

УДК 630\*52

**ФЕКЛИСТОВ Павел Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 236 научных публикаций, в т. ч. 6 монографий

**КУННИКОВ Фёдор Александрович**, аспирант кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор одной научной публикации

**КЛЕВЦОВ Денис Николаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 20 научных публикаций, в т. ч. одной монографии

**ХАБАРОВА Елена Павловна**, аспирант кафедры экологии и защиты леса лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор одной научной публикации

## **ЗАВИСИМОСТЬ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОТ ДИАМЕТРА В СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНЫХ**

Проблема биологической продуктивности в учении об экосистемах (в т. ч. лесных) порождает ряд исследований, связанных с целым комплексом вопросов образования, трансформации и аккумуляции органического вещества, включая анализ факторов, обуславливающих продуктивность.

Результаты проведенного исследования актуальны с практической точки зрения, поскольку различные фракции фитомассы древостоев имеют большое хозяйственное значение. Полученные данные позволяют оценивать потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы, а также могут быть использованы при осуществлении лесного мониторинга и экологических программ.

Были изучены сосновые черничные насаждения естественного и искусственного происхождения, произрастающие в северной подзоне тайги Европейского Севера России. Фитомасса определялась путем непосредственного взвешивания по фракциям: сухих сучьев, сырых веток, древесной зелени, ствола в коре и без нее.

Приведены данные о взаимосвязи фитомассы разных фракций деревьев сосны с их таксационным диаметром на высоте 1,3 м в естественных сосняках и лесных культурах. Определена теснота связи. Выявлены уравнения, наилучшим образом описывающие эти зависимости. Проанализированы полученные модели и составлены таблицы для определения надземной фитомассы.

Теснота связи между таксационным диаметром дерева на высоте груди и фитомассой отдельных фракций высокая и очень высокая.

Больше всего для описания зависимости фитомассы фракций от диаметра подходит степенная функция  $y = ax^b$ .

Регрессионные модели взаимосвязи фитомассы разных фракций с диаметром на высоте 1,3 м для деревьев в посевах сосны и сосновых естественных насаждениях близки.

Выявлена высокая корреляционная зависимость между диаметром деревьев и массой фракций, которая с возрастом увеличивается.

**Ключевые слова:** надземная фитомасса, диаметр, уравнения зависимостей, естественные насаждения, лесные культуры, сосняки черничные, северная подзона тайги.

Фитомасса деревьев является важным показателем для оценки чистой первичной продуктивности лесных экосистем [9]. Определение фитомассы связано с трудоемкими работами непосредственно в лесу, в связи с чем является важным исследование взаимосвязей разных фракций фитомассы с легко измеряемыми показателями. Существует большое количество публикаций по вопросу взаимосвязей массы фракций отдельных деревьев с диаметром на высоте груди, высотой, поперечным сечением, показателем  $D^2H$ , а также возрастом и др. Например, М.Л. Дворецкий [5] занимался изучением показателей связи между высотой и фитомассой, И.В. Семечкин и М.Г. Семечкина [8] исследовали зависимость между диаметром, площадью сечения,  $D^2H$  и массой фракций фитомассы, Н.А. Бабич и Г.И. Травникова [2] рассматривали связь между возрастом и массой фракций фитомассы. А.Ф. Чмыр и В.Н. Куликова [11] доказали, что между показателем  $D^2H$  и массой отдельных фракций фитомассы ели разных категорий угнетенности имеется достаточно тесная связь. В то же время на Европейском Севере этот вопрос изучен недостаточно [1], что объясняется, в частности, региональными особенностями роста деревьев [7, 12].

Для изучения фитомассы нами были заложены пробные площади в естественных сосновых насаждениях на территории Исакогорского участкового лесничества (4 участка) и в культурах сосны, находящиеся в Усть-Двинском участковом лесничестве Ар-

хангельского лесничества (2 участка). Посев лесных культур сосны был произведен в 1962 году. Все пробные площади представляют собой насаждения черничного типа леса, чистые по составу, с небольшой примесью березы и смешанные.

При проведении полевых исследований применялись общепринятые методики исследований лесных культур [6] и естественных насаждений [3, 4, 10].

После общего изучения насаждений были взяты 46 модельных деревьев, по 6–7 из разных ступеней толщины. После валки у них измеряли длину ствола, расстояние от комля до первого сухого и первого живого сучков, протяженность кроны, диаметр на высоте 1,3 м. Затем модели тщательно изучались по элементам фитомассы в сыром виде путем взвешивания по фракциям: сухих сучьев, сырых веток, древесной зелени, ствола в коре и без нее. Взвешивание проводилось с точностью  $\pm 100$  г.

Анализ полученных данных показал, что между таксационным диаметром и фракциями фитомассы существует довольно тесная корреляционная связь (табл. 1). Теснота связи характеризуется как высокая и очень высокая. Все рассчитанные коэффициенты достоверны. Критерий Стьюдента колеблется от 7–8 до 1600 при критическом значении 4. Более стабильные и высокие показатели имеет зависимость между диаметром деревьев и фитомассой стволовой древесины. Коэффициенты корреляции колеблются от 0,919 в естественных сосняках черничных до 0,996 в лес-

Таблица 1

**ТЕСНОТА СВЯЗИ МЕЖДУ ДИАМЕТРОМ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ  
И ФИТОМАССОЙ ФРАКЦИЙ**

Класс возраста	Происхождение насаждения	Коэффициент корреляции	Основная ошибка	Достоверность коэффициента корреляции	Коэффициент детерминации	Теснота связи (по М.Л. Дворецкому)
<i>Диаметр и масса сухих сучьев</i>						
2	Естественное	0,926	0,0400	24,4	0,8575	Очень высокая
3	Естественное	0,916	0,0462	19,8	0,8391	Очень высокая
4	Естественное	0,985	0,0116	233,4	0,9702	Очень высокая
2	Лесные культуры	0,767	0,0921	8,3	0,5776	Высокая
3	Лесные культуры	0,783	0,1167	6,7	0,6131	Высокая
<i>Диаметр и масса сырых ветвей</i>						
2	Естественное	0,963	0,0192	50,0	0,9274	Очень высокая
3	Естественное	0,870	0,0704	12,4	0,7569	Высокая
4	Естественное	0,994	0,0043	218,5	0,9880	Очень высокая
2	Лесные культуры	0,874	0,0747	13,0	0,7639	Высокая
3	Лесные культуры	0,896	0,0623	14,4	0,8028	Высокая
<i>Диаметр и масса древесной зелени</i>						
2	Естественное	0,926	0,0379	24,4	0,8575	Очень высокая
3	Естественное	0,916	0,0467	19,6	0,8391	Очень высокая
4	Естественное	0,994	0,0455	310,2	0,9880	Очень высокая
2	Лесные культуры	0,913	0,0526	17,4	0,8336	Очень высокая
3	Лесные культуры	0,937	0,0369	25,4	0,8780	Очень высокая
<i>Диаметр и масса коры</i>						
2	Естественное	0,983	0,0090	109,8	0,9880	Очень высокая
3	Естественное	0,976	0,0138	70,7	0,9525	Очень высокая
4	Естественное	0,999	0,0006	1639,0	0,9980	Очень высокая
2	Лесные культуры	0,907	0,0562	16,1	0,8226	Очень высокая
3	Лесные культуры	0,999	0,0006	1639,0	0,9980	Очень высокая
<i>Диаметр и масса стволовой древесины</i>						
2	Естественное	0,919	0,0415	22,1	0,8446	Очень высокая
3	Естественное	0,977	0,0133	73,7	0,9545	Очень высокая
4	Естественное	0,996	0,0321	310,2	0,9920	Очень высокая
2	Лесные культуры	0,995	0,0250	38,2	0,9841	Очень высокая
3	Лесные культуры	0,996	0,0321	310,2	0,9920	Очень высокая

Примечание. Корреляционное отношение не рассчитывалось из-за недостатка данных.

## БИОЛОГИЯ

ных культурах. Интересно, что теснота связи фитомассы этой фракции с диаметром увеличивается с возрастом как в естественных насаждениях, так и в культурах. Например, если во 2-м классе возраста теснота связи оценивалась коэффициентом корреляции 0,919, то в 4-м классе – уже 0,996.

Коэффициент детерминации свидетельствует о том, что в естественных насаждениях во 2-м классе возраста фитомасса древесины на 84 % обусловлена диаметром ствола, а в 4-м классе возраста – уже на 99 %. В лес-

лена другими причинами. По-видимому, это связано с размещением деревьев по площади и густотой культур.

Анализируя пригодность 29 регрессионных уравнений для отражения связи фракций фитомассы с диаметром деревьев на высоте груди, можно отметить, что для характеристики изучаемых нами сосновых насаждений наиболее подходят четыре. Лучшие результаты дает степенное уравнение, которое используется в 18 случаях из 30 (60 %) (табл. 2).

Таблица 2

**ПРИГОДНОСТЬ МОДЕЛЕЙ РЕГРЕССИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАССЫ ФРАКЦИЙ ФИТОМАССЫ ОТ ДИАМЕТРА, число случаев/%**

Модель регрессии	Фракции фитомассы					Всего
	сухие сучья	сырые ветви	древесная зелень	кора	стволовая древесина	
$y = ae^{bx}$	1/3	–	–	–	–	1/3
$y = a + bx + cx^2$	1/3	1/3	1/4	–	–	3/10
$y = ax^b$	1/3	3/10	3/10	5/17	6/20	18/60
$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	3/10	2/7	2/7	–	1/3	8/27

ных культурах этот показатель выше. В тех же классах возраста фитомасса древесины обусловлена диаметром на 98–99 % и лишь на 1–2 % другими причинами.

Фракции древесной зелени и коры также имеют очень высокую зависимость от диаметра ствола. Коэффициенты корреляции для зависимости «диаметр – масса древесной зелени» находятся в пределах 0,913–0,994, а для зависимости «диаметр – масса коры» – 0,907–0,999.

В естественных сосняках черничных отмечена тесная связь массы сухих сучьев и сырых ветвей с диаметром. В то же время в лесных культурах эти зависимости более слабые. Масса сухих сучьев зависит от диаметра лишь на 58–61 %, а масса сырых ветвей – на 76–80 %, примерно на 20–40 % она обуслов-

Общий вид этого уравнения:  $y = ax^b$ . Также хорошо отражает рассматриваемые зависимости уравнение  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$  (27 %), особенно при определении массы кроны (сырые ветви и древесная зелень, сухие сучья).

На основе степенного уравнения  $y = ax^b$  были созданы регрессионные модели взаимосвязи фракций фитомассы сухих сучьев, ветвей, древесной зелени, древесины и коры от таксационного диаметра деревьев. Оказалось, что и для культур, и для естественных древостоев модели фактически одинаковы. Различаются они лишь тем, что для лесных культур крайне мало или нет данных фитомассы разных фракций для крупных диаметров. Причина этого состоит в том, что фактически в культурах не было деревьев с крупными диаметрами. Для наиболее важ-

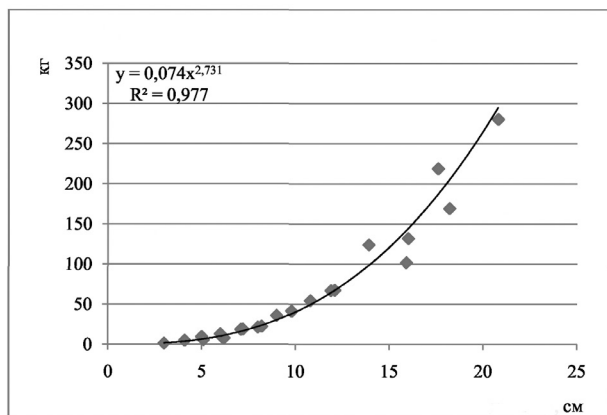


Рис. 1. Зависимость фитомассы древесины от диаметра деревьев в естественных насаждениях

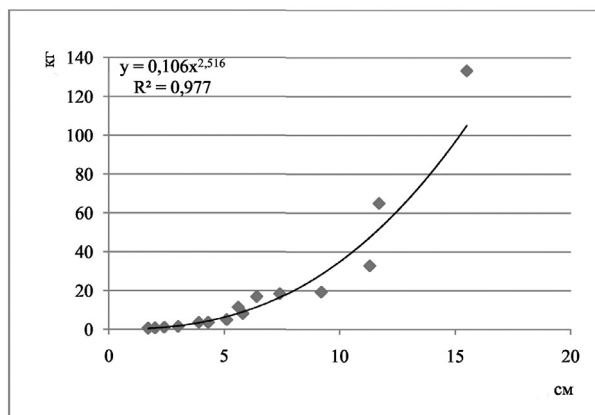


Рис. 2. Зависимость фитомассы древесины от диаметра деревьев в лесных культурах

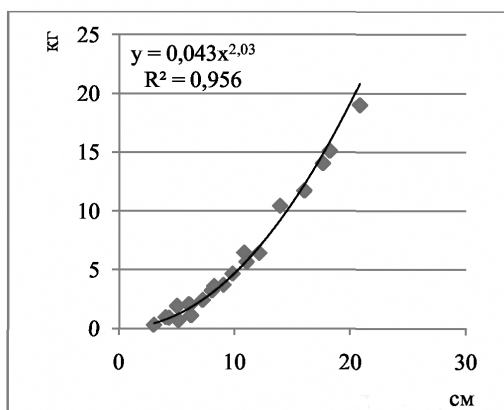
ной составляющей фитомассы – древесины – модели и для культур, и для естественных насаждений дают один и тот же результат (рис. 1 и 2). В связи с этим остальные модели мы приводим только для естественных сосняков черничных (рис. 3 и 4).

На основании полученных данных нами составлены таблицы для определения разных

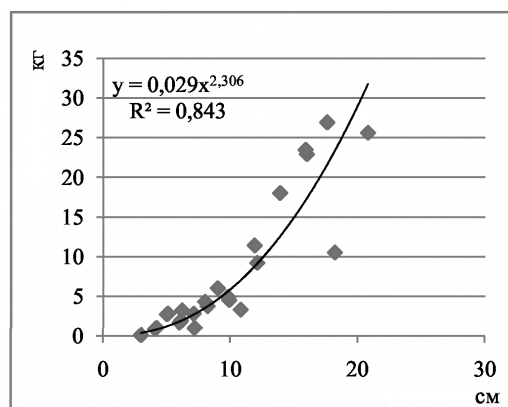
фракций фитомассы деревьев сосны в сосняках черничных по диаметру деревьев на высоте груди (табл. 3, 4).

В результате проведенных нами исследований сделаны следующие выводы:

1) Теснота связи между диаметром дерева на высоте груди и фитомассой отдельных фракций высокая и очень высокая, коэффици-

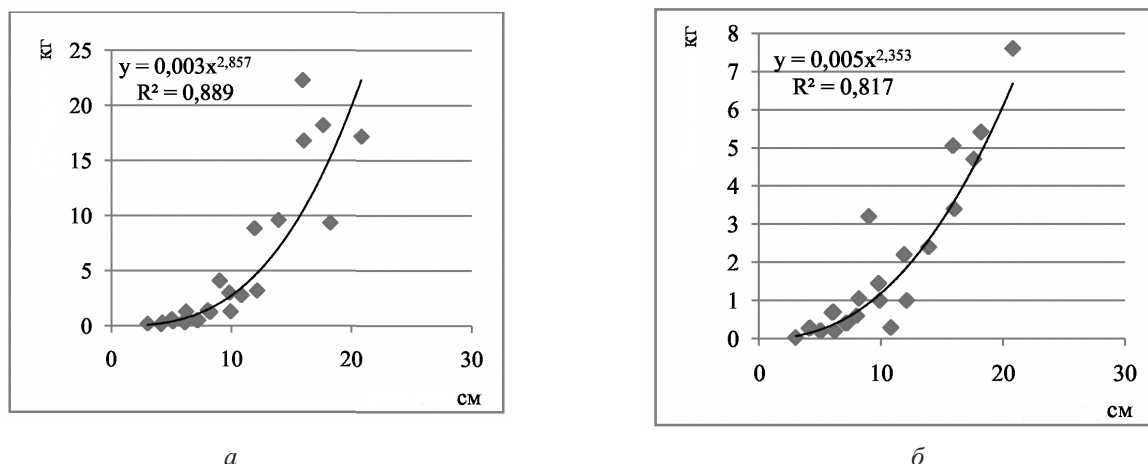


а



б

Рис. 3. Зависимость фитомассы коры деревьев (а) и древесной зелени (б) от диаметра в естественных насаждениях



**Рис. 4.** Зависимость фитомассы ветвей деревьев (а) и сухих сучьев (б) от диаметра в естественных насаждениях

ент корреляции находится в интервале от 0,767 до 0,999. Достоверность этого коэффициента корреляции – от 6,7 до 1638,0;

2) Наилучшие результаты для построения моделей зависимости фитомассы фракций от диаметра дает степенная функция  $y = ax^b$ ;

3) Установлено, что регрессионные модели взаимосвязи фитомассы (сухие сучья, ветви, древесная зелень, древесина и кора) и диаметра

на высоте груди для деревьев в культурах и для сосны естественных насаждений близки;

4) Между диаметром деревьев в древостоях и массой фракций существует высокая корреляционная зависимость, а с возрастом она становится более тесной;

5) Получены таблицы для определения фракций фитомассы деревьев по диаметру на высоте груди.

Таблица 3

**ФИТОМАССА ФРАКЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ РАЗНОГО ДИАМЕТРА В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ В СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНЫХ**

Диаметр, см	Фитомасса, кг					
	сухие сучья	ветви	древесная зелень	древесина	кора	общая
4	0,19	0,16	0,71	3,26	0,66	4,98
6	0,48	0,50	1,81	9,87	1,80	14,46
8	0,83	1,14	3,51	21,66	3,23	30,37
10	1,28	2,16	5,87	39,83	4,93	54,07
12	1,88	3,63	8,93	65,54	6,91	86,89
14	2,68	5,64	12,75	99,84	9,17	130,08
16	3,73	8,27	17,34	143,78	11,71	184,83
18	5,08	11,57	22,75	198,33	14,54	252,27
20	6,77	15,64	29,01	264,45	17,64	333,51
22	8,85	20,53	36,14	343,07	21,02	429,61

Таблица 4

**ФИТОМАССА ФРАКЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ РАЗНОГО ДИАМЕТРА  
В ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ В СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНЫХ**

Диаметр, см	Фитомасса, кг					
	сухие сучья	ветви	древесная зелень	древесина	кора	общая
4	0,13	*	0,89	3,47	0,68	5,17
6	0,16	0,51	2,14	9,62	1,43	13,86
8	0,21	1,54	3,99	19,84	2,44	28,02
10	0,32	2,82	6,46	34,78	3,69	48,07
12	0,55	4,37	9,59	55,02	5,17	74,70
14	0,93	6,19	13,40	81,09	6,88	108,49
16	1,52	8,26	17,90	113,47	8,81	149,96

Примечание. \* – ветви входят в состав древесной зелени.

### Список литературы

1. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск, 1998. 89 с.
2. Бабич Н.А., Травникова Г.И. Структура фитомассы сосняков искусственного происхождения борового экологического ряда // Лесн. журн. 1990. № 3. С. 10–16.
3. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М., 1971. 23 с.
4. ГОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М., 1984. 60 с.
5. Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике. М., 1971. 104 с.
6. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л., 1967. 49 с.
7. Полевой справочник таксатора для таежных лесов Европейского Севера / И.И. Гусев, В.И. Калинин, О.А. Неволин, Н.М. Нефедов и др. Вологда, 1971. 196 с.
8. Семечкина М.Г., Семечкин И.В. Оценка методов определения надземной фитомассы сосновых древостоев // Исследования биологических ресурсов средней тайги Сибири. Красноярск, 1973. С. 105–115.
9. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продуктивность лесов Евразии. Екатеринбург, 2010. 572 с.
10. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск, 2010. 201 с.
11. Чмыр А.Ф., Куликова В.Н. Лесные культуры: программа и методические указания по использованию ЭВМ при обработке полевых материалов. Л., 1990. 22 с.
12. Чупров Н.П. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР. Архангельск, 1986. 258 с.

### References

1. Babich N.A., Merzlenko M.D. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur* [Biological Productivity of Artificial Forest Stands]. Arkhangelsk, 1998. 89 p.
2. Babich N.A., Travnikova G.I. *Struktura fitomassy sosnyakov iskusstvennogo prois-khozheniya borovogo ekologicheskogo ryada* [Phytomass Structure of Artificial Pine Stands]. *Lesnoy zhurnal*, 1990, no. 3, pp. 10–16.
3. *State Standard 16128–70. Sample Forest Plots. Establishment Method*. Moscow, 1971. 23 p. (in Russian).
4. *Industry Standard 56–69–83. Sample Forest Plots. Establishment Method*. Moscow, 1984. 60 p. (in Russian).

5. Dvoretzkiy M.L. *Posobie po variatsionnoy statistike* [Handbook on Variation Statistics]. Moscow, 1971. 104 p.
6. Ogievskiy V.V., Khirov A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Examination and Study of Artificial Forest Stands]. Leningrad, 1967. 49 p.
7. Gusev I.I., Kalinin V.I., Nevolin O.A., Nefedov N.M., et al. *Polevoy spravochnik taksatora dlya taezhnykh lesov Evropeyskogo Severa* [Afforestation Inspector's Reference Book for Taiga Forests of the European North]. Vologda, 1971. 196 p.
8. Semechkin M.G., Semechkin I.V. Otsenka metodov opredeleniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoev [Evaluation of Methods of Determining Aboveground Phytomass of Pine Stands]. *Issledovaniya biologicheskikh resursov sredney taygi Sibiri* [Research on Bioresources of Siberia's Middle Taiga]. Krasnoyarsk, 1973, pp. 105–115.
9. Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktivnost' lesov Evrazii* [Phytomass and Primary Productivity of Eurasian Forests]. Yekaterinburg, 2010. 572 p.
10. Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Lesnye nasazhdeniya Solovetskogo arhipelaga (struktura, sostoyanie, rost)* [Forest Stands of the Solovetsky Archipelago (Structure, Status, Growth)]. Arkhangelsk, 2010. 201 p.
11. Chmyr A.F., Kulikova V.N. *Lesnye kul'tury: programma i metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu EVM pri obrabotke polevykh materialov* [Artificial Forest Stands: A Program and Guidelines on the Use of Computers for Field Data Processing]. Leningrad, 1990. 22 p.
12. Chuprov N.P. *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya severovostoka evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Inventory Guide for the North-East of the European Part of the USSR]. Arkhangelsk, 1986. 258 p.

**Feklistov Pavel Aleksandrovich**

Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

**Kunnikov Fedor Aleksandrovich**

Postgraduate Student, Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

**Klevtsov Denis Nikolaevich**

Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

**Khabarova Elena Pavlovna**

Postgraduate Student, Forestry Engineering Institute,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

### DEPENDENCE OF PINE TREE PHYTOMASS ON ITS DIAMETER IN BLUEBERRY PINE FORESTS

The problem of biological productivity in the study of ecosystems (including forest ones) gives rise to a number of researches dealing with a whole set of issues on organic matter formation, transformation and accumulation, including the analysis of productivity factors.

The conducted study is of great practical significance, as various phytomass fractions of stands have considerable economic importance. The data obtained allow us to evaluate the potential of biomass fractions traditionally unused and can be applied in forest monitoring and environmental programs.

We studied both natural and artificial blueberry pine stands growing in the northern taiga subzone of the European North of Russia. The phytomass was determined by weighing in fractions: dry twigs, raw branches, wood greens, trunk with the bark and without it.

The paper presents data on the correlation between the phytomass of various pine tree fractions and their diameter at a height of 1.3 m in natural and artificial pine stands. The closeness of this correlation was determined. Equations describing these correlations were developed. The obtained models were analyzed and tables were compiled to determine the aboveground phytomass.

The correlation between the tree diameter at breast height and phytomass of individual fractions is close and very close.



Dependence of fraction phytomass on diameter is best described by the power function  $y=ax^b$ .

Regression models of the correlation between the phytomass (dry twigs, branches, tree foliage, wood and bark) and diameter at breast height are close both for natural and artificial pine stands.

There is a close correlation between tree diameter and fraction mass, which is getting even closer with age.

**Keywords:** *aboveground phytomass, diameter, dependency equation, natural stand, artificial stand, blueberry pine forest, northern taiga subzone.*

*Контактная информация:*

Феклистов Павел Александрович

*адрес:* 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

*e-mail:* feklitov@narfu.ru

Кунников Фёдор Александрович

*адрес:* 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

*e-mail:* fdr1989@mail.ru

Клевцов Денис Николаевич

*адрес:* 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

*e-mail:* d.klevtsov@narfu.ru

Хабарова Елена Павловна

*адрес:* 163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17;

*e-mail:* alena.khabarova2010@yandex.ru

Рецензент – *Бабич Н.А.*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова