

Научная статья

УДК 630*5

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-6-102-113

Относительная высота деревьев в изолированных популяциях сосновых древостоев

А.Н. Соболев¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [AAS-3366-2020](https://orcid.org/0000-0002-7961-8318)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7961-8318>

П.А. Феклистов², д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAC-2377-2020](https://orcid.org/0000-0001-8226-893X)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

Н.А. Неверов², канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [P-5590-2015](https://orcid.org/0000-0002-0161-0738)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-0738>

С.С. Макаров³, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [AAK-9829-2021](https://orcid.org/0000-0003-0564-8888)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

¹Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник, пос. Соловецкий, Приморский р-н, Архангельская обл., Россия, 163000; alex-sobol@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; pfeklistov@yandex.ru[✉], na-neverov@yandex.ru

³Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127434; s.makarov@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 10.08.21 / Одобрена после рецензирования 23.11.21 / Принята к печати 26.11.21

Аннотация. Проведено исследование относительной высоты деревьев в сосняках брусничных, черничных и сфагновых на о-ве Большом Соловецком, самом значительном по площади в Соловецком архипелаге и в Белом море. Архипелаг является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО. Относительная высота – важный показатель, характеризующий рост древесных растений и отражающий, на сколько сантиметров прирастает высота на сантиметр диаметра. Заложено 34 пробных площади в наиболее распространенных типах леса – сосняках брусничных, черничных и сфагновых, занимающих 82,0 % от всей территории сосняков. На каждой пробной площади подобраны учетные деревья (по 64 дерева), у которых выполнены измерения высот, диаметров, взяты керны возрастным буравом у шейки корня для определения возраста. Всего в анализе относительной высоты использовано 2176 деревьев. Средняя относительная высота в сосняках брусничных, черничных и сфагновых на о-ве Б. Соловецком составляет соответственно 62,5; 61,5 и 54,7 см/см. Такой показатель заметно меньше, чем в сосняках на материке в Архангельской области. Там значения составляют 84,9; 84,9 и 79,2 см/см для соответствующих типов леса. Применять существующие таблицы хода роста, разработанные по материалам исследования материковых деревьев, для островных сосняков нельзя. Получены уравнения для определения относительной высоты сосняков о-ва Б. Соловецкого. В качестве входного параметра предлагается использовать диаметр деревьев, а не возраст, т. к. определение возраста значительно труднее, чем диаметра на высоте груди.

© Соболев А.Н., Феклистов П.А., Неверов Н.А., Макаров С.С., 2023



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Ключевые слова: относительная высота деревьев, сосняки, остров Большой Соловецкий, диаметр деревьев, высота деревьев, тип леса, возраст деревьев

Благодарности: Исследования проведены в ходе выполнения госзадания № 122011300380-5 ФИЦКИА им. Н.П. Лавёрова УрО РАН.

Для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Неверов Н.А., Макаров С.С. Относительная высота деревьев в изолированных популяциях сосновых древостоев // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 102–113. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-102-113>

Original article

Relative Tree Height in Isolated Populations of Pine Stands

*Aleksandr N. Sobolev*¹, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [AAS-3366-2020](https://orcid.org/0000-0002-7961-8318), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7961-8318>

*Pavel A. Feklistov*², Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAC-2377-2020](https://orcid.org/0000-0001-8226-893X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

*Nikolay A. Neverov*², Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [P-5590-2015](https://orcid.org/0000-0002-0161-0738), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-0738>

*Sergey S. Makarov*³, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [AAK-9829-2021](https://orcid.org/0000-0003-0564-8888),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0564-8888>

¹Solovki State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve, Solovetsky settlement, Arkhangelsk region, 164070, Russian Federation; alex-sobol@mail.ru

²Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences named after N.P. Laverov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 109, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; pfeklistov@yandex.ru[✉], na-neverov@yandex.ru

³Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russian Federation; s.makarov@rgau-msha.ru

Received on August 10, 2021 / Approved after reviewing on November 23, 2021 / Accepted on November 26, 2021

Abstract. The study of relative tree height in lingonberry, bilberry and sphagnum pine forests on Bolshoy Solovetsky Island was carried out. The island is the largest by area in the Solovetsky Archipelago and in the White Sea. The archipelago is a UNESCO World Heritage Site. Relative height is an important indicator characterizing the growth of woody plants and reflecting how many centimeters of height growth for each centimeter of diameter. We laid 34 sample plots in the most widespread forest types – lingonberry, bilberry, and sphagnum pine forests, occupying 82.0 % of the total pine forest area. At each sampling area we selected survey trees (64 trees each), measured heights, diameters, and took cores with an age drill at the root neck to determine the age. A total of 2176 trees were used in the relative height analysis. The average relative height in lingonberry, bilberry and sphagnum pine forests on Bolshoy Solovetsky Island is 62.5; 61.5 and 54.7 cm/cm, respectively. This relative height is noticeably lower than in pine forests on the mainland in the Arkhangelsk Oblast. There, the values are 84.9; 84.9 and 79.2 cm/cm for the respective forest types. It is not possible to use the existing growth progress tables developed on the basis of mainland trees for island pine forests. Equations for determining the relative height of pine forests on Bolshoy Solovetsky Island were obtained. It is proposed to use tree diameter rather than age as an input parameter, since the determination of age is much more difficult than that of diameter at breast height.

Keywords: relative tree height, pine forests, Bolshoy Solovetsky Island, tree diameter, tree height, forest type, tree age

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences named after N.P. Laverov (State Registration no. 122011400384-2).

For citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Neverov N.A., Makarov S.S. Relative Tree Height in Isolated Populations of Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 6, pp. 102–113. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-102-113>

Введение

Большой Соловецкий остров расположен в Белом море на выходе из Онежского залива. С запада остров отделен от материка проливом Западная Соловецкая Салма, с востока – проливом Восточная Соловецкая Салма. Расстояние от Карельского берега – около 40 км, до Онежского полуострова – также примерно 40 км. Это самый крупный остров на Белом море.

Особенности климата Соловецкого архипелага на фоне общей картины климатических характеристик Архангельской области определяются прежде всего его географическим положением, а именно нахождением в середине Белого моря [14]. Климат Соловецких островов можно отнести к умеренно холодному, избыточно влажному. Суммарная радиация немногим более 3000 мДж/м², средняя годовая разность осадков и испаряемости – 200 мм, сумма эффективных температур воздуха более 10 °С – 889 °С. Средняя годовая температура – 0,9 °С. Самый холодный месяц – февраль, самый теплый – июль. Средняя годовая амплитуда температуры, вычисленная как разность средней месячной температуры самого холодного и самого теплого месяцев, равна 23 °С. Ветровой режим отличается сезонной сменой преобладающих направлений движения воздушных масс. В холодное время года в основном дуют ветры с юга, в теплое – с севера. Средняя годовая скорость ветра приближается к 5 м/с. В среднем за год выпадает 547 мм осадков. Островное положение способствует большой влажности воздуха. Относительная влажность воздуха в среднем за год равна 82 %. Сухие дни (относительная влажность менее 30 %) исключительно редки. Число влажных дней с относительной влажностью более 80 % за год достигает 187.

В почвенном покрове Соловецкого архипелага наблюдается большая пестрота, связанная с характером материнских пород, формами рельефа. На возвышенных элементах рельефа на песчаных и супесчаных отложениях формируются почвы подзолистого типа, занимающие 76,0 % лесной площади [6].

Леса образованы преимущественно елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Они занимают соответственно 42 и 34 % покрытой лесом площади. Значима доля березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и извилистой (*B. tortuosa* Ledeb.) На долю осины (*Populus tremula* L.) приходится 5 %. Кроме того, присутствует ель европейская (*Picea abies* L.), но ее встречаемость крайне низка. Преобладают ельники и сосняки, а в типологическом отношении – сосняки и ельники черничные [18] (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение покрытых лесом земель Соловецкого лесничества
по типам леса и преобладающим породам
Distribution of forested lands in Solovetsky forestry by predominant species
and types of forest**

Тип сосняка	Площадь по породам, га				Всего	
	Ель	Сосна	Береза*	Осина	га	%
Скальный (–)	2,0	11,2	0	0	13,2	0,1
Лишайниковый (A ₀)	24,2	339,3	179,1	0	542,6	2,8
Брусничный (B ₂)	231,7	2070,7	776,1	57,2	3135,7	16,5
Кисличный (C ₂)	90,0	4,0	179,9	110,7	384,6	2,0
Черничный (B ₃)	7115,2	2489,5	1425,9	783,0	11815,1	62,1
Долгомошный (B ₄)	308,3	307,2	120,9	2,6	739,0	3,9
Травяно-болотный (C ₄)	73,3	39,6	738,3	0,8	852,0	4,5
Сфагновый (A ₃)	136,0	1264,4	79,6	0	1480,0	7,8
Ивняковый (–)	0	0	42,3	0	42,3	0,2
<i>Всего, га</i>	7980,4	6525,9	3542,1	954,3	19004,5	100
<i>(%)</i>	(42,0)	(34,4)	(18,6)	(5,0)		

*Береза пушистая и извилистая.

Начиная с XV в. ельники и сосняки Соловков подвергались антропогенному воздействию, которое носило фрагментарный характер: сплошных рубок не практиковалось, рекреационное воздействие в основном приурочено к аттрактивным центрам и дорогам, уровень посещения лесов невысокий, промышленности нет.

Соловецкий архипелаг является объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО. Леса отнесены к защитным, имеющим историческое и научное значение. Вместе с тем изученность лесов недостаточна, и прежде всего с точки зрения формы стволов деревьев. Одна из ее характеристик – относительная высота.

Относительную высоту как показатель светолюбия древесных пород использовал Я.С. Медведев. Им было отмечено, что относительная высота – диагностический признак степени угнетения [10]. Она (см/см) отражает скорость роста в высоту по отношению к скорости роста по диаметру (т. е. на сколько сантиметров увеличивается высота дерева при повышении диаметра на 1 см). В последующем показатель применяли и другие исследователи [4, 12, 17, 19, 23, 24, 26, 30] для различных целей. Например, К.К. Высоцким [5] была проведена оценка на основе данного показателя биологических характеристик насаждений. Возможно рассматривать относительную высоту как важный классификационный признак древостоев и как критерий устойчивости дерева к снеговым и ветровым нагрузкам. Она является дополнительным индикатором формы ствола наряду с традиционными коэффициентами формы: чем больше относительная высота, тем полнодревеснее ствол [9]. Отмечалось влияние типа леса на этот показатель [23]. О влиянии климатических факторов на соотношение «вы-

сота:диаметр» писал еще И.С. Мелехов [10]. Абсолютная и, соответственно, относительная высота деревьев зависит от климата [29]. Следует заметить, что этот вопрос до настоящего времени является актуальным и его научным освещением активно занимаются в других странах [20–22, 26–28, 31, 32]. Таким образом, относительная высота – это очень важная характеристика древостоя. Однако для лесов Большого Соловецкого острова она не изучена.

Цель – исследовать относительную высоту сосновых насаждений в наиболее распространенных типах леса на о-ве Б. Соловецком, выявить ее зависимость от возраста и диаметра деревьев, их распределения по ступеням относительной высоты.

Объекты и методы исследования

На территории Большого Соловецкого острова было заложено 34 пробные площади в наиболее распространенных типах леса: сосняках брусничных, черничных и сфагновых, занимающих 82,0 % территории сосняков. Все они располагаются в координатах 64°58'–65°06' с. ш. 35°46'–36°01' в. д. Древостои сосняков лишайниковых и сфагновых чистые по составу (формула состава – 10 С), а брусничных и черничных – с небольшой примесью березы и осины: 8–9 ед. сосны и 1–2 ед. березы или осины.

Пробные площади закладывали в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями ГОСТ 16128–70 «Площади пробные лесоустroительные» и ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустroительные» [1, 3, 15]. На пробных площадях выполняли комплекс работ по лесоводственному, таксационному и геоботаническому описанию. На каждой пробной площади подбирали учетные деревья методом случайной выборки (64 шт., всего – 2176 шт.). Для определения возраста деревьев приростным буровом Haglof у шейки корня отбирали керны и при помощи микроскопа МБС-10 устанавливали количество годовичных колец. Измеряли диаметр и высоту стволов всех учетных деревьев. Диаметр – с помощью мерной вилки с точностью до 1 см, высоту – высотометром Suunto с точностью 0,5 м. Относительную высоту рассчитывали как отношение высоты к диаметру (см/см). При обработке полученных данных использовали ранее опубликованные рекомендации [2, 11].

Абсолютное большинство древостоев во всех типах леса разновозрастные (табл. 2). Преобладают циклично-, абсолютно- и условноразновозрастные по классификации Г.Е. Комина [7, 8]. На пробных площадях отмечены отдельные деревья возрастом 350–500 лет, которые также попадали в исследование.

Таблица 2

Распределение пробных площадей (шт.) по типам леса и возрастной структуры
Distribution of sample areas by age structure types

Тип сосняка	Одно-возрастные	Разновозрастные				Средний возраст, лет
		условно-	циклично-	абсолютно-	ступенчато-	
Брусничный	1	1	3	5	1	123,2
Черничный	–	3	5	2	1	109,3
Сфагновый	–	3	7	2	–	114,3

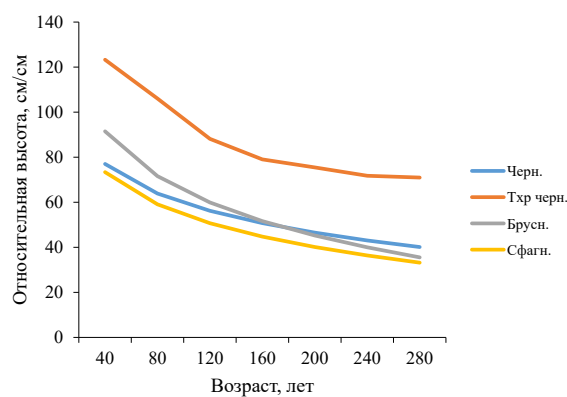
Результаты исследования и их обсуждение

Рост сосняков в Архангельской области достаточно изучен и отражен в таблицах хода роста [13]. Все таблицы хода роста построены по одному принципу, входным показателем является возраст древостоев. Для каждого возраста может быть определена относительная высота, которая с годами уменьшается. Для сосняков о-ва Б. Соловецкого нами получены уравнения по аналогии с таблицами хода роста для сравнения трендов в разных типах леса и сопоставления островных древостоев с материковыми.

Относительная высота в сосняках брусничных и сфагновых на о-ве Б. Соловецком изменяется схожим образом, уменьшаясь в возрастном промежутке от 40 до 280 лет (рис. 1). В выборках были также более молодые деревья и более старые, хотя их количество невелико; они использовались для получения уравнений, но не показаны на графике. Линии тренда для сосняков брусничных и сфагновых почти параллельны, однако в сосняках брусничных относительная высота всегда выше, чем в сфагновых, хотя с возрастом древостоя они сближаются. В сосняках черничных линия тренда в молодых древостоях ниже, чем в сосняках брусничных, а в возрасте более 160 лет – выше. Можно предположить, что, в отличие от сосняков брусничных, в сосняках черничных даже после 160 лет наблюдается существенный прирост в высоту.

Рис. 1. Зависимость относительной высоты от возраста для сосняков: черничного (Черн.) $y = -18,95\ln(x) + 146,91$; брусничного (Брусн.) $y = -28,75\ln(x) + 197,55$ и сфагнового (Сфагн.) $y = -20,65\ln(x) + 149,55$, а также для черничного по таблицам хода роста (Тхр черн.) $y = -28,64\ln(x) + 228,35$

Fig. 1. Dependence of relative height on age for pine forests: bilberry (Черн.) $y = -18.95\ln(x) + 146.91$; lingonberry (Брусн.) $y = -28.75\ln(x) + 197.55$ and sphagnum (Сфагн.) $y = -20.65\ln(x) + 149.55$, as well as for bilberry according to the growth progress tables (Тхр. черн.) $y = -28.64\ln(x) + 228.35$



Похожее изменение относительной высоты деревьев с возрастом отмечено и в сосняках материковой части Архангельской области (рис. 1). Фактически линии на графике параллельны. Однако разница между сосняками с острова и материка весьма существенна и достигает, например, в 40 лет – 46 см/см, а в 280 лет – 31 см/см для сосняков черничных.

Более детальный регрессионный анализ динамики относительной высоты позволяет отметить, что самая тесная связь наблюдается не с возрастом, а с диаметром деревьев. В качестве примера на рис. 2 показано изменение относительной высоты в зависимости от возраста и диаметров деревьев для сосняков брусничных.

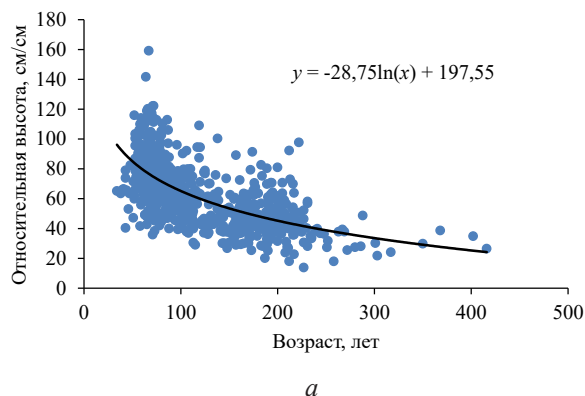


Рис. 2. Зависимость относительной высоты от возраста (а) и диаметра (б) деревьев в сосняках брусничных о-ва Б. Соловецкого

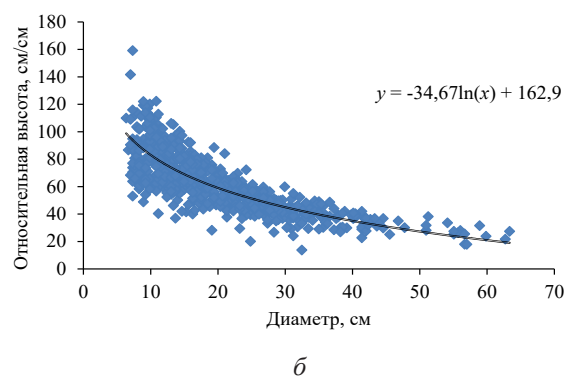


Fig. 2. Dependence of relative height on age (а) and diameter (б) of trees in lingonberry pine forests of B. Solovetsky Island

У других типов леса наблюдается похожая зависимость. Так как определение возраста всегда достаточно трудоемкая работа, а диаметр измеряется легко, то, вероятно, использование диаметра для установления относительной высоты наиболее рационально (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость относительной высоты от возраста и диаметра деревьев в разных типах леса на о-ве Б. Соловецком
Dependence of relative height on age and diameter in different forest types on B. Solovetsky Island

Тип сосняка	Возраст, лет		Диаметр, см	
	Уравнение	R ²	Уравнение	R ²
Брусничный	$y = -28,75\ln(x) + 197,55$	0,4148	$y = -34,67\ln(x) + 162,9$	0,6473
Черничный	$y = -18,95\ln(x) + 146,91$	0,347	$y = -32,46\ln(x) + 161,64$	0,6504
Сфагновый	$y = -20,65\ln(x) + 149,55$	0,3519	$y = -28,5\ln(x) + 131,16$	0,4207

Кроме этого, из рис. 2 видно, что в возрасте 50–200 лет, или при диаметрах от 8 до 40 см, наблюдается наибольший разброс значений относительной высоты, а затем она становится стабильной.

Все средние относительные высоты по пробным площадям получены с высокой точностью: стандартная ошибка не выходила за пределы $\pm 5\%$. Изменчивость относительной высоты стабильна в разных типах леса, коэффициент изменчивости – 28–29 % (в сосняке брусничном – 27,7 %; черничном – 28,7 %; сфагновом – 27,8 %). Значения достоверны при уровне значимости 0,01. Критерий Стьюдента выше критических значений. Более подробно это было описано нами ранее [15]. В качестве примера приводим данные по соснякам черничным как наиболее представленному типу леса на Соловках (табл. 4).

Таблица 4

Статистические показатели относительной высоты для сосняков черничных о-ва Б. Соловецкого [16]
Statistical indices of relative height for pine forests bilberry pine forests of B. Solovetsky Island

Показатель	Пробная площадь										
	1/001	2/002	3/003	4/004	5/005	6/065	7/117	8/118	9/119	10/120	11/121
М, см/см	58,7	86,8	67,1	60,6	43,7	56,4	70,3	52,2	59,6	67,1	53,8
m, см/см	2,4	2,5	2,6	2,1	2,0	3,1	2,1	1,6	2,3	2,7	1,9
σ , см/см	17,2	17,8	18,6	14,9	14,6	22,0	17,1	13,2	18,8	21,9	15,0
V, %	29,2	20,6	27,7	24,5	33,5	39,1	24,3	25,3	31,4	32,7	27,8
t	24,5	34,7	25,8	28,9	21,9	18,2	33,5	32,6	25,9	24,8	28,3
P, %	4,1	2,8	3,8	3,4	4,6	5,4	3,0	3,2	3,9	4,1	3,5

Примечание: М – среднее значение; m – ошибка среднего значения; σ – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации; t – достоверность средних значений (критерий Стьюдента); P – точность.

Если сравнивать среднюю относительную высоту по типам леса на о-ве Б. Соловецком с сосняками Архангельской области [13] по таблицам хода роста для разных типов леса, то видно, что показатель для острова примерно на 20–26 см/см ниже в соответствующих типах леса (рис. 3), чем для материка, т. е. на каждый сантиметр диаметра в высоту дерева на о-ве Б. Соловецком прирастают значительно меньше по сравнению с материком. В сосняках брусничных относительная высота в среднем равна $62,5 \pm 4,1$ см/см, очень близка в сосняках черничных – $61,5 \pm 3,4$ см/см и только $54,7 \pm 3,4$ см/см в сосняках сфагновых. Деревья на острове имеют относительную высоту в среднем только около 70 % от показателя материковых сосняков. Следствием этого является то, что стволы деревьев в соловецких сосняках сильносбежистые. Интересно сравнение деревьев от самого сухого типа местопроизрастания к самому влажному – от брусничного к черничному и сфагновому. Самая высокая относительная высота отмечена в брусничном типе, затем она чуть снижается к черничному и резко уменьшается к сфагновому. В последнем случае различия достигают 11 %. Следовательно, среди изученных типов леса наиболее сильносбежистые стволы – у деревьев сфагновых сосняков. В материковых сосняках наблюдается почти такая же закономерность, только при большей средней относительной высоте. Относительные высоты в черничных и брусничных типах здесь одинаковые, а на о-ве Б. Соловецком в черничном типе – чуть ниже. Предположение подтверждается и распределением деревьев в разных типах по группам высот (табл. 5). Из табл. 5 отчетливо видно, что с увеличением количества влаги в почве, т. е. от сухих условий местопроизрастания (брусничные) к влажным (сфагновые), возрастает доля деревьев с пониженной относительной высотой.

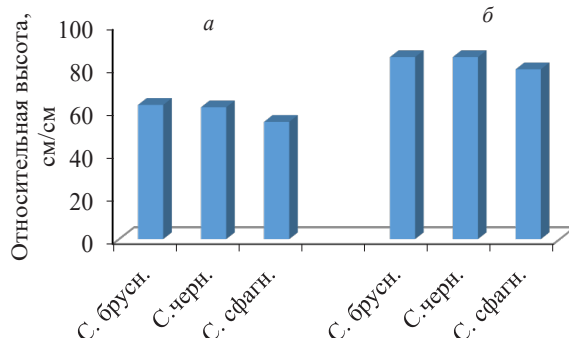


Рис. 3. Изменение относительной высоты по типам леса (в связи с увеличением увлажнения): *a* – о-в Б. Соловецкий; *б* – Архангельская область (с. брусн., с. черн., с. сфагн. – сосняки брусничный, черничный и сфагновый соответственно)

Fig. 3. Change in relative height by forest type (due to increasing moisture content): *a* – B. Solovetsky Island; *б* – Arkhangelsk Oblast (с. брусн., с. черн., с. сфагн. – lingonberry, bilberry and sphagnum pine forests, respectively)

Таблица 5

Распределение деревьев по ступеням относительной высоты в зависимости от типа леса на о-ве Б. Соловецком
Distribution of trees by relative height steps depending on forest type on B. Solovetsky Island

Тип сосняка	Общее количество деревьев, шт.	Ступени относительной высоты, %						Итого, %
		0–20	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	
Брусничный	704	–	7	31	38	18	6	100
Черничный	704	–	13	34	32	17	4	100
Сфагновый	768	1	33	41	22	3	–	100

Причиной низкой относительной высоты деревьев на Соловках является, по нашему мнению, ветровой режим, отличный от материкового. Более сильные ветры тормозят рост в высоту. Отчасти подтверждением этого служит относительная высота в сосняках брусничных, удаленных от Соловецкого архипелага на 200 км. По нашим данным [17], в сосняках брусничных лесопарка «Ягры», расположенного на побережье Двинского залива Белого моря, относительная высота сосны составляет в среднем 60,8 см/см (по данным 50 учетных деревьев). Таксационная характеристика этого сосняка сходна с брусничниками на Соловках (чистый по составу, средний диаметр – 22 см, средняя высота – 11 м). Относительная высота может выступать в качестве показателя, отражающего адаптацию дерева к ветровому режиму. Деревья и древостои с низкой относительной высотой более ветроустойчивы. Такое же мнение высказывалось и в [25].

Выводы

1. Относительная высота деревьев на о-ве Большом Соловецком в среднем составляет соответственно в сосняках брусничных, черничных и сфагновых $62,5 \pm 4,1$; $61,5 \pm 3,4$ и $54,7 \pm 3,4$ см/см. В сосняках сфагновых она ниже, чем в черничных и брусничных, на 11–14 %. Различия достоверны при уровне значимости 0,01 (или вероятности 0,99).

2. Средняя относительная высота в сосняках на о-ве Б. Соловецком значительно меньше, чем на материке.

3. Использовать существующие таблицы хода роста для островных сосняков нельзя, относительную высоту в сосняках о-ва Б. Соловецкого можно определить по диаметру деревьев на основании найденных зависимостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. 5-е изд., доп. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
Anuchin N.P. *Forest Taxation*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p. (In Russ.).
2. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований. СПб.: Политехн. ун-т, 2016. 125 с.
Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statistical Processing of Forest Research Materials*. Saint-Petersburg, SPbPU Publ., 2016. 125 p. (In Russ.).
3. Бузова Н.В., Феклистов П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов: моногр. Архангельск: АГТУ, 2007. 264 с.
Burova N.V., Feklistov P.A. *Anthropogenic Transformation of Suburban Forests*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 264 p. (In Russ.).
4. Верхунов П.М. Закономерности строения разновозрастных сосняков. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 255 с.
Verhunov P.M. *Regularities of the Structure of Pine Forests of Different Ages*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976. 255 p. (In Russ.).
5. Высоцкий К.К. Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Гослесбумиздат, 1962. 177 с.
Vysotsky K.K. *Regularities of the Structure of Mixed Stands*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 177 p. (In Russ.).
6. Ипатов Л.Ф., Косарев В.П., Проурзин Л.И., Торхов С.В. Соловецкий лес. Архангельск, 2005. 225 с.
Ipatov L.F., Kosarev V.P., Prourzin L.I., Torkhov S.V. *Solovetsky Forest*. Arkhangelsk, 2005. 225 p. (In Russ.).
7. Комин Г.Е. К вопросу о типах возрастной структуры насаждений // Изв. вузов. Лесн. журн. 1963. № 3. С. 37–42.
Komin G.E. On the Question of the Types of Age Structure of Plantings. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 1963, no. 3, pp. 37–42. (In Russ.).
8. Комин Г.Е. Возрастная структура древостоев в лесах России. Сочи: ФГУ НИИГорлесэкол, 2003. 219 с.
Komin G.E. *Age Structure of Stands in the Forests of Russia*. Sochi, FSU Niigorlesekol Publ., 2003. 219 p. (In Russ.).
9. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 165 с.
Maslakov E.L. *Formation of Young Pine Trees*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 165 p. (In Russ.).
10. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
Melekhov I.S. *Forestry*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p. (In Russ.).
11. Наследов А. SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2011. 400 с.
Nasledov A. *SPSS 19: Professional Statistical Data Analysis*. Saint Petersburg, Piter Publ., 2011. 400 p. (In Russ.).

12. Нагимов В.З., Артемьева И.Н., Нагимов З.Я. Дифференциация и отпад деревьев в сосняках лишайниковых заповедно-природного парка «Сибирские увалы» // Леса России и хоз-во в них. 2007. Вып. 1(29). С. 138–146.

Nagimov V.Z., Artemyeva I.N., Nagimov Z.Ya. Differentiation and Decline of Trees in Lichen-Bearing Pine Forests of the Siberian Uvaly Nature Reserve Park. *Forests of Russia and Economy in Them*, 2007, vol. 1, iss. 29, pp.138–146. (In Russ.).

13. Полевой лесотаксационный справочник / под общ. ред. С.В. Третьякова, С.В. Ярославцева, С.В. Коптева. Архангельск: САФУ, 2016. 252 с.

Tretyakov S.V., Yaroslavtsev S.V., Koptev S.V. *Field Forest Taxing Reference Book*. Arkhangelsk, NARFU Publ., 2016. 252 p. (In Russ.).

14. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / под ред. Ю.Г. Шварцмана, И.Н. Болотова. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 184 с.

Shvartsman Yu.G., Bolotov I.N. *Natural Environment of the Solovetsky Archipelago in a Changing Climate*. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 184 p. (In Russ.).

15. Программа и методика биогеоценологических исследований / под ред. Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1966. 332 с.

Dylis N.V. *Program and Methodology of Biogeocenological Research*. Moscow, Nauka Publ., 1966. 332 p. (In Russ.).

16. Соболев А.Н., Феклистов П.А. Особенности строения сосновых древостоев на острове Большом Соловецком // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 1. С. 77–87.

Sobolev A.N., Feklistov P.A. Features of the Structure of Pine Stands on Bolshoy Solovetsky Island. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2022, no. 1, pp. 77–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-1-77-87>

17. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Евдокимова Е.В., Федяев А.Л., Самылов Д.Е., Зубаха С.И. Особенности сосняков лесопарка «Ягры» // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 1. С. 89–95.

Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Evdokimova E.V., Fedyaev A.L., Samylov D.E., Zubakha S.I. Features of Pine Forests of the Forest Park "Yagry". *Bulletin of the Pomor University. Series: Natural Sciences*, 2011, no. 1, pp. 89–95. (In Russ.).

18. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост). Архангельск: САФУ, 2010. 240 с.

Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Forest Plantations of the Solovetsky Archipelago (Structure, Condition, Growth)*. Arkhangelsk, NARFU Publ., 2010. 240 p. (In Russ.).

19. Юкнис Р.А. Некоторые закономерности роста деревьев // Моделирование и контроль производительности древостоев: сб. науч. тр. ЛитСХА. Каунас, 1983. С. 118–120.

Yuknis R.A. Some Patterns of Tree Growth. *Modeling and Control of Stand Productivity*. Kaunas, VMU Agriculture Academy Publ., 1983, pp. 118–120. (In Russ.).

20. Bohora S.B., Cao Q.V. Prediction of Tree Diameter Growth Using Quantile Regression and Mixed-Effects Models. *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 319, pp. 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.006>

21. Bronisz K., Mehtätalo L. Mixed-Effects Generalized Height–Diameter Model for Young Silver Birch Stands on Post-Agricultural Lands. *Forest Ecology and Management*, 2020, vol. 460, art. 117901. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117901>

22. Chenge Iveren B. Height–Diameter Relationship of Trees in Omo Strict Nature Forest Reserve, Nigeria. *Trees, Forests and People*, 2021, vol. 3, art. 100051. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100051>

23. Cysneiros V.C., Pelissari A.L., Gaui T.D., Fiorentin L.D., Daniel C.C., Telmo B.S.F., Sebastião A.M. Modeling of Tree Height–Diameter Relationships in the Atlantic Forest: Effect of Forest Type on Tree Allometry. *Canadian Journal of Forest Research*, 2020, vol. 50, no. 12, pp. 1289–1298. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0060>

24. Erteld W. Groesse und Entwicklung des h/d-Wertes in Kieferbestaenden. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1979, jg. 150, s. 72–75. (In Germ.).
25. Meng Shawn X., Shongming H., Lieffers V.J., Thompson N., Yuqing Y. Wind Speed and Crown Class Influence the Height–Diameter Relationship of Lodgepole Pine: Nonlinear Mixed Effects Modeling. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 256, iss. 4, pp. 570–577. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.002>
26. Mensah S., Pienaar O.L., Kunneke A., Du Toit B., Seydack A., Uhl E., Pretzsch H., Seifert T., Height – Diameter Allometry in South Africa’s Indigenous High Forests: Assessing Generic Models Performance and Function Forms. *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 410, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.030>
27. Ng'andwe P., Chungu D., Yambayamba A.M., Chilambwe A. Modeling the Height-Diameter Relationship of Planted Pinus Kesiya in Zambia. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 447, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.051>
28. Rust S. Analysis of Regional Variation of Height Growth and Slenderness in Populations of Six Urban Tree Species using a Quantile Regression Approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, vol. 13, iss. 2, pp. 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.003>
29. Sharma M., Subedi N., Ter-Mikaelian M., Parton J. Modeling Climatic Effects on Stand Height/Site Index of Plantation-Grown Jack Pine and Black Spruce Trees. *Forest Science*, 2015, vol. 61, iss. 1, pp. 25–34. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-190>
30. Thomasius H.O., Butter D. Studie zu einigen Relationen zwischen Wuchsflaeche, Zuwachs und individueller Stabilitaet von Waldbaeumen, dargestellt an der Baumart Fichte. *Beitraege f. d. Forstwirtschaft*, 18, 1984, H. 1. S. 25–28. (In Germ.).
31. Watt M.S., Kirschbaum M.U.F. Moving Beyond Simple Linear Allometric Relationships Between Tree Height, and Diameter. *Ecological Modelling*, 2011, vol. 222, iss. 23–24, pp. 3910–3916. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.011>
32. Zheng J., Zang H., Yin S., Sun N., Zhu P., Han Y., Kang H., Liu C. Modeling Height-Diameter Relationship for Artificial Monoculture Metasequoia Glyptostroboides in Sub-Tropic Coastal Megacity Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol. 34, pp. 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.006>

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