

Научная статья  
УДК 630.5

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ В ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА НА ГОРЕ МАЛЫЙ ИРЕМЕЛЬ

Зуфар Ягфарович Нагимов<sup>1</sup>, Павел Александрович Моисеев<sup>2</sup>, Ирина Владимировна Шевелина<sup>3</sup>, Татьяна Сергеевна Воробьева<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Институт растений и животных Уральского отделения РАН,  
Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> nagimovzy@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> moiseev@ipae.uran.ru

<sup>3</sup> shevelinaiv@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> vorobyevats@m.usfeu.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований зависимостей фитомассы стволов и крон деревьев ели от их диаметра в условиях верхней границы леса горного массива Малый Иремель. Установлено, что на характер этих зависимостей заметное влияние оказывает расположение древостоев относительно уровня моря. У деревьев ели одинакового диаметра по мере продвижения в гору фитомасса стволов закономерно уменьшается, а фитомасса крон, наоборот, увеличивается. Это обуславливает существенное повышение доли крон в общей массе таких деревьев с повышением высоты над уровнем моря.

**Ключевые слова:** гора Малый Иремель, древостои ели, регрессионный анализ фитомасса стволов, фитомасса крон

**Благодарности:** работа выполнена в рамках исполнения госбюджетной темы FEUG-2023-0002.

Original article

## FEATURES OF THE FORMATION OF THE PHYTOMASS OF SPRUCE TREES IN THE UPPER BORDER OF THE FOREST ON MOUNT MALY IREMEL

Zufar Ya. Nagimov<sup>1</sup>, Pavel A. Moiseev<sup>2</sup>, Irina V. Shevelina<sup>3</sup>, Tatiana S. Vorobyeva<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Plants and Animals of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

---

© Нагимов З. Я., Моисеев П. А., Шевелина И. В., Воробьева Т. С., 2024

<sup>1</sup> nagimovzy@m.usfeu.ru

<sup>2</sup> moiseev@ipae.uran.ru

<sup>3</sup> shevelinaiv@m.usfeu.ru

<sup>4</sup> vorobyevats@m.usfeu.ru

**Abstract.** The article presents the results of studies of the dependence of the phytomass of trunks and crowns of spruce trees on their diameter in the conditions of the upper edge of the forest of the Maly Iremel mountain massif. It has been established that the nature of these dependencies is significantly influenced by the location of stands relative to sea level. In spruce trees of the same diameter, as you move uphill, the phytomass of the trunks naturally decreases, and the phytomass of the crowns, on the contrary, increases. This causes a significant increase in the proportion of crowns in the total mass of such trees with an increase in altitude above sea level.

**Keywords:** Maly Iremel mountain, spruce stands, regression analysis of trunk phytomass, crown phytomass

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the execution of the state budget theme FEUG-2023-0002.

Потепление климата планеты в последние десятилетия заметно повысило интерес исследователей к изучению и оценке реакции лесных экосистем на это глобальное явление. Общеизвестно, что к изменению климатических условий наиболее чувствительны насаждения, произрастающие в высокоширотных и высокогорных областях. Следовательно, они являются очень перспективными объектами при оценке процессов формирования, роста и развития лесных сообществ в условиях изменяющегося климата. Верхняя граница распространения древесной растительности в горах считается наиболее важным ботаническим и индикаторным рубежом [1]. Поэтому в настоящее время особую актуальность приобретают лесоводственно-таксационные исследования лесных насаждений в этих экстремальных условиях. Их результаты необходимы для оценки смещения верхней границы леса, экологической и биосферной роли растительности, произрастающей в этих условиях.

Следует отметить, что наблюдающееся в горах смещение верхнего предела произрастания древесно-кустарниковой растительности вверх по вертикали свидетельствует об увеличении площади насаждений, аккумулирующих углерод на длительный срок. Для оценки роли данных насаждений в углеродном бюджете лесов необходимы целенаправленные исследования их роста и фитомассы.

В настоящее время наиболее обоснованным и корректным является определение запасов фитомассы древостоев на основе данных перечета деревьев по ступеням диаметра. В этой связи основной целью данной работы

явилась оценка особенностей формирования фитомассы деревьев в высокогорных условиях на основе исследований характера зависимости отдельных ее фракций от диаметра на высоте груди.

Исследования проводились на высотном профиле, заложенном в пределах лесотундрового экотона на склоне юго-западной экспозиции горного массива Малый Ирмель (Южный Урал) в соответствии с методикой международного научного проекта INTAS-01-0052. На данном профиле были зафиксированы три высотных уровня: первый – на высоте 1360 м над уровнем моря, второй – на высоте 1300 м и третий – на высоте 1260 м. На высотных уровнях закладывались по шесть пробных площадок площадью 400 м<sup>2</sup> (20 × 20 м). На всех пробных площадках для каждого дерева присваивался номер и устанавливались порода, координаты, высота и диаметр ствола, диаметр и длина кроны и возраст (по буровым кернам). Модельные деревья на каждом высотном уровне в количестве 10–30 шт. отбирались за пределами площадок в пределах всей амплитуды варьирования их диаметров в древостоях. У них, помимо традиционных таксационных показателей, определялась надземная фитомасса по фракциям с учетом известных методических указаний [2]. Причем масса стволов, крон, охвоенной части ветвей (древесной зелени), отмерших ветвей и генеративных органов определялась непосредственным взвешиванием на электронных весах, а хвои – по навескам древесной зелени. Перевод фитомассы фракций в абсолютно сухое состояние осуществлялся по пробным образцам.

Таксационные показатели насаждений ели на каждом высотном уровне определялись в соответствии с общепринятыми методами. Установлено, что при переходе от нижнего уровня к верхнему заметно уменьшаются средний диаметр (от 10,4 до 5,5 см), средняя высота (от 5,3 до 1,7 м), средний возраст (от 64 до 36 лет) и относительная полнота (от 0,52 до 0,15) древостоев. Результаты регрессионного анализа показали, что связи массы фракций деревьев от их диаметра носят криволинейный характер и наиболее корректно описываются степенной функцией:

$$Y = aX^b. \quad (1)$$

Эта функция, при исследовании подобных связей, используется многими авторами [3, 4]. На рис. 1 показана зависимость абсолютно сухой массы стволов от их диаметра по всей совокупности модельных деревьев, взятых на исследуемых высотных уровнях. Анализ его данных свидетельствует, что на характер исследуемой зависимости определенное влияние оказывает местоположение древостоев по высотному профилю: на графике экспериментальные точки нижележащих уровней в большинстве случаев располагаются выше, чем вышележащих.

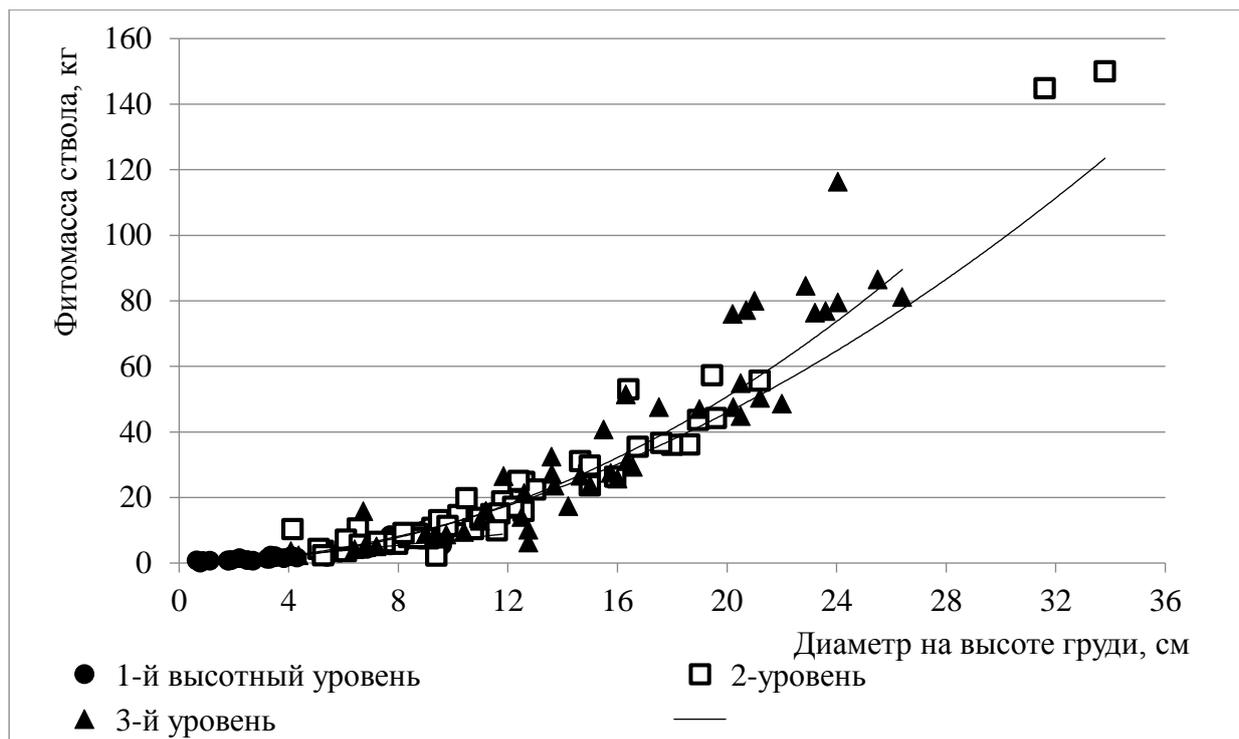


Рис. 1. Зависимость фитомассы стволов от их диаметра на разных высотных уровнях

Разработанные отдельно по высотным уровням уравнения имеют следующие конкретные выражения:

$$\text{для первого уровня } P_c = 0,4153 D^{1,2374}, \quad R^2=0,855; \quad (2)$$

$$\text{для второго уровня } P_c = 0,1613D^{1,8862}, \quad R^2=0,967; \quad (3)$$

$$\text{для третьего уровня } P_c = 0,1112D^{2,0442}, \quad R^2=0,874, \quad (4)$$

где  $P_c$  – фитомасса ствола в абсолютно сухом состоянии, кг;

$D$  – диаметр ствола на высоте груди, см;

$R^2$  – коэффициент детерминации.

Уравнения (2) – (4) характеризуются высокими значениями коэффициента детерминации и корректны экспериментальным материалам.

На рис. 2 представлена зависимость общей фитомассы крон деревьев ели в абсолютно сухом состоянии от их диаметра. Характер данной зависимости также зависит от высоты расположения древостоев относительно уровня моря. Однако в этом случае, за редким исключением, линии зависимости на графике располагаются тем ниже, чем выше высота над уровнем моря. Конкретные уравнения связи фитомассы крон ( $P_k$ ) от диаметра деревьев оказались следующими:

$$\text{для первого уровня } P_k = 0,8979 D^{1,1973}, \quad R^2 = 0,559; \quad (5)$$

$$\text{для второго уровня } P_k = 0,1049D^{2,008}, \quad R^2 = 0,8545; \quad (6)$$

$$\text{для третьего уровня } P_k = 0,1563D^{1,808}, \quad R^2 = 0,816. \quad (7)$$

Уравнения (5) – (7) характеризуются несколько меньшими значениями коэффициента детерминации, чем уравнения (2) – (4). Это вполне объяснимо. Известно, что фитомасса кроны – более изменчивый показатель, чем фитомасса стволов. Несмотря на вышеизложенное, уравнения (5) – (7) можно считать вполне адекватными и корректными экспериментальным данным.

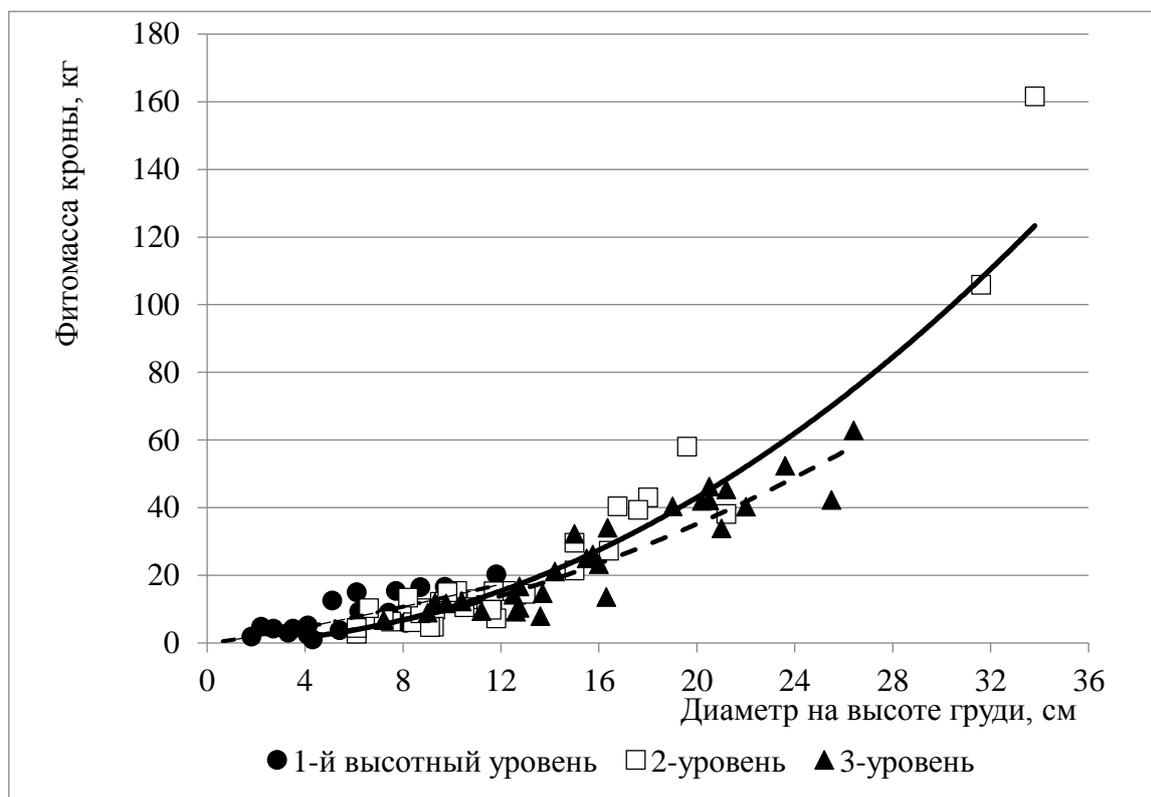


Рис. 2. Зависимость фитомассы кроны от диаметра стволов на разных высотных уровнях

На основе уравнений (2) – (7) разработана таблица, данные которой дают наглядное представление об изменении фитомассы стволов и кроны в зависимости от диаметра деревьев. При ее составлении область применения уравнений ограничивалась с учетом диапазона варьирования диаметров деревьев в соответствующих высотных уровнях.

Анализ данных приведенной таблицы позволяет отметить следующее. При одинаковой толщине абсолютно сухая масса стволов уменьшается с увеличением высоты расположения древостоев относительно уровня моря. Отклонения от этой закономерности незначительны и наблюдаются только в маломерных ступенях толщины. Вероятно, это связано с особенностями выборки модельных деревьев. Указанная закономерность, на наш взгляд, объясняется снижением высоты стволов (следовательно, и их объема) у деревьев одинакового диаметра по мере поднятия в гору. Количественное подтверждение ее можно найти в нашей предыдущей работе [5].

Фитомасса крон деревьев одинакового диаметра с повышением высоты над уровнем моря, наоборот, увеличивается. Данное обстоятельство связано с возрастным изменением ранга деревьев одинаковых размеров. Как отмечалось ранее, с увеличением высоты над уровнем моря существенно снижается возраст деревьев ели [5]. Ступени толщины, относящиеся в молодых древостоях к высшим, в которых деревья имеют наиболее развитые кроны, в древостоях старшего возраста, как правило, являются средними или даже низшими с угнетенными особями.

### Изменение фитомассы деревьев ели в зависимости от их диаметра на разных высотных уровнях

Диаметр, см	Фитомасса по высотным уровням, кг					
	Верхний (1)		Средний (2)		Нижний (3)	
	ствола	кроны	ствола	кроны	ствола	кроны
2	0,979	2,052	–	–	–	–
4	2,309	4,689	2,204	1,697	–	–
6	3,813	7,604	4,736	3,831	4,333	3,989
8	5,443	10,715	8,148	6,826	7,802	6,710
10	7,174	13,981	12,412	10,685	12,311	10,045
12	–	–	17,506	15,409	17,872	13,967
14	–	–	23,413	20,999	24,492	18,457
16	–	–	30,119	27,457	32,179	23,497
18	–	–	37,612	34,783	40,939	29,073
20	–	–	45,881	42,978	50,777	35,174
22	–	–	54,918	52,043	61,700	41,789
24	–	–	64,713	61,978	73,711	48,908
26	–	–	75,259	72,785	86,815	56,524
28	–	–	86,549	84,463	101,015	64,628
30	–	–	98,578	97,014	116,315	73,214
32	–	–	111,339	110,437	132,718	82,275
34	–	–	124,827	124,734	150,229	91,806

Процентные соотношения фракций надземной фитомассы деревьев также зависят от высоты над уровнем моря. Доля крон в общей фитомассе деревьев на нижнем уровне колеблется в пределах от 37,9 до 46,2 %, на среднем – от 43,5 до 50,0 %, на верхнем – от 66,1 до 67,7 %. Эти показатели существенно выше аналогичных данных, полученных в равнинных условиях в ельниках более высокой полноты и производительности [6]. Повышение удельного веса фитомассы крон в общей надземной фитомассе деревьев с ухудшением условий местопроизрастания, уменьшением полноты (сожнутости древесного полога) и возраста древостоев в специальной литературе является известным фактом [3, 4].

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать следующие обобщения и выводы. В условиях верхней границы леса, как

и в равнинных лесах, зависимости фитомассы стволов и крон деревьев от их диаметра наиболее корректно описываются степенной функцией. На характер этих зависимостей заметное влияние оказывает расположение древостоев относительно уровня моря. У деревьев ели одинакового диаметра по мере повышения высоты над уровнем моря фитомасса стволов закономерно уменьшается, а фитомасса крон, наоборот, увеличивается. Уменьшение массы стволов главным образом объясняется закономерным снижением высоты стволов (уменьшением разряда высот) у деревьев одинаковой толщины с продвижением в гору. Отмеченное увеличение фитомассы крон в первую очередь связано с повышением ранга деревьев одной и той же толщины с уменьшением их возраста.

Деревья ели одинаковой толщины, произрастающие на разных высотных уровнях, существенно различаются и по процентному соотношению фитомассы стволов и крон между собой. Доля их крон закономерно повышается от нижнего уровня к верхнему. Данное обстоятельство объясняется ухудшением условий местопроизрастания, уменьшением полноты (сомкнутости древесного полога) и возраста древостоев по мере продвижения в гору.

### *Список источников*

1. Горчаковский П. Л., Шиятов С. Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М. : Наука, 1985. 209 с.
2. Усольцев В. А. Методы таксации фитомассы деревьев. Свердловск : УЛТИ, 1988. 43 с.
3. Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск : Наука, 1985. 192 с.
4. Нагимов З. Я. Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Зуфар Ягфарович Нагимов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2000. 40 с.
5. Особенности роста и формирования фитомассы древостоев ели в высокогорьях Южного Урала (на примере г. Малый Ирмель) / З. Я. Нагимов [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 4–5 (XXIV). С. 427–430.
6. Усольцев В. А. Фитомасса модельных деревьев лесобразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург : УГЛТУ. 2016. 336 с.