


Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/7>


УДК 630\*52:630\*174.754



## Региональное ранжирование базисной плотности запаса стволовой древесины у лиственных древесных видов Евразии

Владимир А. Усольцев<sup>1,2</sup>✉, [usoltsev50@mail.ru](mailto:usoltsev50@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

Николай И. Плюха<sup>1</sup>, [nikskript@mail.ru](mailto:nikskript@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>

Иван С. Цепордей<sup>2</sup>, [ivan.tsepordey@yandex.ru](mailto:ivan.tsepordey@yandex.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук», ул. 8 марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация

Базисная плотность (БП) древесины, как отношение абсолютно сухой массы к ее объему, широко используется для оценки качества древесины в различных областях применения. В литературных источниках показатели БП древесины и коры анализируются отдельно, однако в современных таксационных нормативах запасы стволовой древесины приводятся вместе с корой. При необходимости рассчитать биомассу стволов в коре по данным объемов получить искомый результат невозможно, поскольку неизвестно соотношение древесины и коры. На сегодня исследования БП стволов в коре для различных древесных видов Евразии в литературе отсутствуют. Целью настоящей работы был анализ региональных особенностей БП запаса стволовой древесины в коре у лиственных древесных видов Евразии. По материалам авторской базы данных о биомассе насаждений сформирована выборка из 2340 пробных площадей с таксационными характеристиками 6 лиственных древесных родов как совокупностей видов, викарирующих в пределах Евразии, и 2 видов. Рассчитаны модели для оценки БП древесины в коре, включающие численные независимые переменные в виде возраста и густоты древостоя и блок фиктивных независимых переменных, кодирующих региональную принадлежность исходных данных в пределах рода (вида). Для средних значений возраста и густоты выполнено ранжирование родов и видов по величине БП. Поскольку по многим регионам исходные данные отсутствуют, выполнено ранжирование видов Евразии по средним показателям БП. Ряд ранжирования начинается буком европейским (*Fagus sylvatica* L.) и дубом красным (*Quercus rubra* L.) (652 и 641 кг/м<sup>3</sup>) и завершается тополем волосистоплодным (*Populus trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.) и тополем Давида (*Populus davidiana* (Dode) Hultén) (329 и 299 кг/м<sup>3</sup>). Полученные модели и ранжирования видов по величине БП запаса стволовой древесины в коре могут быть использованы при расчетах углеродного пула в лиственных древостоях Евразии по данным инвентаризации лесов.

**Ключевые слова:** базисная плотность древесины в коре, гармонизация базисной плотности, 27 лиственных видов Евразии, модель смешанного типа

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН (№ 123112700125-1).

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


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

**Для цитирования:** Усольцев, В. А. Региональное ранжирование базисной плотности запаса стволовой древесины у лиственных древесных видов Евразии / В. А. Усольцев, Н. И. Плюха, И. С. Цепордей // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 103–126. – Библиогр.: с. 121–126 (40 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/7>.

*Поступила* 17.04.2024. *Пересмотрена* 28.04.2024. *Принята* 29.04.2024. *Опубликована онлайн* 17.06.2024.

Article

## Regional ranking of the basic density of the stem wood in deciduous tree species of Eurasia

Vladimir A. Usoltsev<sup>1,2</sup> ✉, [usoltsev50@mail.ru](mailto:usoltsev50@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>

Nikolay I. Plyukha<sup>1</sup>, [nikskript@mail.ru](mailto:nikskript@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>

Ivan S. Tsepordey<sup>2</sup>, [ivan.tsepordey@yandex.ru](mailto:ivan.tsepordey@yandex.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>

<sup>1</sup>Ural State Forestry Engineering University, Siberian tract, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

<sup>2</sup>Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

### Abstract

The basic density (BD) of wood, as the ratio of dry mass to its volume, is widely used to assess the quality of wood in various fields of application. In the literature, the BD of wood and bark are analyzed separately, however, in modern taxation standards, stem volumes are given together with bark. If it is necessary to calculate the biomass of stems above bark according to the available volume data, then it is impossible to obtain the desired result with sufficient accuracy, since the ratio of wood and bark is unknown. Currently, there are no studies of BD stems above bark for various tree species of Eurasia. The purpose of this work was to analyze the regional characteristics of the BD of stems above bark of deciduous tree species of Eurasia. Based on the materials of the author's database on the forest biomass, a sample of 2,340 sample plots with taxation characteristics of 6 deciduous tree genera as aggregates of species within Eurasia as well as 2 single species was formed. Models for estimating the BD of stems above bark are calculated, including numerical independent variables in the form of age and density of the stand and a block of dummy variables encoding the regional affiliation of the source data within the genus (species). For the average values of age and density, the ranking of genera and species by BD value is performed. Since there are no initial data for many regions, the ranking of Eurasian species by average BD indicators is performed. The ranking series begins with *Fagus sylvatica* L. and *Quercus rubra* L. (652 and 641 kg/m<sup>3</sup>) and ends with *Populus trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook. and *Populus davidiana* (Dode) Hultén (329 and 299 kg/m<sup>3</sup>). The obtained models and ranking of species by the value of the BD of stems above bark can be used to calculate the carbon pool in deciduous stands of Eurasia according to forest inventory data.

**Keywords:** *basic density of wood above bark, harmonization of basic density, 27 deciduous species of Eurasia, mixed type model*

**Funding:** the work was carried out within the framework of a state assignment the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (№ 123112700125-1).

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

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

**For citation:** Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Tsepordey I. S. (2024). Regional ranking of the basic density of the stem wood in deciduous tree species of Eurasia. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 103-126 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/7>.

*Received* 17.04.2024. *Revised* 28.04.2024. *Accepted* 29.04.2024. *Published online* 17.06.2024.

## Введение

Согласно исследованиям И.С. Цепордея и В.А. Усольцева (2021) [9] и D.T. Medeiros и др. (2023) [29], базисная плотность (БП) древесины, как отношение абсолютно сухой массы к ее объему, является ключевым свойством, широко используемым для оценки качества древесины в различных областях применения. БП стволовой древесины определяет существенную долю варьирования при оценках биомассы и в расчетах связывания углерода и тесно связана с ключевыми аспектами физиологических характеристик дерева, что отмечают в своих работах D.W. MacFarlane (2020) [24] и О.И. Полубояринов и др. (1982)<sup>11</sup>. До настоящего времени аллометрические модели для оценки БП основывались на ограниченных исходных данных, и там, где отсутствовали данные БП для конкретных видов и регионов, использовались значения близких видов и регионов, а при отсутствии таковых использовались средние значения опубликованных данных (мета-данные), как, например, в исследовании M. Marden и др. (2021) [25].

При анализе существующих методов оценки наземной биомассы различают прямой и косвенный подходы. Подход, основанный на объеме ствола или запасе стволовой древесины и базисной плотности (БП) ствола, называется косвенным подходом. В отличие от прямых подходов, основанных на аллометрических моделях, этот косвенный подход "объем × БП" имеет то преимущество, что дает возможность использования имеющихся данных о запасах древесины из национальных лесных кадастров, которые обычно основаны на надежной статистической выборке. Они, согласно исследованиям J. Liepiņš и др. (2023) [16] и M. Marden и др. (2021) [25], позволяют

получить данные о биомассе древесины, представляющие интерес для многих промышленных применений. Прямые подходы в виде моделей, непосредственно дающих значения биомассы, менее репрезентативны для крупномасштабных районов, поскольку они, как правило, основаны на локальных исследованиях. При сравнении обоих подходов A. Billard и др. (2020) [22] было установлено, что подход "объем × БП" приводит к меньшей погрешности, чем прямой метод, основанный на аллометрических моделях биомассы.

Согласно исследованиям M. Balasso и др. (2021) [13] и Y. Takahashi и др. (2024) [27], БП является одним из важнейших свойств древесины, поскольку положительно коррелирует с ее механическими свойствами. Как следует из работы J.P. Elissetche и др. (2024) [39], БП – это интегративный признак, который позволяет оценивать физические и механические свойства и является коммерчески значимым свойством при производстве древесины. Установлено, что виды с более высокой БП древесины удовлетворительно растут в условиях низкого влагообеспечения. Но, с другой стороны, исследование S.E.L. Costa и др. (2020) [35] свидетельствует о том, что в регионах высокого теплообеспечения древесина имеет повышенную, а быстрорастущие породы имеют более низкую БП древесины. Результаты исследования, выполненные в Бразилии, показали, что в более сухих местообитаниях наблюдается меньший запас и биомасса древесины, но более высокая БП. Эта более высокая плотность древесины связана со снижением скорости роста деревьев. В итоге было установлено, что климатические изменения существенно влияют на БП древесины и ее биомассу. В работах А.Н. Хоха (2023) [6], И.С. Цепордея и В.А. Усольцева (2021) [7], A. Debel

<sup>11</sup> Полубояринов О.И., Некрасова Г.Н., Фёдоров Р.Б. О взаимосвязи влажности и плотности древесины растущих деревьев // Лесной журнал. 1982. № 2. С. 7-11.

и др. (2024) [12], S.M.G. Rocha и др. (2020) [23], подчеркивается важность учета метеорологических факторов при оценке БП древесины и понимания ее потенциальной значимости для промышленного применения и лесопользования в контексте изменения климата.

В результате исследования M.N.F. Almeida и др. (2023) [40] в Бразилии показано, что из проанализированных климатических переменных наиболее сильную корреляцию с БП древесины показала средняя температура воздуха. Было обнаружено, что некоторые виды деревьев уязвимы к повышению максимальных температур, в то время как другие выигрывают от глобального потепления. В работе E.D. Vivar-Vivar и др. (2021) [15] подчеркивается необходимость более точного определения взаимодействия между поглощением углерода деревьями и изменчивостью гидротермических показателей на основе измерения квалитетических характеристик, в том числе БП древесины. В.И. Мелехов и др. (2003) [1] и M. Pompa-García и др. (2023) [32] в своих исследованиях приходят к выводу, что лучшее понимание этих механизмов позволяет разрабатывать и внедрять более эффективные программы управления в соответствии с климатическими реакциями видов, а также способствует пониманию динамики углерода в разных типах леса и климатических условиях.

Известно, что различия БП в пределах вида имеются у деревьев разного возраста и размера<sup>12,13,14,15</sup> [11, 25, 28, 38], а также по длине ствола<sup>16,17</sup> [34, 36, 37] и в направлении от сердцевины к коре [20, 30, 32, 34]. Однако характер радиальной изменчивости, исследованный в работах A. Soro и др. (2022) [19] и Y. Takahashi и др. (2024) [27], может различаться в зависимости от генетического фона и условий окружающей среды.

Поскольку процесс определения БП в полевых условиях, по мнению P. Prislan и др. (2022) [33],

является довольно трудоемким, в большинстве исследований, согласно данным S.P. Augustine и др. (2024) [21], используются средние по древесным видам значения БП, взятые из глобальных хранилищ. Существуют также быстрые и неразрушающие методы, которые можно использовать для прогнозирования БП древесины, в частности, спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне. Этот метод позволяет оценивать широкий круг физических [18], химических [17] и механических характеристик древесины и может применяться при мониторинге в режиме реального времени, в том числе в полевых условиях [25]. Кроме того, согласно исследованию M. Demol и др. (2021) [14], современные методы наземного лазерного сканирования и рентгеновская компьютерная томография могут применяться для непосредственного измерения надземного объема и объема корней деревьев. K. Liepiņš и др. (2023) [36] в своей работе приходят к мнению, что для преобразования объемов компонентов деревьев в биомассу требуются точные значения БП.

В исследовании БП древесины кустарниковых и древесных видов Новой Зеландии различного возраста M. Marden и др. (2021) [25] установлено, что для наиболее географически распространенных видов кустарников различия в условиях произрастания влияют на БП древесины в большей степени, чем различия в географической широте в пределах ареала произрастания вида, и что БП древесины увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря и повышением температуры. Для каждого из исследованных видов БП древесины увеличивается до возраста 6 лет, а при дальнейшем повышении возраста остается без изменения. Изменчивость БП древесины у наиболее распространенного вида *Kunzea spp.* объяснялась влиянием диаметра ствола лишь на 6,7% [26], а у ели (*Picea abies* (L.) H. Karst.), пихты (*Abies alba* Mill.) и дугласии (*Pseudotsuga*

<sup>12</sup> Исаева Л.Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90-94.

<sup>13</sup> Молчанов А. А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. Москва : Наука, 1964. 255 с.

<sup>14</sup> Полубояринов О. И. Плотность древесины. Москва: Лесная промышленность, 1976. 160 с.

<sup>15</sup> McKinley R., Shelbourne C.J.A., Harris J.M., Young G.D. Variation in whole- tree basic wood density for a range of plantation species

grown in New Zealand // New Zealand Journal of Forestry Science. 2000. Vol. 30. No. 3. P. 436-446.

<sup>16</sup> Исаева Л.Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // Лесоведение. 1978. № 4. С. 90-94.

<sup>17</sup> Полубояринов О.И. Плотность древесины. Москва: Лесная промышленность, 1976. 160 с.

*menziesii* (Mirb.) Franco) на востоке Франции связь БП ствола с его диаметром отсутствовала [23]. В то же время, у порослевых деревьев пяти видов на западе Африки R. Nygård и B. Elfving (2000) [28] выявлена положительная связь БП с диаметром ствола, объясняющая от 5 до 24 % общего варьирования БП.

В Новой Зеландии были исследованы культуры 11 видов лиственных и 2 видов хвойных в количестве 968 деревьев.<sup>18</sup> Высокая положительная связь БП с возрастом дерева была выявлена у двух видов акации ( $R^2 = 0,75-0,85$ ) и менее значимая у 9 видов эвкалипта ( $R^2 = 0,27-0,71$ ). В то же время, для хвойных дугласии (*P. Menziesii* (Mirb.) Franco) и кипарисовика (*Chamaecyparis lawsoniana* (Murray) Par.) связь БП ствола с возрастом отсутствовала.<sup>19</sup> Среди эвкалиптов прогнозируемая средняя БП всего ствола в возрасте 30 лет варьировала от 452 до 623 кг/м<sup>3</sup>, а для акации составила около 700 кг/м<sup>3</sup>. Два хвойных вида показали значительно меньшую БП в возрасте 30 лет по сравнению с лиственными, соответственно 406 и 418 кг/м<sup>3</sup> для дугласии (*P. menziesii* (Mirb.) Franco) и кипарисовика (*C. lawsoniana* (Murray) Par.).<sup>20</sup>

В работах R. Petráš и др. (2020) [10] и K. Liepiņš и др. (2023) [36] установлено, что БП древесины различается в различных компонентах дерева, а именно в стволе, коре, ветвях и корнях. Согласно исследованию В.А. Усольцева (1985) [5], у осины (*Populus tremula* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в степной зоне БП ветвей выше по отношению к БП ствола соответственно на 11 и 8 %, тогда как данные исследования R. Nygård и B. Elfving (2000) [28] свидетельствуют о том, что у порослевых древесных видов на Западе Африки соотношение противоположное. У 78 видов на востоке США D.W. MacFarlane (2020) [24] установлена положительная связь БП древесины ствола и ветвей с коэффициентами детерминации от 0,67 до 0,80, а отношение БП ветвей к БП ствола снижается по мере увеличения БП ствола. В тропических лесах Пуэрто-Рико была определена БП древесины стволов и ветвей у 33 деревьев и 14 кустарников 27 видов.

В обоих случаях обнаружено, что БП древесины ветвей является хорошим предиктором БП древесины стволов при использовании линейных регрессий с коэффициентами детерминации соответственно 0,89 и 0,87. Это говорит о том, что БП древесины ствола можно оценить для рассматриваемых видов, используя срезы ветвей, без необходимости взятия кернов из ствола. Предполагается, что варьирование плотности древесины в пределах дерева определяется компромиссом между механической устойчивостью и гидравлической проводимостью ксилемы всего дерева [24].

Во всех процитированных выше работах оценивалась БП собственно древесины, без учета коры. В литературных источниках (В.А. Усольцев и И.С. Цепордей (2022) [3], В.А. Усольцев (1985) [5], R. Petráš и др. (2020) [10]) показатели БП древесины и коры анализируются отдельно, причем они различаются существенно. Однако современные таксационные нормативы часто оценивают объемы ствола и запасы стволовой древесины вместе с корой. Если необходимо рассчитать биомассу стволов в коре по имеющимся данным объемов на основе БП, различающейся для древесины и коры, то получить искомым результат с достаточной точностью невозможно, поскольку в каждом конкретном случае неизвестно соотношение древесины и коры. Между тем доля коры в массе ствола, согласно данным исследования R. Nygård и B. Elfving (2000) [28], может варьировать от 9 до 53 %.

Наличие огромных массивов данных о запасах стволовой древесины в коре, накопленных традиционной лесной таксацией, дает возможность оценивать абсолютно сухую биомассу стволов в коре на больших площадях, используя известные значения БП стволов на уровне древостоя. Когда значения БП древесины доступны лишь для ограниченного числа древесных видов и регионов, запас древесины преобразуется в запасы углерода с использованием всеобщих моделей БП. В тех случаях, когда видоспецифичные или региональные значе-

<sup>18</sup> McKinley R., Shelbourne C.J.A., Harris J.M., Young G.D. Variation in whole-tree basic wood density for a range of plantation species grown in New Zealand // New Zealand Journal of Forestry Science. 2000. Vol. 30. No. 3. P. 436–446.

<sup>19</sup> Там же.

<sup>20</sup> Там же.

ния БП стволовой древесины недоступны, используются средние значения всех опубликованных данных, следует из работы М. Marden и др. (2021) [25].

Насколько нам известно, исследования БП стволов в коре для различных древесных видов Евразии в литературе отсутствуют.

Целью настоящей работы был анализ региональных особенностей БП запаса стволовой древесины в коре у лиственных древесных видов Евразии.

Для ее реализации были поставлены задачи:

– разработать регрессионные модели смешанного типа для БП запаса стволовой древесины в коре, специфичные по регионам и древесным видам;

– выполнить ранжирование древесных видов Евразии по величине БП стволовых запасов по регионам и древесным видам.

### Материалы и методы

#### *Объект и предмет исследований*

Объект исследований – древостои лиственных древесных видов, произрастающих на территории Евразии.

Предметом исследований явилась базисная плотность стволов в коре.

#### *Сбор данных*

Источником исходных материалов для регрессионного моделирования послужила база данных о биомассе и первичной продукции лесов Евразии, сформированная В.А. Усольцевым (2023) [4].

По материалам базы данных о биомассе насаждений [4] сформирована выборка из 2 340 пробных площадей с таксационными характеристиками 6 лиственных древесных родов и 2 видов (табл. 1). Применена структура модели смешанного типа [2], включающей два типа независимых переменных – численные и качественные (фиктивные). Последние кодируют принадлежность данных к тому или иному региону (табл. 2). Возраст древостоя и его густота в качестве численных переменных введены в структуру модели с целью сопоставимости

БП древостоев по регионам в пределах того или иного рода (вида).

Принята к анализу структура регрессионной модели, приведенная в монографии И.С. Цепордея (2023) [8]:

$$\ln(BD) = a_0 + b_1 \ln(A) + b_2 \ln(N) + \sum a_i X_i, \quad (1)$$

где  $BD$  – базисная плотность (БП) ствола в коре, кг/м<sup>3</sup>;

$A$  – возраст древостоя, лет;

$N$  – число стволов на га, тыс. экз.;

$\sum a_i X_i$  – блок фиктивных переменных;

$a_0$  – скорректированный свободный член

уравнения [8].

#### *Анализ данных*

Предполагалось, что для обеспечения сопоставимости данных БП по регионам необходимо обеспечить их равенство по таксационным показателям, а именно, по возрасту и густоте. Для последующих расчетов использована стандартная программа регрессионного анализа.

### Результаты

Результаты расчета моделей (1) представлены в табл. 3.

Для некоторых родов возраст древостоя или его густота в качестве независимых переменных оказались не значимыми ( $t = 0,15 - 0,90 < t_{95} = 1,96$ ), и они были исключены из структуры модели (табл. 3). О степени адекватности моделей (1) и отсутствии корреляции остатков можно судить по соотношению эмпирических и расчетных значений БП (рис. 1).

Далее модели (1) протабулированы по задаваемым средним значениям возраста (56 лет) и густоты древостоев (5,4 тыс. экз./га), рассчитанным по исходным данным, и по составленным таблицам выполнено ранжирование регионов для каждого из родов (видов) (рис. 2).

# Природопользование

Таблица 1

Распределение 2 340 пробных площадей по регионам и видам с характеристикой исходных данных

Table 1

Distribution of 2 340 sample plots by regions and species with characteristics of the initial data

Регионы (страны)   Regions (countries)	Вид   Species	Код*   Code*	Число пробных площадей   Number of sample plots	Диапазоны   Ranges				
				A, лет   A, years	N, 1000/га   N, 1000/ha	БП, кг/м <sup>3</sup>   BD, kg/m <sup>3</sup>	Координаты   Coordinates	
							с. ш., °   N	в. д., °   E
Береза. Род <i>Betula</i> L. (582 пробных площади в 15 регионах)   Birch. Genus <i>Betula</i> L. (582 sample plots in 15 regions)								
Западная Европа   Western Europe	<i>Betula pendula</i> Roth	ЗЕ	22	6-80	0,74-10,5	489-550	52,5-54,2	-2,9-1,3
Скандинавия   Scandinavia	<i>B. pendula</i>	СКН	7	6-75	0,08-43,8	492-627	59,7-64,0	11,5-27,7
Белоруссия   Belarus	<i>B. pendula</i>	Бел	16	30-80	0,35-3,7	417-764	52,0-54,8	26,0-29,8
Украина   Ukraine	<i>B. pendula</i>	Ук	99	8-81	0,28-24,3	398-613	48,0-52,1	26,0-33,9
РФ, северо-запад России   RF, North-West of Russia	<i>B. pendula</i>	СЗР	44	10-110	0,69- 107,0	367-594	59,5-68,5	30,6-41,0
РФ, центр Русской рав- нины   RF, center of the Russian Plain	<i>B. pendula</i>	ЦРР	113	2-91	0,28- 2163,0	356-682	49,0-58,3	32,7-44,0
РФ, восток Русской рав- нины   RF, Eastern Rus- sian Plain	<i>B. pendula</i>	ВРР	44	6-95	0,54-85,5	337-656	57,8-60,0	40,0-44,0
РФ, Урал   RF, Ural	<i>B. pendula</i>	Ур	46	5-75	0,74-76,2	396-732	55,5-67,0	57,0-63,0
РФ, Западная Сибирь   RF, Western Siberia	<i>B. pendula</i>	ЗС	15	20-100	0,29-4,9	365-696	54,5-61,3	69,0-90,0
РФ, Средняя Сибирь   RF, Middle Siberia	<i>B. pendula</i>	СС	79	10-100	0,33-10,2	374-776	52,0-70,0	67,0-99,0
РФ, Восточная Сибирь   RF, Eastern Siberia	<i>B. pendula</i>	ВС	14	13-100	0,86-97,0	451-608	51,0-62,0	105,5- 130,0
РФ, Приморье   RF, Pri- morye	<i>B. costata</i> Trautv.	ПРМ	14	60-240	0,15-5,3	406-560	44,0-56,3	127,3- 160,7
Северный Казахстан   Northern Kazakhstan	<i>B. pendula</i>	СК	57	5-86	0,34-43,4	446-626	53,0-55,3	64,0-70,0
Китай   China	<i>B. platyphylla</i> Sukaczew	Кит	4	35-100	0,50-1,42	446-511	37,2-52,5	100,6- 128,3
Япония   Japan	<i>B. maximowiczii</i> - <i>ana</i> Regel	Яп	8	10-47	0,27-20,1	483-645	34,0-43,5	135,5- 144,0

## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Вид   Species	Код*   Code*	Число пробных площадей   Number of sample plots	Диапазоны   Ranges				
				A, лет   A, years	N, 1000/га   N, 1000/ha	БП, кг/м <sup>3</sup>   BD, kg/m <sup>3</sup>	Координаты   Coordinates	
							с. ш., °   N	в. д., °   E
Тополь. Род <i>Populus</i> L. (381 пробная площадь в 16 регионах)   Poplar. Genus <i>Populus</i> L. (381 sample plots in 16 regions)								
Западная Европа   Western Europe	<i>Populus trichocarpa</i> Torr. & A.Gray ex Hook.	ЗЕ	15	2-10	1,48- 150,0	350-355	46,0-54,0	-1,0-4,0
Центральная Европа   Central Europe	<i>P. trichocarpa</i>	ЦЕ	8	3-6	2,0-10,0	243-400	51,0-52,0	3,7-5,0
Прибалтика   Baltics	<i>P. tremula</i> L.	ПРБ	7	9-57	0,69-15,6	386-429	54,8-58,5	26,8-28,0
Украина 1   Ukraine 1	<i>Populus</i> <i>×euramericana</i> (Dode) Guinier	Ук1	10	14-30	0,64-3,7	398-605	51,1-51,8	31,4-31,9
Украина 2   Ukraine 2	<i>P. tremula</i>	Ук2	48	2-52	0,67- 131,4	327-542	45,0-56,7	31,9-36,3
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	<i>P. tremula</i>	ЦРР	45	2-85	0,50-98,9	358-589	49,0-58,2	32,7-55,0
РФ, восток Русской равнины   RF, Eastern Russian Plain	<i>P. tremula</i>	ВРР	9	11-77	0,49-32,2	404-555	57,3-63,5	38,7-50,7
РФ, Западная Сибирь   RF, Western Siberia	<i>P. tremula</i>	ЗС	19	6-67	0,57-30,5	353-667	55,5-58,5	73,5-83,5
РФ, Средняя Сибирь 1   RF, Middle Siberia 1	<i>P. tremula</i>	СС1	23	15-95	0,71-10,0	383-461	53,0-60,0	89,5-97,8
РФ, Средняя Сибирь 2   RF, Middle Siberia 2	<i>P. laurifolia</i> Ledeb.	СС2	12	10-120	0,23-7,9	378-382	51,8-52,2	95,8-96,2
РФ, Восточная Сибирь   RF, Eastern Siberia	<i>P. tremula</i>	ВС	4	16-140	0,64-13,0	482-553	51,0-56,0	101,0- 160,0
Северный Казахстан 1   Northern Kazakhstan 1	<i>P. alba</i> L.	СК1	9	11-68	0,22-12,5	398-740	50,9-51,1	51,1-51,5
Северный Казахстан 2   Northern Kazakhstan 2	<i>P. tremula</i>	СК2	31	10-53	0,41-26,3	394-590	53,0-55,0	64,0-70,2
Китай 1   China 1	<i>P. euphratica</i> Olivier	Кит1	9	25-53	0,10-2,4	237-497	38,4-48,0	80,6-88,1
Китай 2   China 2	<i>P. deltoides</i> W.Bartram ex Marshall	Кит2	123	25-110	0,15-7,3	334-768	25,7-52,5	85,2-134,0



## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Вид   Species	Код*   Code*	Число пробных площадей   Number of sample plots	Диапазоны   Ranges				
				A, лет   A, years	N, 1000/га   N, 1000/ha	БП, кг/м³   BD, kg/m³	Координаты   Coordinates	
							с. ш., °   N	в. д., °   E
Япония   Japan	<i>P. davidiana</i> (Dode) Hultén	Яп	9	11-33	0,40-1,2	267-383	39,0-43,2	141,5-142,4
Дуб. Род <i>Quercus</i> L. (633 пробные площади в 13 регионах)   Oak. Genus <i>Quercus</i> L. (633 sample plots in 13 regions)								
Западная Европа 1   Western Europe 1	<i>Quercus robur</i> L.	ЗЕ1	7	21-110	0,58-7,7	481-703	43,2-54,2	-4,2-1,8
Западная Европа 2   Western Europe 2	<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	ЗЕ2	13	21-200	0,12-10,1	452-643	47,8-51,2	0,2-5,0
Центральная Европа 1   Central Europe 1	<i>Q. robur</i>	ЦЕ1	22	13-200	0,11-10,3	441-734	47,5-60,1	3,8-28,5
Центральная Европа 2   Central Europe 2	<i>Q. petraea.</i>	ЦЕ2	18	22-140	0,16-17,0	476-737	42,0-52,5	4,5-28,7
Центральная Европа 3   Central Europe 3	<i>Q. rubra</i> L.	ЦЕ3	13	17-150	0,88-10,9	561-737	37,7-47,0	3,9-28,8
Белоруссия   Belarus	<i>Q. robur</i>	Бел	57	30-180	0,17-3,9	461-691	52,0-53,5	27,9-28,1
Украина   Ukraine	<i>Q. robur</i>	Ук	102	5-220	0,21-14,4	409-858	45,0-51,8	23,8-37,3
Кавказ 1   Caucasus 1	<i>Q. castaneifolia</i> С.А.Мей.	Кав1	9	18-156	0,49-1,6	563-624	39,0-42,2	43,0-48,5
Кавказ 2   Caucasus 2	<i>Q. robur</i>	Кав2	20	15-60	0,73-5,7	619-865	45,8-46,2	43,9-44,1
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	<i>Q. robur</i>	ЦРР	158	4-280	0,07-200,0	411-867	46,0-56,0	36,0-45,3
РФ, Приморье   RF, Primorye	<i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	ПРМ	22	35-190	0,50-4,9	525-877	43,0-43,5	133,8-134,2
Китай 1   China 1	<i>Q. mongolica</i>	Кит1	183	20-160	0,17-8,3	337-811	26,0-51,7	96,7-134,0
Китай 2   China 2	<i>Q. serrata</i> Murray	Кит2	9	76-232	0,16-1,1	390-498	27,7-29,8	85,9-101,5
Бук. Род <i>Fagus</i> L. (206 пробных площадей в 5 регионах)   Beech. Genus <i>Fagus</i> L. (206 sample plots in 5 regions)								
Западная Европа   Western Europe	<i>Fagus sylvatica</i> L.	ЗЕ	16	8-210	0,21-16,8	533-650	42,3-51,2	-4,2-7,2
Центральная Европа   Central Europe	<i>F. sylvatica</i>	ЦЕ	121	8-400	0,15-510,0	417-852	41,9-56,3	5,1-25,0
Украинские Карпаты   Ukrainian Carpathians	<i>F. sylvatica.</i>	УК	34	10-137	0,43-51,8	440-653	48,5-49,2	23,0-26,0
Кавказ   Caucasus	<i>F. orientalis</i> Lipsky	Кав	4	70-168	0,54-1,3	473-620	41,0-44,1	40,3-49,0

## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Вид   Species	Код*   Code*	Число пробных площадей   Number of sample plots	Диапазоны   Ranges				
				A, лет   A, years	N, 1000/га   N, 1000/ha	БП, кг/м <sup>3</sup>   BD, kg/m <sup>3</sup>	Координаты   Coordinates	
							с. ш., °   N	в. д., °   E
Япония   Japan	<i>F. crenata</i> Blume	Яп	31	35-150	0,23-5,2	490-665	35,3-37,5	135,7-139,9
Липа. Вид <i>Tilia cordata</i> Mill. (257 пробных площадей в 6 регионах)   Linden. Species <i>Tilia cordata</i> Mill. (257 sample plots in 6 regions)								
Северная Европа   Northern Europe	<i>Tilia cordata</i> Mill.	СЕ	4	32-116	0,21-4,6	360-569	60,0-60,2	17,7-17,9
Украина   Ukraine	<i>T. cordata</i>	Ук	4	5-71	5,23-52,0	399-725	47,2-51,8	28,5-37,4
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	<i>T. cordata</i>	ЦРР	9	11-77	0,62-115,0	397-731	51,7-56,3	36,3-44,0
РФ, восток Русской равнины   RF, Eastern Russian Plain	<i>T. cordata</i>	ВРР	164	20-150	0,13-9,7	400-462	52,5-56,7	48,0-52,0
РФ, Южный Урал   RF, Southern Urals	<i>T. cordata</i>	ЮУр	58	8-150	0,16-36,2	348-525	53,5-55,8	55,0-57,0
РФ, Средний Урал   RF, Middle Urals	<i>T. cordata</i>	СУр	18	34-96	0,50-10,6	271-491	56,7-57,0	57,7-59,5
Ольха. Род <i>Alnus</i> Mill. (184 пробных площади в 7 регионах)   Alder. Genus <i>Alnus</i> Mill. (184 sample plots in 7 regions)								
Центральная Европа   Central Europe	<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	ЦЕ	8	3-50	1,60-40,0	310-533	50,0-60,8	1,3-16,5
Прибалтика   Baltics	<i>A. glutinosa</i> (L.) Gaertn.	ПРБ	9	14-70	0,67-5,3	438-551	55,3-55,7	23,4-23,8
Белоруссия 1   Belarus 1	<i>A. incana</i>	Бел1	4	25-60	0,42-5,4	459-460	54,6-55,0	27,8-28,2
Белоруссия 2   Belarus 2	<i>A. glutinosa</i>	Бел2	14	32-60	0,72-1,75	300-504	52,0-54,8	26,5-28,2
Украина   Ukraine	<i>A. glutinosa</i>	Ук	80	7-93	0,25-33,9	319-756	47,2-51,8	23,9-38,9
РФ, северо-запад России   RF, North-West Russia	<i>A. incana</i>	СЗР	41	20-77	1,52-14,3	408-568	63,2-68,0	34,0-42,4
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	<i>A. incana</i>	ЦРР	28	3-50	0,75-524,0	310-562	55,3-58,3	33,0-38,5
Ясень. Род <i>Fraxinus</i> L. (61 пробная площадь в 5 регионах)   Ash. Genus <i>Fraxinus</i> L. (61 sample plots in 5 regions)								
Центральная Европа   Central Europe	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	ЦЕ	3	12-80	0,40-52,7	459-530	51,0-55,4	3,8-11,6
Белоруссия   Belarus	<i>F. excelsior</i>	Бел	26	45-215	0,25-2,0	473-652	51,7-52,2	27,8-28,7
Украина   Ukraine	<i>F. excelsior</i>	Ук	23	7-80	0,40-13,5	480-674	47,2-50,0	24,0-37,3

## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Вид   Species	Код*   Code*	Число пробных площадей   Number of sample plots	Диапазоны   Ranges				
				A, лет   A, years	N, 1000/га   N, 1000/ha	БП, кг/м <sup>3</sup>   BD, kg/m <sup>3</sup>	Координаты   Coordinates	
							с. ш., °   N	в. д., °   E
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	<i>F. excelsior</i>	ЦРР	7	14-85	0,44-6,1	511-598	51,3-51,8	42,0-55,0
Китай   China	<i>F. mandshurica</i> Rupr.	Кит	2	43-160	0,62-0,77	383-412	42,7-45,3	127,5- 128,3
Граб. Вид <i>Carpinus betulus</i> L. (36 пробных площадей в 2 регионах)   Hornbeam. Species <i>Carpinus betulus</i> L. (36 sample plots in 2 regions)								
Центральная Европа   Central Europe	<i>Carpinus betulus</i> L.	ЦЕ	6	35-78	0,70-5,6	582-652	41,0-48,6	1,8-49,0
Украина   Ukraine	<i>C. betulus</i>	Ук	30	7-88	0,44-13,5	408-733	49,0-50,0	23,8-32,7

Примечание:

\*Для удобства анализа заявленного ранжирования регионов по величине БП древесины приведена расшифровка их аббревиатуры в алфавитном порядке:

Бел – Белоруссия; ВРР – восток Русской равнины; ВС – Восточная Сибирь; ЗЕ – Западная Европа; ЗС – Западная Сибирь; Кав – Кавказ; Кит – Китай; ПРБ – Прибалтика; ПРМ – Приморье; СЗР – северо-запад России; СК – Северный Казахстан; СКН – Скандинавия; СС – Средняя Сибирь; СУ – Средний Урал; Ук – Украина; УК – Украинские Карпаты; Ур – Урал; ЦЕ – Центральная Европа; ЦРР – центр Русской равнины; ЮУ – Южный Урал; Яп – Япония.

Notes:

\*For the convenience of analyzing the claimed ranking of regions by the value of the stem BD, a decoding of their abbreviations in alphabetical order is given:

Бел – Belarus; ВРР – Eastern Russian Plain; ВС – Eastern Siberia; ЗЕ – Western Europe; ЗС – Western Siberia; Кав – Caucasus; Кит – China; ПРБ – Baltics; ПРМ – Primorye; СЗР – Northwest of Russia; СК – Northern Kazakhstan; СКН – Scandinavia; СС – Middle Siberia; СУ – Middle Urals; Ук – Ukraine; УК – Ukrainian Carpathians; Ур – Urals; ЦЕ – Central Europe; ЦРР – Center of the Russian Plain; ЮУ – Southern Urals; Яп – Japan.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

## Природопользование

Таблица 2

Схема кодирования регионов фиктивными переменными с измерениями БП стволов в коре на 2 340 пробных площадях

Table 2

Scheme of region coding by dummy variables with measurements of BD of stems above bark on 2,340 sample plots

Регионы (страны)   Regions (countries)	Фиктивные переменные   Dummy variables														
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>
Береза   Birch															
Западная Европа   Western Europe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Скандинавия   Scandinavia	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Белоруссия   Belarus	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Украина   Ukraine	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, северо-запад России   RF, north-west of Russia	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, восток Русской равнины   RF, eastern Russian Plain	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, Урал   RF, Urals	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, Западная Сибирь   RF, Western Siberia	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
РФ, Средняя Сибирь   RF, Middle Siberia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
РФ, Восточная Сибирь   RF, Eastern Siberia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
РФ, Приморье   RF, Primorye	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Северный Казахстан   Northern Kazakhstan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Китай   China	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Япония   Japan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Тополь   Poplar															
Западная Европа   Western Europe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Центральная Европа   Central Europe	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Прибалтика   Baltics	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Украина 1   Ukraine 1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Украина 2   Ukraine 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, восток Русской равнины   RF, eastern Russian Plain	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, Западная Сибирь   RF, Western Siberia	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
РФ, Средняя Сибирь 1   RF, Middle Siberia 1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Фиктивные переменные   Dummy variables														
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>
РФ, Средняя Сибирь 2   RF, Middle Siberia 2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
РФ, Восточная Сибирь   RF, Eastern Siberia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Северный Казахстан 1   Northern Kazakhstan 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Северный Казахстан 2   Northern Kazakhstan 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Китай 1   China 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Китай 2   China 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Япония   Japan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Дуб   Oak															
Западная Европа 1   Western Europe 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Западная Европа 2   Western Europe 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Центральная Европа 1   Central Europe 1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Центральная Европа 2   Central Europe 2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Центральная Европа 3   Central Europe 3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
Белоруссия   Belarus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
Украина   Ukraine	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
Кавказ 1   Caucasus 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
Кавказ 2   Caucasus 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0			
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
РФ, Приморье   RF, Primorye	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
Китай 1   China 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
Китай 2   China 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
Бук   Beech															
Западная Европа   Western Europe	0	0	0	0											
Центральная Европа   Central Europe	1	0	0	0											
Украинские Карпаты   Ukrainian Carpathians	0	1	0	0											
Кавказ   Caucasus	0	0	1	0											
Япония   Japan	0	0	0	1											
Липа   Linden															
Северная Европа   Northern Europe	0	0	0	0	0										
Украина   Ukraine	1	0	0	0	0										

## Природопользование

Регионы (страны)   Regions (countries)	Фиктивные переменные   Dummy variables														
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	1	0	0	0										
РФ, восток Русской равнины   RF, eastern Russian Plain	0	0	1	0	0										
РФ, Южный Урал   RF, Southern Urals	0	0	0	1	0										
РФ, Средний Урал   RF, Middle Urals	0	0	0	0	1										
Ольха   Alder															
Центральная Европа   Central Europe	0	0	0	0	0	0									
Прибалтика   Baltics	1	0	0	0	0	0									
Белоруссия 1   Belarus 1	0	1	0	0	0	0									
Белоруссия 2   Belarus 2	0	0	1	0	0	0									
Украина   Ukraine	0	0	0	1	0	0									
РФ, северо-запад России   RF, north-west Russia	0	0	0	0	1	0									
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	0	0	0	0	1									
Ясень   Ash															
Центральная Европа   Central Europe	0	0	0	0											
Белоруссия   Belarus	1	0	0	0											
Украина   Ukraine	0	1	0	0											
РФ, центр Русской равнины   RF, center of the Russian Plain	0	0	1	0											
Китай   China	0	0	0	1											
Граб   Hornbeam															
Центральная Европа   Central Europe	0														
Украина   Ukraine	1														

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Значения регрессионных коэффициентов при независимых переменных модели (1)

Table 3

Values of regression coefficients for independent variables of the model (1)

Обозначения независимых переменных   Designations of independent variables	Древесные породы   Tree genera							
	Береза   Birch	Тополь   Poplar	Дуб   Oak	Бук   Beech	Липа   Linden	Ольха   Alder	Ясень   Ash	Граб   Hornbeam
$a_0$	6,2492	5,7301	6,3967	6,5907	5,7485	6,1580	6,1814	5,5663
$a_1(\ln A)$	-	0,0438	0,0171	-0,0572	0,0914	-	-	0,2141
$a_2(\ln N)$	-0,0173	0,0342	-	-0,0403	0,0359	-0,0416	-	0,1127
$a_3X_1$	0,0479	-0,2273	-0,1406	0,1565	-0,0578	0,0739	0,0849	0,0516
$a_4X_2$	0,1928	0,0837	-0,0481	0,0344	0,2054	-0,0132	0,2370	-
$a_5X_3$	0,0340	0,3027	-0,0893	0,0247	-0,0237	-0,0501	0,1653	-
$a_6X_4$	-0,0172	0,1374	0,0115	0,0151	-0,0241	-0,0417	-0,1931	-
$a_7X_5$	0,0127	0,1690	-0,0473	-	-0,2280	-0,0357	-	-
$a_8X_6$	-0,0126	0,2156	-0,1270	-	-	-0,0862	-	-
$a_9X_7$	0,0432	0,2346	-0,0620	-	-	-	-	-
$a_{10}X_8$	0,0208	0,1118	0,1443	-	-	-	-	-
$a_{11}X_9$	0,0751	0,0436	-0,0412	-	-	-	-	-
$a_{12}X_{10}$	0,0649	0,3026	0,0289	-	-	-	-	-
$a_{13}X_{11}$	-0,0492	0,3298	-0,1379	-	-	-	-	-
$a_{14}X_{12}$	0,0110	0,1933	-0,3666	-	-	-	-	-
$a_{15}X_{13}$	-0,0754	0,1668	-	-	-	-	-	-
$a_{16}X_{14}$	0,0821	0,3599	-	-	-	-	-	-
$a_{17}X_{15}$	-	-0,1106	-	-	-	-	-	-
Показатели адекватности   Adequacy indicators								
$adjR^2$	0,146	0,592	0,233	0,317	0,448	0,273	0,614	0,322
SE	0,101	0,119	0,128	0,113	0,082	0,097	0,076	0,110

Примечание: Коэффициент детерминации  $adjR^2$  скорректирован на количество переменных; SE – стандартная ошибка модели (1).

Note: The coefficient of determination  $adjR^2$  is adjusted for the number of variables; SE is the standard error of the model (1).

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

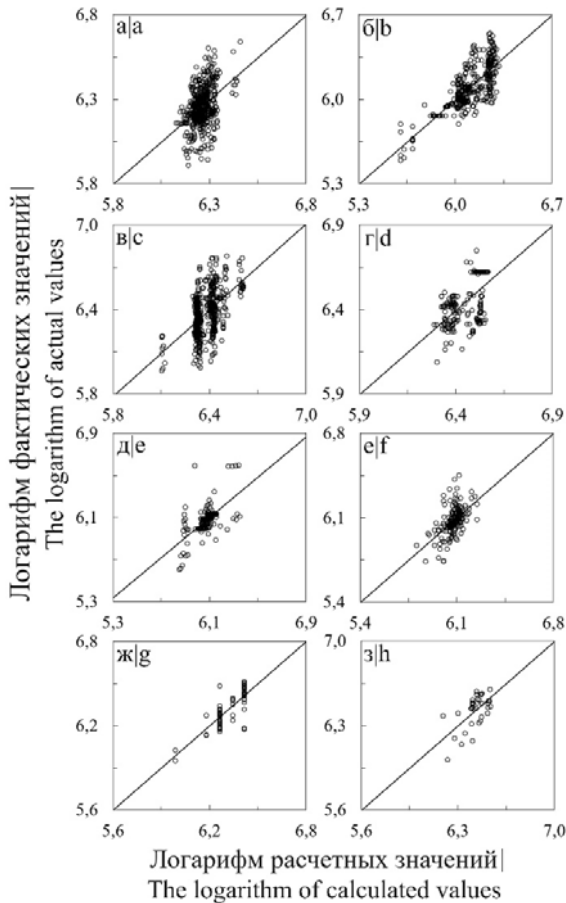


Рисунок 1. Соотношение расчетных и фактических значений БП согласно модели (1): а – береза, б – тополь, в – дуб, г – бук, д – липа, е – ольха, ж – ясень, з – граб

Figure 1. The ratio of calculated and actual BD values according to the model (1): а – birch, б – poplar, в – oak, д – beech, е – linden, ф – alder, г – ash, з – hornbeam

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: own calculations

**Обсуждение**

При анализе рис. 2 можно видеть, что у березы ряд ранжирования БП начинается с березы повислой (*Betula pendula* Roth) в Белоруссии (610 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается березой плосколистной (*B. platyphylla* Sukaczew) в Китае (466 кг/м<sup>3</sup>). У тополей последовательность ранжирования начинается с тополя дель-

товидного (*P. deltoides* W.Bartram ex Marshall) в Китае (558 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается тополем волосистоплодным (*P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.) в Центральной Европе (310 кг/м<sup>3</sup>). У дубов ряд начинается с дуба черешчатого (*Q. robur* L.) на Кавказе (742 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается дубом пильчатым (*Q. serrata* Murray) в Китае (445 кг/м<sup>3</sup>). У буков ряд начинается с бука европейского (*F. sylvatica* L.) в Центральной Европе (632 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается буком европейским (*F. sylvatica* L.) в Западной Европе (541 кг/м<sup>3</sup>). Липы представлены в базе данных одним видом – липой сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), и ее БП имеет максимальное значение в центре Русской равнины (591 кг/м<sup>3</sup>) и минимальное – на Среднем Урале (383 кг/м<sup>3</sup>). У ольхи ряд начинается с ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) в Прибалтике (474 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается ольхой серой (*A. incana* (L.) Moench) в центре Русской равнины (404 кг/м<sup>3</sup>). У ясеней ряд начинается с ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) на Украине (613 кг/м<sup>3</sup>) и заканчивается ясенем маньчжурским (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) в Китае (399 кг/м<sup>3</sup>). Граб представлен одним видом – грабом обыкновенным (*Carpinus betulus* L.) в двух регионах, и его БП составляет на Украине и в Центральной Европе соответственно 787 и 748 кг/м<sup>3</sup>.

Согласно табл. 1, территориально выделенные регионы заполнены фактическими данными неравномерно, и представленные ранжирования (рис. 2) характеризуются множеством «белых пятен», т.е. отсутствием данных по многим регионам. Для заполнения этих «белых пятен» при оценках биомассы стволов в коре на соответствующих пробных площадях приводим ранжирование средних видоспецифичных значений БП, когда данные всех регионов объединены в пределах вида (рис. 3).

Ряд ранжирования видов по величине БП (рис. 3) начинается буком европейским (*F. Sylvatica* L.) и дубом красным (*Q. rubra* L.) (652 и 641 кг/м<sup>3</sup>) и завершается тополем волосистоплодным (*P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.) и тополем Давида (*P. davidiana* (Dode) Hultén) (329 и 299 кг/м<sup>3</sup>).



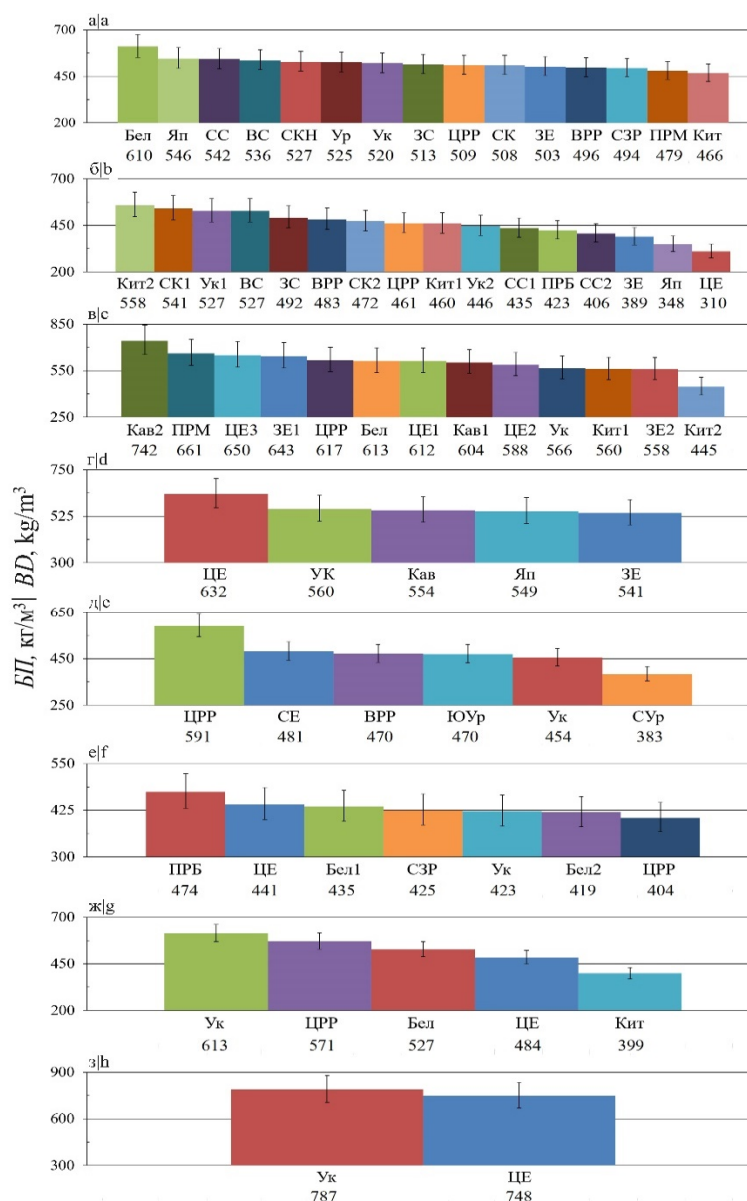


Рисунок 2. Ранжирование принятых в табл. 1 регионов по величине БП стволов в коре в убывающей последовательности для 6 лиственных родов и 2 видов: а – береза, б – тополь, в – дуб, г – бук, д – липа, е – ольха, ж – ясень, з – граб

Figure 2. Ranking of the regions accepted in Table 1 by the value of BD of stems above bark in descending order for 6 deciduous genera and 2 species: a – birch, b – poplar, c – oak, d – beech, e – linden, f – alder, g – ash, h – hornbeam

Примечание: по оси абсцисс – аббревиатура регионов дана в табл. 1., величина БП (кг/м<sup>3</sup>) стволов в коре.  
 Note: on the abscissa axis – the abbreviation of the regions is given in Table 1., the value of BD (kg/m<sup>3</sup>) of stems above bark.

Источник: собственные вычисления авторов  
 Source: own calculations

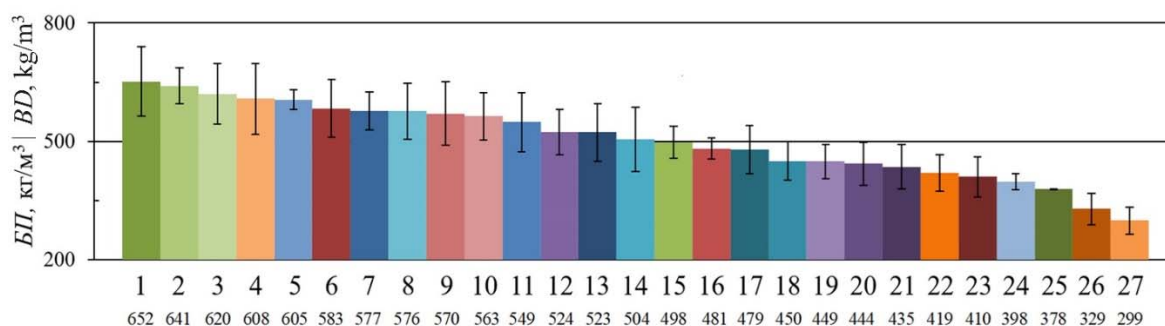


Рисунок 3. Диаграмма распределения 27 лесообразующих лиственных видов Евразии по величине БП стволов в коре: 1 – *Fagus sylvatica* L.; 2 – *Quercus rubra* L.; 3 – *Carpinus betulus* L.; 4 – *Quercus robur* L.; 5 – *Quercus castaneifolia* C.A.Mey.; 6 – *Fagus orientalis* Lipsky; 7 – *Fagus crenata* Blume; 8 – *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.; 9 – *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.; 10 – *Fraxinus excelsior* L.; 11 – *Betula maximowicziana* Regel; 12 – *Betula pendula* Roth; 13 – *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall; 14 – *Populus alba* L.; 15 – *Betula costata* Trautv.; 16 – *Betula platyphylla* Sukaczew; 17 – *Populus ×euramericana* (Dode) Guinier; 18 – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.; 19 – *Quercus serrata* Murray; 20 – *Tilia cordata* Mill.; 21 – *Populus tremula* L.; 22 – *Alnus incana* (L.) Moench; 23 – *Populus euphratica* Olivier; 24 – *Fraxinus mandshurica* Rupr.; 25 – *Populus laurifolia* Ledeb.; 26 – *Populus trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.; 27 – *Populus davidiana* (Dode) Hultén

Figure 3. Diagram of the distribution of 27 forest-forming deciduous species of Eurasia by the value of the BD of stems above bark: 1 – *Fagus sylvatica* L.; 2 – *Quercus rubra* L.; 3 – *Carpinus betulus* L.; 4 – *Quercus robur* L.; 5 – *Quercus castaneifolia* C.A.Mey.; 6 – *Fagus orientalis* Lipsky; 7 – *Fagus crenata* Blume; 8 – *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.; 9 – *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.; 10 – *Fraxinus excelsior* L.; 11 – *Betula maximowicziana* Regel; 12 – *Betula pendula* Roth; 13 – *Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall; 14 – *Populus alba* L.; 15 – *Betula costata* Trautv.; 16 – *Betula platyphylla* Sukaczew; 17 – *Populus ×euramericana* (Dode) Guinier; 18 – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.; 19 – *Quercus serrata* Murray; 20 – *Tilia cordata* Mill.; 21 – *Populus tremula* L.; 22 – *Alnus incana* (L.) Moench; 23 – *Populus euphratica* Olivier; 24 – *Fraxinus mandshurica* Rupr.; 25 – *Populus laurifolia* Ledeb.; 26 – *Populus trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.; 27 – *Populus davidiana* (Dode) Hultén

Примечание: по оси абсцисс – величина БП (кг/м³) стволов в коре.

Note: on the abscissa axis – the value of BD (kg/m³) of stems above bark.

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

### Заключение

Таким образом, разработаны регрессионные модели смешанного типа (табл. 3) для БП запаса стволовой древесины в коре шести лиственных родов и двух видов, специфичные по регионам и видам в пределах региона. Структура модели смешанного типа позволяет выполнить ранжирование (гармонизацию) регионов по БП стволов при условии их равенства по возрасту и густоте древостоев.

Выполнены два ранжирования по величине БП стволов в коре, а именно, ранжирование регио-

нов в пределах шести родов и двух видов и видоспецифичное ранжирование, согласно которому максимальным значением характеризуются бук европейский (*F. sylvatica* L.) ( $652 \pm 87,7$  кг/м³) и дуб красный (*Q. rubra* L.) ( $641 \pm 45,6$  кг/м³) и минимальным – тополь волосистоплодный (*P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook.) ( $329 \pm 39,5$  кг/м³) и тополь Давида (*P. davidiana* (Dode) Hultén) ( $299 \pm 34,4$  кг/м³). Полученные модели и ранжирования видов по величине БП запаса стволовой древесины в коре могут быть использованы при расчетах углеродного пула в лиственных древостоях Евразии по данным инвентаризации лесов.

## Список литературы

1. Мелехов В. И. Качество древесины сосны в культурах / В. И. Мелехов, Н. А. Бабич, С. А. Корчагов // Архангельск : Изд-во АГТУ, 2003. – 110 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21534714>.
2. Проблемы оценки биопродуктивности лесов в аспекте биогеографии: 2. Модели смешанных эффектов / В. А. Усольцев, С. О. Р. Шубаири, Дж. А. Дар [и др.] // Эко-потенциал. – 2018. – № 1 (21). – С. 9–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32819636>.
3. Усольцев В. А. Биомасса и первичная продукция лесов Евразии : монография : электронная база данных / В. А. Усольцев. – 4-е изд., доп. – Екатеринбург : Ботанический сад УрО РАН, УГЛТУральский государственный лесотехнический университет, 2023. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ozgnkk>.
4. Усольцев В. А. Географические закономерности изменения базисной плотности древесины и коры лесообразующих пород Евразии / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 59–68. – DOI: <http://doi.org/10.15372/SJFS20220307>.
5. Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В. А. Усольцев. – Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 192 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22825234>.
6. Усольцев В. А. Плотность древесины и коры деревьев на климатических градиентах Евразии / В. А. Усольцев, И. С. Цепордей // Лесоведение. – 2023. – № 3. – С. 217–227. DOI: <http://doi.org/10.31857/S0024114823030117>.
7. Хох А. Н. Анализ аномалий структуры и размера годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых / А. Н. Хох // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 4 (52). – Ч. 2. – С. 212–230. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.4/24>.
8. Цепордей И. С. Биологическая продуктивность лесообразующих видов в климатическом контексте Евразии : монография / И. С. Цепордей ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук. – Екатеринбург, 2023. – 467 с. – ISBN 978-5-8295-0860-9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54303060>.
9. Цепордей И. С. О проблематике квалиметрических исследований биомассы лесов Евразии / И. С. Цепордей, В. А. Усольцев // Леса России и хозяйство в них. – 2021. – № 3 (78). – С. 15–24. – DOI: <https://doi.org/10.51318/FRET.2021.30.50.002>.
10. Aboveground biomass basic density of hardwoods tree species / R. Petráš, J. Mecko, D. Krupová, A. Pažitný // Wood Research. – 2020. – Vol. 65. – No. 6. – 1001–1012 pp. – DOI: <http://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/65.6.10011012>.
11. Anatomical and physico-mechanical properties of *Acacia auriculiformis* wood in relation to age and soil in Benin, West Africa / M. Tonouéwa, P. Langbour, S. S. H. Biaou [et al.] // European Journal of Wood and Wood Products. – 2020. – Vol. 78. – No. 4. – 745–756 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s00107-020-01540-x>.
12. Assessing intra-annual growth dynamics in climatically contrasting years, sites, and tree species using dendrometers and wood anatomical data / A. Debel, Z. Foroozan, M. Häusser [et al.] // Frontiers in Forests and Global Change. – 2024. – No. 7. – Art. 1342413. – DOI: <http://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1342413>.
13. Characterisation of wood quality of *Eucalyptus nitens* plantations and predictive models of density and stiffness with site and tree characteristics / M. Balasso, M. Hunt, A. Jacobs, J. O'Reilly-Waps // Forest Ecology and Management. – 2021. – No. 491. – 1–14 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118992>.
14. Consequences of Vertical Basic Wood Density Variation on the Estimation of Aboveground Biomass with Terrestrial Laser Scanning / M. Demol, K. Calders, S. Moorthy [et al.] // Trees - Structure and Function. – 2021. – No. 35. – 671–684 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s00468-020-02067-7>.
15. Drought responsiveness in two Mexican conifer species forming young stands at high elevations / E. D. Vivar-Vivar, M. Pompa-García, D. A. Rodríguez-Trejo [et al.] // Forest Systems. – 2021. – Vol. 30. – No. 3. – Art. e012. – DOI: <http://doi.org/10.5424/fs/2021303-18371>.

16. Effect of stem rot on wood basic density, carbon, and nitrogen content of living deciduous trees in hemiboreal forests / J. Liepiņš, I. Jaunslaviete, K. Liepiņš [et al.] // *Silva Fennica*. – 2023. – Vol. 57. – No. 3. – Art. 23040. – DOI: <http://doi.org/10.14214/sf.23040>.

17. Estimation of total extractive content of wood from planted and native forests by near infrared spectroscopy / L. T. Mancini, F. M. G. Ramalho, P. F. Trugilho, P. R. G. Hein // *iForest – Biogeosciences and Forestry*. – 2021. – Vol. 14. – No. 1. – 18–25 pp. – DOI: <http://doi.org/10.3832/ifer3472-013>.

18. Evaluating basic density calibrations based on NIR spectra recorded on the three wood faces and subject to different mathematical treatments / E. A. Amaral, L. M. Dos Santos, P. R. G. Hein [et al.] // *New Zealand Journal of Forestry Science*. – 2021. – Vol. 51. – No. 2. – 1–7 pp. – DOI: <http://doi.org/10.33494/nzjfs512021x100x>.

19. Genetic influence on components of wood density variation in white spruce / A. Soro, P. Lenz, M. Hassegawa [et al.] // *Forestry*. – 2022. – No. 95. – 153–216 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1093/forestry/cpab044>.

20. Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles / M. T. Quintilhan, L. C. Santini, D. R. O. Rodriguez [et al.] // *Dendrochronologia*. – 2021. – Vol. 69. – 1–10 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125878>.

21. Improper data practices erode the quality of global ecological databases and impede the progress of ecological research / S. P. Augustine, I. Bailey-Marren, K. T. Charton [et al.] // *Global Change Biology*. – 2024. – No. 30. – Art. e17116. – DOI: <http://doi.org/10.1111/gcb.17116>.

22. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components / A. Billard, R. Bauer, F. Mothe [et al.] // *Annals of Forest Science*. – 2020. – No. 77. – Art. 103. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s13595-020-00999-1>.

23. Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species / S. M. G. Rocha, G. B. Vidaurre, J. E. M. Pezzopane [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2020. – Vol. 473. – No. 6. – Art. 118290. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118290>.

24. MacFarlane D. W. Functional Relationships Between Branch and Stem Wood Density for Temperate Tree Species in North America / D. W. MacFarlane // *Frontiers in Forests and Global Change*. – 2020. – Vol. 3. – No. 63. – DOI: <http://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00063>.

25. Marden M. Species-specific basic stem-wood densities for twelve indigenous forest and shrubland species of known age, New Zealand / M. Marden, S. Lambie, L. Burrows // *New Zealand Journal of Forestry Science*. – 2021. – Vol. 51. – Art. 1. – DOI: <http://doi.org/10.33494/nzjfs512021x121x>.

26. Measuring the tensile strain of wood by visible and near-infrared spatially resolved spectroscopy / T. Ma, T. Inagaki, M. Yoshida [et al.] // *Cellulose*. – 2021. – Vol. 28. – No. 17. – 10787–10801 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s10570-021-04239-1>.

27. Modeling of radial growth curves and radial variation of basic density in *Chamaecyparis obtusa* planted in two progeny test sites / Y. Takahashi, F. Ishiguri, M. Matsushita [et al.] // *Journal of Wood Science*. – 2024. – Vol. 70. – No. 2. – DOI: <http://doi.org/10.1186/s10086-023-02116-y>.

28. Nygård R. Stem basic density and bark proportion of 45 woody species in young savanna coppice forests in Burkina Faso / R. Nygård, B. Elfving // *Annals of Forest Science*. – 2000. – No. 57. – 143–153 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1051/forest:2000165>.

29. Prediction of the basic density of tropical woods by near-infrared spectroscopy / D. T. Medeiros, R. R. Melo, P. H. G. Cademartori [et al.] // *Cerne*. – 2023. – Vol. 29. – Art. e-103262. – DOI: <http://doi.org/10.1590/01047760202329013262>.

30. Radial variation of wood density and fiber morphology of two commercial species in a tropical humid forest in southeastern Peru / L. A. P. Cahuana, E. A. G. Piña, G. P. Tuesta, M. Tomazello-Filho // *Cerne*. – 2023. – No. 29. – Art. e-103143. – DOI: <http://doi.org/10.1590/01047760202329013143>.

31. Radial variations of broad-sense heritability in wood properties and classification of load-deflection curves in static bending for six half-sib families of *Chamaecyparis obtuse* / Y. Takahashi, F. Ishiguri, I. Nezu [et al.] // *Journal of Wood Science*. – 2022. – No. 68. – Art. 24. – DOI: <http://doi.org/10.1186/s10086-022-02030-9>.
32. Rates of Stemwood Carbon Accumulation Are Linked to Hydroclimate Variability in Mexican Conifers / M. Pompa-García, E. D. Vivar-Vivar, E. A. Rubio-Camacho, J. J. Camarero // *Forests*. – 2023. – No. 14. – Art. 1381. – DOI: <http://doi.org/10.3390/f14071381>.
33. Sample preparation protocol for wood and phloem formation analyses / P. Prislan, E. M. Del Castillo, G. Skoberne [et al.] // *Dendrochronologia*. – 2022. – No. 73. – Art. 125959. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125959>.
34. Similar importance of inter-tree and intra-tree variations in wood density observations in Central Europe / H. Yang, K. Stereńczak, Z. Karaszewski, N. Carvalhais // *Biogeosciences*. – 2024. – DOI: <http://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2691>.
35. The effects of contrasting environments on the basic density and mean annual increment of wood from eucalyptus clones / S. E. L. Costa, R. C. do Santos, G. B. Vidaurre [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2020. – No. 458. – Art. 117807. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117807>.
36. Variation in the Basic Density of the Tree Components of Gray Alder and Common Alder / K. Liepinš, J. Liepinš, J. Ivanovs [et al.] // *Forests*. – 2023. – No. 14. – Art. 135. – DOI: <http://doi.org/10.3390/f14010135>.
37. Variation of basic density, calorific value and volumetric shrinkage within tree height and tree age of Ugandan grown *Eucalyptus grandis* wood / O. E. Sseremba, P. Mugabi, A. Y. Banana [et al.] // *Journal of Forestry Research*. – 2020. – No. 32. – 503–512 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1007/s11676-020-01141-7>.
38. Variations in heartwood formation and wood density as a function of age and plant spacing in a fast-growing eucalyptus plantation / L. M. H. Santos, M. N. F. Almeida, J. G. M. Silva [et al.] // *Holzforschung*. – 2021. – No. 75. – 979–988 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1515/hf-2020-0215>.
39. Wood Basic Density Assessment of Eucalyptus Genotypes Growing under Contrasting Water Availability Conditions / J. P. Elissetche, R. M. Alzamora, Y. Espinoza [et al.] // *Forests*. – 2024. – No. 15. – Art. 185. – DOI: <http://doi.org/10.3390/f15010185>.
40. Wood density variations of *E. urophylla* clone among growth sites are related to climate / M. N. F. Almeida, G. B. Vidaurre, J. L. Louzada [et al.] // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2023. – No. 53. – 343–353 pp. – DOI: <http://doi.org/10.1139/cjfr-2022-0037>.

### References

1. Melekhov V.I., Babich N.A., Korchagov S.A. *Kachestvo drevesiny sosny v kul'turah* [Quality of pine wood in crops]. Arkhangelsk, AGTU Publishing House, 2003. 110 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21534714> (in Russian).
2. Usoltsev V.A., Shubairi S.O.R., Dar Dzh.A., Tsepordey I.S., Chasovskikh V.P., Kolchin K.V. *Problemy otsenki bioproduktivnosti lesov v aspekte biogeografii: 2. Modeli smeshannykh effektov* [Problems of assessing forest bioproductivity in the aspect of biogeography: 2. Mixed effects models]. *Eko-potentsial* [Eco-potential], 2018, no.1(21). pp. 9-26. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32819636> (in Russian).
3. Usoltsev V.A. *Biomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Biomass and primary production of Eurasian forests]: monograph: electronic database, 4th augmented electronic edition. *Ekaterinburg, Botanicheskiy sad UrO RAN. Uralskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet* [Yekaterinburg, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural State Forest Engineering University], 2023. Available at: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/12452> (accessed 9 March 2024) (in Russian).
4. Usoltsev V.A., Tsepordey I.S. *Geograficheskiye zakonomernosti izmeneniya bazisnoy plotnosti drevesiny i kory lesoobrazuyushchikh porod Evrazii* [Geographical patterns of changes in the basic density of wood and bark of forest-forming species in Eurasia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2022, no.3. pp. 59-68. doi: 10.15372/SJFS20220307 (in Russian).

5. Usoltsev V.A. *Modelirovaniye struktury i dinamiki fitomassy drevostoyev* [Modeling the structure and dynamics of phytomass of forest stands]. Krasnoyarsk, *Izdatelstvo Krasnoyarskogo universiteta* [Krasnoyarsk University Press], 1985. 192 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22825234> (in Russian).
6. Usoltsev V.A., Tsepordey I.S. *Plotnost drevesiny i kory derevev na klimaticheskikh gradientah Evrazii* [Density of wood and bark of trees on climatic gradients of Eurasia]. *Lesovedenie* [Forestry], 2023, no.3. pp. 217-227. doi: 10.31857/S0024114823030117 (in Russian).
7. Khokh A.N. *Analiz anomalij struktury i razmera godichnyh kolec v sosnyakah mshistykh i bagulnikovykh* [Analysis of anomalies in the structure and size of annual rings in mossy and ledum pine forests]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], 2023, vol. 13, no. 4(52), part 2. pp. 212-230. doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.4/24 (in Russian).
8. Tsepordey I.S. *Biologicheskaya produktivnost lesoobrazuyushchikh vidov v klimaticheskoy kontekste Evrazii: monografiya* [Biological productivity of forest-forming species in the climatic context of Eurasia: monograph]. *Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. Botanicheskiy sad Uralskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk* [Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. Ekaterinburg, 2023. 467 p. – ISBN 978-5-8295-0860-9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54303060> (in Russian).
9. Tsepordey I.S., Usoltsev V.A. *O problematike kvalimetricheskikh issledovaniy biomassy lesov Evrazii* [On the problems of studying forest biomass qualimetry in Eurasia]. *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih* [Forests of Russia and Their Management], 2021, no. 3(78), pp. 15-24. doi: 10.51318/FRET.2021.30.50.002 (in Russian).
10. Petráš R., Mecko J., Krupová D., Pažitný A. Aboveground biomass basic density of hardwoods tree species. *Wood Research*, 2020, vol. 65, no. 6, pp. 1001-1012. doi: 10.37763/wr.1336-4561/65.6.10011012.
11. Tonouéwa M., Langbour P., Biaou S.S.H., Assede E., Guibal D., Clément K.A., Kounouhewa B. Anatomical and physico-mechanical properties of *Acacia auriculiformis* wood in relation to age and soil in Benin, West Africa. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2020, vol. 78, no. 4. pp. 745–756. doi: 10.1007/s00107-020-01540-x.
12. Debel A., Foroozan Z., Häusser M., Raspe S., Bräuning A. Assessing intra-annual growth dynamics in climatically contrasting years, sites, and tree species using dendrometers and wood anatomical data. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2024, no. 7, art. 1342413. doi: 10.3389/ffgc.2024.1342413.
13. Balasso M., Hunt M., Jacobs A., O'Reilly-Waps J. Characterisation of wood quality of *Eucalyptus nitens* plantations and predictive models of density and stiffness with site and tree characteristics. *Forest Ecology and Management*, 2021, no. 491. pp. 1-14. doi: 10.1016/j.foreco.2021.118992.
14. Demol M., Calders K., Moorthy S., den Bulcke J.V., Verbeeck H., Gielen B. Consequences of Vertical Basic Wood Density Variation on the Estimation of Aboveground Biomass with Terrestrial Laser Scanning. *Trees – Structure and Function*, 2021, no. 35. pp. 671-684. doi: 10.1007/s00468-020-02067-7.
15. Vivar-Vivar E.D., Pompa-García M., Rodríguez-Trejo D.A., Leyva-Ovalle A., Wehenkel C., Carrillo-Parra A., Moreno-Anguiano O. Drought responsiveness in two Mexican conifer species forming young stands at high elevations. *Forest Systems*, 2021, vol. 30, no. 3, art. e012. doi: 10.5424/fs/2021303-18371.
16. Liepins J., Jaunslaviete I., Liepins K., Jansone L., Matisons R., Lazdiņš A., Jansons A. Effect of stem rot on wood basic density, carbon, and nitrogen content of living deciduous trees in hemiboreal forests. *Silva Fennica*, 2023, vol. 57, no. 3, art. 23040. doi: 10.14214/sf.23040.
17. Mancini L.T., Ramalho F.M.G., Trugilho P.F., Hein P.R.G. Estimation of total extractive content of wood from planted and native forests by near infrared spectroscopy. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2021, vol. 14, no. 1, pp. 18-25. doi: 10.3832/ifer3472-013.
18. Amaral E.A., Santos L.M.D., Hein P.R.G., Costa E.V.S., Rosado S., Trugilho P.F. Evaluating basic density calibrations based on NIR spectra recorded on the three wood faces and subject to different mathematical treatments. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2021, vol. 51, no. 2, pp. 1-7. doi: 10.33494/nzjfs512021x100x.

19. Soro A., Lenz P., Hassegawa M., Roussel J.R., Bousquet J., Achim A. Genetic influence on components of wood density variation in white spruce. *Forestry*, 2022, no. 95, pp. 153-216. doi: 10.1093/forestry/cpab044.
20. Quintilhan M.T., Santini L.C., Rodriguez D.R.O., Guillemot J., Cesilio G.H.M., Legoas R.C., Nouvellon Y., Filho M.T. Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles. *Dendrochronologia*, 2021, vol. 69, pp. 1-10. doi: 10.1016/j.dendro.2021.125878.
21. Augustine S.P., Bailey-Marren I., Charton K.T., Kiel N.G., Peyton M.S. Improper data practices erode the quality of global ecological databases and impede the progress of ecological research. *Global Change Biology*, 2024, no. 30, art. e17116. doi: 10.1111/gcb.17116.
22. Billard A., Bauer R., Mothe F., Jonard M., Colin F., Longuetaud F. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components. *Annals of Forest Science*, 2020, no. 77, art. 103. doi: 10.1007/s13595-020-00999-1.
23. Rocha S.M., Vidaure G.B., Pezzopane J.E.M., Almeida M.N.F., Carneiro R.L., Campoe O., Scolforo H.F., Alvares C.A., César J., Xavier A.C., Figura M.A. Influence of climatic variations on production, biomass and density of wood in eucalyptus clones of different species. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 473, no. 6, art. 118290. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118290.
24. MacFarlane, D.W. Functional Relationships Between Branch and Stem Wood Density for Temperate Tree Species in North America. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2020, vol. 3, no. 63. doi: 10.3389/ffgc.2020.00063.
25. Marden M., Lambie S., Burrows L. Species-specific basic stem-wood densities for twelve indigenous forest and shrubland species of known age, New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2021, vol. 51, art. 1. doi: 10.33494/nzjfs512021x121x.
26. Te M., Inagaki T., Yoshida M., Ichino M., Tsuchikawa S. Measuring the tensile strain of wood by visible and near-infrared spatially resolved spectroscopy. *Cellulose*, 2021, vol. 28, no. 17, pp. 10787-10801. doi: 10.1007/s10570-021-04239-1.
27. Takahashi Y., Ishiguri F., Matsushita M., Nezu I., Ohshima J., Yokota S., Tamura A., Tsubomura M., Takahashi M. Modeling of radial growth curves and radial variation of basic density in *Chamaecyparis obtusa* planted in two progeny test sites. *Journal of Wood Science*, 2024, vol. 70, no. 2. doi: 10.1186/s10086-023-02116-y.
28. Nygård R., Elfving B. Stem basic density and bark proportion of 45 woody species in young savanna coppice forests in Burkina Faso. *Annals of Forest Science*, 2000, no. 57, pp. 143-153. doi: 10.1051/forest:2000165.
29. Medeiros D.T., de Melo R.R., Cademartori P.H.G., Batista F.G., Mascarenhas A.R.P., Scatolino M.V., Hein P.R.G. Prediction of the basic density of tropical woods by near-infrared spectroscopy. *Cerne*, 2023, vol. 29, art. e-103262. doi: 10.1590/01047760202329013262.
30. Cahuana L.A.P., Piña E.A.G., Tuesta G.P., Tomazello-Filho M. Radial variation of wood density and fiber morphology of two commercial species in a tropical humid forest in southeastern Peru. *Cerne*, 2023, no. 29, art. e-103143. doi: 10.1590/01047760202329013143.
31. Takahashi Y., Ishiguri F., Nezu I., Endo R., Kobayashi S., Tanabe J., Matsushita M., Ohshima J., Yokota S. Radial variations of broad-sense heritability in wood properties and classification of load-deflection curves in static bending for six half-sib families of *Chamaecyparis obtusa*. *Journal of Wood Science*, 2022, no. 68, art. 24. doi: 10.1186/s10086-022-02030-9.
32. Pompa-García M., Vivar-Vivar E.D., Rubio-Camacho E.A., Camarero J.J. Rates of Stemwood Carbon Accumulation Are Linked to Hydroclimate Variability in Mexican Conifers. *Forests*, 2023, no. 14, art. 1381. doi: 10.3390/f14071381.
33. Prislán P., Del Castillo E.M., Skoberne G., Špenko N., Gricar J. Sample preparation protocol for wood and phloem formation analyses. *Dendrochronologia*, 2022, no. 73, art. 125959. doi: 10.1016/j.dendro.2022.125959.
34. Yang H., Stereńczak K., Karaszewski Z., Carvalhais N. Similar importance of inter-tree and intra-tree variations in wood density observations in Central Europe. *Biogeosciences*, 2024. doi: 10.5194/egusphere-2023-2691.

35. Costa S.E.L., Do Santos R.C., Vidaurre G.B. The effects of contrasting environments on the basic density and mean annual increment of wood from eucalyptus clones. *Forest Ecology and Management*, 2020, no. 458, art. 117807. doi: 10.1016/j.foreco.2019.117807.

36. Liepinš K., Liepinš J., Ivanovs J. Variation in the Basic Density of the Tree Components of Gray Alder and Common Alder. *Forests*, 2023, no. 14, art. 135. doi: 10.3390/f14010135.

37. Sseremba O.E., Mugabi P., Banana A.Y. Variation of basic density, calorific value and volumetric shrinkage within tree height and tree age of Ugandan grown *Eucalyptus grandis* wood. *Journal of Forestry Research*, 2020, no. 32, pp. 503-512. doi: 10.1007/s11676-020-01141-7.

38. Santos L.M.H., Almeida M.N.F., Silva J.G.M. Variations in heartwood formation and wood density as a function of age and plant spacing in a fast-growing eucalyptus plantation. *Holzforschung*, 2021, no. 75, pp. 979-988. doi: 10.1515/hf-2020-0215.

39. Elissetche J.P., Alzamora R.M., Espinoza Y. Wood Basic Density Assessment of Eucalyptus Genotypes Growing under Contrasting Water Availability Conditions. *Forests*, 2024, no. 15, art. 185. doi: org/10.3390/f15010185

40. Almeida M.N.F., Vidaurre G.B., Louzada J.L. Wood density variations of *E. urophylla* clone among growth sites are related to climate. *Canadian Journal of Forest Research*, 2023, no. 53, pp. 343-353. doi: 10.1139/cjfr-2022-0037.

### Сведения об авторах

✉ *Усольцев Владимир Андреевич* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (БС УрО РАН), ул. 8 марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация; профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>, e-mail: [Usoltsev50@mail.ru](mailto:Usoltsev50@mail.ru).

*Плюха Николай Иванович* – аспирант кафедры лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (УГЛТУ), Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>, e-mail: [nikcskript@mail.ru](mailto:nikcskript@mail.ru).

*Цепордей Иван Степанович* – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (БС УрО РАН), ул. 8 марта, 202а, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>, e-mail: [ivan.tsepordey@yandex.ru](mailto:ivan.tsepordey@yandex.ru).

### Information about the authors

✉ *Vladimir A. Usoltsev* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Research Scientist, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; Professor of the Department of Forest Taxation and Forestry, Ural State Forestry Engineering University, Siberian tract, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>, e-mail: [Usoltsev50@mail.ru](mailto:Usoltsev50@mail.ru).

*Nikolay I. Plyukha* – Postgraduate Student of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Ural State Forestry Engineering University, Siberian tract, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1628-3300>, e-mail: [nikcskript@mail.ru](mailto:nikcskript@mail.ru).

*Ivan S. Tsepordey* – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>, e-mail: [ivan.tsepordey@yandex.ru](mailto:ivan.tsepordey@yandex.ru).

✉ – Для контактов/Corresponding author