регрессионного анализа. Данные таблицы свидетельствуют о высокой разнице максимальных и минимальных значений, а следовательно, и о высокой общей дисперсии, что создаёт предпосылку для построения надёжной регрессионной модели, объясняющей общую изменчивость признака [39]. Обработка экспериментального материала выполнена по программе многофакторного регрессионного анализа Statgraphics-19 (<http://www.statgraphics.com/>).

Результаты статистической обработки исходных данных

Results of the statistical analysis of experimental data

Анализируемые показатели	Статистики анализируемых показателей				
	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Число наблюдений
Естественные сосняки					
Возраст дерева, лет	49	13	110	29,5	265
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	10,0	0,3	47,8	8,75	265
Доля коры в массе ветвей дерева, %	48,2	17,8	100,0	19,6	265
Культуры					
Возраст дерева, лет	20	9	50	8,0	217
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	6,8	0,3	21,7	4,12	217
Доля коры в массе ветвей дерева, %	54,7	28,9	100,0	14,2	217

Результаты и их обсуждение. В результате регрессионного анализа получены модели:

– для естественных сосняков:

$$\ln(\text{Pro}) = 5,6381 - 0,7327(\ln A) + 0,1046(\ln A)^2 - 0,0778(\ln A)(\ln D); \quad (1)$$

$$\text{adj}R^2 = 0,708; \text{SE} = 0,21,$$

– для культур:

$$\ln(\text{Pro}) = 3,3678 + 0,6532(\ln A) - 0,0827(\ln A)^2 - 0,1143(\ln A)(\ln D); \quad (2)$$

$$\text{adj}R^2 = 0,912; \text{SE} = 0,08,$$

где Pro – доля коры в массе ветвей дерева в абсолютно сухом состоянии, %; A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см. Свободный член моделей (1) и (2) скорректирован на логарифмическое преобразование [40]. Все регрессионные коэффициенты значимы на уровне $p < 0,01$. По соотношению фактических и расчётных значений доли коры (рис. 2) можно судить о наличии равномерности остаточной дисперсии и отсутствии корреляции остатков.

Согласно данным таблицы, среднее значение доли коры в массе ветвей в культурах существенно больше, чем в естественных древостоях и составляет соответственно 55 и 48 %. Но согласно моделям (1) и (2) это соотношение изменяется в связи с возрастом дерева и диаметром ствола. В частности, при диаметре ствола, равном 4 см, доля коры в культурах больше, чем в естественных древосто-

ях, в возрастах 20 и 50 лет соответственно на 2,9 и 4,7 %, но при диаметре ствола, равном 10 см, соотношение меняется на противоположное, и доля коры в культурах меньше, чем в естественных древостоях, в возрастах 20 и 50 лет соответственно на 2,4 и 1,7 %.

Как следовало из рис. 1, доля коры в массе ветвей как берёзы, так и осины, не зависела от возраста при малых значениях диаметра ствола, но по мере увеличения диаметра ствола влияние возраста на долю коры проявлялось во всё большей степени, т. е. имело место совместное влияние возраста и диаметра ствола на долю коры в массе ветвей, выражаемое комбинированной переменной в виде произведения двух независимых переменных [41].

Комбинированная переменная $(\ln A)(\ln D)$, включённая в модели (1) и (2), показала наличие знака минус в обоих случаях. Но в отношении двух других переменных ситуация иная: в естественных сосняках имеется знак минус при $(\ln A)$ и знак плюс при $(\ln A)^2$, а в культурах – наоборот, соответственно знаки плюс и минус. Различие естественных древостоев и культур в отношении возрастных изменений доли коры при фиксированном диаметре ствола видно на графической интерпретации моделей (1) и (2) (рис. 3), и связано оно с различиями тех и других по возрастной динамике естественного изреживания.

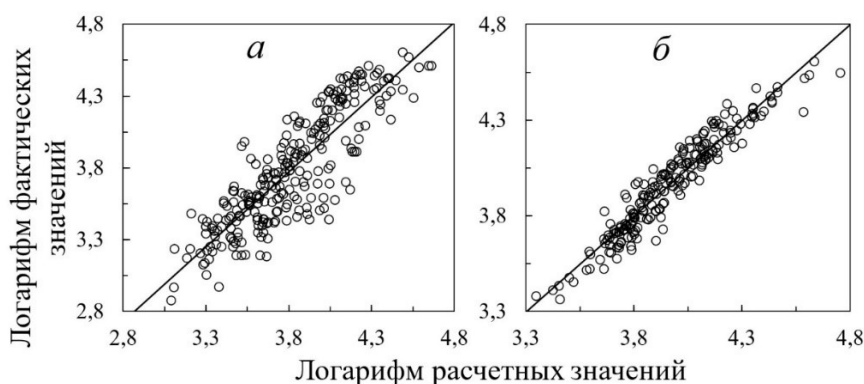


Рис. 2. Соотношение фактических и расчётных по моделям (1) и (2) значений доли коры в массе ветвей естественных сосняков (а) и культур (б)

Fig. 2. The ratio of the empirical and theoretical values of the bark share in the mass of branches in natural pine forests (a) and plantations (b) according to models (1) and (2)

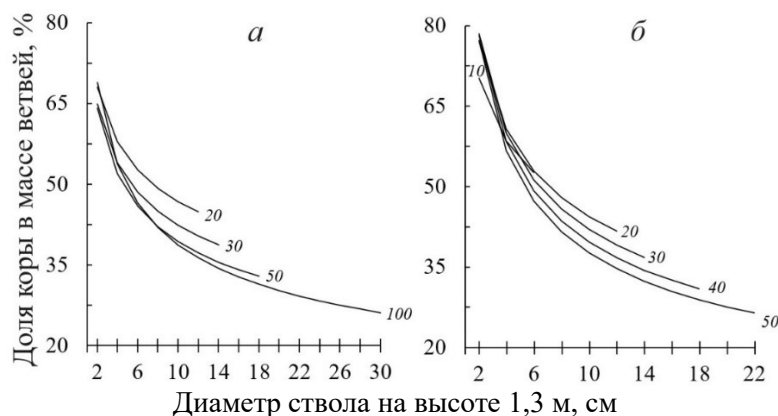


Рис. 3. Изменение доли коры в массе ветвей в абсолютно сухом состоянии в зависимости от диаметра ствола и возраста деревьев (показан цифрами) в естественных древостоях (а) и культурах (б) согласно моделям (1) и (2)

Fig. 3. Variation in the bark share in the mass of branches in absolute dry condition depending on the stem diameter and the tree age (indicated with numbers) in natural stands (a) and plantations (b) according to models (1) and (2)

Густота естественного самосева в условиях сухой степи достигает в первые годы роста 300 и более тыс. на 1 га [18], и интенсивное изреживание естественных сосняков идёт с первых лет, постепенно затухая. В культурах в тех же условиях при густоте посадки от 2 до 4 тыс. на 1 га в первые годы жизни деревья растут свободно, и лишь примерно к 15 годам происходит смыкание крон и начинается естественное изреживание. При наступлении естественного изреживания и конкурентных отношений деревьев в культурах средняя толщина ветвей в кроне снижается по сравнению с их толщиной при свободном росте в первые годы, а с возрастом темпы естественного изреживания, как и в естественных древостоях, снижаются. Соответственно, в естественных древостоях идёт монотонное увеличение средней толщины ветвей и соответствующее

снижение доли коры в них. В культурах происходит снижение толщины ветвей до возраста смыкания крон с последующим возрастным её увеличением и, соответственно, вначале доля коры в ветвях увеличивается, достигает пика и затем монотонно снижается (рис. 3).

Выводы

1. На основе авторской базы экспериментальных данных в количестве 482 модельных деревьев, взятых на 48 пробных площадях, впервые разработаны регрессионные модели зависимости доли коры в массе ветвей от дендрометрических показателей деревьев в естественных сосняках и культурах островных боров Тургайского прогиба.

2. Установлено различное соотношение доли коры в естественных сосняках и культурах в связи как с возрастом деревьев, так и с диаметром ствола.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Basic density of spruce wood, wood with bark, and bark of branches in locations in the Czech Republic / V. Gryc, P. Horáček, J. Šlezingerová et al. // Wood Research. 2011. Vol. 56. Iss. 1. Pp. 23–32. URL: <http://www.woodresearch.sk/wr/201101/03.pdf> (дата обращения: 05.12.2023).

2. Крона дерева: промышленное и рекреационное использование / А. В. Грищенко, В. А. Кучерявый, Р. И. Томчук и др. Львов: Вища школа, 1985. 168 с.

3. Functional Assessment of Particleboards Made of Apple and Plum Orchard Pruning / G. Kowaluk, K. Szymanowski, P. Kozłowski et al. // Waste and Biomass Valorization. 2020. Vol. 11. Iss. 6. Pp. 2877–2886. DOI: 10.1007/s12649-018-00568-8

4. Utilization of woody pruning residues of apple trees / N. Gilanipoor, R. Spinelli, R. Naghdi et al. // Forest Science and Technology. 2020. Vol. 16. Iss. 4. Pp. 216–223. DOI: 10.1080/21580103.2020.1845822

5. *Usolzew W.A.* Birkenäste als Rohstoff für die Herstellung von Holzspanplatten // *Bauinformation* (Berlin). 1971. Vol. 9. P. 140.
6. *Дружинин А. В., Лазарева А. Д.* Пластики из смеси луба и бересты коры березы без добавления связующих веществ // *Древесные плиты и пластики: межвузовский сборник научных трудов*. Вып. 2. Свердловск: Уральский лесотехнический институт, 1975. С. 141–145.
7. *Ogunwusi A. A.* Potentials of Industrial Utilization of Bark // *Journal of Natural Sciences Research*. 2013. Vol. 3. Iss. 5. Pp. 106–115.
8. Bark functional ecology: evidence for tradeoffs, functional coordination, and environment producing bark diversity / J. A. Rosell, S. Gleason, R. Mendez-Alonso et al. // *New Phytologist*. 2014. Vol. 201. Iss. 2. Pp. 486–497. DOI: 10.1111/nph.12541
9. Vertical Variability in Bark Hydrology for Two Coniferous Tree Species / A. Ilek, J. T. Van Stan, K. Morkisz et al. // *Frontiers in Forests and Global Change*. 2021. Vol. 4. Art. 687907. DOI: 10.3389/ffgc.2021.687907
10. *Ilek A., Siegert C. M., Wade A.* Hygroscopic contributions to bark water storage and controls exerted by internal bark structure over water vapor absorption // *Trees*. 2021. Vol. 35. Iss. 3. Pp. 831–843. DOI: 10.1007/s00468-021-02084-0
11. *Aubrey D. P.* Relevance of Precipitation Partitioning to the Tree Water and Nutrient Balance // *Precipitation partitioning by vegetation: A global synthesis* / J. T. Van Stan II, E. Gutmann, J. Friesen (eds.). Switzerland: Springer, 2020. Pp. 147–162. DOI: 10.1007/978-3-030-29702-2_10
12. Foliar water uptake of fog confers ecophysiological benefits to four common tree species of southeastern freshwater forested wetlands / M. J. Carmichael, J. C. White, S. T. Cory et al. // *Ecohydrology*. 2020. Vol. 13. Iss. 7. Art. e2240. DOI: 10.1002/eco.2240
13. National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species / J. C. Jenkins, D. C. Chojnacky, L. S. Heath et al. // *Forest Science*. 2003. Vol. 49. Iss. 1. Pp. 12–35. DOI: 10.1093/FORESTSCIENCE/49.1.12
14. Above-ground woody biomass allocation and within tree carbon and nutrient distribution of wild cherry (*Prunus avium* L.) – a case study / C. Morhart, J. P. Sheppard, J. K. Schuler et al. // *Forest Ecosystems*. 2016. Vol. 3. Iss. 2. Art. 4. DOI: 10.1186/s40663-016-0063-x
15. *Jones J. M., Heineman K. D., Dalling J. W.* Soil and species effects on bark nutrient storage in a premontane tropical forest // *Plant and Soil*. 2019. Vol. 438. Iss. 1–2. Pp. 347–360. DOI: 10.1007/s11104-019-04026-9
16. *Усольцев В. А.* Квалиметрия ветвей в сосняках Аман-Карагайского бора // *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана*. 1985. № 7. С. 74–78. EDN: SPUQAP
17. *Усольцев В. А.* Таблицы для подеревного учёта надземной фитомассы березы и осины Северного Казахстана // *Рациональное использование и повышение устойчивости лесов Казахстана*. Щучинск, 1983. С. 143–164 (Рукопись депонирована в КазНИИТИ 7 июля 1983 г., № 478 Ка-Д 83. Реферат опубликован в Библиографическом указателе ВИНТИ «Депонированные научные работы». М., 1983. № 12 (146). С. 157–158). EDN: UCPOMV
18. *Усольцев В. А.* Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев: монография. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного университета, 1985. 191 с. EDN: TFMPKD
19. *Sirois D. L.* Biomass of Four Hardwoods from Lower Piedmont Pine-Hardwood Stands in Alabama // *General Technical Report SO-46*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1983. 18 p. DOI: 10.2737/SO-GTR-46
20. *Zimmermann G. L.* The Wood and Bark Biomass and Production of *Populus tremuloides*, *Abies lasiocarpa* and *Picea engelmannii* in Northern Utah. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in forest ecology. Utah State University, Logan, Utah, 1979. 84 p. DOI: 10.26076/5708-93ab
21. *Ker M. F.* Weight relationships for balsam fir and black spruce in Western Newfoundland // *Information Report N-X-136*. Newfoundland: Environment Canada, Forest Service, Newfoundland Forest Research Centre St. John's, 1975. 23 p. URL: <https://ostrnrcan.dostnrcan.canada.ca/handle/1845/239193> (дата обращения: 05.12.2023).
22. *Броутилова М.* Надземна фитомаса на млади култури от влажноизинен летен (вардимски) дъб (*Quercus longipes* Stev.) при два типа местораствения // *Горскостопанска наука*. 1983. Т. 20. № 6. С. 40–50 (болг.).
23. *Benčat T.* Black locust biomass production in Southern Slovakia. Bratislava: VEDA, 1989. 191 p.
24. *Вакуров А. Д.* Определение общей фитомассы в сосняках чернично-зеленомошных // *Продуктивность органической и биологической массы леса*. М.: Наука, 1974. С. 11–15.
25. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров, А. Д. Волков, С. С. Зябченко и др. Л.: Наука, 1977. 304 с.
26. *Bhat K. M., Bhat K. V., Dhamodaran T. K.* Wood and bark properties of branches of selected tree species growing in Kerala // *Research Report 29*. Kerala Forest Research Institute, India, 1985. 34 p. URL: <https://docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR029.pdf> (дата обращения: 05.12.2023).
27. *Усольцев В. А.* Березовые сучья – сырье для производства древесно-стружечных плит // *Информатор ЛатНИИЛХП (обзоры текущих исследований института)*. Рига: ЛатНИИЛХП, 1971. С. 78–83.

28. Усольцев В. А. Тонкомерные сортименты березы и осины для производства древесностружечных плит // Плиты и фанера. Реферативная информация. 1975. № 10. С. 6–7.

29. Габеев В. Н. Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск: Наука. 1976. 171 с.

30. Vyskot M. Biomass of the tree layer of a spruce forest in the Bohemian Uplands. Praha: Academia, 1981. 397 p.

31. Данилин И. М., Цогт З., Усольцев В. А. Надземная фитомасса деревьев лиственницы и березы в лесах Центральной Сибири и Восточного Хэнтэя // Эко-Потенциал. 2015. № 1 (9). С. 33–36. EDN: TMCPZB

32. Габделхаков А. К. Надземная фитомасса деревьев липы мелколистной в культурах и порослевых древостоях // Эко-Потенциал. 2015. № 3 (11). С. 7–13. EDN: UKKWZH

33. Compatible System for Predicting Total and Merchantable Stem Volume over and under Bark, Branch Volume and Whole-Tree Volume of Pine Species / J. J. Corral-Rivas, D. J. Vega-Nieva, R. Rodríguez-Soalleiro et al. // Forests. 2017. Vol. 8. Iss. 11. Art. 417. DOI: 10.3390/f8110417

34. Tallo: a global tree allometry and crown architecture database / T. Jucker, F. J. Fischer, J. Chave et al. // Global Change Biology. 2022. Vol. 28. Iss. 17. Pp. 5254–5268. DOI: 10.1111/gcb.16302

35. Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев для дистанционной и наземной таксации лесов Евразии. Монография. 3-е дополненное электронное издание. Екатеринбург: Ботанический

сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451> (дата обращения: 05.12.2023).

36. Усольцев В. А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии. Монография. 4-е дополненное электронное издание. Екатеринбург: Ботанический сад УрО РАН, Уральский государственный лесотехнический университет, 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452> (дата обращения: 05.12.2023).

37. Грибанов Л. Н., Лагов И. А., Чабан П. С. Леса Казахстана // Леса СССР. М.: Наука, 1970. Т. 5. С. 5–77.

38. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649> (дата обращения: 05.12.2023).

39. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ / пер. с англ. Ю. П. Адлер, В. Г. Горский. М.: Статистика, 1973. 392 с.

40. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass // Canadian Journal of Forest Research. 1972. Vol. 2. Iss. 1. Pp. 49–53. DOI: 10.1139/X72-009

41. Прогнозирование плодоношения древесных растений / А. М. Мауринь, И. Я. Либа, А. Я. Дрике и др. // Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М.: Наука, 1977. С. 50–53.

Статья поступила в редакцию 19.12.2023; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 25.03.2024

Информация об авторах

ПЛЮХА Николай Иванович – аспирант, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация. Автор восьми научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>; SPIN-код: 4682-7412

УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН; профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация, фитогеография. Автор 905 научных публикаций, в том числе 43 монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>; SPIN-код: 3668-6843

ЦЕПОРДЕЙ Иван Степанович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация, фитогеография. Автор 105 научных публикаций, в том числе пяти монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>; SPIN-код: 3853-7684

Доступность данных и материалов: наборы данных, проанализированные в ходе исследования, являются общедоступными.

Вклад авторов:

Плюха Н.И. – выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Усольцев В.А. – постановка цели и задач; разработка программы и методики.

Цепордей И.С. – разработка программы и методики; выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*52:630*174.754

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44>

EDN: BRQGYX

Modeling the Share of the Bark in the Phytomass of Branches of Scots Pine in the Steppe Zone**N. I. Plyukha¹, V. A. Usoltsev^{1,2✉}, I. S. Tsepordey²**¹ Ural State Forest Engineering University,

37, Sibirskii Trakt, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

² Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

202a, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

Usoltsev50@mail.ru✉

ABSTRACT

Introduction. The amount of stem wood of appropriate quality for industry is declining steadily, and there is a need for the effective use of tree branches in the production of technological chips, cellulose, and chipboards. Since the basic density of the branch bark is significantly lower than that of the branch wood, the share of the bark in the mass of branches affects the quality of products made from tree branches. On the other hand, the bark of trees, along with its protective functions, performs important physiological functions related, in particular, to the moisture conductivity of the inner part of the bark and the moisture capacity of its outer part, and recently there has been growing interest in these ecohydrological processes of the tree canopy. **The purpose of the study.** In this study, the first attempt was made to develop the models of the share of the bark in the phytomass of branches in natural pine forests and plantations. **Objects and methods.** The object of the study was pure pine forests of natural and artificial origin of the island forests in the steppe area of the Turgay Depression. The analysis involved a total of 482 model trees taken from 48 sample areas. **Results.** The analysis of the dependence of the bark share in the branch phytomass on the tree age and stem diameter at 1.3 m above ground (at breast height) revealed that these variables explain 71 and 91 % of its variability in natural pine forests and plantations, respectively. The variation in the percentage shares of the bark in natural pine forests and plantations was found to be associated with both the tree age and the stem diameter. **Conclusion.** The developed regression models of the relationship between the bark share in the branch phytomass and the dendrometric parameters of trees in natural pine forests and plantations showed differences in the share of the bark depending on the origin of stands and the dendrometric parameters of trees.

Keywords: natural pine forests; plantations; regression models**Funding:** the study was carried out under the state task of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.**REFERENCES**

1. Gryc V., Horáček P., Šlezingerová J. et al. Basic density of spruce wood, wood with bark, and bark of branches in locations in the Czech Republic. *Wood Research*. 2011. Vol. 56. Iss. 1. Pp. 23–32. <http://www.woodresearch.sk/wr/201101/03.pdf> (reference date: 05.12.2023).
2. Grishchenko A. V., Kucheryavyi V. A., Tomchuk R. I. et al. *Tree crown: industrial and recreational use*. Lvov: Vyshcha Shkola, 1985. 168 p.
3. Kowaluk G., Szymanowski K., Kozłowski P. et al. Functional Assessment of Particleboards Made of Apple and Plum Orchard Pruning. *Waste and Biomass Valorization*. 2020. Vol. 11. Iss. 6. Pp. 2877–2886. DOI: 10.1007/s12649-018-00568-8
4. Gilanipoor N., Spinelli R., Naghdi R. et al. Utilization of woody pruning residues of apple trees. *Forest Science and Technology*. 2020. Vol. 16, Iss. 4. Pp. 216–223. DOI: 10.1080/21580103.2020.1845822
5. Usolzew W. A. Birkenäste als Rohstoff für die Herstellung von Holzspannplatten. *Bauinformation* (Berlin). 1971. Vol. 9. P. 140. (In Germ.).
6. Druzhinin A. V., Lazareva A. D. Plastics from a mixture of birch bast and outer bark without added binding agents. In: *Wood boards and plastics: interu-*

- niversity collection of scientific papers. Iss. 2. Sverdlovsk: Ural'skij lesotekhnicheskij institute, 1975. Pp. 141–145. (In Russ.).
7. Ogunwusi A. A. Potentials of Industrial Utilization of Bark. *Journal of Natural Sciences Research*. 2013. Vol. 3. Iss. 5. Pp. 106–115.
 8. Rosell J. A., Gleason S., Mendez-Alonzo R. et al. Bark functional ecology: evidence for tradeoffs, functional coordination, and environment producing bark diversity. *New Phytologist*. 2014. Vol. 201. Iss. 2. Pp. 486–497. DOI: 10.1111/nph.12541
 9. Ilek A., Van Stan J. T., Morkisz K. et al. Vertical Variability in Bark Hydrology for Two Coniferous Tree Species. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2021. Vol. 4. Art. 687907. DOI: 10.3389/ffgc.2021.687907
 10. Ilek A., Siegert C. M., Wade A. Hygroscopic contributions to bark water storage and controls exerted by internal bark structure over water vapor absorption. *Trees*. 2021. Vol. 35. Iss. 3. Pp. 831–843. DOI: 10.1007/s00468-021-02084-0
 11. Aubrey D. P. Relevance of Precipitation Partitioning to the Tree Water and Nutrient Balance. In: *Precipitation partitioning by vegetation: A global synthesis*, eds. J. T. Van Stan, E. Gutmann, J. Friesen. Switzerland: Springer, 2020. Pp. 147–162. DOI: 10.1007/978-3-030-29702-2_10
 12. Carmichael M. J., White J. C., Cory S. T. et al. Foliar water uptake of fog confers ecophysiological benefits to four common tree species of southeastern freshwater forested wetlands. *Ecohydrology*. 2020. Vol. 13. Iss. 7. Art. e2240. DOI: 10.1002/eco.2240
 13. Jenkins J. C., Chojnacky D. C., Heath L. S. et al. National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species. *Forest Science*. 2003. Vol. 49. Iss. 1. Pp. 12–35. DOI: 10.1093/FORSTSCIENCE/49.1.12
 14. Morhart C., Sheppard J. P., Schuler J. K. et al. Above-ground woody biomass allocation and within tree carbon and nutrient distribution of wild cherry (*Prunus avium* L.) – a case study. *Forest Ecosystems*. 2016. Vol. 3. Iss. 2. Art. 4. DOI: 10.1186/s40663-016-0063-x
 15. Jones J. M., Heineman K. D., Dalling J. W. Soil and species effects on bark nutrient storage in a premontane tropical forest. *Plant and Soil*. 2019. Vol. 438. Iss. 1–2. Pp. 347–360. DOI: 10.1007/s11104-019-04026-9
 16. Usoltsev V. A. Branch qualimetry in Scots pine of Aman-Karagai Forest. *Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan*. 1985. No 7. Pp. 74–78. EDN: SPUQAP (In Russ.).
 17. Usoltsev V. A. Tables for tree-based accounting of aboveground phytomass of birch and aspen in Northern Kazakhstan. In: *Rational use and increasing the sustainability of forests in Kazakhstan*. Shchuchinsk, 1983. Pp. 143–164. (The manuscript was deposited in KazNIINTI on July 7, 1983, No. 478 Ka-D 83). EDN: UCPOMV (In Russ.).
 18. Usoltsev V. A. Modeling of the structure and dynamics of phytomass of stands: monograph. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State University Publ., 1985. 191 p. EDN: TFMPKD (In Russ.).
 19. Sirois D. L. Biomass of Four Hardwoods from Lower Piedmont Pine-Hardwood Stands in Alabama. General Technical Report SO-46. USDA Forest Service. New Orleans: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1983. 18 p. DOI: 10.2737/SO-GTR-46
 20. Zimmermann G. L. The Wood and Bark Biomass and Production of *Populus tremuloides*, *Abies lasiocarpa* and *Picea engelmannii* in Northern Utah. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in forest ecology. Logan: Utah State University, 1979. 84 p. DOI: 10.26076/5708-93ab
 21. Ker M. F. Weight relationships for balsam fir and black spruce in Western Newfoundland. Information Report N-X-136. Newfoundland: Environment Canada, Forest Service, Newfoundland Forest Research Centre St. John's, 1975. 23 p. URL: <https://ostrnrcan-dostrnrcan.canada.ca/handle/1845/239193> (reference date: 05.12.2023).
 22. Broshtilova M. Nadzemna fitomasa na mladi kulturi ot vlahnonizinen (vardimski) dub (*Quercus longipes* Stev.) pri dva tipa mestorasteniya [Above-ground phytomass of young *Quercus longipes* Stev. plantations on two site types]. *Gorskostopanska Nauka [Forest Science]*. 1983. Vol. 20. Iss. 6. Pp. 40–50. (In Bulgar.).
 23. Benčát T. Black locust biomass production in Southern Slovakia. Bratislava: VEDA, 1989. 191 p.
 24. Vakurov A. D. Estimation of total phytomass in green-moss pine forests. In: *Productivity of organic and biological mass of the forest*. Moscow: Nauka, 1974. Pp. 11–15. (In Russ.).
 25. Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zhabchenko S. S. et al. Matter and energy metabolism in the pine forests of the European North. Leningrad: Nauka, 1977. 304 p. (In Russ.).
 26. Bhat K. M., Bhat K. V., Dhamodaran T. K. Wood and bark properties of branches of selected tree species growing in Kerala. Research Report 29. Kerala Forest Research Institute, India, 1985. 34 p. URL: <https://docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR029.pdf> (reference date: 05.12.2023).
 27. Usoltsev V. A. Birch twigs as a raw material for the production of particle boards. Information Bulletin of the Latvian Research Institute of Forestry Problems (reviews of the Institute's current research). Riga: Latvian Research Institute of Forestry Problems, 1971. Pp. 78–83. (In Russ.).
 28. Usoltsev V. A. Small-sized birch and aspen wood assortments for particle board production. *Chipboard and Plywood. Reference information*. 1975. No 10. Pp. 6–7. (In Russ.).
 29. Gabeyev V. N. Biological productivity of the forests of the Ob' river's region. Novosibirsk: Nauka. 1976. 171 p. (in Russ.).

30. Vyskot M. Biomass of the tree layer of a spruce forest in the Bohemian Uplands. Praha: Academia, 1981. 397 p.
31. Danilin I. M., Tsogt Z., Usoltsev V. A. Above-ground phytomass of larch and birch trees in the forests of Central Siberia and Eastern Khentey. *Eko-Potential*. 2015. No 1 (9). Pp. 33–36. EDN: TMCPZB (In Russ.).
32. Gabdelkhakov A. K. Aboveground phytomass of small-leaved linden trees in plantations and coppice stands. *Eko-Potential*. 2015. No 3 (11). Pp. 7–13. EDN: UKKWZH (In Russ.).
33. Corral-Rivas J. J., Vega-Nieva D. J., Rodríguez-Soalleiro R. et al. Compatible system for Predicting Total and Merchantable Stem Volume over and under Bark, Branch Volume and Whole-Tree Volume of Pine Species. *Forests*. 2017. Vol. 8. Iss. 11. Art. 417. DOI: 10.3390/f8110417
34. Jucker T., Fischer F. J., Chave J. et al. Tallo: a global tree allometry and crown architecture database. *Global Change Biology*. 2022. Vol. 28. Iss. 17. Pp. 5254–5268. DOI: 10.1111/gcb.16302
35. Usoltsev V. A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Uralsian forests. Monograph. Electronic database. 3rd updated electronic edition. Ekaterinburg: Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12451> (reference date: 05.12.2023). (In Russ.).
36. Usoltsev V. A. Forest biomass and primary production database for Eurasia. Monograph. Electronic database. The fourth edition, enlarged. Yekaterinburg: Botanical Garden of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2023. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452> (reference date: 05.12.2023). (In Russ.).
37. Gribanov L. N., Lagov I. A., Chaban P. S. Forests of Kazakhstan. In: *Forests of the USSR*. Moscow: Nauka, 1970. Vol. 5. Pp. 5–77. (In Russ.).
38. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: CD-monograph. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649> (reference date: 05.12.2023).
39. Draper N. R., Smith H. Applied regression analysis / Transl. from English by Yu. P. Adler, V. G. Gorsky. Moscow: Statistika Publ., 1973. 392 p.
40. Baskerville G. L. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. Vol. 2. Iss. 1. Pp. 49–53. DOI: 10.1139/X72-009
41. Maurin' A. M., Liepa I. Ya., Drike A. Ya. et al. Prediction of fruiting of woody plants. In: *Optimization of the use and reproduction of forests in the USSR*. Moscow: Nauka, 1977. Pp. 50–53. (In Russ.).

The article was submitted 19.12.2023; approved after reviewing 11.03.2024; accepted for publication 25.03.2024

For citation: Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Modeling the Share of the bark in the Phytomass of Branches of Scots Pine in the Steppe Zone. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest Ecology. Nature Management*. 2024. № 1 (61). Pp. 44–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.1.44>; EDN: BRQGYX

Information about the authors

Nikolai I. Plyukha – Postgraduate student, Ural State Forestry Engineering University. Research interests – forestry, forest taxation. Author of eight scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>; SPIN: 4682-7412

Vladimir A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University. Research interests – forestry, forest taxation, phytogeography. Author of 905 scientific publications, including 43 monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>; SPIN: 3668-6843

Ivan S. Tsepordey – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – forestry, forest taxation, phytogeography. Author of 105 scientific publications, including five monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>; SPIN: 3853-7684

Availability of data and materials: The datasets analyzed in the study are publicly available.

Contribution of the authors:

Plyukha N.I. – carrying out experimental work, paper writing and preparation.

Usoltsev V.A. – setting research goals and objectives; program and methodology development.

Tsepordey I.S. – program and methodology development; performing experimental work; paper writing and preparation.

The authors declare that they have no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.