



СВЯЗЬ АБСОЛЮТНО СУХОЙ ФИТОМАССЫ ФРАКЦИЙ ДЕРЕВЬЕВ *ALNUS INCANA* (L.) MOENCH С ТАКСАЦИОННЫМ ДИАМЕТРОМ В СЕВЕРО-ТАЕЖНОМ РАЙОНЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Сергей В. Третьяков^{1,2}, s.v.tretyakov@narfu.ru, 0000-0001-5982-3114

Сергей В. Коптев^{1,2}, s.koptev@narfu, 0000-0002-5402-1953

Илья В. Цветков^{1,2}, i.tsvetkov@narfu.ru, 0000-0002-1559-32540

Алексей А. Карабан^{1,2}, karaban.a@edu.narfu.ru, 0000-0002-2934-0303

Андрей А. Парамонов¹, a.paramonov@sevniilh-arh.ru, 0000-00020961-221X

Александр В. Давыдов^{1,2} ✉, davydov.a@edu.narfu.ru, 0000-0003-4328-7040

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, 163062, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, 163002, Россия.

Исследована связь абсолютно сухой надземной фитомассы фракций деревьев ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) с диаметром на высоте 1,3 м в сероольшаниках высокотравных на территории Архангельского лесничества, которое относится к Северо-таежному лесному району Архангельской области и к сухопутной территории Арктики. В полевой сезон 2020 года заложены 4 пробных площади, и на них отобраны и обмерены по 5-6 модельных деревьев, приходящихся на 2-сантиметровые ступени толщины. Всего исследовано 21 модельное дерево. По модельным деревьям определен вес свежесрубленной и абсолютно сухой фитомассы 4 фракций: древесины ствола, коры ствола, ветвей и листвы. На основе собранных данных графическим путем получены аллометрические уравнения связей по фракциям для каждой пробной площади. Аллометрические уравнения выбираются для этой цели как в российских, так и в зарубежных исследованиях. На основе того, что полученные коэффициенты детерминации в большинстве случаев превышают 0,8 и в двух случаях находятся в интервале от 0,7 до 0,8, выводили общие аллометрические уравнения, используя уже все модельные деревья. Сравнение результатов расчета фитометрических показателей в т/га по общим уравнениям с уравнениями, полученными отдельно для каждого древостоя, показывает, что общие аллометрические уравнения в основном занижают фитометрические показатели. Лучшие результаты расчетов получены для фракций древесины и коры ствола. Эти фракции имеют наибольшее значение при заготовке древесины. На основе общих уравнений впервые для Архангельской области создана таблица, характеризующая древесные фракции ольхи серой по весу на каждой из 2-сантиметровых ступеней толщины от 4 до 16 см. Уравнения практически применимы для прогнозирования средней абсолютно сухой фитомассы различных фракций при различных рубках.

Ключевые слова: северная тайга, Арктика, ольха серая, *Alnus incana*, надземная фитомасса, аллометрические уравнения


Благодарности: Сбор и обработку полевых материалов осуществляли в рамках выполнения в 2020 – 2021 гг. научно-исследовательской работы по теме государственного задания Рослесхоза в ФБУ «СевНИИЛХ», регистрационный № НИОКР АААА-А20-120013090047-1. Подготовку материалов для арктической зоны Европейской части России осуществляли в рамках конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья» в 2021 г. № 01Ф-02-08/492.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Изучение биоразнообразия и оценка состояния лещины обыкновенной в Воронежской области / С. В. Третьяков, С. В. Коптев, И. В. Цветков, А. А. Карабан, А. А. Парамонов, А. В. Давыдов // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 62–78. – Библиогр.: с. 74–77 (21 назв.) – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/6>.


Поступила: 24.04.2022 **Принята к публикации:** 25.09.2022 **Опубликована онлайн:** 01.10.2022


THE EQUATIONS OF THE RELATION OF THE WEIGHT OF ABSOLUTELY DRY PHYTOMASS FRACTIONS OF *ALNUS INCANA* (L.) MOENCH TREES WITH THE TAXATION DIAMETER IN THE TAIGA ZONE OF THE ARKHANGELSK REGION



Sergey V. Tretyakov^{1,2}, s.v.tretyakov@narfu.ru,  0000-0001-5982-3114

Sergey V. Koptev^{1,2}, s.koptev@narfu.ru,  0000-0002-5402-1953

Илья V. Tsvetkov^{1,2}, i.tsvetkov@narfu.ru,  0000-0002-1559-32540

Alexey A. Karaban^{1,2}, karaban.a@edu.narfu.ru,  0000-0002-2934-0303

Andrey A. Paramonov¹, a.paramonov@sevniilh-arh.ru,  0000-00020961-221X

Alexander V. Davydov^{1,2} , davydov.a@edu.narfu.ru,  0000-0003-4328-7040

¹*Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russia;*

²*The Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, emb. Severnaya Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia.*

Abstract

The relationship between the absolutely dry aboveground phytomass of fractions of gray alder (*Alnus incana* (L.) Moench) trees and a diameter at a height of 1.3 m was researched in tall grass gray alder stands in the Arkhangelsk forestry, which belongs to the North-taiga forest region of the Arkhangelsk region and to the land territory of the Arctic. In the field season of 2020, 4 trial areas were laid, and 5-6 model trees were selected and measured on them, falling on 2-centimeter thick steps. A total of 21 model trees were studied. The weight of freshly cut and absolutely dry phytomass of 4 fractions of trunk wood, trunk bark, branches and foliage was determined from model trees. Based on the collected data, graphically obtained allometric equations of bonds by fractions for each sample area. Allometric equations are chosen for this purpose in both Russian and foreign studies. Based on the fact that the obtained determination coefficients in most cases exceed 0.8 and in two cases are in the range from 0.7 to 0.8, general allometric equations were derived using all model trees. Comparison of the results of the calculation of photometric indicators in t/ha by general equations with the equations obtained separately for each forest stand shows that the general allometric equations mostly underestimate the photometric indicators. The best calculation results were obtained for wood and trunk bark fractions. These fractions are of the greatest importance when harvesting wood. Based on general equations, for the first time for the Arkhangelsk region, a table has been created that characterizes the wood fractions of gray alder by weight on each of the 2-centimeter steps of thickness from 4 to 16 cm. The equations are practically applicable for predicting the average absolutely dry phytomass of various fractions at various harvesting operations.

Keywords: northern taiga, Arctic, gray alder, *Alnus incana*, aboveground phytomass, allometric equations,

Acknowledgements: The collection and processing of field materials was carried out as part of the implementation in 2020 – 2021 of research work on the topic of the state task of the Federal Forestry Agency in the Federal Budgetary Institution Northern Research Institute of Forestry registration No. R&D AAAAA-A20-120013090047-1. The

preparation of materials for the Arctic zone of the European part of Russia was carried out within the framework of the competition of scientific projects "Young scientists of Pomorze" in 2021 No. 01F-02-08/492.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest

For citation: Tretyakov S. V. et al (2022) The equations of the relation of the weight of absolutely dry phytomass fractions of *Alnus incana* (L.) Moench trees with the taxtion diameter in the taiga zone of the Arkhangelsk region // *Lesotekhnicheskii zhurnal* (Forestry Engineering Journal). 2022. Vol. 12, No. 3 (47), p. 62-78. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/6>.

Received: 24.04.2022 **Revised:** 15.08.2022 **Accepted:** 25.09.2022 **Published online:** 01.10.2022

Введение

Древесная фитомасса представляет собой растительную массу составных частей дерева (фракций), чья надземная часть исключает корни, которыми представлена уже подземная фитомасса. Современные исследования фитомассы ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) проводятся в странах Европы, к примеру, в Эстонии, в Польше, в Финляндии, в Швеции, во Франции, в Хорватии и в Латвии [13-21].

Шведскими и финскими исследователями ольха серая рассматривается именно с биоэнергетической точки зрения. Они отмечают повышенную способность породы к вегетативному возобновлению в условиях Прибалтики и Скандинавии и то, что порода не подвержена повреждениям насекомыми и млекопитающими. По этой причине ими проведены исследования по закладке плантаций с короткой ротацией. Результаты показывают, что ольха серая не подходит для очень коротких оборотов хозяйства, с чем также согласны исследователи из Эстонии, которые говорят о продолжительности ротации сроком 15-20 лет. При этом продолжительность оборотов хозяйства в Скандинавских странах приблизительно на 5 лет больше.

В эстонском исследовании отмечен также наилучший возраст для заготовки древесины ольхи серой 20-25 лет, который в справочной литературе по европейским деревьям обозначают как возрастной период, в котором ольхой серой достигаются наибольшие показатели роста [3, 20]. Ее деревья обычно доживают до 60 лет, но редкие из них продолжают расти и после 100 лет.

Исследователи из Франции провели эксперимент с однолетними саженцами ольхи серой на

загрязненной почве, взятой с территории металлургического завода. Его результаты показывают возможность произрастания на таких почвах биомассы ольхи серой удовлетворительного количества и качества. Кроме того, в ходе эксперимента подтвержден факт улучшения санитарного состояния почвы ольхой в процессе роста, что позволяет судить об экологической ценности ее культивации.

В свою очередь, польские исследователи на основе палеоботанических данных отмечают сильный потенциал породы к вегетативному размножению в Европе. Несмотря на это, сероольховые насаждения в разных странах имеют флористические различия, которые обнаружили исследователи из Хорватии и объяснили их разницей в климате.

Исследователи из Латвии, изучавшие достоверность вычислений биомассы ольхи серой по ранее составленным аллометрическим уравнениям в Латвии и на юге Швеции, пришли к выводам о важности наличия локальных уравнений.

Кроме работ на территориях европейского зарубежья проводились исследования фитомассы ольхи серой в отдельных регионах России [1]. Однако в Архангельской области такие исследования являются относительно новыми, поскольку более серьезное отношение к ней появилось совсем недавно. По данным лесоустройства, ольха серая встречается в большинстве лесничеств Архангельской области, но наибольший удельный вес среди них занимают Архангельское, Онежское, Приозерное, Шенкурское, Вельское, Няндомское и Каргопольское.

Ольха серая входит в число лесообразующих пород Архангельской области. Древесные растения стали все больше заселять бывшие сельскохозяй-

ственные земли, полосы отвода автомобильных дорог. При этом традиционные места произрастания ольхи серой в поймах рек, ручьев и озер не утратили своего защитного значения [10].

Хозяйственная ценность ольхи серой повышается, так как современное развитие лесной промышленности предполагает комплексное использование древесного сырья основных лесобразующих пород и необходимость задействовать ранее недооцененные лесные ресурсы. Быстрорастущие древесные породы позволяют за короткий оборот рубки получать сырье для производства топливных брикетов и гранул, использование которого выгоднее, чем использование сырья из лесосечных отходов при транспортировке на расстояние 100–150 км до потребителя [8, 9].

Для прогнозирования массы сухого вещества древесины и других фракций деревьев ольхи серой необходимо получить уравнения их связи с таксационным диаметром.

Цель исследования заключалась в нахождении уравнений связи веса абсолютно сухой фитомассы фракций деревьев ольхи серой с таксационным диаметром в Северо-таежном районе Архангельской области.

Материалы и методы

Исследование проведено в полевой сезон 2020 года в сероольшаниках на территории Архангельского лесничества, которое относится к Северо-таежному лесному району Архангельской области и к сухопутной территории Арктики. Выбранные для исследования фитомассы пробные площади представлены древостоями с составом 10Ол ед.Ив ед.Бер и 8Ол2Ив+Ос ед.Б ед.Е, произрастающими на дерново-грунтово-глеевых почвах, а также древостоями с составом 7Ол3Ив и 6Ол3Ив1Ос+Б, выросшими на аллювиальных дерновых старопахотных почвах.

Методика сбора полевых данных основывается на отраслевом стандарте ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные» [6] и на методах описания биологической продуктивности насаждений В.А. Усольцева и С.В. Залесова [12], на методике описания живого напочвенного покрова Е.Н. Наквасиной и Е.В. Шавриной и на методике

полевых почвенных исследований Е.Н. Наквасиной, В.С. Серых и Б.А. Семенова [4, 5].

Согласно методическим указаниям [12], с целью закладки временных пробных площадей по лесотипологическому признаку подбирали 3-7 насаждений для наиболее распространенного класса возраста, а именно III класса, и затем, чтобы измерить показатели фитомассы, на пробных площадях отбирали модельные деревья из разных ступеней толщины. Основываясь на том, что все найденные нами насаждения были схожего типа леса, для оптимизации усилий ограничились 4 площадями.

Так как в рекомендациях [12] предложено ограничиться 5-10 деревьями на каждую ступень толщины и целесообразным обозначено количество 5, число моделей составляло 5-6 штук на пробную площадь. Поэтому всего отобрано и обмерено 21 модельное дерево.

Модельные деревья разделяли на секции по относительным высотам $0,1H$, взвешивали с точностью до $0,01$ кг отдельно для каждой секции древесины ствола в коре и без коры, ветви и листья. Для взвешивания использовали электронный безмен с точностью ± 10 г. Последовательность измерений может быть представлена следующим образом:

1. Модельное дерево аккуратно спиливают у комля.
2. Длину ствола измеряют рулеткой и делят на 10 равных секций по относительным высотам $0,1H, 0,2H, 0,3H, 0,4H, 0,5H, 0,6H, 0,7H, 0,8H, 0,9H$, дополнительно выделяют высоту 1,3 м.
3. У каждой секции выше отметки выпиливают диски, которые берут с собой как образцы для дальнейших измерений.
4. Оставшиеся части секций ствола взвешивают в коре, после очищают от коры и взвешивают повторно.
5. Относящиеся к секциям ветви взвешивают сначала в коре с листвой и после без листвы.
6. Выбирают среднюю ветку (среднюю по размерам), взвешивают ее с листвой, далее листья с нее собирают в качестве образцов, далее обезлиственную ветку повторно взвешивают и берут с собой в качестве образца, в связи с чем для удобства делят на 3 равных отрезка: начало, середина, конец.

Далее все взятые образцы взвешивали на электронных лабораторных весах в свежесрубленном и затем в абсолютно сухом состояниях после обработки в сушильных шкафах при температуре 100-105 °С в соответствии с рекомендациями [11, 12]. Хотя показания весов имеют высокую точность, результаты измерений записывали с точностью до 1 г, так как вес сырых и сухих образцов на практике мог отличаться в граммах.

Формулы расчета показателей фитомассы следующие:

$$W_{bark_d.f.c.} = W_{d.f.c._wood+bark} - W_{d.f.c._wood}, \quad (1)$$

где $W_{bark_d.f.c.}$ – вес коры свежесрубленного стволового диска, г| the weight of the bark of a freshly cut trunk disc, g;

$W_{d.f.c._wood+bark}$ – вес древесины свежесрубленного стволового диска с корой, г| the weight of the wood of the freshly cut trunk disc with bark, g;

$W_{d.f.c._wood}$ – вес древесины свежесрубленного стволового диска, г| the weight of the wood of the freshly cut trunk disc, g.

$$W_{bark_s.f.c.} = W_{s.f.c._wood+bark} - W_{s.f.c._wood}, \quad (2)$$

где $W_{bark_s.f.c.}$ – вес коры свежесрубленной стволовой секции, кг| the weight of the bark of the freshly cut trunk section, kg;

$W_{s.f.c._wood+bark}$ – вес древесины свежесрубленной стволовой секции с корой, кг| the weight of the wood of the freshly cut trunk section with bark, kg;

$W_{s.f.c._wood}$ – вес древесины свежесрубленной стволовой секции, кг| the weight of the wood of the freshly cut trunk section, kg.

$$W_{bark_d.a.d.} = W_{d.a.d._wood+bark} - W_{d.a.d._wood}, \quad (3)$$

где $W_{bark_d.a.d.}$ – вес коры абсолютно сухого стволового диска, г| the weight of the bark of an absolutely dry trunk disk, g;

$W_{d.a.d._wood+bark}$ – вес древесины абсолютно сухого стволового диска с корой, г| the weight of the wood of an absolutely dry trunk disk with bark, g;

$W_{d.a.d._wood}$ – вес древесины абсолютно сухого стволового диска, г| the weight of the wood of an absolutely dry trunk disk, g.

$$C_{bark_s.a.d.}^f = \frac{W_{bark_d.a.d.}}{W_{bark_d.f.c.}} \cdot 100, \quad (4)$$

где $C_{bark_s.a.d.}^f$ – содержание абсолютно сухой фитомассы коры стволовой секции, %| the content of absolutely dry phytomass of the bark of the trunk section, %.

$$W_{bark_s.a.d.} = W_{bark_s.f.c.} \cdot \frac{C_{bark_a.d.}^f [s + s_{+1}] \cdot W_{bark_s.f.c.}}{100}, \quad (5)$$

где $W_{bark_s.a.d.}$ – вес абсолютно сухой коры секции, г| the weight of absolutely dry bark of the section, g;

$C_{bark_a.d.}^f [s + s_{+1}]$ – среднее содержание абсолютно сухой фитомассы коры соседних стволовых секций, %| the average content of absolutely dry phytomass of the bark of neighboring trunk sections, %.

$$C_{wood_s.a.d.}^f = \frac{W_{d.a.d._wood}}{W_{d.f.c._wood}} \cdot 100, \quad (6)$$

где $C_{wood_s.a.d.}^f$ – содержание абсолютно сухой фитомассы древесины стволовой секции, %| the content of absolutely dry phytomass of the trunk section wood, %.

$$W_{wood_s.a.d.} = W_{wood_s.f.c.} \cdot \frac{C_{wood_a.d.}^f [s + s_{+1}] \cdot W_{s.f.c._wood}}{100}, \quad (7)$$

где $W_{wood_d.s.a.d.}$ – вес абсолютно сухой древесины стволовой секции, кг| the weight of absolutely dry wood of the trunk section, kg.

$C_{wood_a.d.}^f [s + s_{+1}]$ – среднее содержание абсолютно сухой фитомассы древесины соседних стволовых секций, %| the average content of absolutely dry phytomass of the wood of neighboring trunk sections, %.

$$C_{av.branch_a.d.}^f = \frac{W_{av.branch_a.d.}}{W_{av.branch_f.c.}} \cdot 100, \quad (8)$$

где $C_{av.branch_a.d.}^f$ – содержание абсолютно сухой фитомассы отрезка средней ветки (начала, середины или конца), %| the content of absolutely dry phytomass of a segment of an average branch (beginning, middle or end), %;

$W_{av.branch_a.d.}$ – вес абсолютно сухого отрезка средней ветки, г| the weight of an absolutely dry segment of an average branch, g;

$W_{av.branch_f.c.}$ – вес свежесрубленного отрезка средней ветки, г| weight of the freshly cut segment of an average branch, g.

$$W_{branch_s.a.d.} = W_{s.f.c._leafless_branch} \cdot \overline{C_{av.branch_a.d.}^f}, \quad (9)$$

где $W_{branch_s.a.d.}$ – вес абсолютно сухих ветвей стволовой секции, кг| the weight of absolutely dry branches of the trunk section, kg;

$W_{s.f.c._leafless_branch}$ – вес свежесрубленных обеслиственных ветвей стволовой секции, кг| the weight of freshly cut leafless branches of the trunk section, kg;

$\overline{C_{av.branch_a.d.}^f}$ – среднее содержание абсолютно сухой фитомассы отрезков средней ветки, %| the average content of absolutely dry phytomass of the segments of an average branch, %.

$$W_{foliage_s.f.} = W_{s.f.c._branch+foliage} - W_{s.f.c._leafless_branch}, \quad (10)$$

где $W_{foliage_s.f.}$ – вес свежей листвы стволовой секции, кг| the weight of fresh foliage of the trunk section, kg;

$W_{s.f.c._branch+foliage}$ – вес свежесрубленных ветвей стволовой секции с листвой, кг| the weight of freshly cut branches of the trunk section with foliage, kg.

$$W_{foliage_s.a.d.} = \frac{W_{av.branch_foliage_a.d.} \cdot W_{foliage_s.f.}}{W_{av.branch_foliage_f.}}, \quad (11)$$

где $W_{foliage_s.a.d.}$ – вес абсолютно сухой листвы стволовой секции, кг| the weight of absolutely dry foliage of the trunk section, kg;

$W_{av.branch_foliage_a.d.}$ – вес абсолютно сухой листвы средней ветки, кг| the weight of absolutely dry foliage of an average branch, kg;

$W_{av.branch_foliage_f.}$ – вес свежей листвы средней ветки, кг| the weight of fresh foliage of an average branch, kg.

$$W_{wood_a.d.}^f = \frac{\sum W_{d.a.d._wood}}{1000} + \sum W_{s.a.d._wood}, \quad (12)$$

где $W_{wood_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы древесины ствола, кг| the weight of absolutely dry phytomass of trunk wood, kg;

$$W_{bark_a.d.}^f = \frac{\sum W_{bark_d.a.d.}}{1000} + \sum W_{bark_s.a.d.}, \quad (13)$$

где $W_{bark_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы древесины ствола, кг| the weight of absolutely dry phytomass of trunk bark, kg.

$$W_{branch_a.d.}^f = \sum W_{branch_s.a.d.}, \quad (14)$$

где $W_{branch_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы древесины ствола, кг| the weight of absolutely dry phytomass of branches, kg.

$$W_{foliage_a.d.}^f = \sum W_{foliage_s.a.d.}, \quad (15)$$

где $W_{foliage_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы древесины ствола, кг| the weight of absolutely dry phytomass of branches, kg.

Уравнения связи фракций фитомассы с таксационным диаметром находили на основе регрессионного анализа с помощью аллометрических (степенных) функций [1, 11, 12, 14, 17, 18].

Гомоскедатичность и отсутствие мультиколлинеарности моделей обеспечиваются однородностью выборок и исследованием парных корреляций. Наличие “выбросов” определяли по величине нормированного отклонения. Оценивали также нормальность распределения остатков.

Расчеты выполняли в программах MS Excel и CurveExpert Professional

Далее с помощью полученных уравнений производили расчет запасов надземной фитомассы древостоя в т/га по формулам

$$W_{X(D)_a.d.}^f = a \cdot D^b, \quad (16)$$

где $W_{X(D)_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы одной из древесных фракций на одной из 2-сантиметровых ступеней толщины, кг| the weight of absolutely dry phytomass of one of the wood fractions on one of the 2-centimeter thick steps, kg;

a, b – коэффициенты аллометрического уравнения, рассчитанного для одной из древесных фракций| coefficients of the allometric equation calculated for one of the wood fractions;

D – значение диаметра ствола на высоте 1,3 м для одной из 2-сантиметровых ступеней толщины, см| the value of the trunk diameter at a height of 1.3 m for one of the 2-centimeter thick steps, cm.

$$W_{X_a.d.}^f = \frac{\sum (W_{X(D)_a.d.}^f \cdot N_D)}{S}, \quad (17)$$

где $W_{X_a.d.}^f$ – вес абсолютно сухой фитомассы одной из древесных фракций, т/га| the weight of absolutely dry phytomass of one of the wood fractions, t/ha;

N_D – число деревьев в ступени толщины, шт.| the number of trees in the thickness step, pcs.;

S – размер пробной площади, га | the size of the test area, ha.

Результаты и их обсуждение

Типы леса определены в объектах исследования как сероольшаники высокотравные. В определителе типов леса Европейской России в Северотаежном районе отмечены только сероольшаники таволгово-высокотравные [7]. В их напочвенном покрове должна преобладать таволга (*Filipendula ulmaria* Maxim.), однако это растение лишь иногда встречалось в напочвенном покрове пробных площадей и не преобладало в нем. Подобные результаты получены при исследовании в поймах малых притоков р. Пинега и в Пинежском заповеднике [2]. Поэтому характеристики сероольшаников таволгово-высокотравных не совпадают с нашими данными.

В травяном ярусе напочвенного покрова с общим покрытием 50-80 % обычно доминирует крапива (*Urtica dioica* L.), а в некоторых случаях различные луговые бореальные злаки. Также часто встречались иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* L.) Scop.), герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.), дудник лесной (*Angelica sylvestris* L.), костяника (*Rubus saxatilis* L.), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), папоротник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth.). Мохово-лишайниковый ярус почти во всех случаях был представлен исключительно гилокомиумом блестящим (*Hylocomium splendens* Hedw.) и мниумом точечным (*Mnium punctatum* Hedw.), но встречались и плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) с кукушкиным льном (*Polytrichum commune* Hedw.).

Подрост представлен преимущественно ольхой серой, различными местными видами и гибридами видов ив (*Salix*), а также березой повислой (*Betula pendula* Roth). Реже встречалось молодое поколение осины (*Populus tremula* L.), а также жизнеспособные ели (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и сосны (*Pinus sylvestris* L.). В подлеске преобладает рябина (*Sorbus aucuparia* L.), реже встречаются черемуха (*Padus avium* Mill.), смородина черная (*Ribes rubrum* L.) и малина (*Rubus idaeus* L.).

Уравнения связи абсолютной сухой фитомассы фракций деревьев ольхи серой с таксационным диаметром, полученные на основе модельных деревьев, представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают, что наиболее тесные связи таксационного диаметра наблюдаются с фракциями ветвей и древесины ствола. Теснота связей с фракцией древесины ствола снижается с уменьшением доли участия ольхи серой в составе древостоя.

С учетом того, что теснота связей между показателями всех фракций в большинстве случаев превышает 80 %, мы получили общие аллометрические уравнения на основе всех моделей (рис. 1...4), которые работают при таксационных диаметрах от 4 до 17 см.

На их основе, как и на основе уравнений, выведенных отдельно для каждого древостоя, мы далее вычисляли запасы фитомассы в т/га и в относительных величинах (табл. 3). После чего вычисляли расхождения полученных фитометрических показателей.

Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы древесины ствола деревьев ольхи серой от диаметра ствола высоте на 1.3 м характеризуется уравнением связи (18)

$$M_{wood\ a.d.}^f = 0.0485 \cdot D^{2.5138}, \quad (18)$$

где D – диаметр ствола на высоте 1.3 м, см | the trunk diameter at a height of 1.3 m, cm.

$$R^2 = 0.9196 \text{ – основная ошибка } \pm 6.05 \text{ кг.}$$

Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы коры ольхи ствола деревьев серой от диаметра ствола на высоте 1,3 м характеризуется уравнением связи (19)

$$M_{bark\ a.d.}^f = 0.0144 \cdot D^{2.1832} \quad (19)$$

$$R^2 = 0.7892 \text{ – основная ошибка } \pm 1.35 \text{ кг.}$$

Уравнения связи абсолютно сухой фитомассы фракций модельных деревьев *Alnus incana*
с таксационным диаметром

Coupling equations of absolutely dry phytomass fractions of model *Alnus incana* trees with a taxational diameter

Состав древостоя Forest stand composition	Количество модельных деревьев, шт. Number of model trees, pcs.	R ²	Аллометрическое уравнение Allometric equation
Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы древесины ствола от таксационного диаметра The dependence of the weight of the absolutely dry phytomass of the trunk wood on the taxation diameter			
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	5	0.986	$y = 0.0278x^{2.8357}$
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	5	0.964	$y = 0.1111x^{2.2017}$
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	6	0.943	$y = 0.0436x^{2.4773}$
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	5	0.911	$y = 0.0107x^{3.2764}$
Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы коры ствола от таксационного диаметра Dependence of the weight of the absolutely dry phytomass of the trunk bark on the taxation diameter			
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	5	0.849	$y = 0.0261x^{1.8338}$
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	5	0.787	$y = 0.0905x^{1.4211}$
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	6	0.864	$y = 0.0059x^{2.5934}$
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	5	0.928	$y = 0.0022x^{3.1021}$
Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы ветвей от таксационного диаметра Dependence of the weight of absolutely dry phytomass of branches on the taxation diameter			
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	5	0.963	$y = 0.0039x^{2.9639}$
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	5	0.968	$y = 0.0187x^{2.0487}$
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	6	0.932	$y = 0.0252x^{2.1216}$
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	5	0.895	$y = 0.0075x^{2.6063}$
Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы листвы от таксационного диаметра Dependence of the weight of absolutely dry phytomass of foliage on the taxation diameter			
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	5	0.934	$y = 0.0003x^{3.3040}$
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	5	0.950	$y = 0.0029x^{2.1893}$
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	6	0.904	$y = 0.0205x^{1.3869}$
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	5	0.762	$y = 0.0067x^{1.7017}$

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

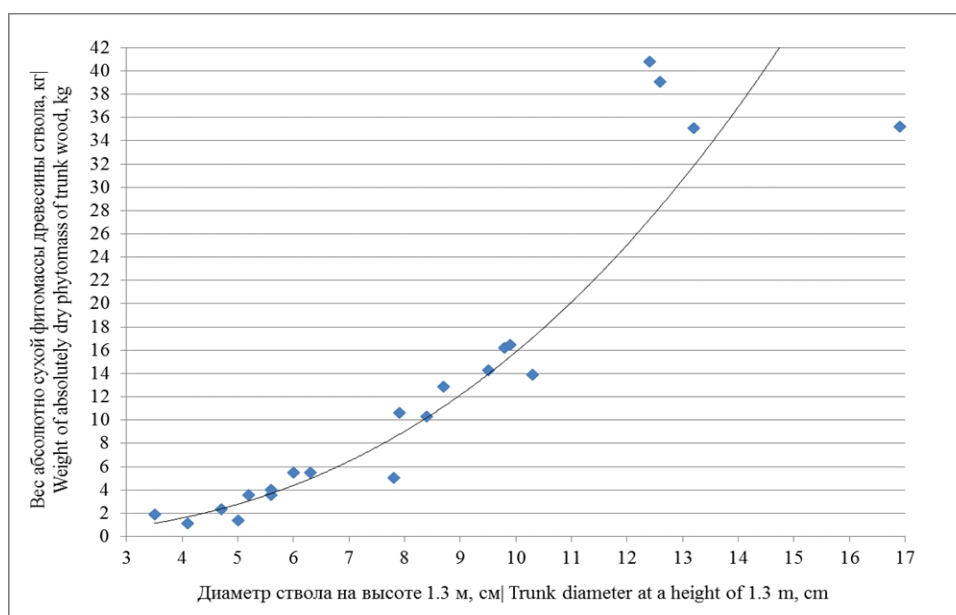


Рис. 1. Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы древесины ствола деревьев *Alnus incana* в кг от диаметра на высоте 1,3 м в см

Figure 1. Dependence of the weight of absolutely dry phytomass of *Alnus incana* tree trunk wood in kg on the diameter at a height of 1.3 m in cm

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

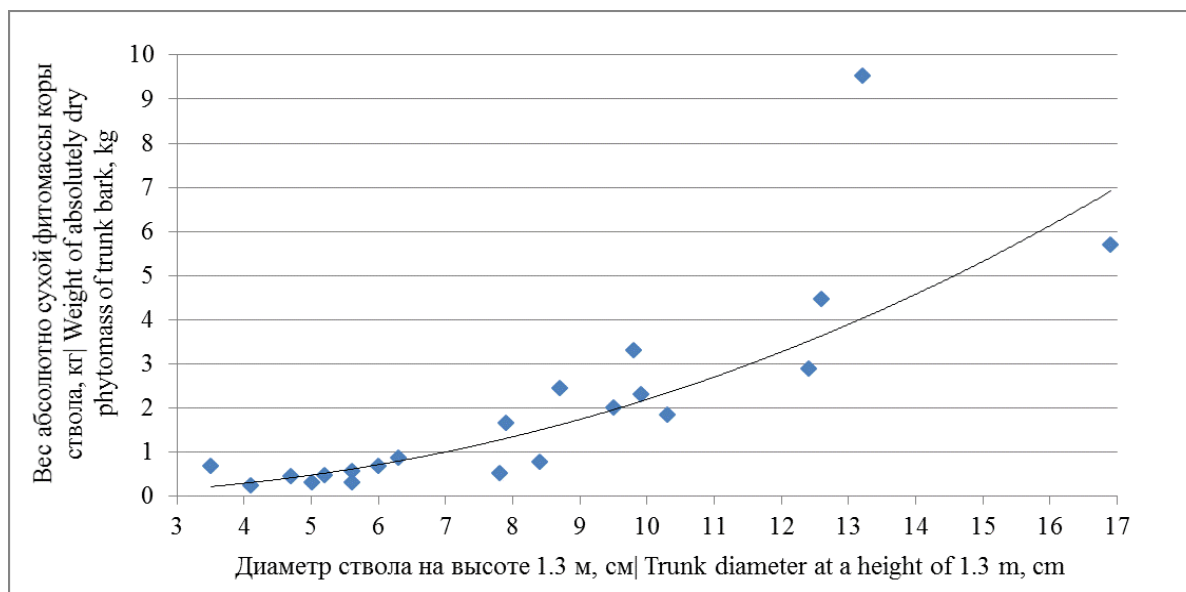


Рис. 2. Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы коры ствола деревьев *Alnus incana* в кг от диаметра ствола на высоте 1,3 м в см

Figure 2. Dependence of the weight of the absolutely dry phytomass of the bark of the trunk of *Alnus incana* trees in kg on the trunk diameter at a height of 1.3 m in cm

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

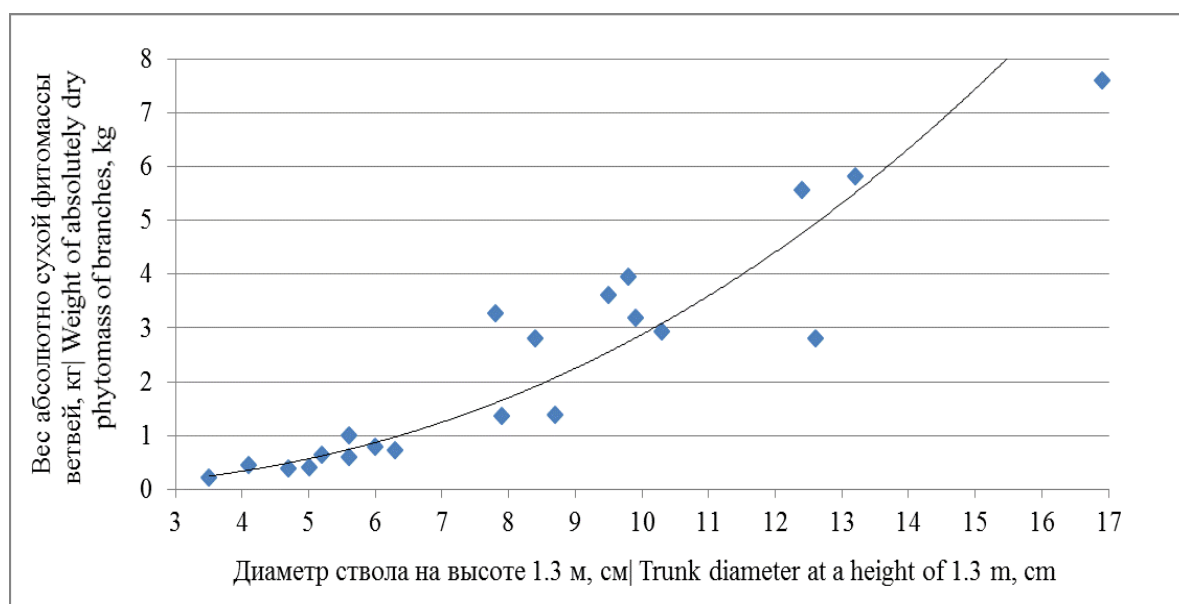


Рис. 3. Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы ветвей деревьев *Alnus incana* в кг от диаметра ствола на высоте 1,3 м в см

Figure 3. Dependence of the weight of absolutely dry phytomass of *Alnus incana* tree branches in kg on the trunk diameter at a height of 1.3 m in cm

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

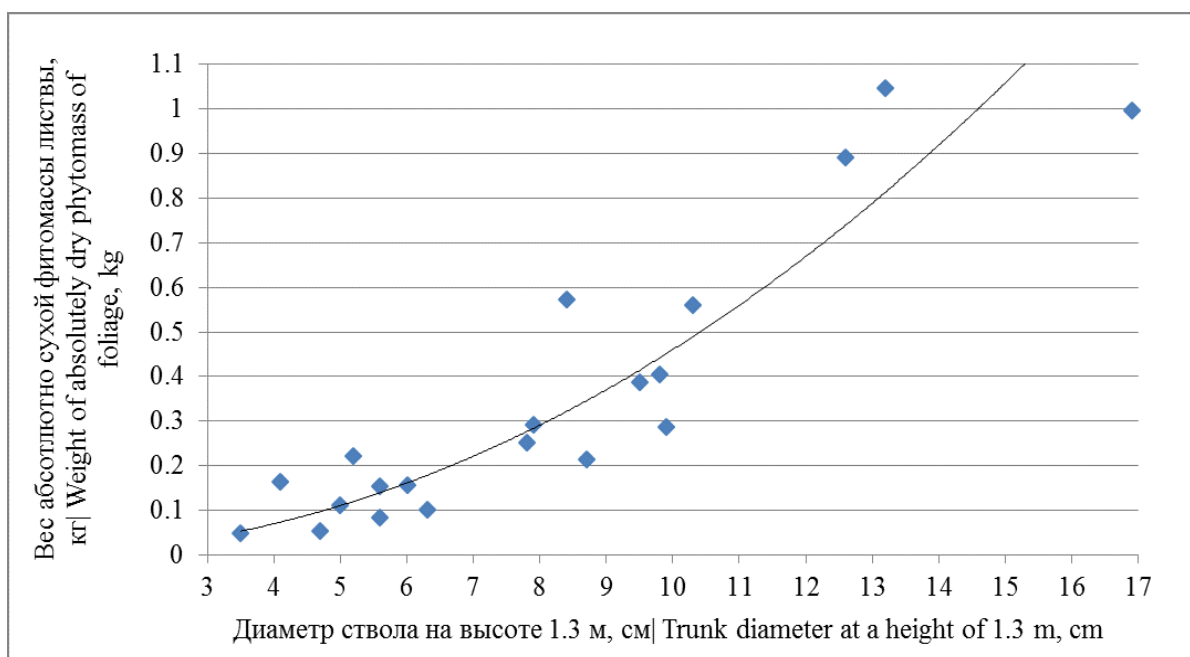


Рис. 4. Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы листвы деревьев *Alnus incana* в кг от диаметра ствола на высоте 1,3 м в см

Figure 4. Dependence of the weight of absolutely dry phytomass of foliage of *Alnus incana* trees in kg on the trunk diameter at a height of 1.3 m in cm

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

Таблица 2

Таксационные показатели исследованных древостоев *Alnus incana*

Table 2

Taxation indicators of the studied stands of *Alnus incana*

Состав древостоя Forest stand composition	Средний возраст, лет Average age, years	Средний диаметр, см Average diameter, cm	Средняя высота, м Average height, m	Полнота Completeness		Запас по ольхе, м ³ /га Alder stock, m ³ /ha
				абсолютная, м ² /га absolute, m ² /ha	относительная relative	
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willows singly birch	29	7.3	11.4	26.7	1.46	162
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	25	7.4	9.5	22.1	1.16	90
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	26	6.7	7.0	21.5	1.25	75
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	26	6.3	6.7	21.1	1.39	50

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

Таблица 3

Фитометрические показатели древостоев *Alnus incana* высокотравных естественного происхождения

Table 3

Phytometric indicators of *Alnus incana* tallgrass stands of natural origin

Состав древостоя Forest stand composition	Фракции абсолютно сухой фитомассы, т/га в числителе и % в знаменателе Fractions of absolutely dry phytomass, t/ha in the numerator and % in the denominator				
	древесина ствола trunk wood	кора ствола trunk bark	ветви branches	листва foliage	всего in total
По общим уравнениям By general equations					
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	47.496	6.852	8.788	1.471	64.608
	73.5	10.6	13.6	2.3	100.0
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	30.887	4.464	5.723	0.958	42.032
	73.5	10.6	13.6	2.3	100.0
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	32.664	4.637	5.987	0.992	44.278
	73.8	10.5	13.5	2.2	100.0
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	21.295	3.224	4.041	0.706	29.266
	72.8	11.0	13.8	2.4	100.0
По уравнениям, полученным отдельно для каждого древостоя By the equations obtained separately for each forest stand					
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	55.643	5.882	10.408	1.730	73.662
	75.5	8.0	14.1	2.3	100.0
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	35.847	5.582	4.339	0.911	46.678
	76.8	12.0	9.3	2.0	100.0
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	27.038	4.761	7.089	1.230	40.118
	67.4	11.9	17.7	3.1	100.0
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	23.190	3.305	3.985	0.577	31.057
	74.7	10.6	12.8	1.9	100.0

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

Расхождения вычисленных фитометрических показателей

Table 4

Discrepancies of calculated phytometric indicators

Состав древостоя Forest stand composition	Расхождения вычисленных фитометрических показателей, % Discrepancies of calculated fetometric indicators, %				
	древесина ствола trunk wood	кора ствола trunk bark	ветви branches	листва foliage	всего in total
10Ол ед.Ив ед.Б 10 alders singly willow singly birch	-14.6	+16.5	-15.6	-15.0	-12.3
8Ол2Ив + Ос ед.Б ед.Е 8 alders 2 willows + aspen singly birch singly spruce	-13.8	-20.0	+31.9	+5.2	-10.0
7Ол3Ив 7 alders 3 willows	+20.8	-2.6	-15.5	-19.4	+10.4
6Ол3Ив1Ос + Б 6 alders 3 willows 1 aspen + birch	-8.2	-2.5	+1.4	+22.4	-5.8

Источник: собственные вычисления авторов

Source: author's calculations

Таблица 5

Вес абсолютно сухой фитомассы фракций модельных деревьев *Alnus incana* в зависимости от диаметра ствола на высоте 1,3 м

Table 5

The weight of absolutely dry phytomass fractions of model *Alnus incana* trees, depending on the trunk diameter at a height of 1.3 m

Диаметр ствола, см Trunk diameter, cm	Вес абсолютно сухой фитомассы ольхи серой по фракциям, кг Weight of absolutely dry phytomass of gray alder by fractions, kg				
	древесина ствола trunk wood	кора ствола trunk bark	ветви branches	листва foliage	всего in total
4	1.582	0.297	0.336	0.071	2.286
6	4.384	0.720	0.869	0.162	6.135
8	9.035	1.349	1.705	0.292	12.381
10	15.832	2.196	2.875	0.462	21.365
12	25.037	3.269	4.405	0.672	33.384
14	36.887	4.577	6.320	0.922	48.707
16	51.601	6.126	8.639	1.213	67.580

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы ветвей деревьев ольхи серой от диаметра ствола на высоте 1,3 м характеризуется уравнением связи (20)

$$M_{branches\ a.d.}^f = 0.0131 \cdot D^{2.3412}, \quad (20)$$

$R^2 = 0.9074$ – основная ошибка ± 0.93 кг.

Зависимость веса абсолютно сухой фитомассы листвы деревьев ольхи серой от диаметра ствола на высоте 1,3 м характеризуется уравнением связи (21)

$$M_{foliage\ a.d.}^f = 0.0041 \cdot D^{2.0522} \quad (21)$$

$R^2 = 0.8214$ – основная ошибка ± 0.18 кг.

“Выбросы” за пределы $\pm 3\sigma$ в изучаемых совокупностях отсутствуют. Асимметрия находится в пределах 1.04-2.15, эксцесс 0.15-0.46.

Таксационные показатели исследованных древостоев ольхи серой представлены в табл. 2.

Результаты, представленные в табл. 3, позволяют судить о том, что доли участия каждой фракции в надземной фитомассе древостоев в относительных величинах примерно равны как по общим аллометрическим уравнениям, так и по отдельным для каждого древостоя. Расхождения вычисленных фитометрических показателей, рассчитанные в процентах, приводятся в табл. 4.

Результаты, приведенные в табл. 4, указывают на то, что выведенные общие аллометрические уравнения в основном занижают фитометрические показатели, наименьшие расхождения приходятся на фракции древесины и коры ствола.

Приведенные модели можно использовать для определения веса абсолютно сухих фракций

фитомассы ольхи серой в кг при установлении таксационного диаметра ствола дерева (табл. 5).

Выводы

Полученные аллометрические уравнения связей абсолютной сухой фитомассы фракций древостоев ольхи серой с таксационным диаметром показывают высокие достоверные связи этих показателей. Наиболее качественно они характеризуют фракции древесины и коры ствола.

Для практического применения ольхи серой и установления объемов депонирования углерода ее деревьями важно установить связь фракций ее абсолютно сухой фитомассы с таксационным диаметром древесного ствола. Поэтому в ходе исследования составлена соответствующая таблица, которая может быть полезной по ряду хозяйственных направлений для Северо-таежного лесного района Архангельской области.

Список литературы

1. Гульбе Я. И., Гульбе А. Я., Ермолова Л. С., Гульбе Т. А. Исследования по биологической продуктивности лесов в Институте лесоведения РАН. Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2019. – № 4. – С. 7–22. – DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01>. – URL: <http://ilan.ras.ru/issledovaniya-po-biologicheskoy-produktivnosti-lesov-v-institute-lesovedeniya-ran-gulbe-ya-i-gulbe-a-ya-ermolova-l-s-gulbe-t-a-2019/> (дата обращения: 05.04.2022).
2. Заугольнова Л. Б., Смирнова О. В., Браславская Т. Ю. и др. Высокотравные таежные леса на востоке европейской части России. Растительность России. 2009. № 15. С. 3–26. – URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/7855548/> (дата обращения: 05.04.2022).
3. Кремер Б. П. Деревья: Местные и завезенные виды Европы: пер. с нем. – Москва : Астрель : АСТ, 2002. – 288 с. – ISBN 3-576-10761-4 (нем.).
4. Наквасина Е. Н., Шаврина Е. В. Геоботанические исследования: метод. рекомендации к полевым работам ; ПГУ им. М.В. Ломоносова. – Архангельск, 2001. – 44 с.
5. Наквасина Е. Н., Серый В. С., Семенов Б. А. Полевой практикум по почвоведению. – Архангельск, 2007. – 126 с.
6. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: издание официальное : дата введения 1984.01.01. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 10 с.
7. Определитель типов леса Европейской России: версия 4 (февраль 2014) // ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН». – URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm> (дата обращения: 05.04.2022).
8. Пинягина Н. Б., Савицкий А. А., Горшенина Н. С. Стратегические приоритеты развития лесного комплекса России. Вестник Московского государственного университета – Лесной вестник. – 2016. – № 6. – С. 53–66. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskie-prioritety-razvitiya-lesnogo-kompleksa-rossii> (дата обращения: 05.04.2022).

9. Суханов Ю. В., Соколов А. П., Герасимов Ю. Ю. Оценка экономической эффективности систем машин для производства топливной щепы в Республике Карелия. Resources and Technology – 2013. – № 1. – С. 1–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-sistem-mashin-dlya-proizvodstva-toplivnoy-schepy-v-respublike-kareliya> (дата обращения: 05.04.2022).
10. Третьяков С. В., Коптев С. В., Богданов А. П. и др. Лесотаксационные нормативы для определения объема стволов ольхи серой *Alnus incana* L. по разрядам высот. Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 3. – С. 81–86. – URL: <https://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/upload/iblock/bf1/bf1bba8390da14164350b03ea810ec4f.pdf> (дата обращения: 05.04.2022).
11. Тюкавина О. Н., Клевцов Д. Н., Болотов И. Н. и др. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северо-таежного лесного района. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. – № 6. – С. 101–108. – DOI: <http://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.101>. – URL: [http://agriscience.spsl.nsc.ru/journal/0536-1036/2018/6%20\(366\)/101-108](http://agriscience.spsl.nsc.ru/journal/0536-1036/2018/6%20(366)/101-108) (дата обращения: 05.04.2022).
12. Усольцев В. А., Залесов С. В. Методы определения биологической продуктивности насаждений ; УГЛТУ. – Екатеринбург, 2005. – 147 с.
13. Aosaar J., Vaik M., Uri V. Biomass production potential of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) in Scandinavia and Eastern Europe: A review. Biomass & Bioenergy. 2012; 45:11–26. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.013>.
14. Bārdulis A., Lazdina D., Daugaviete M. et al. Above ground and below ground biomass in grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. Young stands on agricultural land in central part of Latvia. Agronomy Research. 2015; 13 (2): 277–286. URL: https://www.researchgate.net/publication/276950084_Above_ground_and_below_ground_biomass_in_grey_alder_Alnus_incana_L_Moench_young_stands_on_agricultural_land_in_central_part_of_Latvia (Accessed: 5 April 2022).
15. Dering M., Boratynska K., Kosinski P. et al. Could clonality contribute to the northern survival of grey alder [*Alnus incana* (L.) Moench] during the Last Glacial Maximum? // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 2017; 86 (1): 1–14. – DOI: <http://doi.org/10.5586/asbp.3523>.
16. Hostyn G., Schwartz C., Côme J.-M., Ouvrard S. Assessment for combined phytoremediation and biomass production on a moderately contaminated soil. Environmental Science and Pollution Research. 2022. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19963-9>. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19963-9> (Accessed: 15 April 2022).
17. Hytönen J., Saarsalmi A. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization // Silva Fennica. 2015; 49 (1). – DOI: <http://doi.org/10.14214/sf.1260>.
18. Liepiņš J., Liepiņš K., Lazdiņš A. Equations for estimating the above- and belowground biomass of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) and common alder (*Alnus glutinosa* L.) in Latvia. Scandinavian Journal of Forest Research. 2021; 36 (5): 389–400. – DOI: <http://doi.org/10.1080/02827581.2021.1937696>.
19. Rytter L., Rytter R.-M. Growth and carbon capture of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) under north European conditions – Estimates based on reported research. Forest Ecology and Management. 2016; 373: 56–65. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.034>.
20. Uri V., Aosaar J., Varik M. et al. The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. Forest Ecology and Management. 2014; 327: 106–117. – DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.040>.
21. Vukelic J., Baričević D., Šapic I. et al. Phytocoenological analysis of grey alder (*Alnus incana*/L./Moench supsp. Incana) forests in Croatia. Sumarski List. 2018; 142 (3-4): 123–135. – DOI: <http://doi.org/10.31298/sl.142.3-4.1>.

References

1. Gulbe A. YA., Gulbe YA. I., Ermolova L. S., Gulbe T. A. Issledovaniya po biologicheskoy produktivnosti lesov v Institute lesovedeniya RAN [Research on biological productivity of forests at the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences]. Lesohozyajstvennaya informaciya: elektronnyj setevoy zhurnal [Forestry information: electronic network journal]. 2019. № 4. pp. 7-22. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01>. URL: <http://ilan.ras.ru/issledovaniya-po-biologicheskoy-produktivnosti-lesov-v-institute-lesovedeniya-ran-gulbe-ya-i-gulbe-a-ya-ermolova-l-s-gulbe-t-a-2019/> (Accessed: 5 April 2022).
2. Zaugolnova L. B., Smirnova O. V., Braslavskaya T. YU. et al. Vysokotravnnye taezhnye lesa na vostoке evropejskoj chasti Rossii [Tall-grass taiga forests in the east of the European part of Russia]. Rastitelnost Rossii [Vegetation of Russia]. 2009. № 15. pp. 3-26. (In Russ.). URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/7855548/> (Accessed: 5 April 2022).
3. Kremer B. P. Derevyta: Mestnye i zavezennyye vidy Evropy: per. s nem [Trees: Native and imported species of Europe: translated from German]. Moscow: Astrel Publishing House: LLC AST Publishing House, 2002. 288 p. ISBN 3-576-10761-4 (German) (In Russ.).
4. Nakvasina E. N., Shavrina E. V. Geobotanicheskie issledovaniya: metodicheskie rekomendacii k polevym rabotam [Geobotanical research: methodical recommendations for field work]. Arkhangel'sk: M. V. Lomonosov Pedagogical State University, 2001. 44 p. (In Russ.).
5. Nakvasina E. N., Seryj V. S., Semenov B. A. Polevoj praktikum po pochvovedeniyu [Field workshop on soil science]. Arkhangel'sk: Arkhangel'sk State Technical University, 2007. 126 p. (In Russ.).
6. OST 56-69–83. Ploshchadi probnyye lesoustroitelnye. Metod zakladki [Industry standard. Trial forest management areas. Bookmark method]. Moscow: Publishing House of Standards, 1983, 10 p. (In Russ.).
7. Opredelelitel tipov lesa Evropejskoj Rossii: versiya 4 (fevral 2014) [The determinant of forest types in European Russia: version 4 (February 2014)]. FGBUN Centr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN [Federal State Budgetary Institution of Science Center for Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences]. (In Russ.). URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/forest/index.htm> (Accessed: 5 April 2022).
8. Pinyagina N. B., Savickij A. A., Gorshenina N. S. Strategicheskie priority razvitiya lesnogo kompleksa Rossii [Strategic priorities for the development of the Russian forest complex]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta – Lesnoj vestnik [Bulletin of the Moscow State University – Forest Bulletin.]. 2016. № 6, pp. 53-66. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskie-priority-razvitiya-lesnogo-kompleksa-rossii> (Accessed: 5 April 2022).
9. Suhanov YU. V., Sokolov A. P., Gerasimov YU. YU. Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti sistem mashin dlya proizvodstva toplivnoj shchepy v Respublike Kareliya [Evaluation of the economic efficiency of systems of machines for the production of fuel chips in the Republic of Karelia]. Resources and Technology. 2013. № 1. pp. 1-23. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-sistem-mashin-dlya-proizvodstva-toplivnoj-shchepy-v-respublike-kareliya> (Accessed: 5 April 2022).
10. Tretyakov S. V., Koptev S. V., Bogdanov A. P. et al. Lesotaksacionnye normativy dlya opredeleniya ob'ema stvolov ol'hi seroj *Alnus incana* L. po razryadam vysot [Forest taxation standards for determining the volume of trunks of gray alder *Alnus incana* L. by height categories]. Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian forest journal]. 2017. № 3. pp. 81–86. (In Russ.). URL: <https://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/upload/iblock/bf1/bf1bba8390da14164350b03ea810ec4f.pdf> (Accessed: 5 April 2022).
11. Tyukavina O. N., Klevcov D. N., Bolotov I. N. et al. Biologicheskaya produktivnost kultur sosny obyknovЕННОj severotaezhnogo lesnogo rajona [Biological productivity of scots pine crops of the North Taiga forest region]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. [News of higher educational institutions. Forest Magazine]. 2018. № 6. pp. 101–108. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.101>. URL: [http://agriscience.spsl.nsc.ru/journal/0536-1036/2018/6%20\(366\)/101-108](http://agriscience.spsl.nsc.ru/journal/0536-1036/2018/6%20(366)/101-108) (Accessed: 5 April 2022).

12. Usolcev V. A., Zalesov S. V. Metody opredeleniya biologicheskoy produktivnosti nasazhdenij [Methods for determining the biological productivity of plantings]. Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering University, 2005. 147 p. (In Russ.).
13. Aosaar J., Vaik M., Uri V. Biomass production potential of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) in Scandinavia and Eastern Europe: A review. *Biomass & Bioenergy*. 2012; 45: 11-26. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.013>.
14. Bārdulis A., Lazdina D., Daugaviete M. et al. Above ground and below ground biomass in grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. Young stands on agricultural land in central part of Latvia. *Agronomy Research*. 2015; 13 (2): 277-286. URL: https://www.researchgate.net/publication/276950084_Above_ground_and_below_ground_biomass_in_grey_alder_Alnus_incana_L_Moench_young_stands_on_agricultural_land_in_central_part_of_Latvia (Accessed: 5 April 2022).
15. Dering M., Boratynska K., Kosinski P. et al. Could clonality contribute to the northern survival of grey alder [*Alnus incana* (L.) Moench] during the Last Glacial Maximum fl. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 2017; 86 (1): 1-14. DOI: <http://doi.org/10.5586/asbp.3523>.
16. Hostyn G., Schwartz C., Côme J.-M., Ouvrard S. Assessment for combined phytoremediation and biomass production on a moderately contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19963-9>. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19963-9> (Accessed: 15 April 2022).
17. Hytönen J., Saarsalmi A. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fennica*. 2015; 49 (1). DOI: <http://doi.org/10.14214/sf.1260>.
18. Liepiņš J., Liepiņš K., Lazdiņš A. Equations for estimating the above- and belowground biomass of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) and common alder (*Alnus glutinosa* L.) in Latvia. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2021; 36 (5): 389-400. DOI: <http://doi.org/10.1080/02827581.2021.1937696>.
19. Rytter L., Rytter R.-M. Growth and carbon capture of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) under north European conditions – Estimates based on reported research. *Forest Ecology and Management*. 2016; 373: 56-65. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.034>.
20. Uri V., Aosaar J., Varik M. et al. The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. *Forest Ecology and Management*. 2014; 327: 106-117. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.040>.
21. Vukelic J., Baričević D., Šapic I. Phytocoenological analysis of grey alder (*Alnus incana*/L./Moench supsp. *Incana*) forests in Croatia. *Sumarski List*. 2018; 142 (3-4): 123-135. DOI: <http://doi.org/10.31298/sl.142.3-4.1>.

Сведения об авторах

Третьяков Сергей Васильевич – д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru

Коптев Сергей Викторович – д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; профессор, зав. кафедрой лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>; e-mail: s.v.koptev@narfu

Цветков Илья Васильевич – канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13. г. Архангельск, Российская Федерация; 163062, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Се-

верной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1559-32540>; e-mail: i.tsvetkov@narfu.ru

Карaban Алексей Александрович – лаборант-исследователь, ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, Российская Федерация; 163062, аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2934-0303>; e-mail: karaban.a@edu.narfu.ru.

Парамонов Андрей Алексеевич – младший научный сотрудник, ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-00020961-221X>; e-mail: a.paramonov@sevniilh-arh.ru.

Давыдов Александр Владимирович – лаборант-исследователь, ФБУ «СевНИИЛХ», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062, Российская Федерация; магистрант кафедры лесоводства и лесоустройства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4328-7040>; e-mail: davydov.a@edu.narfu.ru.

Information about the authors

Sergey V. Tretyakov – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Scientific Officer of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13. Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5982-3114>; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru

Sergey V. Koptev – Dr. Sci. (Agriculture), Chief Scientific Officer of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Professor, Head of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5402-1953>; e-mail: s.v.koptev@narfu

Ilya V. Cvetkov – Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1559-32540>; e-mail: i.tsvetkov@narfu.ru

Aleksey A. Karaban – Laboratory-researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Postgraduate student at the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2934-0303>; e-mail: karaban.a@edu.narfu.ru

Andrey A. Paramonov – Junior Researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-00020961-221X>; e-mail: a.paramonov@sevniilh-arh.ru.

Aleksandr V. Davydov – Laboratory-researcher of the Northern Research Institute of Forestry, Nikitova str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; Master's student of the Department of Forestry and Forest Management, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, embankment of the Northern Dvina, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4328-7040>; e-mail: davydov.a@edu.narfu.ru