

Научная статья

УДК 630*182.5+630*228.82

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-1-65-76

Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагrogenных землях

Д.А. Данилов^{1,2}, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [S-7007-2019](https://orcid.org/0000-0002-7504-5743),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-5743>

А.А. Яковлев^{1,2}, аспирант; ResearcherID: [AAR-5081-2021](https://orcid.org/0000-0001-8450-2806),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-2806>

С.А. Суворов¹, ассистент; ResearcherID: [AAC-9497-2022](https://orcid.org/0000-0002-4429-8131),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-8131>

И.А. Крылов¹, сопр.; ResearcherID: [ADM-9554-2022](https://orcid.org/0000-0001-7122-2418),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7122-2418>

С.А. Корчагов³, д-р с.-х. наук, директор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5492-9550>

Р.С. Хамитов⁴, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [Z-1461-2018](https://orcid.org/0000-0003-1490-3553),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия, 194021; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com[✉], sergey_suvorov1999@mail.ru, diesdthebest@yandex.ru

²Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., Россия, 188388; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com[✉]

³ООО «Вологдалесникцентр», ул. Дальняя, д. 20 д, г. Вологда, Россия, 160000; kors45@yandex.ru

⁴Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9 а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; r.s.khamitov@mail.ru

Поступила в редакцию 11.02.21 / Одобрена после рецензирования 16.05.21 / Принята к печати 18.05.21

Аннотация. Вывод земель из активного сельскохозяйственного пользования и их зарастание древесной растительностью имеют устойчивый характер в России, особенно в бореальной зоне. Изучение насаждений, сформировавшихся на залежных землях сельскохозяйственных территорий, позволяет оценить их ресурсный потенциал для дальнейшего использования. Наиболее достоверным показателем продуктивности местообитаний является надземная фитомасса растительности. Посредством оценки фитомассы древесно-кустарниковой растительности возможно определить объем депонирования углерода, что актуально в условиях глобального изменения климата. Объектом исследования стало поле в Гатчинском районе Ленинградской области, вышедшее из активного сельскохозяйственного пользования. Заложена пробная площадь, на которой проведен сплошной пересчет аборигенных лиственных пород (береза, осина, древовидные и кустарниковые ивы) с определением основных таксационных показателей. Для установления объема фитомассы спиливалось от 6 до 8 модельных деревьев каждой породы. На основе полученных данных по величинам отдельных фракций надземной части ствола были выведены аллометрические уравнения для расчета фракционного

состава фитомассы, обладающие высоким коэффициентом детерминации. Точность построенных уравнений снижается за счет высокой вариабельности характеристик крон в густом листовом молодняке. Наибольшая фитомасса приходится на стволовую часть, а наименьшая – на ассимиляционный аппарат для всех пород древесной растительности. Расчет надземной фитомассы на опытном участке по полученным уравнениям показал, что самое высокое значение в пересчете на 1 га на данной сукцессионной стадии характерно для березы пушистой. Участие древесной растительности постагрогенных земель в депонировании углерода на сегодняшний день не имеет достоверной полной оценки для региона исследования. Древесина, произрастающая на вышедших из активного сельскохозяйственного пользования землях, может быть использована для получения биотоплива и заготавливаться в виде технологической щепы.

Ключевые слова: аллометрические уравнения, фитомасса, надземная фитомасса, аллометрические уравнения для расчета фитомассы, листовые насаждения, постагрогенные земли, Ленинградская область

Для цитирования: Данилов Д.А., Яковлев А.А., Суворов С.А., Крылов И.А., Корчагов С.А., Хамитов Р.С. Формирование надземной фитомассы листовых древесных пород на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 65–76. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-65-76>

Original article

Formation of Aboveground Phytomass of Deciduous Tree Species on Post-Agrogenic Lands

Dmitry A. Danilov^{1,2}, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [S-7007-2019](https://orcid.org/0000-0002-7504-5743),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-5743>

Artem A. Yakovlev^{1,2}✉, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAR-5081-2021](https://orcid.org/0000-0001-8450-2806),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-2806>

Sergey A. Suvorov¹, Teaching Assistant; ResearcherID: [AAC-9497-2022](https://orcid.org/0000-0002-4429-8131),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-8131>

Ivan A. Krylov¹, Employee; ResearcherID: [ADM-9554-2022](https://orcid.org/0000-0001-7122-2418),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7122-2418>

Sergei A. Korchagov³, Doctor of Agriculture, Director;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5492-9550>

Renat S. Khamitov⁴, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [Z-1461-2018](https://orcid.org/0000-0003-1490-3553),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, lit. U, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com✉, sergey_suvorov1999@mail.ru, diesdthebest@yandex.ru

²Leningrad Research Institute for Agriculture “Belogorka”, Branch of the A.G. Lorch Russian Potato Research Centre, ul. Institutskaya, 1, d. Belogorka, Gatchina District, Leningrad Region, 188388, Russian Federation; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com✉

³ООО “Vologdalesniktsentr”, ul. Dal’nyaya, 20 d, Vologda, 160000, Russian Federation; kors45@yandex.ru

⁴Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9 a, korp. 7, s. Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation; r.s.khamitov@mail.ru

Received on February 11, 2021 / Approved after reviewing on May 16, 2021 / Accepted on May 18, 2021



Abstract. The withdrawal of lands from active agricultural use and their overgrowth with woody vegetation have a steady trend in Russia, especially in the boreal zone. Studying the plantations developed on fallow lands of agricultural territories enables estimation of their resource potential for further use. The aboveground phytomass of vegetation is the most reliable indicator of habitat productivity. It is possible to determine the volume of carbon storage by assessing the phytomass of tree and shrub vegetation, which is relevant in the context of global climate change. The study object was a field out of active agricultural use in the Gatchina district of the Leningrad region. A trial area was laid out on the test site, where a complete enumeration of native hardwoods (birch, aspen, tree and shrub willows) with the determination of the basic inventory indicators was carried out. In order to find out the volume of phytomass, from 6 to 8 model trees of each species were cut down. Allometric equations for calculating the fractional composition of phytomass with a high determination coefficient were derived based on the data obtained on the values of individual fractions of the trunk ground part. The accuracy of the derived equations is reduced due to the high variability of crown characteristics in dense deciduous young growth. The highest phytomass is in the trunk part, and the lowest in the assimilation apparatus for all species of woody vegetation. Calculation of aboveground phytomass on the test site according to the obtained equations showed that the highest value per 1 ha at this successional stage is typical for downy birch. Currently, the participation of woody vegetation growing on post-agrogenic lands in carbon sequestration has no reliable full assessment for the study region. Wood that was grown on lands out of active agricultural use can serve as a biofuel source and be harvested in the form of technological chips.

Keywords: allometric equations, phytomass, aboveground phytomass, allometric equations for calculating phytomass, deciduous plantations, post-agrogenic lands, Leningrad region

For citation: Danilov D.A., Yakovlev A.A., Suvorov S.A., Krylov I.A., Korchagov S.A., Khamitov R.S. Formation of Aboveground Phytomass of Deciduous Tree Species on Post-Agrogenic Lands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 1, pp. 65–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-65-76>

Введение

В настоящее время процессы естественного возобновления древесных пород на бывших сельскохозяйственных землях в бореальной зоне России имеют устойчивый характер в связи с экономическими и социальными изменениями [1–3, 5, 13, 15, 17, 22, 23, 25]. На землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования, активно идет процесс восстановления аборигенной лесной растительности. Данная тенденция наблюдается во всем мире в зоне умеренного климата, где происходит значительное сокращение земель сельскохозяйственного назначения. Низкоствольная древесина лиственных пород на ранних стадиях сукцессии является хорошим источником технологической щепы. Оборот рубки деревьев для получения щепы на постагрогенных землях составляет 10–20 лет [24, 25].

Таким образом, определение надземной фитомассы древесных пород, произрастающих на бывших сельскохозяйственных землях, является актуальной задачей, которая может помочь решить проблему вовлечения древостоев постагрогенных земель в активный хозяйственный оборот. Формируемые насаждения разнообразны по составу и представленности хвойных и лиственных аборигенных пород и, как следствие, имеют различный запас. Знание продуцируемой фитомассы таких насаждений важно как с практической точки зрения –

для дальнейшего хозяйственного использования фитомассы, так и в научном плане – для более точного прогноза и определения возможного депонирования антропогенных выбросов углерода. Фитомасса надземной части древесных растений наиболее полно отражает продуктивность местопроизрастания [23]. Знание величины фитомассы различных фракций позволяет рассчитывать величину депонирования углерода фитоценозами, что является актуальной задачей в условиях глобального изменения климата [9, 14, 18, 20, 21]. Масса древесных растений в большей степени зависит от таких показателей, как объем и плотность древесины, которые в свою очередь являются ее основными качественными характеристиками [8, 10].

Фитомасса молодых древесных растений – показатель, который отражает особенности естественного лесовосстановления за определенный период. Насаждения на постагрогенных землях бореальной зоны в отличие от древостоев, произрастающих на ненарушенных лесных почвах, отличаются более быстрым ростом за счет более мощного бывшего пахотного гумусированного горизонта [1, 14, 16, 21, 26]. Фитомасса древостоя на начальных этапах сукцессии сильно зависит от породного состава насаждения, его возрастной структуры, источника возобновления и почвенных условий произрастания [7, 11].

Следовательно, изучение формирования различных фракций фитомассы на начальных стадиях восстановительной сукцессии позволяет обосновывать и рекомендовать практические методы ведения хозяйства на постагрогенных землях [12].

Количественное выражение важнейших функций лесов как накопителей углерода стало одним из ключевых элементов в понимании глобального углеродного цикла и оказании влияния на него [11]. Поскольку бореальные леса отличаются наиболее медленной скоростью перемещения углерода на этапе от фотосинтеза до освобождения CO_2 при конечном разложении растительных остатков, то лесному покрову умеренных и северных широт будет отводиться решающая роль в ослаблении парникового эффекта для мировой атмосферы. Поэтому необходимо знать потенциал возможного депонирования углерода на различных стадиях формирования древесных сообществ на данных территориях. Возобновившиеся древесные сообщества на постагрогенных землях могут быть использованы как карбоновые полигоны или фермы.

Цель данной работы – построение регрессионных уравнений для расчета надземной фитомассы различных фракций естественных древостоев на начальной стадии сукцессии на постагрогенных землях.

Объекты и методы исследования

На постагрогенных землях Гатчинского района Ленинградской области для проведения исследования было выбрано бывшее сельскохозяйственное поле залежью 25 лет. Данный участок характеризуется давней освоенностью: срок сельскохозяйственного пользования поля составлял, вероятно, более 200 лет, что определено на основе карт Царскосельского уезда Петербургской губернии Российской империи конца XVIII в. Поле одним краем примыкает к стене леса. Растительный покров представлен в основном мезотрофными видами. Географические координаты: $59^{\circ}18'22,33''$ с. ш. $30^{\circ}6'7,50''$ в. д.

Почвы данного участка сформировались на типичном двучленном наносе (супесь подстиляется красноцветным валунным суглинком). Преобладающим типом почв является альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный постагрогенный глубокопахотный агрозем на валунном суглинке (табл. 1). Средняя мощность бывшего пахотного горизонта составляет 35 см.

Таблица 1

Морфологическое описание преобладающего типа почв
Morphological description of the prevailing soil types

Вид почвенного разреза	Индекс	Мощность, см	Описание
	P _{pa}	0–33 (35)	Постагрогенный агрогумусовый, светло-серый, комковато-пороховатый, рыхлый, свежий, супесчаный, корни трав, переход волнистый, четкий
	BF	33–51	Иллювиально-железистый, светло-бурый, плитчатый, плотноватый, свежий, супесчаный, железистые дробинки, корни, переход волнистый, постепенный
	C _g	>51	Почвообразующая порода, красно-бурый, крупно-комковатый, плотный, свежий, оглеенный средний суглинок

Для исследования структуры фитомассы лиственных пород была заложена пробная площадь 20×40 м в наиболее характерном месте для данного заросшего массива и произведен сплошной пересчет древесной растительности. Все деревья на опытном участке обладают высотой более 1,3 м. Кустарниковая ива многоствольная, и характеристики растений брались как среднее значение по всем стволам. Результаты пересчета приведены в табл. 2. Для составления регрессионных уравнений фитомассы было срублено от 6 до 7 модельных деревьев каждой породы (табл. 3).

У каждого модельного дерева отделяли все ветви и устанавливали их массу вместе с листвой. Затем отбирали 3 модельные ветки (из низа, середины и верха кроны) и взвешивали отдельно саму ветвь и ее листья. После проводили повторное взвешивание в абсолютно сухом состоянии. Ствол распиливали и через каждый метр от комля отбирали спилы. Объем ствола рассчитывали как сумму метровых сегментов по формуле объема усеченного конуса и вершины [8].

Таблица 2

Характеристика древостоя на опытном участке
Characteristics of the stand at the test site

Порода	<i>H</i> , м	<i>D</i> , см	Запас, м ³ /га	Средний возраст, лет	Численность, экз./га	Средняя $\rho_{\text{баз}}$, г/см ³
	среднее					
Береза пушистая	7,707	5,969	36,59	15	2200,0	0,391±0,036
Ива древовидная	5,449	4,154	16,12	10	2462,5	0,371±0,039
Ива кустарниковая	3,562	2,374	22,04	10	1950,0	0,345±0,086
Осина обыкновенная	5,591	3,905	1,15	10	275,0	0,324±0,036

Примечание: *H* – высота; *D* – диаметр; $\rho_{\text{баз}}$ – базисная плотность.

Таблица 3

Характеристика модельных деревьев
Characteristics of model trees

Модельное дерево		<i>D</i> , см	<i>H</i> , м	$V_{\text{ств}}$, м ³	Надземная фитомасса, кг	Масса, кг		
порода	№					ствола	ветвей	листьев
Береза	1	7	10	0,0338	14,3015	12,8935	1,3443	0,0638
	2	12	12	0,1560	74,5568	64,8740	9,3794	0,3034
	3	6	6,5	0,0227	10,5416	7,7930	2,7108	0,0378
	4	3	5	0,0053	3,3337	2,3332	0,9878	0,0127
	5	2	4,5	0,0024	1,7700	0,9506	0,8137	0,0057
	6	2	4,5	0,0028	1,9650	1,0831	0,8687	0,0133
Осина	1	10	7	0,0408	15,7367	13,7208	1,9419	0,0740
	2	10,5	8	0,0627	23,4214	21,7408	1,5971	0,0835
	3	6	4	0,0117	4,6754	3,8138	0,8417	0,0199
	4	8	4	0,0157	5,0937	4,4589	0,6113	0,0235
	5	8,5	8	0,0391	13,2064	11,8516	1,3272	0,0276
	6	6	4	0,0108	4,6179	3,7663	0,8323	0,0193
	7	5	3	0,0040	2,5920	1,2729	1,2861	0,0329
Ива (древесная форма)	1	5	6	0,0156	8,8524	6,5437	2,2565	0,0521
	2	6	5	0,0130	5,6194	5,0908	0,5122	0,0165
	3	6	5	0,0198	9,3267	6,9182	2,3621	0,0465
	4	5	5	0,0115	5,6503	4,1665	1,4196	0,0643
	5	4	3	0,0026	1,5932	0,7775	0,7937	0,0220
Ива (кустарнико- вая форма)	1	6,5	8	0,0474	21,8532	17,3472	4,3042	0,2018
	2	5,5	6	0,0271	12,8140	9,8640	2,8431	0,1070

Примечание: $V_{\text{ств}}$ – объем ствола.

Для каждого спила определяли базисную плотность древесины на высечках по рекомендациям О.И. Полубояринова методом максимальной влажности образцов по формуле [6]:

$$\rho_{\text{баз}} = \frac{1}{\frac{m_w}{m_0} - 0,346},$$

где m_w – масса образца предельно насыщенного влагой, г; m_0 – масса абсолютно сухого образца, г.

Массу абсолютно сухой древесины, кг, определяли по формуле

$$m = \frac{V \rho_{\text{баз}}}{1000},$$

где V – объем древесины, м³.

Далее рассчитывали фитомассу W_d , кг, всей надземной части дерева и отдельно по фракциям (ствол, ветви и листья). Поиски коэффициентов регрессионных уравнений для перечисленных фракций фитомассы (абсолютно сухое состояние) производили в зависимости от диаметра и высоты с использованием уравнения Маркклунда:

$$W_d = \exp\left(b_0 + \frac{b_1 D}{D + g} + b_2 H + b_3 \ln H\right),$$

где b_0, b_1, b_2, b_3, g – коэффициенты регрессионного уравнения [4, 19].

При составлении уравнений использовали процедуру нелинейной множественной регрессии статистического пакета Statgraphics Centurion 18 (метод оптимизации – алгоритм Левенберга–Марквардта).

Для оценки влияния различных параметров на фитомассу было рассчитано значение корреляции по Пирсону:

$$r_{xy} = \frac{\sum(d_x d_y)}{\sqrt{(\sum d_x^2 \cdot \sum d_y^2)}},$$

где d_x и d_y – отклонение от среднего арифметического каждого показателя соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение

Установление аллометрических закономерностей фракционного состава фитомассы деревьев в зависимости от диаметра и высоты требует оценки влияния различных параметров и массы фракций на общую фитомассу и друг на друга. В табл. 4 приводятся значения корреляционного индекса Пирсона для диаметра, высоты и фракционного состава фитомассы. Из данных табл. 4 видно, что высота имеет значительную положительную связь с диаметром, фитомассой ствола и всей надземной части дерева. Заметная связь высоты наблюдается также с массой ветвей и листьев. Диаметр деревьев по сравнению с высотой в целом характеризуется более сильной корреляцией со всеми другими параметрами. Данная закономерность связана с большей вариабельностью диаметров деревьев в насаждении в отличие от их высот. Самая низкая корреляция для показателей диаметра деревьев отмечена с массой ветвей. Различные фракции фитомассы между собой показывают достаточно сильную корреляционную связь.

Таблица 4

**Индекс корреляции Пирсона для фракций фитомассы и основных
таксационных показателей**
**The Pearson correlation coefficient for phytomass fractions and basic inventory
indicators**

Таксационный показатель / фракция	<i>h</i> , м	<i>d</i> , см	Ствол	Ветви	Листья	Общее
			кг			
<i>h</i> , м	1					
<i>d</i> , см	0,8168	1				
Ствол, кг	0,7621	0,8608	1			
Ветви, кг	0,5148	0,7811	0,9150	1		
Листья, кг	0,5666	0,8205	0,8999	0,9444	1	
Общее, кг	0,7381	0,8591	0,9987	0,9344	0,9145	1

В табл. 5 приводятся значения коэффициентов регрессионных уравнений Марклунда и коэффициентов детерминации (R^2). Полученные уравнения в большинстве случаев имеют высокую степень аппроксимации выборки имеющегося фактического материала (высокое значение R^2). Наиболее низкий коэффициент детерминации наблюдается для уравнений фитомассы листьев ивы, что связано с сильной неоднородностью размера кроны в густом возобновлении древесных пород. У ивы в основном отмечено понижение коэффициента для всех фракций фитомассы, так как есть 2 формы – кустарниковая и древовидная. Вероятно, это вызвано сильной конкуренцией за фотосинтетические ресурсы с остальными элементами древостоя, что косвенно подтверждается наиболее низкой корреляцией высоты с фитомассой ветвей и листьев. Однако в целом стоит отметить высокую точность аппроксимации у полученных уравнений.

Таблица 5

**Коэффициенты регрессионных уравнений Марклунда для массы фракций (а.с.с.)
березы, осины и ивы в зависимости от диаметра и высоты деревьев**
**Coefficients of the Marklund's regression equations for the mass fraction (W_d , kg;
absolutely dry weight) of birch, aspen, and willow as a function of tree diameter (*d*, cm)
and height (*h*, m)**

Порода	Фракция фитомассы	Коэффициент регрессионного уравнения					
		b_0	b_1	b_2	b_3	g	R^2
Береза	Надземная	1,0432	13,9788	0,1671	-1,5665	20,5363	0,99
	Ствол	-1,5532	9,9175	0,1834	-0,1699	18,1578	0,99
	Ветви	-0,6039	0	-0,0064	-0,2305	0,0001	0,86
	Листья	-6,4172	-174,055	-0,0449	0,9021	-605,142	0,99
Осина	Надземная	2,48474	-1,74951	0,22698	0,156	-1,43688	0,89
	Ствол	-1,0574	-0,0023	0,28817	0,43528	-3,9799	0,81
	Ветви	3,4099	5,0049	0,8965	-6,9744	1,5284	0,79
	Листья	-0,8802	3,8659	1,4811	-8,9584	-0,1928	0,87
Ива	Надземная	-26,8052	-940,039	-6,3204	36,0197	-2125,34	0,89
	Ствол	-5,5016	0	-0,9244	6,2402	0	0,87
	Ветви	-3,4281	12,3548	-0,5018	2,3303	18,0058	0,79
	Листья	-50,9632	9407,88	-11,0838	61,6926	12693,2	0,71

В табл. 6 показаны значения фитомассы лиственных пород по результатам перечета пробной площади и в пересчете на 1 га. Наибольшей общей фитомассой на 1 га обладает береза, а наименьшей – ива древовидная. Сравнивая полученные данные, можно отметить, что общая надземная фитомасса по сумме фракций (ствол, ветви, листья) по сравнению с рассчитанной по уравнению для березы и ивы древовидной имеет значения соответственно на 14 и 23 % ниже, для осины и ивы кустарниковой – соответственно на 35 и 62 % выше. Такие результаты связаны с естественным отсутствием аддитивности фракционного состава фитомассы.

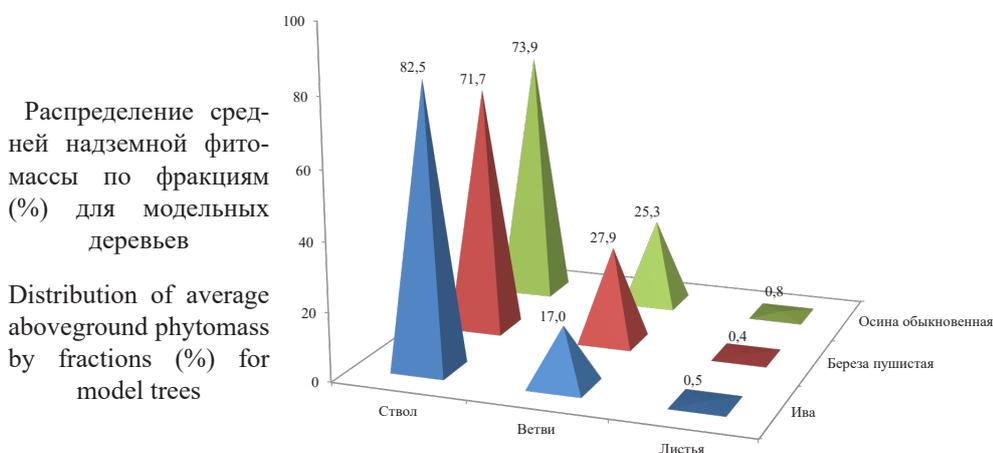
Таблица 6

Значения фракций надземной фитомассы (кг) лиственных пород
Calculated values of aboveground phytomass fractions (kg) of deciduous species

Фитомасса	Древесная порода			
	Береза	Осина	Ива	
			древесная форма	кустарниковая форма
Надземная	3415,69	93,92	479,90	87,27
	42696,13	1174,00	5998,75	1090,88
Ствол	2836,88	95,92	155,36	69,24
	35461,00	1199,00	1942,00	865,50
Ветви	60,17	29,86	212,34	71,64
	752,13	373,25	2654,25	895,50
Листья	14,52	0,65	1,99	0,25
	181,50	8,13	24,88	3,13

Примечание: Верхняя строка – значения для пробной площади; нижняя – для 1 га.

На рисунке приведены данные по процентному распределению надземной фитомассы по фракциям. Наиболее высокий процент массы приходится на ствол у ивы, минимальный – у березы. Максимальной фитомассой ветвей обладает береза, а минимальной – ива. Для всех пород на исследуемом участке характерна незначительная фитомасса листьев (менее 1 %). Максимальная масса листьев отмечена у осины, практически одинакова их масса у березы и ивы.



Почти вся надземная фитомасса исследуемых древесных растений сконцентрирована в одревесневших органах (ствол и ветви), ассимиляционный аппарат вносит малый вклад в формирование надземной фитомассы. Таким образом, древесную растительность, выросшую на старопахотных землях, возможно использовать для производства технологической или топливной щепы с оборотом рубки 10–20 лет.

Заключение

Построенные аллометрические уравнения для расчета различных фракций надземной фитомассы в целом обладают высокими точностью и коэффициентом детерминации. Уравнения для ивы характеризуются более низкой точностью из-за высокой вариабельности биометрических показателей данной породы.

Полученные уравнения позволяют производить расчеты фракционного состава надземной фитомассы лиственных пород на землях, вышедших из сельскохозяйственного оборота, как для экологических, так и для производственных целей. Полученная предварительная оценка запасов наземной фитомассы может быть использована для расчета депонируемого углерода на постагrogenных землях региона исследования.

Данная работа носит пионерный характер для региона и требует проведения дальнейших исследований в целях создания базы данных по количественным и качественным характеристикам насаждений, формируемых на постагrogenных землях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 6. С. 19–25.
Gribov S.E., Korchagov S.A., Khamitov R.S., Evdokimov I.V. Productivity of Stands Formed on Agricultural Lands. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 19–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-19-25>
2. Данилов Д.А., Шестаков В.А., Шестакова Т.А., Эндерс О.О. Сукцессионные стадии восстановления древесной растительности на постагrogenных землях Ленинградской области // Изв. СПбЛТА. 2020. Вып. 233. С. 60–80.
Danilov D.A., Shestakov V.I., Shestakova T.A., Enders O.O. Successional Stages of Restoration of Woody Vegetation on Postagrogenic Lands of the Leningrad Region. *Izvestia sankt-peterburgskoj lesotehniceskoj akademii*, 2020, iss. 233, pp. 60–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2020.233.60-80>
3. Карпин В.А., Петров Н.В., Туунен А.В. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднегаежной подзоны // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 120–129.
Karpin V.A., Petrov N.V., Tuunnen A.V. Regeneration of Forest Phytocoenoses After Various Agricultural Land Use Practices in the Conditions of Middle Taiga Subzone. *Sibirskij Lesnoj Zurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2017, no. 6, pp. 120–129. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>
4. Комаров А.С., Чертов О.Г., Надпорожская М.А., Припутина И.В., Быховец С.С., Ларионова А.А., Грабарник П.Я., Зудин С.Л., Михайлов А.В., Зубкова Е.В., Зудина Е.В., Шанин В.Н., Андриенко Г., Андриенко Н., Мартынкин А.В., Морен Ф., Абакумов Е.В., Лукьянов А.М., Кубасова Т.С., Бахатти Дж., Шоу С., Аннс М., Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Глухова Е.М. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М.: Наука, 2007. 380 с.

Komarov A.S., Chertov O.G., Nadporozhskaya M.A., Pripulina I.V., Bykhovets S.S., Larionova A.A., Grabarnik P.Ya., Zudin S.L., Mikhaylov A.V., Zubkova E.V., Zudina E.V., Shanin V.N., Andriyenko G., Andriyenko N., Martynkin A.V., Moren F., Abakumov E.V., Luk'yanov A.M., Kubasova T.S., Bakhatti Dzh., Shou S., Apps M., Bobrovskiy M.V., Khani-na L.G., Smirnov V.E., Glukhova E.M. *Modeling the Dynamics of Organic Matter in Forest Ecosystems*. Moscow, Nauka Publ., 2007. 380 p. (In Russ.).

5. Новикова М.А., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Хетагуров Х.М., Нгуен В.З. Формирование лесных фитоценозов на заброшенных землях сельскохозяйственного назначения // Аграр. науч. журн. 2016. № 6. С. 29–33.

Novikova M.A., Gryazkin A.V., Belyaeva N.V., Hetagurov Kh.M., Nguyen V.Z. The Formation of Forest Communities on Abandoned Agricultural Lands. *Agrarian Scientific Journal*, 2016, no. 6, pp. 29–33. (In Russ.).

6. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Poluboyarinov O.I. *Density of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 160 p. (In Russ.).

7. Пристова Т.А. Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2020. Т. 24, № 1. С. 5–13.

Pristova T.A. Phytomass of Woody Plants in Post-Harvest Origin Deciduous Forests. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-1-5-13>

8. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Methodological Guidelines for the Study of Dynamics and Biological Cycle in Phytocenoses*. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 143 p. (In Russ.).

9. Сергиенко В.Г. Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // Тр. СПбНИИЛХ. 2018. № 1. С. 74–90.

Sergienko V.G. The Expected Impact of Climate Change on Carbon Balance and Ecosystem Productivity in the Forest Sector of the Russian Federation. *Proceedings of the Saint-Petersburg Forestry Research Institute*, 2018, no. 1, pp. 74–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2018.1.74>

10. Усольцев В.А., Усольцев А.В. Регрессионная модель предельных показателей фитомассы сосновых древостоев // Изв. вузов. Лесн. журн. 2001. № 1. С. 7–14. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/164/1646d127147cadaf3e54397b2a8838ea.pdf>

Usoltsev V.A., Usoltsev A.V. Regression Model of Limiting Phytomass Indices of Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2001, no. 1, pp. 7–14. (In Russ.).

11. Усольцев В.А., Цепордей И.С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 178 с.

Usoltsev A.V., Tsepordey I.S. *Qualimetry of Phytomass of Forest Trees: Density and Dry Matter Content*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2020. 178 p. (In Russ.).

12. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы, осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6. С. 36–46.

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Ya.I. Allometric Equations for Phytomass Based on the Data on Pine, Spruce, Birch and Aspen Trees in European Russia. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 1996, no. 6, pp. 36–46. (In Russ.).

13. Феклистов П.А., Турикова Т.В., Аверина М.В. Роль типов леса в смене пород на старопашотных землях Кенозерского национального парка // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2016. Т. 20, № 6. С. 39–43.

Feklistov P.A., Turikova T.V., Averina M.V. The Role of Forest Types in the Change of Species to Cultivated Lands of Kenozero National Park. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2016, vol. 20, no. 6, pp. 39–43. (In Russ.).

14. Danilov D.A., Shestakova T.A., Shestakova V.I., Anders O.O., Ivanov A.A. The Effect of Living Ground Cover on the Development of the Young Generation of Tree Species on Post-Agrogenic Lands of the Boreal Zone. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, no. 574, art. 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012015>
15. Domke G.M., Woodall C.W., Smith J.E., Westfall J.A., McRoberts R.E. Consequences of Alternative Tree-Level Biomass Estimation Procedures on U.S. Forest Carbon Stock Estimates. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 270, pp. 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.022>
16. Grădinaru S.R., Kienast F., Psomas A. Using Multi-Seasonal Landsat Imagery for Rapid Identification of Abandoned Land in Areas Affected by Urban Sprawl. *Ecological Indicators*, 2019, vol. 96, part 2, pp. 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.022>
17. Kukuļs I., Kļaviņš M., Nikodemus O., Kasparinskis R., Brūmelis G. Changes in Soil Organic Matter and Soil Humic Substances Following the Afforestation of Former Agricultural Lands in the Boreal-Nemoral Ecotone (Latvia). *Geoderma Regional*, 2019, vol. 16, art. e00213. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00213>
18. Mahajan V., Choudhary P., Raina N.S., Sharma P. Carbon Sequestration Potential of Trees in Arable Land-Use and Allometric Modelling for Dominant Tree Species in Sub-Tropics of Jammu and Kashmir. *Journal of Environmental Biology*, 2021, vol. 42, no. 2, pp. 414–419. [https://doi.org/10.22438/jeb/42/2\(SI\)/SI-245](https://doi.org/10.22438/jeb/42/2(SI)/SI-245)
19. Marklund L.G. *Biomass Functions for Pine, Spruce and Birch in Sweden*. Report 45. Umea, Swedish University of Agricultural Sciences, 1988. 73 p.
20. Nogueira F.C.B., Dobe E.K., Silva Filho J.B., Rodrigues L.S. Allometric Equations to Estimate Aboveground Biomass of *Dalbergia cearensis* Species in the Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 484, art. 118920. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118920>
21. Ovsepyan L., Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Ya. Recovery of Organic Matter and Microbial Biomass After Abandonment of Degraded Agricultural Soils: The Influence of Climate. *Land Degradation & Development*, 2019, vol. 30, iss. 15, pp. 1861–1874. <https://doi.org/10.1002/ldr.3387>
22. Pothong T., Elliott S., Chairuang Sri S., Chanthorn W., Shannon D.P., Wangpakattananawong P. New Allometric Equations for Quantifying Tree Biomass and Carbon Sequestration in Seasonally Dry Secondary Forest in Northern Thailand. *New Forests*, 2022, vol. 53, pp. 17–36. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09844-3>
23. Segura C., Navarro F.B., Jiménez M.N, Fernández-Ondoño E. Implications of Afforestation vs. Secondary Succession for Soil Properties Under a Semiarid Climate. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 704, art. 135393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135393>
24. Tabacchi G., Di Cosmo L., Gasparini P. Aboveground Tree Volume and Phytomass Prediction Equations for Forest Species in Italy. *European Journal of Forest Research*, 2011, vol. 130, iss. 6, pp. 911–934. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0481-9>
25. Volkova I., Solodunov A., Kondratenko L. Composition and Structure of Regrowth Forests on Abandoned Agricultural Land. *Journal of Forest Science*, 2020, vol. 66, pp. 436–442. <https://doi.org/10.17221/100/2020-JFS>
26. Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E. The Enhancing Effect of Afforestation Over Secondary Succession on Soil Quality Under Semiarid Climate Conditions. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 652, pp. 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article