



## **Закономерности процесса формирования мутовок в куртинах подроста сосны обыкновенной в сосняке брусничном на юге Республики Бурятия**

**Анатолий В. Грязькин**<sup>1</sup>, [lesovod@bk.ru](mailto:lesovod@bk.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-7901-2180>

**Вячеслав В. Горбач**<sup>2</sup>, [gorbach@petsu.ru](mailto:gorbach@petsu.ru)  <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>

**Павел А. Феклистов**<sup>3</sup>, [pfeklistov@yandex.ru](mailto:pfeklistov@yandex.ru)  <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

**Борис Б. Климов**<sup>1</sup>, [klimov@bk.ru](mailto:klimov@bk.ru)  <https://orcid.org/0009-0006-1298-4432>

**Ольга И. Гаврилова**<sup>2</sup>  [ogavril@mail.ru](mailto:ogavril@mail.ru)  <https://orcid.org/0000-0002-5618-8239>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, пер. Институтский, 5, корпус У, г. Санкт-Петербург, 194018, Российская Федерация

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185960, Российская Федерация

<sup>3</sup> Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, 162000, Российская Федерация

### **Аннотация**

Представлены данные по формированию мутовок у подроста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) под пологом сосняка брусничного (*Pinetum vacciniosum*). Для проведения учётных работ использовали метод круговых площадок. Учётные площадки размером по 10 м<sup>2</sup> были заложены по старой гари на склонах крутизной от 2 до 10 градусов. Высота над уровнем моря от 676 до 845 м. У модельных экземпляров подроста измеряли высоту, определяли возраст и средний прирост, подсчитывали число ветвей в мутовках по годам формирования. Показано, что в «окнах» материнского древостоя подрост образует куртины, в центре которых растения имеют максимальную высоту (до 610 см), а по периметру – минимальную (7 см), то есть молодое поколение сосны в окнах образует своеобразный купол. Возраст, высота и средний прирост подроста варьируют в широких пределах, отклонение распределений их значений от нормального закона указывает на дифференциацию роста растений при неравномерной освещенности. Высота увеличивается с возрастом, с высотой в свою очередь тесно связан средний прирост. У подроста высотой до 30–40 см и у нежизнеспособного подроста мутовки чаще всего не формируются, у более крупного подроста мутовка состоит из 2–4 ветвей, максимальное их число достигает 6. Увеличение числа ветвей в мутовках с увеличением возраста и высоты подроста тесно связано со средним приростом, что наиболее адекватно описывается логарифмической моделью. В 2019 году, согласно модели, максимальное число ветвей в мутовке достигалось при среднем приросте у крупного подроста около 70 см, а в 2022 году при величине прироста 50 см. Число ветвей в мутовке, опосредованно связано с возрастом, высотой и средним приростом.

**Ключевые слова:** Республика Бурятия, сосняк брусничный, подрост сосны обыкновенной, *Pinus sylvestris*, биометрические характеристики, мутовка

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Для цитирования:** Закономерности процесса формирования мутовок в куртинах подроста сосны обыкновенной в сосняке брусничном на юге Республики Бурятия/ А. В. Грязькин, В. В. Горбач, П. А. Феклистов, Б. Б. Климов, О. И. Гаврилова // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 15-28. – Библиогр.: с. 24-27 (24 назв.). - DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/2>.

*Поступила* 24.09.2024. *Пересмотрена* 21.01.2025. *Принята* 27.05.2025. *Опубликована онлайн* 26.06.2025.

Article

### **Patterns of the process of whorl formation in the curtains of the the young generation of pine of the common in the *Pinetum vaccinosum* forest in the south of the Republic of Buryatia**

#### **Abstract**

The data on whorl formation in pine undergrowth (*Pinus sylvestris* L.) under the canopy of lingonberry pine (*Pinetum vaccinosum*) are presented. The method of circular plots was used for survey work. Survey plots of 10 m<sup>2</sup> each were laid along the old burned area on slopes with a steepness of 2 to 10 degrees. The altitude ranged from 676 to 845 m above sea level. The height of model exemplars of undergrowth was measured, age and average growth were determined, and the number of branches in whorls by year of formation was counted. It was shown that in the “windows” of the maternal stand the undergrowth forms clumps, in the center of which plants have maximum height (up to 610 cm), and along the perimeter - minimum height (4-7 cm), i.e., the young generation of pine in the windows forms a kind of dome. Age, height and average growth of young growth vary widely, the deviation of their distributions from the normal law indicates the differentiation of plant growth under uneven illumination. Height increases with age, and average growth is closely related to height. Undergrowth up to 30-40 cm in height and non-viable undergrowth most often do not form whorls, in larger undergrowth whorls consist of 2-4 branches, their maximum number reaches 6. The increase in the number of branches in whorls with increasing age and height of the undergrowth is closely related to the average growth, which is most adequately described by the logarithmic model. In 2019, according to the model, the maximum number of branches in a whorl was reached at an average growth of about 70 cm, and in 2022 at a growth value of 50 cm. The number of branches in a whorl is indirectly related to age, height and average growth.

**Keywords:** Republic of Buryatia, lingonberry pine forest, pine undergrowth, *Pinus sylvestris*, biometric characteristics, whorl

**Conflict of interest:** the authors declares no conflict of interest.

**Funding:** This study did not receive external funding.

**Acknowledgements:** the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

**For citation:** Gryazkin A.V., Gorbach V.V., Feklistov P. A., Klimov B.B., Gavrilova O. I. (2025). Patterns of the process of whorl formation in the curtains of the the young generation of pine of the common in the *Pinetum vaccinosum* forest in the south of the Republic of Buryatia. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 15, No. 2 (58), pp. 15-28 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/2>.

*Received* 24.09.2024. *Revised* 21.01.2025. *Accepted* 27.05.2025. *Published online* 26.06.2025.

#### **Введение**

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одна из основных лесообразующих пород в лесном

фонде Российской Федерации, занимающая по покрытой лесом площади второе место после

лиственницы. Эта древесная порода относится к светолюбивым растениям, и может произрастать в широком диапазоне почвенно-грунтовых условий, как на бедных сухих, так и на переувлажненных и заболоченных почвах А. Илтишев и др. (2021) [2], А.В. Грязькин и О.И. Гаврилова (2022) [3], М. В. Ермакова (2024) [1],

Необходимым условием сохранения лесов является естественное возобновление А.И. Салтыкова (2021) [5]. А.В. Грязькина и О.И. Гавриловой (2022) [3], Д. С. Собачкина (2022) [4], Б. Б. Климова и др. (2024) [6]. В малонарушенных лесах процессы формирования и развития древостоев усиливаются после естественного разреживания основного полога посредством естественного отпада или возникающих пожаров. Сосна успешно возобновляется семенным путем. Наилучшие результаты восстановления сосняков отмечают на гарях О.И. Гаврилова и А.В. Грязькин [7], Н.С. Санникова и др. [8]. На вырубках, как указывают Ю.П. Демаков и Т.В. Нуреева (2019) [9], естественное возобновление сосны на месте материнского древостоя успешно протекает в условиях брусничного, верескового и лишайникового типа леса. К.Н. Большегуров и др. (2021) [10], считают, что на заболоченных и на бедных песчаных почвах конкуренты сосны, как правило, отсутствуют. На богатых почвах, независимо от категории земель, сосна вытесняется лиственными породами и елью К.Н. Большегуров и др. (2022) [11]. Низкую конкурентную способность сосна демонстрирует и по отношению к кустарничкам и травянистым растениям. Мохово-лишайниковый ярус в случае образования сплошного ковра также препятствует прорастанию семян, считают Marqués et al. (2021) [12].

Результаты исследований Ch. Shnga et al. (2020) [14], В.Б. Придача и др. (2024) [13], показывают, что если за точку отсчета брать стену леса, то получается симметричная картина по состоянию подроста сосны. На открытой площади до стены леса преобладает жизнеспособный подрост, а под пологом, начиная от стены леса – нежизнеспособные растения. Доля сухого подроста в первом случае составляет не более 3%, а во втором случае может достигать 25-50%. В.Б. Придача с соавторами (2024) [13] отмечают, что под пологом высокополнотных

древостоев молодое поколение сосны чаще всего не выживает, в таких случаях преобладает подрост категории нежизнеспособный и сухой.

На гарях, как правило, встречается подрост сосны разных генераций, что связано с периодичностью плодоношения сосны. В этой связи проявляется определенная закономерность в возрастной структуре подростка. По мнению А. Mostarin (2021) [15] подрост сосны представлен разными возрастными ступенями, соответствующими повторяемости обильных урожаев семян. Условия роста и развития молодого поколения сосны на гарях отличаются от условий на вырубках, пустолях и других категориях земель. Основное отличие состоит в том, что в результате сгорания большого объема органического вещества происходит залповый выброс элементов минерального питания в лесную экосистему. Как считают J. Sklodowski (2020), [16], L.E. Frelich (2020) [17], Anderegg W.R.L., et al (2020) [18], в этой связи на гари создаются более благоприятные условия для роста любых растений, включая и лесобразующие породы.

Лесной фонд республики Бурятия характеризуется большой долей сосновых лесов. Чаще всего это чистые по составу древостои. Основная часть сосняков встречается по склонам разной экспозиции и крутизны, считают А. В. Лебедев [19] и S. Gerelbaatar (2021) [20]. Для сухих боров характерны бедные песчаные почвы часто без гумусового горизонта, отмечают О.И. Гаврилова и А.В. Грязькин, (2022) [7]. Интенсивная промываемость почв обуславливает быстрое уменьшение минеральных веществ в верхних горизонтах почвы. Всё это оказывает заметное влияние на структуру и состояние подростка сосны. По исследованиям А.И. Салтыкова (2021) [5], молодое поколение сосны обычно образует куртины в «окнах» материнского древостоя. В центре такой куртины растения имеют максимальную высоту, а по периметру – минимальную, то есть образуется своеобразный купол, представленный растениями разного возраста и высоты.

Динамика роста молодого поколения сосны исследована достаточно подробно. Так, этими вопросами занимались О.И. Гаврилова и А.В. Грязькин (2022) [3], Д. С. Собачкин (2022) [4], А.И. Салтыков (2021) [5], но информативным показателем

успешности процесса восстановления может быть и число ветвей в мутовках. Установлено, что количество ветвей в мутовках подроста сосны зависит от возраста, высоты и величины среднего прироста. Сведений по этим биометрическим характеристикам подроста сосны существенно меньше [3-5]. Практически отсутствуют публикации по габитусу и структуре кроны подроста. Работ, посвящённых связи числа ветвей в мутовке с возрастом, высотой и величиной прироста, нет.

Цель исследования – установление зависимости между биометрическими характеристиками подроста сосны, произрастающего в окнах под пологом сосняка брусничного, и числом ветвей в мутовках по годам их формирования в условиях республики Бурятия.

### **Материалы и методы**

Объект исследования – подрост сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) под пологом сосняков. Исследования проводили на юге республики Бурятия на территории Зун-Хурайского лесничества (52° 05'831'' с.ш., 110° 05'814'' в.д.). Опытный участок площадью 42 га расположен на высоте от 676 до 845 м над уровнем моря. Почвы сухие, песчаные со слаборазложившейся лесной подстилкой мощностью 6-12 см, сложенной хвоей сосны, шишками и сухими побегами.

Древостой представлены сосняками брусничными 4 класса бонитета, чистыми по составу, с неравномерным распределением деревьев по площади и наличием окон разного размера. Древостой многократно пройдены низовым пожаром. Последний низовой лесной пожар на объектах исследования случился 14-15 лет назад. В окнах встречается подрост сосны, который обычно формирует куртины разного размера (рис. 1). В куртинах подрост представлен разными генерациями, соответствующими повторяемости семенных лет с обильным урожаем (5-8 лет). Возрастной диапазон подроста составляет 4-21 год. Высота подроста варьирует от 10-15 см до 5-6.1 м. Общая густота не превышает 1000 экз./га.

Подлесок практически отсутствует, встречаются единичные особи рябины сибирской (*Sorbus*

*aucuparia subsp. sibirica* ((HEDL.) KRYLOV), можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd), жимолости Максимовича (*Lonicera maximowiczii* ((RUPR.) MAXIM.). Общая численность подлесочных пород около 150 экз./га. Живой напочвенный покров представлен преимущественно ксерофитными и олиготрофными растениями. Преобладают купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum* (L.) ALL.), вереск (*Calluna vulgaris* (L.) HILL и несколько видов мхов и лишайников.

Предмет исследования – закономерности формирования мутовок у подроста сосны, произрастающего куртинами разного размера.

Измерения подроста выполнены в августе 2022 года на трех участках исследуемого лесного массива, различающихся по категории земель и расположению относительно профиля рельефа местности (табл. 1). Для учёта подроста на каждом участке по свободному ходу закладывали круговые площадки, радиусом 178,5 см в количестве 36-48. На площадке были отобраны модельные деревья из всех возрастных групп подроста сосны. Общее число моделей составило 232 экземпляра. У каждого модельного экземпляра определяли возраст по числу приростов каждого года, измеряли высоту с точностью до 5 см, величину прироста по годам с точностью до 1 см. Кроме этого учитывали число ветвей в мутовках, сформировавшихся в 2019-2022 годах.

Распределение моделей по указанным выше биометрическим характеристикам значительно отклоняются от нормального (табл. 1) и не могут быть нормализованы с помощью стандартных процедур. Поэтому для статистической обработки выборок использовали методы ресамплинга, не требующие соответствия каким-либо теоретическим закономерностям [Шитиков, Розенберг, 2013]. Для обобщенного описания вариационных рядов использовали три показателя – среднюю арифметическую ( $M$ ), стандартное отклонение ( $S$ ), измеряющее изменчивость признака, и медиану ( $Me$ ), более адекватный, чем средняя показатель величины признака в выборках, отклоняющихся от нормального распределения. Диапазон варьирования показателей оценивали посредством простого непараметрического бутстрепа с числом итераций  $B = 1000$ , – достаточным для уровня вероятности  $P = 0.95$ , доверительные интер-

## Естественные науки и лес

валы устанавливали методом процентилей по Шитикову и Розенбергу (2013). Для сравнения использовали рандомизационный тест (Monte-Carlo Randomization, MCR-тест) с тем же числом итераций  $B$ . Значимость отличий  $p$  при таком подходе представ-

ляет собой скорректированную долю нуль-модельных комбинаций (эмпирическая разность показателей не больше рандомизированной,  $|d_{\text{obs}}| \leq |d_{\text{ran}}|$ ) от общего числа испытаний  $B$ . Критической величиной для  $p$  принято стандартное значение  $\alpha = 0.05$ .



Рисунок 1. Куртина с крупным подростом сосны в окне большого диаметра

Figure 1. Curtain with large pine undergrowth in a large-diameter window

Источник: собственная фотография авторов

Source: author's composition

Таблица 1

Общая характеристика объектов исследования

Table 1

General characteristics of the research objects

Показатели Indicators		Участок 1 Plot 1	Участок 2 Plot 2	Участок 3 Plot 3
Категория земель/ Area category		Гарь 2015 года/ forest lands after fires 2015	Гарь 2015 года/ forest lands after fires 2015	Гарь 2014 года/ forest lands after fires 2014
Высота над уровнем моря, м Height above sea level, m		676	724	845
Часть склона/ Part of the slope		подножие/the lower part of the slope	средняя / the middle part of the slope	верхняя /the upper part of the slope
Уклон, градусы / Slope, degrees		2–4	6	10
Число модельных деревьев Number of model trees	$n$	36	30	186
Возраст деревьев, лет	$lim$	4-18	4-18	4-21
	$M$	13.3 (11.9–14.6)	12.1 (9.6–13.8)	14.1 (13.5–14.7)

Age of trees, years	<i>S</i>	4.2 (2.8–5.0)	4.6 (3.7–5.2)	4.0 (3.6–4.4)
	<i>Me</i>	15.0 (13.0–15.0)	12.0 (8.5–15.0)	15.0 (14.0–15.0)
Высота деревьев, см Tree height, cm	<i>lim</i>	7–610	4–260	4–500
	<i>M</i>	165 (116–224)	78 (54–108)	152 (137–166)
	<i>S</i>	165 (112–203)	76 (56–91)	104 (94–115)
Средний прирост, см Average growth, cm	<i>Me</i>	86 (70–180)	60 (29–75)	138 (105–170)
	<i>lim</i>	0.6–40.7	1.0–17.3	1.0–23.9
	<i>M</i>	11.0 (8.0–14.2)	5.9 (4.3–7.8)	9.7 (8.9–10.5)
	<i>S</i>	10.1 (6.6–10.8)	4.8 (3.1–5.8)	5.3 (4.7–5.7)
	<i>Me</i>	6.4 (4.9–10.8)	4.0 (3.3–5.7)	8.8 (7.5–10.6)

**Примечание.** *lim* – диапазон варьирования признака, *M* – средняя арифметическая, *S* – стандартное отклонение, *Me* – медиана, в скобках указаны доверительные интервалы статистик, оцененные бутстреп-методом; значение критерия Шапиро-Уилка (тест на нормальность) для всех выборок  $W > 0.807$ , значимость отличий эмпирического распределения от нормального  $p < 0.001$ .

**Note.** *lim* is the range of variation of the trait, *M* is the arithmetic mean, *S* is the standard deviation, *Me* is the median, the confidence intervals of the statistics estimated by the bootstrap method are shown in parentheses; the value of the Shapiro-Wilk criterion (normality test) for all samples is  $W > 0.807$ , the significance of differences in the empirical distribution from the normal is  $p < 0.001$ .

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Сопряженную изменчивость признаков изучали посредством корреляционного и регрессионного анализа. Распределение вариантов в выборках проверяли на соответствие двумерному нормальному распределению методом Мардиа (Mardia's skewness and kurtosis test) [21]. Выборки, описывающие связь возраста и высоты деревьев, высоты и среднего прироста, на всех трех участках значительно отклоняются от нормального закона (критерий Мардиа: для асимметрии  $\kappa > 21.29$ ,  $p < 0.001$ , для эксцесса  $\kappa > 3.88$ ,  $p < 0.001$ ). Поэтому для оценки силы связи был использован ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Значимость отличий значений коэффициента от нуля оценивали, используя рандомизационный тест с числом итераций  $B = 1000$  и  $z$ -аппроксимацией [22]. Все выборки, описывающие связь прироста и числа ветвей в мутовке, соответствуют двумерному нормальному распределению (критерий Мардиа: для асимметрии  $\kappa < 9.34$ ,

### Результаты

Профиль куртин специфичен по строению: в центре растения имеют максимальную высоту (до 260–610 см, табл. 1), а по периметру – минимальную (от 4–7 см), то есть образуют своеобразный купол (рис. 1). Возраст, высота и средний прирост подроста, оцененные по модельным экземплярам, варьируют в широких пределах (табл. 1). Отклонение показателей от нормального распределения указывает

$p > 0.053$ , для эксцесса  $\kappa < 1.58$ ,  $p > 0.115$ ). Для описания сопряженной изменчивости этих признаков применяли регрессионный анализ. Адекватность регрессионных моделей исходным данным оценивали методом наименьших квадратов, в качестве показателя степени адекватности используя коэффициент детерминации  $R^2$  [23]. Значения модельных параметров (коэффициентов регрессии) подбирали с помощью итерационной процедуры подгонки (R функции *nls*) [24], значимость их отличий от нуля оценивали по критерию Стьюдента. Диапазоны варьирования коэффициентов корреляции и регрессии устанавливали методом процентилей после бутстрепирования, сравнивали с помощью MCR-теста.

Данные обрабатывали в среде MS Excel и R 4.4.0 [24] с использованием базовых функций и функций пакетов 'QuantPsys' [21], 'coin' [22], 'compositions' [23].

на интенсивный процесс дифференциации роста растений в связи с неравномерностью освещенности под пологом леса, а также частичным его повреждением в год пожара.

Особенность подростка сосны высотой до 30–40 см состоит в том, что боковые ветви, образующие мутовки на таких экземплярах не формируются. Не редко мутовка не формируется также у более

крупных экземпляров, отнесенных к категории «нежизнеспособный подрост». У остальных обычно имеется 2-4 ветви, максимальное число ветвей в мутовке доходит до 6. Общая закономерность состоит в том, что число ветвей увеличивается с возрастом, по мере роста дерева и, следовательно, зависит от величины среднего общего прироста.

Результаты исследования показали, что различия по возрасту деревьев и его изменчивости на всех участках случайны (MCR-тест для средних арифметических, стандартных отклонений и медиан:  $p > 0.056$ ). Различия по высоте и среднему приросту на участках 1 и 3 случайны (табл. 1, MCR-тест для средних арифметических и медиан:  $p > 0.137$ ), на участке 2 деревья были ниже и имели меньший прирост (MCR-тест:  $p < 0.022$ ). Изменчивость по высоте и приросту деревьев наибольшая на участке 1, наименьшая – на участке 2: все различия стандартных отклонений значимы (MCR-тест:  $p < 0.044$ ), за исключением изменчивости прироста на участках 2 и 3 (MCR-тест:  $p = 0.429$ ).

Высота деревьев увеличивается с возрастом. Значения коэффициента корреляции Спирмена равны 0.663, 0.840 и 0.864 для 1, 2 и 3 участков, соответственно. Отличия коэффициентов от нуля во всех случаях значимы (MCR-тест:  $z > 3.92$ , тест:  $p > 0.247$ ). С высотой деревьев в свою очередь тесно связан средний прирост, значение коэффициента Спирмена для перечисленных участков составило 0.984, 0.970 и 0.973, отличия от нуля значимы эффициентами случайны (MCR-тест:  $p > 0.956$ ). Поскольку сила связи приближается к единице, спецификой выборок значений высоты деревьев и среднего прироста можно пренебречь и далее изучать сопряженную изменчивость числа ветвей в мутовках по одному, любому из них. Поскольку двумерное распределение значений среднего прироста и числа ветвей в мутовках соответствует нормальному закону во всех случаях (см. Материалы и методы), в качестве показателя для изучения динамики формирования мутовок выбрали средний прирост деревьев. Тренд ежегодного увеличения числа ветвей в мутовках наиболее адекватно описывается логарифмической моделью  $N = a \ln(L) + b$ , где  $N$  – число

ветвей,  $L$  – средний прирост в см, модельный параметр  $a$  определили в качестве средней скорости увеличения числа ветвей, параметр  $b$  как точку старта процесса. Назначение коэффициента  $b = \text{const}$  для всех выборок снижает степень адекватности моделей, но дает возможность сравнивать скорости (коэффициенты  $a$ ). Значения  $b$  в исходных моделях варьировало от -0.629 до -1.271 на участке 1, от на участке 3. Различия между двумя первыми участками не значимо (MCR-тест:  $p = 0.192$ ), но оба отличаются от третьего (MCR-тест:  $p < 0.029$ ), указывая на то, что здесь число ветвей в мутовке, такое же как на участках 1 и 2, в начале процесса возобновления формировалось при меньшем среднем приросте деревьев. По результатам изучения всех исходных моделей  $b$  принято равным -1, величине эквивалентной медианному значению совокупности рассчитанных значений параметра  $b$ . Сравнение значений параметра  $a$  подобранных моделей (табл. 2) показывает, что скорость увеличения числа ветвей в мутовках возрастала со временем на всех участках: все наблюдаемые различия  $a$  между 2019 и 2022 годом значимы (MCR-тест:  $p < 0.039$ ). Однако этот рост был неравномерным, на что указывает случайность различий между 2019 и 2020, 2021 и 2022 годом на всех участках (MCR-тест:  $p > 0.177$ ). Установлено, что в один и тот же год рост числа ветвей в мутовках проходил с одинаковой скоростью на всех участках описания наблюдаемых процессов выборки с разных участков были объединены.

Для объединенных выборок подобраны новые модели с  $b = -1.45$  (табл. 2). Значение параметра  $a$  здесь более дифференцировано, чем в исходных моделях. Скорости образования ветвей в мутовках по мере роста деревьев значимо различаются между всеми годами (MCR-тест:  $p < 0.030$ ) за исключением пары 2019 и 2020 гг. (MCR-тест:  $p = 0.252$ ). Согласно модели, максимальное число ветвей (6) в мутовке в 2019 году достигалось при среднем приросте около 70 см, а в 2022 году уже при 50 см (параметры моделей и их статистические оценки даны в табл. 2). Хотя число ветвей в мутовках некоторых модельных деревьев на исследуемых участках к концу исследования

## Естественные науки и лес

было максимальным, процесс увеличения числа ветвей в целом еще не стабилизировался (модельные

кривые не вышли на плато, рис. 2) и в следующие годы, по-видимому, продолжился.

Таблица 2

Параметры моделей связи числа ветвей в мутовках со средним приростом деревьев

Table 2

Parameters of models of the relationship between the number of branches in whorls and the average growth of trees

Parameters of models of the relationship between the number of branches in whorls and the average growth of trees

Участки/Plot	Год /Years	<i>a</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
Модель / a model $N = \alpha \ln(L) - 1$					
Участок 1	2022	1.923	1.835	2.021	0.825
Plot 1	2021	1.730	1.601	1.882	0.699
	2020	1.550	1.421	1.660	0.729
	2019	1.550	1.445	1.635	0.795
Участок 2 Plot 2	2022	1.550	1.445	1.635	0.795
	2021	1.499	1.332	1.637	0.689
	2020	1.476	1.338	1.574	0.798
	2019	1.250	1.087	1.406	0.594
Участок 3 Plot 3	2022	1.684	1.635	1.739	0.694
	2021	1.614	1.554	1.665	0.688
	2020	1.500	1.449	1.553	0.638
	2019	1.445	1.400	1.497	0.624
Модель / a model $N = \alpha \ln(L) - 1.45$					
Все участки	2022	1.924	1.885	1.973	0.725
All plots	2021	1.821	1.780	1.866	0.707
	2020	1.704	1.649	1.750	0.691
	2019	1.644	1.591	1.681	0.676

**Примечание.** N – число ветвей, L – средний прирост в см, min и max – интервал варьирования значений параметра a, оцененные бутстреп-методом, R2 – коэффициент детерминации, отличия всех значений параметра a от нуля значимы: критерий Стьюдента  $t > 16.58$ ,  $p < 0.001$ .

**Note.** N – is the number of branches, L – is the average increase in cm, min and max are the range of variation of the values of parameter a estimated by the bootstrap method, R2 – is the coefficient of determination, the differences of all values of parameter a from zero are significant: Student's criterion  $t > 16.58$ ,  $p < 0.001$ .

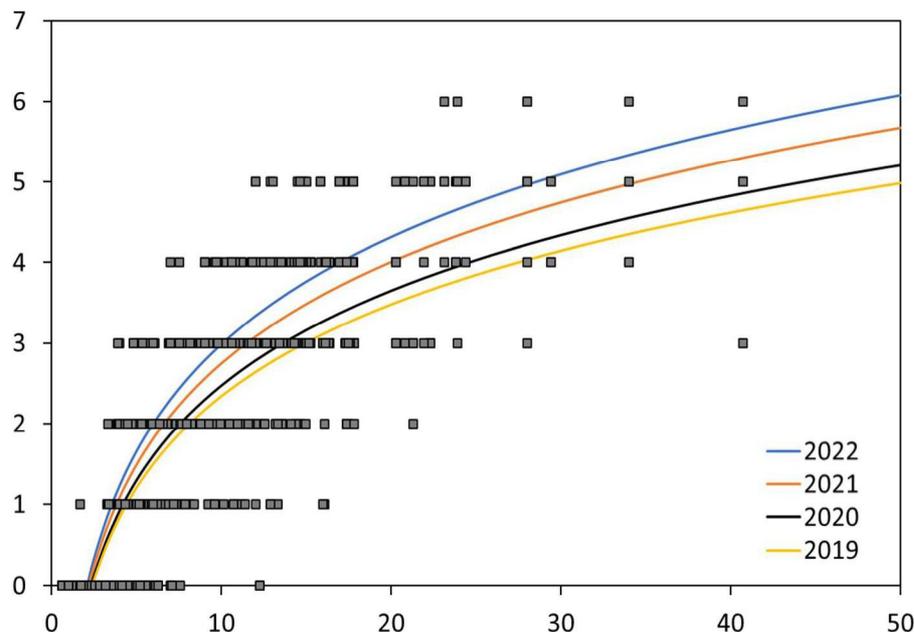


Рисунок 2. Увеличение числа ветвей в мутовках по мере роста сосны (по оси X прирост в высоту, см/год; по оси Y – количество ветвей в мутовке, шт)

Figure 2. An increase in the number of branches in the whorls as the pine grows

(on the X-axis, the increase in height, cm/year; on the Y-axis, the number of branches in the whorl, pcs)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

### Обсуждение

Состояние и количество подроста в сосняках зависит от освещенности и степени минерализации почвы, как обоснованно считают А. Илнтсев и др. (2021) [2], А.В. Грязькин и О.И. Гаврилова (2021), [3], А.И. Салтыков (2021) [5]. М. В. Ермакова (2024) [1], Б. Б. Климов и др. (2024) [6]. Под пологом сосняков на бедных сухих почвах подрост формируется куртинами в «окнах». Расположение наиболее высоких растений в центре куртин объясняется оптимальными условиями освещенности. Наблюдаемое широкое варьирование биометрических характеристик подроста в куртине объясняется разным возрастом молодого поколения сосны. Новые генерации подроста связаны с годами обильных урожаев семян сосны. По наблюдениям сотрудников лесничества, такие годы повторяются только раз в 5-8 лет, что связано с неблагоприятными погодными условиями региона для формирования семян во временных интервалах между ними.

Показателем энергии роста молодняков может быть не только возраст, высота и средний прирост, но и число ветвей в мутовке. Установлено, что у крупного жизнеспособного подроста мутовки последних лет формирования состоят из 4-6 ветвей, а у угнетенного подроста могут не сформироваться вовсе. Число ветвей, опосредованно связанное с возрастом, высотой и средним приростом, можно использовать в качестве индикатора жизнеспособности подроста и успешности естественного возобновления сосны.

Естественное возобновление сосны зависит от условий произрастания, в нашем случае от расположения участка. Выше по склону оно менее успешное (опытный участок № 2) по сравнению с участком 1, расположенным у подножия склона (см. табл. 1). Отсутствие значимых отличий по высоте подроста и их среднему приросту между наиболее высоко расположенным участком 3 и участком 1, по-видимому, связано с более ранним началом появления подроста на участке 3 (предельный возраст подроста

21 год против 18 лет). Предположение о замедленном формировании древостоя на участке № 3 поддерживают результаты моделирования. При этом увеличение числа ветвей в мутовках по мере роста деревьев остается величиной относительно постоянной на всех опытных участках. Моделирование процесса формирования мутовок показало его неравномерность во времени. Наблюдаемые ускорения и замедления, по-видимому, связаны с погодными условиями сезона.

На основании проведенной работы в сухих сосняках Бурятии удалось установить, что количество ветвей в мутовке – величина не постоянная и зависит от целого ряда факторов. Как показали исследования, количество ветвей в мутовке зависит от величины среднего текущего прироста, которая тесно связана с высотой деревьев. Это направление исследований ещё слабо освещено в научной литературе, поэтому целесообразно продолжение работ в данном направлении.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований установлена прямая связь между биометрическими характеристиками подроста сосны и количеством ветвей в мутовке. Главные характеристики, отражающие связь с числом ветвей в мутовке – высота подроста, его возраст и средний общий прирост. По-

скольку средний общий прирост зависит как от возраста, так и от высоты подроста, то целесообразнее указанную зависимость устанавливать с использованием величины среднего общего прироста. Опосредовано количество ветвей в мутовке зависит и от режима освещенности, площади куртины подроста, т.е. от размеров окон, в которых формируется молодое поколение сосны. Установлено, что большие куртины подроста сосны в окнах имеют в профиле куполообразную форму. В середине куртины – самые крупные растения, а по периметру куртины – преимущественно мелкис. В составе периферийного подроста имеются нежизнеспособные и сухие особи.

Жизнеспособный подрост в мутовке каждого года формирования содержит от 4 до 6 ветвей. Мутовки нежизнеспособного подроста сосны состоят, как правило, из 1-2 веток. В редких случаях в мутовке нежизнеспособного подроста встречается 3 ветки. У нежизнеспособного подроста в отдельные годы мутовка не формируется вовсе, или формируется только одна боковая ветвь. Сухой подрост содержит не более одной ветки и только лишь в некоторых мутовках. Следовательно, количество ветвей в мутовках можно использовать в качестве объективного индикатора жизнеспособности подроста сосны.

### **Список литературы**

1. Ермакова М. В. Структурно-функциональная организация естественных молодняков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на 9-летней вырубке сосняка брусничникового Среднего Урала // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 36–53. Режим доступа: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/3>.
2. Plintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone // Journal of Forest Science. 2021; (1). 67: 21-35. DOI : <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
3. Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Биометрические характеристики хвои подроста сосны, произрастающего на гари // Лесотехнический журнал. – 2022. 12 (1). – С 21–31. – Режим доступа: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/2>.
4. Собачкин Д. С., Собачкин Р. С., Петренко А. Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценогического статуса // Сибирский лесной журнал. – 2022. – № 3. – С. 34–39. – Режим доступа: <https://doi.org/10.34220/issn.10.15372/SJF20220304>.
5. Салтыков А. И. Всплески естественного возобновления сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don): синхронность и общие закономерности // Экосистемы. – 2021. – Вып. 27. – С. 23–35. Режим доступа: <https://doi.org/10.37279/2914-4738-2021-27-23-35>.
6. Климов Б.Б., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Особенности естественного возобновления сосны под пологом сухих сосняков Бурятии. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. - Т. 248. –С. 123-137 Режим доступа: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.248.123-137>.

7. Гаврилова О. И., Грязькин А. В. Особенности самовозобновления сосны на гари // Лесной вестник. Forestry bulletin. – 2022. – Т. 26. – № 3. – С. 69–74. – Библиогр. 70–72 (26 назв.). Режим доступа: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74.
8. Санникова Н. С., Санников С. Н., Кочубей А. А., Петрова И. В. Естественное возобновление сосны на гаях в лесостепи Западной Сибири // Сибирский лесной журнал. – 2019. – № 5. – С. 22-29. – Режим доступа: 10.15372/SJFS20190503.
9. Демаков Ю.П., Нуреева Т.В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. – 2019. – № 4. – С. 274–285. Режим доступа <https://doi.org/10.1134/S0024114819030021>.
10. Башегуров К. Н., Залесов С. В., Мельникова К. В. И др. Древесная растительность на вырубках Тюменского Севера // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – Ч. 1. – № 6-3 (108). – С. 63-77. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2367/IRJ.2022.116.2.020>
11. Башегуров К. Н., Залесов С. В., Морозов А. Е., Попов А. С. Накопление подроста сосны обыкновенной на вырубках в подзоне северной тайги// Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 2 (116). – С. 123-127. Режим доступа: <https://doi.org/10.2367/IRJ.2022.116.2.020>.
12. Придача В.Б., Пеккоев А.Н., Неронова Я.А. Особенности роста и структуры древесины сосны на вырубке и под пологом древостоя в условиях Республики Карелии // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2024. – № 4. – С. 92–105. Режим доступа: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-92-105>.
13. Ch. Shnga, N.C. Coops, M.A. Wulder et al. Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020; 84: 1229-1241. DOI: 10.1177/0309133309342643.
14. Marqués L., Camarero J. J., Zavala M.A. et al. Evaluating tree-to-tree competition during stand development in a relict Scots pine forest: How much does climate matter? *Trees*. 2021; 35: 1207-1219. DOI: 10.1007/s00468-021-02109-8.
15. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. *Scandinavian Journal of forest research*. 2021; 37. 1. 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.
16. Sklodowski J. Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend of composition of the undergrowth and the soil environment. *Forest ecology and management*. 2020; 461. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117950.
17. Frelich L.E. Boreal and Taiga Biome. *Encyclopedia of the World's Biomes*. 2020.; 103–115. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.11926-8.
18. Anderegg W.R.L., Trugman A.T, Badgley G. et al. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science*. 2020; 368 (6497). 7005. DOI: 10.1126/science.aaz7005.№24.
19. Лебедев А. В. Динамическая модель роста сосновых древостоев европейской части России по данным повторных наблюдений // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 4. – С. 72–83. DOI: 10.15372/SJFS20240407.
20. Gerelbaatar S., Baatarbileg N., Battulga P., Batsaikhan G., Khishigjargal M., Batchuluun T., Alexander G. Which selective logging intensity is most suitable for the maintenance of soil properties and the promotion of natural regeneration in highly continental Scots pine forests – results 19 years after harvest operations in Mongolia. *J. For.* 2019; 10 (141): 21-22. DOI: 10.3390/f10020141.
21. Fletcher T. D. (2022). Package ‘QuantPsyc’. *Quantitative Psychology Tools*. Ver. 1.6. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/QuantPsyc/QuantPsyc.pdf>. Accessed on 12.10.2022
22. Hothorn T., Winell H, Hornik K, van de Wiel M. A., Zeileis A. (2023). Package ‘coin’. Conditional Inference Procedures in a Permutation Test Framework. Ver. 1.4-3. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/coin/coin.pdf>. (Accessed on 26.09.2023)

23. van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., & Bren M. (2022). Package 'composition'. Compositional data analysis. Ver. 2.0-4. Available online: <https://cran.microsoft.com/web/packages/compositions/compositions.pdf>. (Accessed on 10.04.2022)
24. Team R Core (2024) R: a language and environment for statistical computing. R version 4.4.0 (2024-04-24). R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available online: <http://www.r-project.org>.

### References

1. Ermakova, M. V. *Strukturno-funkcional'naya organizatsiya estestvennykh molodnyakov sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) na 9-letnej vyрубke sosnyaka brusnichnikovogo Srednego Urala* [Structural and functional organization of natural young growth of scots pine (Pinus sylvestris L.) on a 9-year-old cutting of cranberry pine in the Middle Urals]. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Engineering Journal*. 2024; 14 ((2 (54): 36-53. Bibliogr.: pp. 50-53 (24 titles). (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/3>.
2. Ilintsev A., Soldatova D., Bogdanov A., Koptev S., Tretyakov S. Growth and structure of pre-mature stands of Scots pine created by direct seeding in the boreal zone. *Journal of Forest Science*. 2021; (1). 67: 21-35. DOI : <https://doi.org/10.17221/70/2020-JFS>.
3. Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. *Biometricheskie harakteristiki hvoi podrosta sosny proizrastayushchego na-gari Biometric characteristics of pine needles growing on burning* [Biometric characteristics of pine undergrowth needles growing on burnt areas] *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry Journal*. 2022; 12 (1): 21-31. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/2>.
4. Sobachkin D.S., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. *Osobennosti rosta i produktivnosti sosnovykh molodnyakov, sformirovannykh iz derev'yev razlichnogo tsenoticheskogo statusa* [Features of growth and productivity of pine young stands formed from trees of different cenotic status] *Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Forestry Journal*. 2022; 3. 34-39. (in Russ.) DOI <https://doi.org/10.34220/issn 10.15372/SJF20220304>.
5. Saltykov A. I. *Vspleski yestestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) i sosny krymskoy (Pinus pallasiana D. Don): sinkhronnost' i obshchiye zakonomernosti* [Bursts of natural regeneration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) and Crimean pine (Pinus pallasiana D. Don): synchronicity and general patterns] *Ekosistemy = Ecosystems*. 2021; 27:23-35. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.37279/2914-4738-2021-27-23-35>.
6. Klimov B.B., Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. *Osobennosti yestestvennogo vozobnovleniya sosny pod pologom sukhikh sosnyakov Buryatii* [Features of natural regeneration of pine under the canopy of dry pine forests in Buryatia] *Izve-stiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii = Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy*. 2024; (248): 123-137. (in Russ.) <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.248.123-137>.
7. Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. *Osobennosti samovozobnovleniya sosny na gari*. [Features of self-renewal of pine on burnt areas]. *Lesnoy vestnik = Forestry bulletin*. 2022; 3(26): 69-74. (in Russ.) DOI 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74.
8. Sannikova N. S., Sannikov S. N., Kochubey A. A., Petrova I. V. *Yestestvennoye vozobnovleniye sosny na garyakh v lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Natural regeneration of pine on burnt-out areas in the forest-steppe of Western Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal = Siberian Forestry Journal*. 2019; 5:22-29. (in Russ.) DOI 10.15372/SJFS20190503.
9. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'yev po ikh razmeram v tsenopopulyatsiyakh sosny obyknovnoy* [Patterns of changes in the rank position of trees by their size in the cenopopulations of scots pine] *Lesovedeniye = Forestry*. 2019; 4: 274-285. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0024114819030021.
10. Bashegurov K. N., Zalesov S. V., Melnikova K. V. et al. *Drevesnaya rastitel'nost' na vyрубkakh Tyumenskogo Severa* [Woody vegetation in clearings of the Tyumen North] *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = Research Journal*. 2021; 1. ((6-3 (108): 63-77. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.2367/IRJ.2022.116.2.020>.
11. Bashegurov K. N., Zalesov S. V., Morozov A. Ye., Popov A. S. *Nakopleniye podrosta sosny obyknovnoy na vyрубkakh v podzone severnoy taygi*. [Accumulation of Scots pine undergrowth in clearings in the northern taiga subzone]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*. 2022; 2 (116): 123-127. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.2367/IRJ.2022.116.2.020>.

12. Pridacha V.B., Pekkoiev A.N., Neronova Ya.A. *Osobennosti rosta i struktury drevesiny sosny na vyрубke i pod pologom drevostoya v usloviyakh Respubliki Karelii* [Features of growth and structure of pine wood in a felling area and under a canopy of a tree stand in the conditions of the Republic of Karelia] *Izv. vuzov. Lesn. Zhurnal= Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2024; 4. 92–105. (in Russ.) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-4-92-105>.
13. Ch. Shnga, N.C. Coops, M.A. Wulder et al. *Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020; 84:1229–1241. DOI: 10.1177/0309133309342643.
14. Marqués L., Camarero J. J., Zavala M.A. et al. *Evaluating tree-to-tree competition during stand development in a relict Scots pine forest: How much does climate matter?* *Trees*. 2021; 35: 1207-1219. DOI: 10.1007/s00468-021-02109-8.
15. Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. *Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests*. *Scandinavian Journal of forest research*. 2021; 37 (1): 14-22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133.
16. Sklodowski J. *Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend of composition of the undergrowth and the soil environment*. *Forest ecology and management*. 2020; 461. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117950.
17. Frelich L.E. *Boreal and Taiga Biome*. *Encyclopedia of the World's Biomes*. 2020; 103–115. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.11926-8.
18. Anderegg W.R.L., Trugman A.T, Badgley G. et al. *Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests*. *Science*. 2020; 368. (6497): 7005. DOI: 10.1126/science.aaz7005. №24.
19. Lebedev A.V. *Dinamicheskaya model' rosta sosnovykh drevostoyev yevropeyskoy chasti Rossii po dannym povtornykh nablyudeny [Dynamic growth model of pine stands in the European part of Russia according to repeated observations]* *Sibirskiy lesnoy zhurnal=Siberian Forest Journal*. 2024; 4: 72-83. (in Russ.) DOI: 10.15372/SJFS20240407.
20. Gerelbaatar S., Baatarbileg N., Battulga P., Batsaikhan G., Khishigjargal M., Batchuluun T., Alexander G. Which selective logging intensity is most suitable for the maintenance of soil properties and the promotion of natural regeneration in highly continental Scots pine forests – results 19 years after harvest operations in Mongolia. *J. For.* 2019; 10 (141): 21-22. DOI: 10.3390/f10020141.
21. Fletcher T. D. (2022). *Package 'QuantPsyc'. Quantitative Psychology Tools*. Ver. 1.6. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/QuantPsyc/QuantPsyc.pdf>. Accessed on 12.10.2022
22. Hothorn T., Winell H, Hornik K, van de Wiel M. A., Zeileis A. (2023). *Package 'coin'. Conditional Inference Procedures in a Permutation Test Framework*. Ver. 1.4-3. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/coin/coin.pdf>.(Accessed on 26.09.2023)
23. van den Boogaart K. G., Tolosana-Delgado R., & Bren M. (2022). *Package 'composition'. Compositional data analysis*. Ver. 2.0-4. Available online: <https://cran.microsoft.com/web/packages/compositions/compositions.pdf>. (Accessed on 10.04.2022)
24. Team R Core (2024) *R: a language and environment for statistical computing*. R version 4.4.0 (2024–04–24). R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available online: [http:// www.r- proje ct. org](http://www.r-project.org).

### **Сведения об авторах**

*Грязькин Анатолий Васильевич*- доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО С-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова пер. Институтский, 5, корпус У, г. Санкт-Петербург, 194018 Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7901-2180>, e-mail: [lesovod@bk.ru](mailto:lesovod@bk.ru).

*Горбач Вячеслав Васильевич* - доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185960, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>, e-mail: [gorbach@petrsu.ru](mailto:gorbach@petrsu.ru).

## **Естественные науки и лес**

*Феклистов Павел Александрович* - доктор сельскохозяйственных наук, профессор. Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова наб. Северной Двины, 17, САФУ, г. Архангельск, 162000 Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>, e-mail: [pfeklistov@yandex.ru](mailto:pfeklistov@yandex.ru).

*Климов Борис Борисович* – аспирант, ФГБОУ ВО С-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова пер. Институтский, 5, корпус У, г. Санкт-Петербург, 194018 Российская Федерация, e-mail: [klimov@bk.ru](mailto:klimov@bk.ru).

✉ *Гаврилова Ольга Ивановна* - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», пр. Ленина, 33, г. Петрозаводск, 185960, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5618-8239>, e-mail: [ogavril@mail.ru](mailto:ogavril@mail.ru).

### **Information about the authors**

*Anatoly V. Gryazkin* - Doctor of Biological Sciences, Professor, FSBEI HE St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirova lane Institutsky, 5, building U, St. Petersburg, 194018 Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3497-9312>, e-mail: [lesovod@bk.ru](mailto:lesovod@bk.ru).

*Vyacheslav V. Gorbach* - Doctor of Biological Sciences, associate professor, Petrozavodsk State University, 33 Lenin Ave., Petrozavodsk, 185960, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>, e-mail: [gorbach@petsu.ru](mailto:gorbach@petsu.ru).

*Pavel A. Feklistov* - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosova emb. Northern Dvina, 17, NArFU, Arkhangelsk, 162000 Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>, e-mail: [pfeklistov@yandex.ru](mailto:pfeklistov@yandex.ru).

*Boris B. Klimov*, graduate student, FSBEI HE St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirova lane Institutsky, 5, building U, St. Petersburg, 194018 Russian Federation, e-mail: [klimov@bk.ru](mailto:klimov@bk.ru).

✉ *Olga I. Gavrilova*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor. Petrozavodsk State University, Lenin Ave., 33, Petrozavodsk, 185960, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5618-8239>, e-mail: [ogavril@mail.ru](mailto:ogavril@mail.ru).

✉ - Для контактов/Corresponding