

7. Tsvetkov V. F., Brovina A. N. *Problemy vedeniya lesnogohozyajstva v Evropejskoj chaste Rossijskoj Subarktiki* [Problems of forest management in the European part of the Russian Subarctic]. *Lesovedenie*, 2017, no. 4, pp. 281-289 (In Russian).

8. Juan A. Blanco and Yueh-Hsin Lo. *Forest Ecosystems – More than Just Trees*. Published by InTechJanezaTrdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2012, 480 p.

9. Maxence Martin, Nicole Fenton, Hubert Morin. Structural diversity and dynamics of boreal old-growth forests case study in Eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, 15 August 2018, Vol. 422, pp. 125-136.

10. Stephanie Mansourian. Governance and forest landscape restoration: A framework to support decision-making. *Journal for Nature Conservation*, June 2017, Vol. 37, pp. 21-30.

### Сведения об авторе

*Бровина Анна Николаевна* – аспирантка 3 года обучения кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: brovinaa@rambler.ru.

### Information about author

*Brovina Anna Nikolaevna* – post-graduate student 3 years of education at the Department of Forestry and Forest Management of the Higher School of Natural Sciences and Technology of the Federal State Academy for Education of the North (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: brovinaa@rambler.ru.

DOI: 10.12737/article\_5b97a16070c831.73443081

УДК 630\*181.64: 630\*52

### ФОРМА ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ НА ВЫСОТЕ 1,3 МЕТРА В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **А. А. Вайс**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **Д. Н. Деревянных**<sup>1</sup>

**А. А. Горошко**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Российская Федерация

Форма поперечного сечения деревьев в насаждениях является важным, но недостаточно хорошо изученным вопросом в области измерительных и лесоучетных работ. Упрощение формы поперечного сечения до проекции круга или эллипса не позволяет повысить точность измерительных работ. Более детальное изучение самой формы поперечного сечения и факторов, влияющих на нее, позволит адаптировать методику измерения под конкретные условия произрастания и повысить точность измерений. Основной целью данной работы является изучение факторов, влияющих на форму поперечного сечения отдельных деревьев и установление степени этого влияния. Для достижения поставленной цели необходимо определить форму сечения у каждого исследуемого дерева, выполнить корреляционный анализ связей между формой ствола и таксационными показателями. После этого проводится регрессионный анализ для наиболее выраженных связей и составляются уравнения. Исследование проводилось в 2015-2017 годах на территории трех районов Красноярского края: заповедник «Столбы», учебно-опытный лесхоз СибГУ и Мининское лесничество. В ходе исследования установлено, что тип ландшафта оказывает влияние на число деревьев различной формы поперечного сечения. Чем более разнообразны условия произрастания, тем больше стволов неправильной формы. Между процентом деревьев различной формы и некоторыми таксационными показателями наблюдалась значимая умеренная связь. Графиче-

ский метод анализа регрессионных связей позволил установить значительное уменьшение процента деревьев неправильной формы с возрастом, увеличением среднего диаметра, средней высоты в районе заповедника «Столбы» и с ростом полноты в районе «Караульная». Регрессионный анализ позволил получить ряд достоверных и адекватных уравнений для прогнозирования процента деревьев неправильной и округлой формы.

**Ключевые слова:** поперечное сечение, сосна обыкновенная, форма ствола, таксационный показатель, регрессионный анализ.

### FORM OF CROSS SECTION OF TREE TRUNKS AT THE HEIGHT OF 1.3 METERS IN PINE FORESTS OF SUBMONTANE PART OF EAST SAYAN

DSc in Agriculture, Professor **A. A. Veiss**<sup>1</sup>

PhD in Engineering, Associate Professor **D. N. Derevyannykh**<sup>1</sup>

**A. A. Goroshko**<sup>1</sup>

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev», Krasnoyarsk, Russian Federation

#### Abstract

The shape of cross-section of trees in plantations is an important but not well-studied issue in the field of measuring and forest inventory. The simplification of the shape of cross-section to the projection of circle or ellipse does not allow increasing the accuracy of measuring operations. A more detailed study of the very shape of cross-section and factors that affect it will make it possible to adapt the measurement technique to specific growth conditions and to increase the measurement accuracy. The main purpose of this work is to study the factors affecting the shape of cross-section of individual trees and establishing the degree of this influence. To achieve this goal, it is necessary to determine the shape of cross-section in each investigated tree, perform a correlation analysis of the relationships between the shape of the trunk and taxation indicators. After this, regression analysis is performed for the most pronounced relationships, and equations are compiled. The research has been carried out in 2015-2017 in the territory of three districts of the Krasnoyarsk Territory: the Stolby reserve, the SibSU training forestry and the Mininskoye forestry. The study has found that the type of landscape affects the number of trees of different forms of cross-section. The more diverse the conditions of growth, the more irregularly shaped trunks are. There has been a significant moderate relationship between the percentage of trees of different shapes and some taxation indicators. Graphical method of regression links analysis allowed establishing a significant decrease in the percentage of trees of irregular shape with age, increase in the average diameter, and average height in the area of the Stolby reserve and with the increase in completeness in the Karaulnaya area. Regression analysis has made it possible to obtain a number of reliable and adequate equations for predicting the percentage of trees with irregular and rounded shapes.

**Keywords:** cross section, Scots pine, trunk shape, taxation index, regression analysis.

**Введение.** Оценка формы поперечного сечения деревьев в насаждениях до настоящего времени остается одним из самых важных, но при этом недостаточно изученным вопросом в области измерительных, лесоучетных работ. Прежде всего, с точки зрения исследования факторов влияющих на форму поперечного сечения деревьев на высоте 1,3 метра.

Деление деревьев по форме поперечного сечения дополняет классический подход к стволу дерева как эллипсовидно-круглой проекции. Категоризация формы поперечного сечения позволит

повысить точность учетных работ в различных условиях произрастания. При этом система измерительных работ должна соответствовать лесоводственно-таксационным характеристикам древостоев, в которых проводится учет деревьев.

Исследованием формы поперечного сечения стволов деревьев занимался целый ряд ученых-таксаторов: Добровлянский, 1915; Орлов, 1929; Тюрин, 1945; Анучин, 1982; Бондарев, 1996; Вайс, Горошко, 2016 [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В смежной области знаний, исследующей факторы, влияющие на ради-

альный прирост, проводили исследования: Ваганов, Anchukaitis, Evans, 2011; Gričar J., 1996, 2007 [9, 10, 11].

Цель исследования – установить факторы, влияющие на форму поперечного сечения и оценить степень их воздействия. Задачи исследования: определить форму поперечного сечения деревьев сосны обыкновенной на пробных площадях; установить степень корреляционной связи между таксационными показателями насаждения и количеством деревьев с той или иной формой; выявить тенденции изменения процента деревьев в зависимости от таксационных показателей; выполнить регрессионный анализ наиболее корреляционно тесных связей между признаками.

**Природные условия района исследования.** Изучение особенностей формы поперечного сечения стволов деревьев проводилось на трех территориях, различающихся между собой по типам ландшафта. Первый участок располагался на равнине и характеризовался максимальной однородностью условий произрастания насаждений («Минино»). Второй участок представлял собой юго-восточный склон, нижней точкой которого являлся уровень реки Енисей («Караульная»). Третий участок размещался на противоположном склоне (северо-западном) с выраженным горным рельефом и максимальным разнообразием условий местопроизрастания сосновых насаждений («Столбы»). На рис. 1 представлена схема территорий.



Рис. 1. Схема территорий исследования формы поперечного сечения деревьев

Как известно комплекс природных факторов в значительной степени определяет влияние на форму поперечного сечения деревьев [3]. Ниже представлена характеристика природных условий районов исследования.

**«Минино».** Район расположен в периферической части отрогов гор Восточного Саяна. По лесорастительному районированию, разработанному

Институтом леса СО РАН им. В.Н. Сукачева, территория лесничества относится к Манско-Канскому округу подгольцово-таежных сосново-кедровых пихтовых лесов. Распределение по классам возраста как в разрезе отдельных пород и групп пород, так и в целом по территории неравномерное, что обусловлено природными, антропогенными и технологическими факторами и является результатом динамики лесного фонда. Абсолютное преобладание имеют средневозрастные насаждения, по хвойным – 51,7 %. Насаждения отличаются довольно высокой продуктивностью, средний класс бонитета – 2,6. Средняя полнота сосновых насаждений невысокая – 0,66, что связано с интенсивными рубками ухода, проводимыми в течение последних 20-25 лет. Количество дней со среднесуточной температурой воздуха  $+5^{\circ}$  и выше составляет в среднем 139 дней, с 8 мая по 23 сентября. Среднегодовое количество осадков 482 мм. Глубина промерзания почвы в отдельные годы достигает более 1,5 м. Преобладающими являются ветра юго-западных направлений. Существенного влияния на рост и развитие древесной растительности они не оказывают. Можно констатировать, что территория подвергается сильному антропогенному воздействию (интенсивные рубки, близость крупного города, прилегание к железнодорожной сети и т.д.) с суровыми климатическими условиями для произрастания древесной растительности.

**«Караульная».** Территория расположена на стыке Восточно-Саянского горно-таежного района сосново-кедрово-пихтовых лесов и Чулымо-Кетского южно-таежного района темнохвойных лесов. В приенисейской части распространены сосновые насаждения, занимающие водораздельные хребты и склоны южных экспозиций. Вертикальная зональность резкого выражения не имеет. Характер лесной растительности зависит в основном от почвенных условий и микроклимата, создаваемого на световых склонах. Климат на территории резко континентальный, средняя температура воздуха  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Количество осадков составляет 435 мм. Распределения их по месяцам вполне достаточно для роста и развития местной растительности. Продолжительность вегетационного периода 153 дня (со 2 мая по 3 октября). Основными климатическими фактора-

ми, отрицательно влияющими на развитие древесной растительности, являются поздние весенние и ранние осенние заморозки, а также неблагоприятное распределение осадков по сезонам года. Из благоприятных факторов следует отметить преобладающее количество осадков в теплое время года и значительное наличие солнечной радиации. Территория расположена в бассейне реки Енисей. По влажности большая часть почв относится к категории свежих. Почвы района отличаются большим разнообразием. На склонах крутизной до 15° преобладают хвойные насаждения с хорошо развитым напочвенным покровом. Наблюдается доминирование спелых и перестойных насаждений (по хвойному хозяйству – 60,6 %). Средний возраст сосняков 138 лет. Насаждения по типологическому составу представлены четырьмя группами типов леса (осочково-разнотравная – 69,6 %; крупнотравная – 25,6 %; зеленомошная группа типов леса – 4,4 %; травяно-болотная группа типов леса – 0,4 %). Отличительной чертой сосновых насаждений является высокая густота и ранняя кульминация текущего прироста по запасу [8].

*«Столбы».* Район относится к особо охраняемым природным территориям (заповедник) и представляет собой компактный лесной массив. Весьма сложный горный рельеф обуславливает значительную дифференциацию микроклимата. Сильно пересеченный рельеф заповедника определяет мозаичность залегания и таяния снежного покрова. Господствующими ветрами являются ветра юго-западных направлений. В преобладающей среднегорной части заповедника климат отличается более низкими зимними температурами, но меньшей континентальностью, сравнительно мягкой зимой и прохладным летом, большим количеством осадков, глубоким снежным покровом с продолжительным залеганием и медленным таянием, коротким вегетационным периодом. Территория входит в Алтае-Саянскую складчатую систему. Согласно почвенно-географическому районированию Красноярского края [7] область исследования относится к Восточно-Саянской провинции вертикально- и экспозиционно-дифференцированных мезокомбинаций дерново-подзолистых, дерново-таежных лесных, серых лесных, дерново-карбонатных почв

и подбуров таежных, Алтайско-Саянской горно-таежной области.

В соответствии с лесорастительным районированием заповедник расположен в Восточно-Саянской лесорастительной провинции в Манско-Канском округе горных темнохвойных лесов со свойственным ему спектром поясности и особенностями типологического состава лесов. Для Приенисейской части округа (район исследования) характерно влияние долины р. Енисей на типологическую структуру лесов. Здесь сильно проявляются «краевые природные эффекты», связанные с контактом трех крупных природных лесорастительных областей – Западносибирской, Среднесибирской и Алтае-Саянской горной области. На исследуемой приенисейской части произрастает типично выраженная светлохвойная подтайга и фрагментарная горная лесостепь. Территория имеет только для неё сформировавшийся комплекс особенностей растительности и животного мира, характерный только для приенисейской части Восточного Саяна. В ходе восстановительных смен после пожаров и антропогенных влияний сосна вытесняет лиственницу и расширяет господство. Продуктивность коренных лесов оценивается II-III классами бонитета.

Описание природных условий исследуемой территории позволяет констатировать, что, несмотря на близкое расположение районов каждый из них характеризуется определенным набором орографических, климатических и формационных особенностей.

**Таксационная характеристика.** Лесоводственно-таксационная оценка сосновых насаждений производилась стандартными методами путем закладки ленточных пробных площадей с измерением диаметров деревьев в количестве 100-200 шт. и определением всего комплекса таксационных характеристик, используя стандартный набор инструментов и приборов (мерная вилка, высотомер, полнотомер Биттерлиха), бланки учета.

*Лесной массив «Минино».* Сосновые насаждения (8 участков) были представлены различным составом от чистых (10С) до смешанных (с доминантой сосны 5-9 единиц) и примесью различных древесных пород: березы, осины, ели, лиственницы. Качество условий произрастания характеризо-

валось I-III классами бонитета. Возраст менялся от 50 до 100 лет. Сосняки относились к осочково-разнотравному типу леса и высокополнотным древостоям для данной местности (полнота варьировала от 0,7 до 1,0). Количественные характеристики были следующие: средний диаметр 20-32 см, средняя высота 19-24 м.

*Лесной массив «Караульная».* Пробные площади расположены на склонах различных экспозиций (южных, юго-восточных, юго-западных, западных и северных). Крутизна участков менялась от 6° до 28°. Качество условий произрастания древостоев варьировало от I до IV класса бонитета. Сосна доминировала и была представлена в составе от 60 до 100 %, кроме того в состав входили береза, осина, лиственница. Типологическая структура достаточно однородная (сосняки осочково-разнотравные, сосняки спирейно-осочковые, сосняки черничниковые). Возраст насаждений 60-130 лет. Полнота характеризовалась достаточным разнообразием (0,3-1,0). Средние размерные характеристики насаждений были следующие: средний диаметр – 14-40 см, средняя высота – 14-27 м.

*Лесной массив «Столбы».* Участки древостоев характеризовались максимальным разнообразием по совокупности действующих факторов и таксационно-морфологическим показателям насаждений и деревьев. Экспозиция склонов следующая (южная, юго-восточная, юго-западная, восточная, западная, северо-восточная, северо-западная, северная). Крутизна склонов менялась от 13° до 37°. Бонитет насаждений II - IV класс. Сосна доминировала в составе (от 60 до 100 %) с примесью березы, лиственницы, пихты, осины. Возраст насаждений варьировал от 80 до 140 лет. Полнота древостоев менялась от 0,4 до 1,0. Средний диаметр сосняков – 16-41 см, средняя высота – 17-28 м.

**Материалы и методы исследований.** Полевые работы выполнялись в вегетационный период (2014-2016 годы). Измерение диаметров растущих деревьев проводилось на высоте 1,3 метра в четырех направлениях (С-Ю, З-В, СВ-ЮЗ, СЗ-ЮВ), что позволило определить форму поперечного сечения дерева на высоте 1,3 метра. В предыдущей статье [5] установлено, что оптимальным критерием для деления деревьев по форме поперечного сечения

(округлая, переходная, неправильная) является среднеквадратическое отклонение по сторонам света 3 %. Исходной величиной было абсолютное отклонение от среднего диаметра по сторонам света

$$\Delta x = \left| \frac{(x_i - \bar{x}) \cdot 100\%}{\bar{x}} \right|, \quad (1)$$

где  $\Delta x$  – отклонение, %;

$x_i$  – диаметр, см;

$\bar{x}$  – средний диаметр, см.

Точность опыта проведенных измерений диаметров составила по пробным площадям 2,4-5,6%.

**Результаты исследования.** Оценка формы поперечного сечения растущих деревьев сосны на высоте 1,3 метра приведена в табл. 1.

В районе «Минино» число деревьев округлой формы составляло 39,7-55,4%, переходной – 28,7-40,2 %, неправильной – 14,5-20,2 %. На территории «Столбы» число деревьев различных категорий по форме варьировало следующим образом: округлая – 15,5-44,5 %, переходная – 37,4-59,0 %, неправильная – 12,1-38,0 %. В сосняках на участках «Караульная» форма поперечного сечения менялась в следующих лимитах: округлая – 27,0-64,2 %, переходная – 22,9-49,5 %, неправильная – 12,3-38,0 %. В результате можно констатировать, что максимальное число деревьев неправильной формы наблюдалось в районе заповедника «Столбы», затем «Караульная» и «Минино». С округлой формой ситуация обратная («Минино» – «Караульная» – «Столбы»).

Тип ландшафта районов исследований (равнина, склон юго-восточной экспозиции, склон северо-западной экспозиции) также оказывает влияние на форму поперечного сечения деревьев. Прослеживается следующая закономерность: чем однороднее условия произрастания (сосняки «Минино»), тем больше деревьев округлой формы. На территории с выраженным разнообразием рельефа и таксационных показателей насаждений («Столбы») число деревьев с неправильной формой максимально. Установление факторов, оказывающих существенное влияние на процент деревьев неправильной и округлой формы, выполнялось с помощью корреляционного анализа (табл. 2).

## Природопользование

Таблица 1

Оценка формы поперечного сечения деревьев сосны на высоте 1,3 метра

Состав	Возраст, лет	Категория формы поперечного сечения		
		округлая	переходная	неправильная
1	2	3	4	5
<b>Лесной массив «Минино»</b>				
5С4Б1Ос	60	47,3	33,7	19,0
10С+Е	50	45,8	39,1	15,1
10С+Б+Ос	90	55,4	28,7	15,9
9С1Б	100	51,2	34,3	14,5
7С2Б1Ос+Л	90	49,2	32,4	18,4
5С4Е1Б	90	39,7	40,1	20,2
5С2С2Б	100	52,8	32,6	14,6
<b>Лесной массив «Столбы»</b>				
9С1Б	110	37,1	45,7	17,2
10С+Б+Л	130	38,0	43,8	38,0
10С+Л+Б	120	29,7	48,5	21,8
8С1Л1Б	130	24,8	58,4	16,8
9С1Л+Б	110	41,4	37,4	21,2
10С	110	27,9	47,1	25,0
6С3Л1Е едБ	140	44,5	40,0	15,5
7С3П	110	39,5	44,7	15,8
7С3Л+Б	120	25,4	59,0	15,6
9С1Б едП	120	48,6	39,3	12,1
7С2Б1П	85	29,2	46,2	24,6
7С1Л2Б	120	37,5	46,2	16,3
8С1Л1Б	110	20,6	50,5	29,0
8С1Л1Б	130	27,7	52,7	19,6
6С2Б2Ос	80	31,4	42,2	26,5
7С1Л2Б	120	15,5	54,1	30,4
10С	120	24,5	47,0	28,5
<b>Лесной массив «Караульная»</b>				
10С	75	51,8	30,9	17,3
10С+Б	80	47,7	32,7	19,6
6С4Б+Ос	80	53,7	28,7	17,6
10С	90	27,0	41,0	32,0
7С3Б	85	32,7	49,5	17,8
7С3Б	65	53,5	33,3	13,2
8С2Б	60	54,3	32,8	12,9
7С2Б1Ос	80	58,3	27,1	14,6
8С2Б+Ос+Л	65	49,0	35,3	15,7
9С1Б	110	42,6	37,6	19,8
7С3Б+С	95	33,7	46,5	19,8
9С1Б	130	51,5	29,9	18,6
8С2Б+Ос	130	38,8	35,9	25,2

## Природопользование

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
7СЗБ	110	58,3	22,9	18,8
5С2С1Л2Б	110	64,2	23,6	12,3
10С	60	36,6	35,6	27,7
10С+Б	70	42,0	43,0	15,0

Таблица 2

Коэффициенты корреляции и оценка уровня связи процента деревьев различной формы с таксационными показателями сосновых древостоев

Корреляционная связь	Уровень значимости	Характеристика связи	
		вид связи	оценка тесноты
1	2	3	4
<b>Лесной массив «Минино»</b>			
ПНФ – возраст	(-0,15)	незначима	слабая
ПНФ – высота	(-0,08)	незначима	слабая
ПНФ – диаметр	(-0,03)	незначима	слабая
ПНФ – полнота	(-0,44)	значима	умеренная
ПНФ – бонитет	(0,10)	незначима	слабая
ПОФ – возраст	(0,39)	значима	умеренная
ПОФ – высота	(0,24)	незначима	слабая
ПОФ – диаметр	(0,23)	незначима	слабая
ПОФ – полнота	(0,43)	значима	умеренная
ПОФ – бонитет	(0,21)	незначима	слабая
<b>Лесной массив «Столбы»</b>			
ПНФ – экспозиция	(-0,13)	незначима	слабая
ПНФ – крутизна	(0,11)	незначима	слабая
ПНФ – бонитет	(0,25)	незначима	слабая
ПНФ – возраст	(-0,44)	значима	умеренная
ПНФ – высота	(-0,49)	значима	умеренно-значительная
ПНФ – диаметр	(-0,47)	значима	умеренная
ПНФ – полнота	(-0,01)	незначима	слабая
ПОФ – экспозиция	(0,24)	незначима	слабая
ПОФ – крутизна	(-0,12)	незначима	слабая
ПОФ – бонитет	(-0,11)	незначима	слабая
ПОФ – возраст	(0,08)	незначима	слабая
ПОФ – высота	(0,19)	незначима	слабая
ПОФ – диаметр	(0,22)	незначима	слабая
ПОФ – полнота	(-0,16)	незначима	слабая
<b>Лесной массив «Караульная»</b>			
ПНФ – экспозиция	(0,20)	незначима	слабая
ПНФ – крутизна	(0,28)	незначима	слабо-умеренная
ПНФ – бонитет	(0,43)	значима	умеренная
ПНФ – возраст	(0,21)	незначима	слабая
ПНФ – высота	(-0,15)	незначима	слабая

1	2	3	4
ПНФ – диаметр (0,04)	незначима	прямая	слабая
ПНФ – полнота (-0,40)	значима	обратная	умеренная
ПОФ – экспозиция (-0,26)	незначима	обратная	слабая
ПОФ – крутизна (-0,46)	значима	обратная	умеренная
ПОФ – бонитет (-0,42)	значима	обратная	умеренная
ПОФ – возраст (0,01)	незначима	прямая	слабая
ПОФ – высота (0,35)	значима	прямая	умеренная
ПОФ – диаметр (0,09)	незначима	прямая	слабая
ПОФ – полнота (0,33)	значима	прямая	умеренная

Примечание: ПНФ – процент деревьев неправильной формы; ПОФ – процент деревьев округлой формы; при  $p < 0,05$  – коэффициент корреляции значим (достоверен).

По районам исследований наблюдались значимые связи между процентом деревьев неправильной формы и полнотой, с возрастом и процентом деревьев округлой формы, с полнотой и процентом деревьев округлой формы («Минино»).

Для района «Столбы» установлены достоверные, умеренные связи между процентом деревьев неправильной формы с возрастом и различными параметрами насаждений (средней высотой и средним диаметром).

В районе «Караульная» выявлены значимые умеренные связи различного вида процента деревьев неправильной формы с крутизной склона, бонитетом, и полнотой; процентом деревьев округлой формы с крутизной, бонитетом, высотой и полнотой.

В результате выявлены умеренные связи между процентами деревьев неправильной и округлой формы и рядом таксационных показателей насаждений с учетом расположения территории.

Важным для изучения формы поперечного сечения деревьев сосны является выявление тенденций в изменении процента деревьев в зависимости от таксационных показателей. Установить закономерности можно только путем графического анализа тенденций (рис. 2 и 3).

Результаты графического анализа приведены в табл. 3 в форме установленных тенденций.

Из представленных регрессионных связей (табл. 3) наиболее выражены следующие тенденции: уменьшение процента деревьев неправильной формы с возрастом; уменьшение процента деревьев непра-

вильной формы с увеличением высоты насаждений; уменьшение процента деревьев неправильной формы с ростом среднего диаметра насаждений в районе заповедника «Столбы»; уменьшение процента деревьев неправильной формы с увеличением полноты насаждений в районе «Караульная».

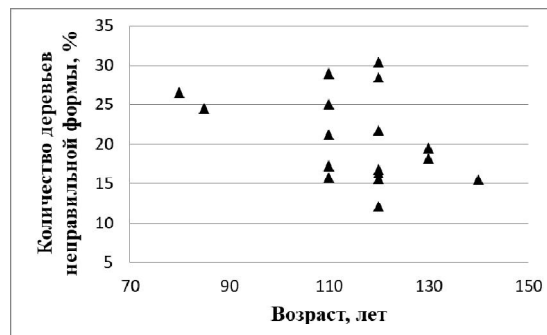


Рис. 2. Процент деревьев неправильной формы на территории заповедника «Столбы»

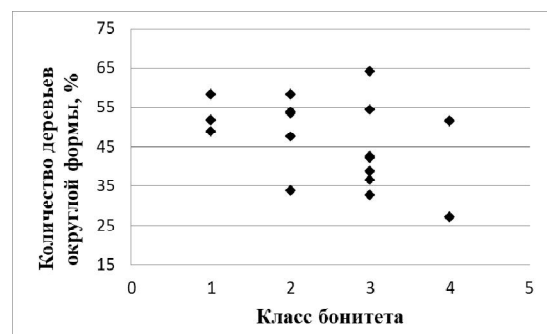


Рис. 3. Процент деревьев округлой формы на территории «Караульная»



Тенденции изменения процента деревьев округлой и неправильной формы в зависимости от таксационных показателей сосновых насаждений

Регрессионная связь		Тенденции по районам исследований		
зависимый признак	независимый признак	«Минино»	«Столбы»	«Караульная»
ПНФ	бонитет	изменение процента деревьев не выражено	незначительное увеличение процента деревьев	из всех районов наиболее выражено незначительное увеличение процента деревьев
ПНФ	возраст	незначительное уменьшение процента деревьев	значительное увеличение процента деревьев	незначительное увеличение процента деревьев
ПНФ	высота	изменение процента деревьев не выражено	значительное уменьшение процента деревьев	незначительное уменьшение процента деревьев
ПНФ	диаметр	изменение процента деревьев не выражено	значительное уменьшение процента деревьев	изменение процента деревьев не выражено
ПНФ	полнота	незначительное уменьшение процента деревьев	изменение процента деревьев не выражено	выраженное уменьшение процента деревьев
ПНФ	бонитет	незначительное увеличение процента деревьев (I-III классы бонитета)	незначительное уменьшение процента деревьев (II-IV классы бонитета)	выраженное уменьшение процента деревьев (I-IV классы бонитета)
ПОФ	возраст	незначительное увеличение процента деревьев	незначительное увеличение процента деревьев	изменение процента деревьев не выражено
ПОФ	высота	незначительное увеличение процента деревьев	незначительное увеличение процента деревьев	значительное увеличение процента деревьев
ПОФ	диаметр	незначительное увеличение процента деревьев	незначительное увеличение процента деревьев	изменение процента деревьев не выражено
ПОФ	полнота	значительное увеличение процента деревьев	незначительное увеличение процента деревьев	значительное увеличение процента деревьев

При этом для процента деревьев округлой формы наиболее выраженными были следующие тенденции: уменьшение процента деревьев округлой формы с ухудшением качества условий произрастания; увеличение процента деревьев округлой формы с ростом средней высоты насаждений; увеличение про-

цента деревьев округлой формы с изменением полноты насаждений в районе «Караульная»; увеличение процента деревьев округлой формы с возрастанием полноты насаждений в районе «Минино».

На основе корреляционного анализа и установленных тенденций был выполнен регрессионный ана-

лиз. В результате были отобраны таксационные показатели со значимыми коэффициентами:  $\bar{H}$  – средняя высота;  $\bar{D}$  – средний диаметр;  $P$  – полнота;  $B$  – бонитет;  $\bar{A}$  – средний возраст;  $\Xi$  – экспозиция склона.

*«Минино»*

**$ПНФ = 0,7537 \cdot \bar{H}$**  (коэффициент  $b$  значим, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,977$ ;  $m = 2,7\%$ ;  $F = 297$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $\bar{H} = 19-24$  м.

**$ПНФ = 0,8665 \cdot \bar{D} + 31,2078 \cdot P$**  (коэффициенты значимы, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,994$ ;  $m = 4,3\%$ ;  $F = 538$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $\bar{D} = 20-32$  см,  $P = 0,7-1,0$ .

*«Столбы»*

**$ПНФ = 7,0237 \cdot B - 0,2407 \cdot \bar{A} + 1,2134 \cdot \bar{H}$**  (коэффициенты значимы, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,945$ ;  $m = 5,6\%$ ;  $F = 80$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $B = 2-4$  классы,  $\bar{A} = 80-140$  лет,  $\bar{H} = 17-27$  м.

**$ПОФ = 2,1013 \cdot \Xi + 0,7473 \cdot \bar{D}$**  (коэффициент значим, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,948$ ;  $m = 8,1\%$ ;  $F = 135$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $\Xi$  от холодных до теплых,  $\bar{D} = 16-41$  см.

*«Караульная»*

**$ПНФ = 1,6084 \cdot \Xi + 0,3001 \cdot \bar{D}$**  (коэффициенты значимы, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,926$ ;  $m = 5,6\%$ ;  $F = 94$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $\Xi$  от холодных до теплых,  $\bar{D} = 14-40$  см.

**$ПОФ = 2,1753 \cdot \bar{H}$**  (коэффициенты значимы, т.к.  $p \leq 0,05$ ;  $R^2 = 0,954$ ;  $m = 10,5\%$ ;  $F = 335$ , уравнение достоверно т.к.  $F_{\phi} \geq F_{таб}$ ). Уравнение адекватно для  $\bar{H} = 14-27$  м.

Регрессионный анализ показал, что для каждого района характерен свой набор значимых таксационных показателей. Для определения процента деревьев различной формы поперечного сечения. Все уравнения характеризуются высокой степенью адекватности ( $R^2 = 0,926-0,994$ ). Ошибка варьировала в пределах  $m = 2,7-10,5\%$ .

**Выводы.** В результате проведенных исследований можно констатировать следующее.

- Тип ландшафта оказывает влияние на число деревьев различной формы поперечного сечения. Чем разнообразнее условия произрастания, тем больше деревьев неправильной формы поперечного сечения. Для исследуемых районов процент деревьев умень-

шался в следующей последовательности «Столбы» – «Минино» – «Караульная».

- Между процентом деревьев различной формы поперечного сечения и таксационными показателями насаждения наблюдалась значимая, умеренная связь. В районе «Минино» между процентом деревьев неправильной формы и полнотой, процентом округлой формы с возрастом и полнотой. Для насаждений «Столбы» между процентом деревьев неправильной формы с возрастом и средними размерными параметрами древостоев. Участки «Караульная» характеризовались связью процента деревьев неправильной формы с крутизной склона, бонитетом и полнотой; процента деревьев округлой формы с крутизной, бонитетом, высотой и полнотой.

- Графический метод анализа регрессионных связей позволил установить значительное уменьшение процента деревьев неправильной формы с возрастом, увеличением среднего диаметра, средней высоты в районе заповедника «Столбы» и с увеличением полноты в районе «Караульная». Уменьшение процента деревьев округлой формы выражено с ухудшением качества условий произрастания; увеличение процента деревьев обусловлено возрастанием средней высоты и полноты насаждений в районе «Караульная» и «Минино».

- С помощью регрессионного анализа получен ряд достоверных и адекватных уравнений для прогнозирования процента деревьев неправильной и округлой формы.

- Достоверно установлено, что процент деревьев неправильной формы зависит от типа ландшафта, который определяет набор значимых таксационных показателей. В «Минино» это средняя высота (чем больше высота, тем выше процент деревьев неправильной формы). В районе заповедника «Столбы» значимыми факторами являлись бонитет (прямая связь), возраст (обратная связь), средняя высота (прямая связь). В насаждениях «Караульная» значимо влияют на процент деревьев экспозиция склона (прямая связь), средний диаметр (прямая связь).

Обобщая полученные результаты можно резюмировать, что вне зависимости от типа ландшафта с увеличением средней высоты и диаметра насаждений и ухудшением качества условий произрастания процент деревьев неправильной формы возрастает. С уве-

личением возраста насаждений процент деревьев неправильной формы уменьшается. Экспозиция склона при переходе от холодных склонов к теплым с одной стороны увеличивает процент деревьев неправильной формы при расположении насаждений на южном склоне («Караульная»), с другой стороны увеличивает

процент деревьев округлой формы при произрастании древостоев на северных склонах («Столбы»).

Полученные результаты позволят разработать систему измерений диаметров деревьев неправильной формы с учетом таксационных показателей насаждений.

### Библиографический список

1. Анучин, Н. П. Лесная таксация [Текст] : учеб. / Н. П. Анучин. – М. : Лесн. пром-сть, 1982. – 552 с.
2. Бондарев, А. И. Форма поперечных сечений стволов в редкостойных лесах севера Сибири [Текст] / А. И. Бондарев // Лесная таксация и лесоустройство. – 1993. – № 2. – С. 45-49.
3. Орлов, М. М. Лесная таксация [Текст] / М. М. Орлов. – Л. : Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть, 1929. – 532 с.
4. Тюрин, А. В. Таксация леса [Текст] / А. В. Тюрин. – М. : Гослестехиздат, 1945. – 376 с.
5. Вайс, А. А. Форма поперечного сечения деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с учетом типологической структуры в условиях южной части средней Сибири [Текст] / А. А. Вайс, А. А. Горошко // Хвойные бореальной зоны. – 2014. – № 1-2. – С. 10-12.
6. Добровлянский, В. Я. К вопросу об определении объема срубленных деревьев [Текст] / В. Я. Добровлянский // Известия лесного института. – 1915. – № 13. – С. 24-30.
7. Ершов, Ю. И. Почвы и земельные ресурсы Красноярского края [Текст] / Ю. И. Ершов. – Красноярск : ИЛ им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2000. – 81 с.
8. Захаревич, Л. Е. Динамика таксационных показателей сосновых насаждений на бонитетной основе в условиях учебно-опытного лесхоза СибГАУ [Текст] / Л. Е. Захаревич // Молодежь и наука. – 2017. – № 1. – С. 56-63.
9. Vaganov, E. A. How well understood are the processes that create dendroclimatic records? A mechanistic model of the climatic control on conifer tree-ring growth dynamics [Text] / E. A. Vaganov, K. J. Anchukaitis, M. N. Evans // *Dendroclimatology*. – 2011. – P. 37-75.
10. Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce [Text] / J. Gričar, M. Zupančič, K. Čufar, P. Oven // *Wood Science and Technology*. – 2007. – № 6. – P. 463-475.
11. Savidge, R. A. Xylogenesis, genetic and environmental regulation – A review [Text] / R. A. Savidge // *Iawa Journal*. – 1996. – № 3. – P. 269-310.

### References

1. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest inventory]. Moscow, Lesnaya promyshlennost', 1982. 552 p. (In Russian).
2. Bondarev A. I. *Forma poperechnykh secheniy stvolov v redkostoynykh lesakh severa Sibiri* [The shape of cross-sections of trunks in the rare woods of the north of Siberia] *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest inventory and forest management], 1993, no. 2, pp. 45-49. (In Russian).
3. Orlov M. M. *Lesnaya taksatsiya* [Forest inventory]. Leningrad, Lesnoe khozyaystvo i lesnaya promyshlennost', 1929. 532 p. (In Russian).
4. Tyurin A. V. *Taksatsiya lesa* [Forest inventory]. Moscow, Goslестехиздат, 1945. 376 p. (In Russian).
5. Vays A. A., Goroshko A. A. *Forma poperechnogo secheniya derev'ev sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) s uchetom tipologicheskoy struktury v usloviyakh yuzhnoy chasti sredney Sibiri* [The shape of the cross-section of Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.), taking into account the typological structure in the southern part of Central Siberia]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zone], 2014, no. 1-2, pp. 10-12. (In Russian).
6. Dobrovlyanskiy V. Ya. *K voprosu ob opredelenii ob'ema srublennykh derev'ev* [On the issue of determining the volume of felled trees]. *Izvestiya lesnogo instituta* [News of the Forest Institute], 1915, no. 13, pp. 24-30. (In Russian).
7. Ershov Yu. I. *Pochvy i zemel'nye resursy Krasnoyarskogo kraya* [Soils and land resources of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk, IL im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2000. 81 p.
8. Zakharevich, L. E. *Dinamika taksatsionnykh pokazateley sosnovykh nasazhdeniy na bonitetnoy osnove v usloviyakh uchebno-opytного leskhoza SibGAU* [Dynamics of taxation indicators of pine plantations on a bonitet basis in the conditions of the training and experimental forestry of SibSAU]. *Molodezh' i nauka* [Youth and Science], 2017, no. 1,

pp. 56-63. (In Russian).

9. Vaganov E. A., Anchukaitis K. J., Evans M. N., How well understood are the processes that create dendroclimatic records? A mechanistic model of the climatic control on conifer tree-ring growth dynamics. *Dendroclimatology*, 2011, pp. 37-75.

10. Gričar J., Zupančič M., Čufar K., Oven P., Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce. *Wood Science and Technology*, 2007, no. 6, pp. 463-475.

11. Savidge R. A. Xylogenesis, genetic and environmental regulation – A review. *Iawa Journal*, 1996, no. 3, pp. 269-310.

### Сведения об авторах

*Вайс Андрей Андреевич* – профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», доктор сельскохозяйственных наук, профессор, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: vais6365@mail.ru.

*Деревянных Дмитрий Николаевич* – и. о. ректора ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: rector@sibsau.ru.

*Горошко Андрей Александрович* – аспирант ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail: 902970@list.ru.

### Information about authors

*Veiss Andrey Andreevich* – Professor Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, DSc in Agriculture, Professor, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: vais6365@mail.ru.

*Derevyannykh Dmitriy Nikolaevich* – Acting Rector Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, PhD in Engineering, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: rector@sibsau.ru.

*Goroshko Andrey Aleksandrovich* – post-graduate student Federal State Budget Education Institution of Higher Education Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail: 902970@list.ru.

DOI: 10.12737/article\_5b97a1688c1907.16726604

УДК 630\*2

### ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА МАКРОСТРОЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ И СОСНЫ

Д. А. Зайцев<sup>1</sup>

доктор сельскохозяйственных наук Д. А. Данилов<sup>2,1</sup>

доктор сельскохозяйственных наук, профессор Н. В. Беляева<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

2 – ФГБНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Ленинградская область, Российская Федерация

Целью проведённой работы было выявление закономерностей формирования анатомического строения, а также плотности древесины сосны и ели под эффектом разреживания состава насаждения. Объектами исследования являются спелые чистые и смешанные древостои кислично-черничного типа леса с различными долями сосны и ели в составе, расположенные в Ленинградской области. В насаждениях были заложены постоянные пробные площади с разреживаниями различной интенсивности, с выделением контрольных секций без рубок. На опытных объектах был произведен отбор образцов древесины со всех представленных ступеней толщины насаждения, путем высверливания радиальных кернов буровом Пресслера на высоте 1,3 м от корневой шей-