

Научная статья

УДК 630*581.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-6-121-132

Особенности структуры черничных ельников Большого Соловецкого острова

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>

И.Н. Болотов², д-р биол. наук; *ResearcherID: [P-2892-2015](https://orcid.org/0000-0002-3878-4192),*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

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>

О.Н. Тюкавина⁴, д-р с.-х. наук, доц.; *ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833),*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

Ж.А. Бруева⁴, аспирант; *ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9177-1316>*

¹Соловецкий музей-заповедник, пос. Соловецкий, Приморский р-н, Архангельская обл., Россия, 164070; alex-sobol@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 109, г. Архангельск, Россия, 163000; pfeklistov@yandex.ru[✉], dimnauka@fciactic.ru

³Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127550; s.makarov@rgau-msha.ru

⁴Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; o.tukavina@narfu.ru, bruevazh@bk.ru

Поступила в редакцию 18.05.23 / Одобрена после рецензирования 13.08.23 / Принята к печати 15.08.23

Аннотация. Исследование выполнено в самых типичных и наиболее распространенных для Большого Соловецкого острова насаждениях – в черничных ельниках. Используются лесоустроительные материалы и данные, полученные на пробных площадях. На последних, а также в их буферных зонах были замерены диаметры и высоты у 325 учетных деревьев и взяты керны для изучения возрастной структуры древостоев. В составе черничных ельников установлено присутствие всех лесобразующих пород острова. Средний породный состав отражается формулой 6Е2Б1С1Ос. Преобладают (76 %) древостои с полнотой 0,6–0,7, но в то же время значительную долю составляют и низкополнотные насаждения – 21 %, почти отсутствуют высокополнотные. На Соловках, согласно архивным данным, сплошные рубки не проводились, за исключением отдельных вырубков в 20–30-е гг. XX в. при существовании здесь Соловецкого лагеря особого назначения. Все это, казалось бы, должно способствовать сохранению высоковозрастных деревьев. Однако средний возраст еловых древостоев составляет 155 лет, а самые старые доживают до 250 лет. Этот возраст можно считать предельным для условий Соловецкого архипелага. Показано, что все древостои разновозрастные с различным распределением деревьев по классам возраста. Встречаются черничные ельники со значительным промежутком между поколениями деревьев, а также с цикличностью

в появлении максимального количества деревьев в определенные периоды. Выявлены следующие типы возрастной структуры: абсолютно-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные и циклично-разновозрастные. Деревья ели, как было установлено, достаточно хорошо растут по диаметру, но рост в высоту заторможен, в результате формируются сильноосеженные стволы. В среднем максимальной высоты – около 20 м – деревья достигают при диаметре 30–40 см. Относительная высота составляет в среднем 0,66 м/см – это 67 % от показателя материковых ельников. Она находится в обратной зависимости от диаметра: чем он выше, тем ниже относительная высота.

Ключевые слова: ельники черничные, еловый древостой, диаметр древостоя, высота древостоя, возрастная структура древостоя, относительная высота в древостое, Большой Соловецкий остров, Соловки

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврёва УрО РАН (№ FUUW-2024-0011).

Для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Болотов И.Н., Макаров С.С., Тюкавина О.Н., Бруева Ж.А. Особенности структуры черничных ельников Большого Соловецкого острова // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 6. С. 121–132. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-6-121-132>

Original article

Features of the Structure of Blueberry Spruce Forests of Bolshoy Solovetsky Island

*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>

*Ivan N. Bolotov*², Doctor of Biology; ResearcherID: [P-2892-2015](https://orcid.org/0000-0002-3878-4192),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

*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>

*Olga N. Tyukavina*⁴, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

*Zhanna A. Brueva*⁴, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9177-1316>

¹Solovki Museum-Reserve, Solovetsky Settlement, Primorsky District, Arkhangelsk Region, 164070, Russian Federation; alex-sobol@mail.ru

²Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 109, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; pfeklistov@yandex.ru✉, dirnauka@fciactic.ru

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550, Russian Federation; s.makarov@rgau-msha.ru

⁴Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; o.tukavina@narfu.ru, bruevazh@bk.ru

Received on May 18, 2023 / Approved after reviewing on August 13, 2023 / Accepted on August 15, 2023



This is an open access article distributed under the CC BY 4.0 license

Abstract. The research has been carried out in the most typical and widespread plantations for Bolshoy Solovetsky Island – in blueberry spruce forests. Forest management materials and data obtained from sample plots have been used. In the latter, as well as in their buffer zones, the diameters and heights of 325 registered trees have been measured and samples have been taken to study the age structure of the stands. The presence of all forest-forming species of the island has been established in the composition of blueberry spruce forests. The average breed composition is reflected by the formula: 6S2B1P1As (6 spruce trees, 2 birch trees, 1 pine tree, and 1 aspen tree). The majority (76 %) of stands is of 0.6–0.7 density, but at the same time, low-density stands also make up a significant proportion – 21 %, and high-density stands are almost absent. According to archival data, there have been no clear-cuttings on the Solovetsky Islands, with the exception of individual cuttings in the 1920s and 1930s when the Solovetsky Special Purpose Camp existed there. All this, it would seem, has to contribute to the preservation of old trees. However, the average age of spruce stands is 155 years, and the oldest live up to 250 years. This age can be considered the limit for the conditions of the Solovetsky Archipelago. It has been shown that all the stands are of different ages with a different distribution of trees by age classes. There are blueberry spruce forests with a significant gap between tree generations, as well as with a cyclical appearance of the maximum number of trees in certain periods. The following types of age structure have been identified: absolutely uneven-age, stepwise uneven-age and cyclically uneven-age. Spruce trees have been found to grow quite well in diameter, but growth in height is inhibited, resulting in the formation of highly tapering trunks. On average, the trees reach their maximum height of about 20 m with a diameter of 30–40 cm. The relative height averages 0.66 m/cm – this is 67 % of the indicator of the mainland spruce forests. It is inversely related to the diameter: the greater it is, the lower is the relative height.

Keywords: blueberry spruce forests, spruce stand, stand diameter, stand height, stand age structure, relative height in the stand, Bolshoy Solovetsky Island, the Solovetsky Islands

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (no. FUUW-2024-0011).

For citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Bolotov I.N., Makarov S.S., Tyukavina O.N., Brueva Z.A. Features of the Structure of Blueberry Spruce Forests of Bolshoy Solovetsky Island. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 6, pp. 121–132. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-6-121-132>

Введение

Соловецкий архипелаг называют жемчужиной Белого моря. Он известен в большей мере историческими событиями, связанными с его освоением. Соловецкие острова являются объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО. В то же время интересны и важны леса, формирующие облик архипелага. Они отнесены к защитным, имеющим научное или историческое значение. На данной территории произрастают изолированные популяции древесных пород, т. к. она отделена от материка (Онежский п-ов) на 23 км. На формирование лесов, их биологического разнообразия накладывали отпечаток бессистемные рубки, климатические факторы, связанные с расположением островов в Белом море, антропогенный пресс – посещение исторических и природных объектов туристами [23].

Одной из наиболее значимых древесных пород является ель. Именно на долю ельников приходится большая часть покрытой лесом площади Соловецкого архипелага. В то же время особенности ельников на этой территории изучены недостаточно. В частности, остается малоисследованной их возрастная структура. О значительной роли возрастной структуры в жизни и биологической устойчивости древостоев писал еще Г.Ф. Морозов [13]. Возрастная

структура в значительной степени определяет морфологическое строение лесных сообществ и отражает условия и историю их формирования и развития [6]. Недостаточно изучены коррелятивные ростовые процессы, соотношение роста по диаметру и высоте, их взаимосвязь в островных условиях [12].

Сведения о лесах Соловецкого архипелага содержатся в литературе [1, 5, 18]. Они далеко не исчерпывают всех вопросов особенностей древостоев и природопользования [24].

Цель – выявление особенностей черничных ельников Большого Соловецкого острова.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось на Большом Соловецком острове, где были заложены пробные площади в разных, но типичных для архипелага по составу, возрасту и классу бонитета черничных ельниках (табл. 1). Поскольку это, как правило, смешанные насаждения с преобладанием ели, то приведены характеристики и сопутствующих пород.

Таблица 1

Таксационная характеристика черничных ельников Большого Соловецкого острова
The inventory characteristics of blueberry stands of Bolshoy Solovetsky Island

ПП	Состав	Средние		Полнота		Класс возраста	Бонитет	Запас, м ³ /га
		диаметр, см	высота, м	абсолютная, м ² /га	относительная			
6	6Е2Б2Ос+С	17,9	16,2	13,6	0,45	VII	V	111
		19,2	17,2	4,9	0,18			41
		28,2	22,0	4,0	0,14			56
		40,0	23,5	0,7	0,02			8
7	7Е2Б1ОС	19,7	12,9	12,3	0,49	IV	V	83
		15,4	–	4,4	–			–
		17,1	–	1,5	–			–
8	7Е1ОС1С1Б	21,1	16,2	15,7	0,52	VII	V	128
		14,0	12,6	2,1	0,09			14
		16,9	16,6	2,7	0,09			25
		29,4	21,2	2,0	0,05			20
9	8Е1Б1ОС	23,4	18,5	24,1	0,71	VI	IV	220
		18,8	18,3	4,8	0,17			42
		17,7	18,9	3,5	0,12			38
10	9Е1Б+ОС	21,8	16,2	20,9	0,69	IX	V	171
		16,5	11,7	2,0	0,10			12
		16,3	14,8	0,9	0,03			7

Примечание: Здесь и в табл. 2 ПП – пробная площадь.

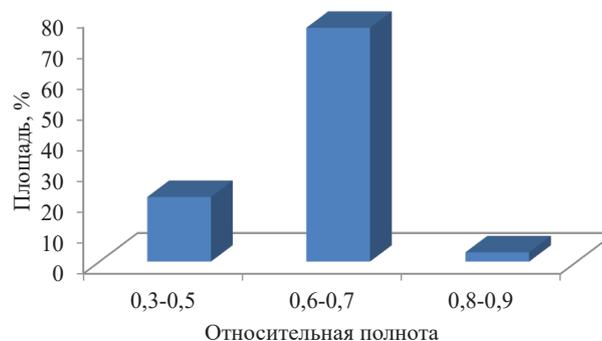
При закладке пробных площадей руководствовались ранее опубликованными рекомендациями [1, 17]. Для измерений использовали традиционные инструменты: мерную вилку, высотомер (Suunto), возрастной бурав и др. Установление высот и диаметров производилось у 15–16 учетных елей на каждой пробной площади, а также в буферной зоне у 245 деревьев (вокруг пробных площадей), таким образом, всего было замерено 325 учетных деревьев ели. Под буферной зоной понимали прилегающую по периметру пробной площади часть изучаемого выдела, на которой могут проводиться измерения без влияния на данные самой пробной площади.

Результаты исследования и их обсуждение

Леса Соловецкого архипелага представлены в основном хвойными насаждениями. На долю еловых приходится более всего – 42 % его покрытой лесом площади. Преобладают черничные ельники – 89,2 % покрытой еловым лесом площади [18]. По породному составу они отличаются от материковых древостоев северной тайги Архангельской области, но незначительно. По данным последнего лесоустройства (2003 г.), средний породный состав отражается формулой 6Е2Б1С1Ос. Преобладают (76 %) древостои (рис. 1) с полнотой 0,6–0,7, значительную долю составляют и низкополнотные – 21 %, почти отсутствуют высокополнотные. Наличие низкополнотных древостоев – одна из особенностей соловецких лесов. В таких древостоях крона опускается до земли и имеет место вегетативное размножение, когда нижние ветви укореняются, что подтверждают наши натурные наблюдения.

Рис. 1. Распределение площади ельников Большого Соловецкого острова по полноте

Fig. 1. The distribution of the area of spruce forests of Bolshoy Solovetsky Island by density



Для более детального исследования ельников в характерных по породному составу и полноте древостоях были заложены пробные площади (см. табл. 1). На Соловках, согласно архивным данным, сплошные рубки почти отсутствовали, отдельные вырубki проведены в 20–30-е гг. XX в. во время развития хозяйства Соловецкого лагеря особого назначения. При этом средний возраст еловых древостоев составляет 155 лет. Если посмотреть по классам возраста, то наиболее значимые группы древостоев – 100–200 лет (здесь и далее речь идет о возрасте только ели, другие породы не изучались) (рис. 2). Возникает проблема малой представленности высоковозрастных древостоев: их почти нет. Известны лишь несколько выделов с древостоями от 230 до 250 лет. Такие ельники

находятся на Большом Соловецком острове в районе оз. Поднебесное – 250 лет, севернее мыса Толстик – 230 лет, а также чуть севернее оз. Херт – 230 лет. Следовательно, продолжительность жизни ели в условиях Соловецкого архипелага определяется примерно 250 годами.

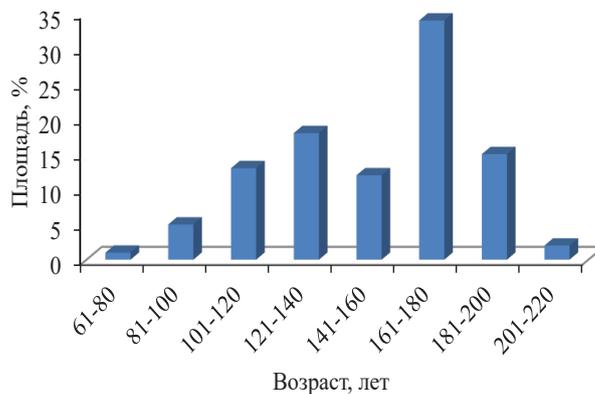


Рис. 2. Распределение площади ельников Большого Соловецкого острова по возрастным группам

Fig. 2. The distribution of the area of spruce forests of Bolshoy Solovetsky Island by age groups

Более детально рассматривая возрастную структуру черничных ельников на Соловках, можно констатировать, что все такие древостои являются разновозрастными. По данным И.И. Гусева [3], разновозрастные насаждения составляют всего 24 % от насаждений северной подзоны тайги и на 65 % площади преобладают условно-разновозрастные. Если обратиться к классификации Г.Е. Комина [6], то можно отметить разные виды возрастной структуры: это и абсолютно-разновозрастная, и ступенчато-разновозрастная, и циклично-разновозрастная (табл. 2). На пробных площадях 8 и 10 существует разрыв в поколениях, поэтому они, согласно классификации Г.Е. Комина, отнесены к ступенчато-разновозрастным, а на пробной площади 9 зафиксированы максимумы в количестве деревьев 61–80 и 101–140 лет, соответственно, данные древостои относятся к циклично-разновозрастным. На пробных площадях наблюдается разный возрастной «разлет», предположительно, это связано с рубками, которые в прошлом проводились на острове. Изменчивость ели по возрасту на пробных площадях колеблется от 16 до 35 %, в среднем составляет 29 %. Это во многом согласуется с данными по другим регионам. В частности, по ельникам Севера, для которых И.И. Гусев приводил цифры 22–44 % [3], и Крайнего Севера – 28 % [19]. В то же время есть и иные сведения: Б.А. Семенов [15] для притундровых ельников обозначает цифру возрастной изменчивости 48–50 %. Интересно, что в Печорском бассейне показатель составляет всего 9–17 % [11].

Взаимосвязь диаметра и высоты для различных древесных пород широко известна. На знании этой взаимосвязи основывается большинство лесотаксационных таблиц для различных регионов страны. Однако существуют особенности по породам и регионам, поэтому выявление такой связи для отдельных пород по-прежнему актуально. Например, в последние годы появились публикации по соснякам [2, 4, 7, 10, 16], березовым насаждениям [8, 9]. Вопрос актуален и в целом для лесов мира [20–22, 25–27]. Для ельников, которые чаще всего являются разновозрастными, это также значимо, но представляет определенные трудности.

Таблица 2

Возрастная структура черничных ельников Большого Соловецкого острова
The age structure of blueberry spruce forests of Bolshoy Solovetsky Island

ПП	Возрастная структура	Наличие деревьев разного возраста		Средний возраст, лет	Коэффициент изменчивости, %
		Возраст, лет	Количество, %		
6	Абсолютно-разновозрастные	100–180	100	136,2±4,85	15,9
7		40–140	100	80,0±5,77	32,3
8	Ступенчато-разновозрастные	61–100	35	133,8±10,61	32,7
		141–200	65		
9	Циклично-разновозрастные	60–200	100	114,0±3,37	29,9
10	Ступенчато-разновозрастные	81–160	53	175,6±14,10	35,0
		181–260	47		

На это, в частности, указывает тот факт, что в последнем справочнике [14] есть подробные таблицы хода роста по соснякам – и по бонитетам, и по типам леса, и по подзонам тайги, а по ельникам таблиц почти нет (1 таблица для одно-возрастных ельников). При этом черничные ельники на Большом Соловецком острове существенно отличаются от материковых по многим параметрам [18]. В связи с этим был выполнен анализ для ели по отдельным пробным площадям и выяснено, что закономерности везде очень близки, несмотря на некоторые отличия древостоев по составу, возрасту и полноте. Это дало основание обобщить все данные для указанного вида по пробным площадям (рис. 3, а). В данные включены и измерения, выполненные в буферной зоне, таким образом, получены сведения в целом для типа леса – ельника черничного (рис. 3, б).

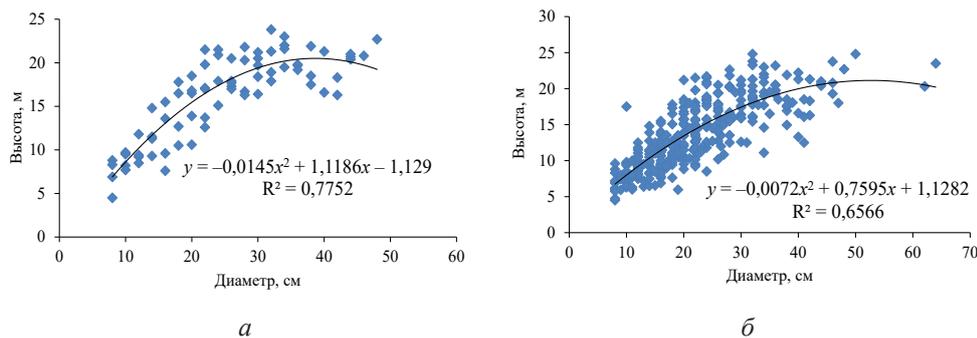


Рис. 3. Взаимосвязь диаметра и высоты деревьев ели на Большом Соловецком острове: а – для пробных площадей; б – для типа леса (ельник черничный)

Fig. 3. The relationship between the diameter and height of spruce trees on Bolshoy Solovetsky Island: а – for the sample plots; б – for the forest type (blueberry spruce forest)

На рис. 3 виден разброс точек для большой и самой большой высот (20 м) при диаметре от 30 см и выше. В целом, по данным обоих графиков, высота увеличивается лишь до диаметра 8–30 см, а затем почти не меняется.

Важным и интересным является показатель относительной высоты в ельниках Соловков. Он отражает, насколько увеличивается высота на каждый сантиметр диаметра, т. е. пропорции роста деревьев, или ростовые корреляции. Кроме этого, относительная высота косвенно характеризует сбежистость деревьев – качество стволов. Группирование деревьев ели по ступеням высоты свидетельствует о его подчинении закону нормального распределения (рис. 4). Наибольшее количество деревьев ели (63 %) имеет относительную высоту 0,5–0,7 м/см.

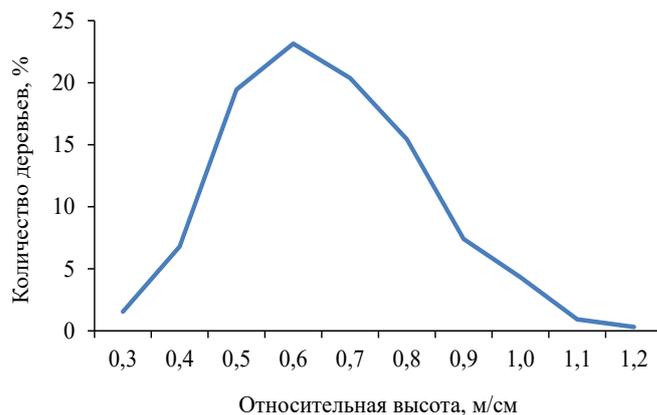


Рис. 4. Количество деревьев ели с разной относительной высотой на Большом Соловецком острове

Fig. 4. The number of spruce trees with different relative heights on Bolshoy Solovetsky Island

Средняя относительная высота для ели равна $0,66 \pm 0,01$ м/см, что говорит об увеличении высоты на 0,66 м на каждый сантиметр диаметра. Интересно, что средневзвешенная величина также составляет 0,66 м/см. В свою очередь, относительная высота в северной подзоне тайги на материке, согласно расчетам по полевому справочнику таксатора [14], равняется 0,98 м/см. Таким образом, относительная высота ели на Соловках – 67 % относительной высоты насаждений на материке.

Относительная высота в значительной степени зависит от диаметра, и эта связь обратная: чем выше диаметр, тем меньше относительная высота (табл. 3). Коэффициенты корреляции достаточно высокие и достоверны при уровне значимости 0,05. На разных пробных площадях они колеблются от $-0,59$ до $-0,88$.

Таблица 3

Зависимость относительной высоты от диаметра деревьев ели на Большом Соловецком острове
The dependence of relative height on diameter of the spruce trees on Bolshoy Solovetsky Island

ПП	Коэффициент корреляции	Ошибка	Достоверность (критерий Стьюдента)
6	$-0,88$	0,06	14,6
7	$-0,77$	0,10	7,7
9	$-0,87$	0,06	14,4
10	$-0,59$	0,09	6,6

Зависимость относительной высоты от диаметра проявляется и на отдельных пробных площадях по данным 15–16 учетных деревьев, и при обобщении в целом для пробных площадей (рис. 5, а). При использовании данных замеров

диаметров и высот на пробных площадях с учетом показателей для буферной зоны пробных площадей (325 учетных деревьев) получили зависимость для типа леса в целом (рис. 5, б). Все это свидетельствует о том, что с увеличением диаметра деревьев скорость роста в высоту резко падает вследствие негативного воздействия экологических факторов в условиях арктических островов. То есть могут образовываться достаточно большие по диаметру деревья, но с пониженной высотой, приземистые. Формируются сильносбежистые деревья, и чем толще ствол, тем сильнее сбежистость.

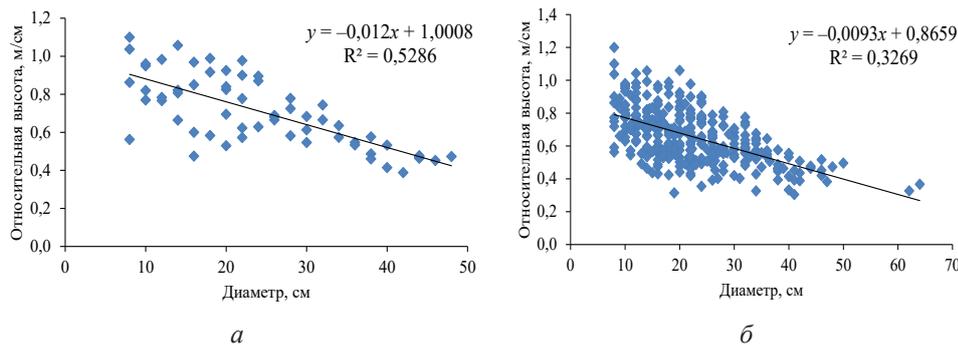


Рис. 5. Зависимость относительной высоты от диаметра деревьев ели на Большом Соловецком острове: а – для пробных площадей; б – для типа леса (ельник черничный)

Fig. 5. The dependence of relative height on spruce tree diameter on Bolshoy Solovetsky Island: а – for the sample areas; б – for the forest type (blueberry spruce forest)

Выводы

1. Черничные ельники Большого Соловецкого острова имеют в составе значительную примесь березы, осины и сосны.
2. Преобладают среднеполнотные ельники, но также значительно количество низкополнотных древостоев.
3. Все черничные ельники Большого Соловецкого острова являются разновозрастными. Встречаются абсолютно-разновозрастные, ступенчато-разновозрастные, циклично-разновозрастные.
4. Максимальная высота в изученных ельниках – около 20 м, такой высоты деревья достигают при диаметре 30–40 см.
5. Относительная высота составляет в среднем 0,66 м/см, это 67 % от показателя материковых ельников.
6. Относительная высота имеет обратную зависимость от диаметра: чем он выше, тем ниже относительная высота. При диаметре 30 см относительная высота равняется 0,6 м/см.

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*. 5th ed., enlarged. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p. (In Russ.).
2. Гурьянов М.О., Раупова Д.Э. Исследование взаимосвязи высот и диаметров на высоте груди в древостоях сосны обыкновенной Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 2021. Вып. 237. С. 6–15.

Guryanov M.O., Raupova D.E. A Study of the Relationship between Heights and Diameters at Breast Height in Tree Stands of Scots Pine in the Training and Experimental Forestry of the Leningrad Region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicеской akademii*, 2021, iss. 237, pp. 6–15. (In Russ.).

3. Гусев И.И. Продуктивность ельников Севера. Л: ЛГУ, 1978. 232 с.

Gusev I.I. *Productivity of Northern Spruce Forests*. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1978. 232 p. (In Russ.).

4. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Модель смешанных эффектов зависимости высот от диаметров деревьев в основных древостоях // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2021. Вып. 237. С. 59–74.

Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Model of Mixed Effects of Height Dependence on Tree Diameters in Pine Stands. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicеской akademii*, 2021, iss. 237, pp. 59–74. (In Russ.).

5. Инатов Л.Ф., Косарев В.П., Проурзин Л.И., Торхов С.В. Леса Соловецкого архипелага. Архангельск: СОЛТИ, 2009. 244 с.

Ipatov L.F., Kosarev V.P., Prourzin L.I., Torkhov S.V. *Forests of the Solovetsky Archipelago*. Arkhangelsk, SOLTI Publ., 2009. 244 p. (In Russ.).

6. Комин Г.Е. Возрастная структура древостоев в лесах России. Сочи: НИИГорлесэкол, 2003. 219 с.

Komin G.E. *The Age Structure of Stands in the Forests of Russia*. Sochi, Federal State Institution Research Institute of Mountain Forestry and Forest Ecology, 2003. 219 p. (In Russ.).

7. Кутявин И.Н., Манов А.В., Осипов А.Ф., Кузнецов М.А. Строение древостоев северотаежных сосняков // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 86–105.

Kutyavin I.N., Manov A.V., Osipov A.F., Kuznetsov M.A. Stand Structure of Northern Taiga Pine Forests. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 2, pp. 86–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-86-105>

8. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев европейской части России // Сиб. лесн. журн. 2020. № 5. С. 45–54.

Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Verification of Three-Parameter Models of Dependence of Height on the Diameter at Breast Height for Birch Stands of the European Part of Russia. *Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2020, no. 5, pp. 45–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20200505>

9. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Проверка двухпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди в березовых древостоях // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2020. Вып. 230. С. 100–113.

Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Verification of Bi-Parameter Models of Dependence of Diameter on Breast Height in Birch Stands. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicеской akademii*, 2020, iss. 230, pp. 100–113. (In Russ.).

10. Лебедев А.В., Кузьмичев В.В. Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений // Сиб. лесн. журн. 2023. № 2. С. 3–16.

Lebedev A.V., Kuzmichev V.V. Forest Survey Parameters of Pine Tree Stands According to Long-Term Observation Data. *Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2023, no. 2, pp. 3–16. (In Russ.).

11. Манов А.В. Структура, динамика роста и продуктивность древостоев притундровых ельников Печорского бассейна: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2009. 18 с.

Manov A.V. *Structure, Growth Dynamics and Productivity of Forest Stands of Tundra Spruce Forests of the Pechora Basin*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2009. 18 p. (In Russ.).

12. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.

Melekhov I.S. *Forest Science*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p. (In Russ.).

13. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. 7-е изд. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 455 с.

Morozov G.F. *The Doctrine of the Forest*. 7th ed. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1949. 455 p. (In Russ.).

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

Field Forest Inventory Guide. Under the general editorship by S.V. Tretyakov, S.V. Yaroslavtseva, S.V. Kopteva. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2016. 252 p. (In Russ.).

15. Семенов Б.А. Особенности роста, строения и возобновления притундровых ельников // Проблемы притундрового лесоводства: сб. ст., посвящ. памяти акад. РАС-ХН, д-ра с.-х. наук, проф., заслуж. деятеля науки России Ивана Степановича Мелехова. Архангельск: Правда Севера, 1995. С. 30–41.

Semenov B.A. Features of Growth, Structure and Renewal of Tundra Spruce Forests. *Problems of Tundra Forestry: Collection of Articles Dedicated to the Memory of Academician of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia Ivan Stepanovich Melekhov*. Arkhangelsk, Pravda Severa Publ., 1995, pp. 30–41. (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. Третьяков С.В., Коптев С.В., Наквасина Е.Н., Бахтин А.А., Ильинцев А.С., Богданов А.П., Кекишева Ю.Е. Лесная таксация. Ч. 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ. Архангельск: САФУ, 2023. 19 с.

Tretyakov S.V., Koptev S.V., Nakvasina E.N., Bakhtin A.A., Il'intsev A.S., Bogdanov A.P., Kekisheva Yu.E. *Forest Inventory*. Part 4. Laying, Inventory and Description of Sample Plots during Scientific Research and Preparation of Final Qualifying Works. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2023. 19 p. (In Russ.).

18. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Лесные насаждения Соловецкого архипелага (структура, состояние, рост): моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 201 с.

Feklistov P.A., Sobolev A.N. *Forest Plantations of the Solovetsky Archipelago (Structure, Condition, Growth)*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2010. 201 p. (In Russ.).

19. Ярославцев С.В. Строение и продуктивность ельников Крайнего Севера // Проблемы лесовыращивания на Европейском Севере: сб. науч. работ. Архангельск, 1999. С. 93–94.

Yaroslavtsev S.V. Structure and Productivity of Spruce Forests in the Far North. *Problems of Forest Cultivation in the European North: Collection of Scientific Works*. Arkhangelsk, 1999, pp. 93–94. (In Russ.).

20. Buford M.A. Height-Diameter Relationships at Age 15 in Loblolly Pine Seed Sources. *Forest Science*, 1986, no. 32, iss. 3, pp. 812–818. <https://doi.org/10.1093/forestscience/32.3.812>

21. Curtis R.O. Height-Diameter and Height-Diameter-Age Equations for Second-Growth Douglas-Fir. *Forest Science*, 1967, vol. 13, iss. 4, pp. 365–375. <https://doi.org/10.1093/forestscience/13.4.365>

22. El Mamoun H.O., El Zein A.I., El Mugira M.I. Modelling Height-Diameter Relationships of Selected Economically Important Natural Forests Species. *Journal of Forest Products & Industries*, 2013, no. 2(1), pp. 34–42.

23. Kärkkäinen L., Kurttila M., Salminen O., Viiri H. Effects of Energy Wood Harvesting on Timber Production Potential and Biological Diversity in North Karelia, Finland. *Forest science*, 2014, vol. 60. iss. 6, pp. 1077–1088. <https://doi.org/10.5849/forsci.13-041>

24. Larsen J.B., Nielsen A.B. Nature-Based Forest Management. Where are We Going? Elaborating Forest Development Types in and with Practice. *Forest Ecology Management*, 2017, vol. 238, iss. 1–3, pp. 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.087>

25. Näslund M. Antalet Provträd och Höjdkurvans Noggrannhet. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut*, 1929, no. 25, pp. 93–170. (In Swed.).

26. Pretzsch H. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 2009. 664 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4>

27. Staudhammer C., LeMay V. Height Prediction Equations Using Diameter and Stand Density Measures. *The Forestry Chronicle*, 2000, vol. 76, no. 2, pp. 303–309. <https://doi.org/10.5558/tfc76303-2>

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