

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПОДРОСТА СОСНЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПРИРОСТА И КОЛИЧЕСТВУ ВЕТВЕЙ В МУТОВКЕ

А.В. Грязькин^{1✉}, О.И. Гаврилова², Б.Б. Климов¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ им. С.М. Кирова), Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литера У

²ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), Россия, 185960, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

lesovod@bk.ru

Представлены оригинальные данные о зависимости состояния подроста сосны от количества ветвей в мутовке и величины прироста. Проведен учет подроста, подлеска и живого напочвенного покрова по свободному маршрутному ходу на круговых учетных площадках радиусом 178,5 см. Установлено, что в лесном фонде Республики Бурятия чистый по составу сосняк брусничный 70...80 лет сформировался на гнях прошлых лет. Определено, что под его пологом общая численность подроста не превышает 1000 экз./га. Подлесок представлен единичными особями *Sorbus aucuparia subsp. Sibirica* (Hedl.) Krylov, *Juniperus sibirica* Burgsd., *Lonicera maximowiczii* Maxim. В составе живого напочвенного покрова выявлено 12 видов сосудистых растений и несколько видов мхов и лишайников. В ходе полевых исследований у подроста сосны определяли высоту, возраст, количество ветвей в мутовке, жизнеспособность подроста, величину прироста и возраст хвои. Для живого напочвенного покрова устанавливали видовой состав, встречаемость и проективное покрытие по видам. Показано, что максимальное количество ветвей в мутовке у жизнеспособного подроста достигает 6 шт., в мутовке нежизнеспособного подроста – не более 1–2. В отдельных случаях боковые ветви в мутовке нежизнеспособного подроста не формируются. Выявлено, что такая же картина чаще всего характерна и для сухого подроста. Установлена взаимосвязь между количеством ветвей в мутовке и величиной среднего текущего прироста. Определено, что абсолютные значения среднего общего прироста подроста сосны достигают у крупного подроста до 36 см/год, у нежизнеспособного подроста эта величина изменяется в пределах от 1 до 4 см/год. Полученные результаты могут быть использованы для сравнения основных характеристик подроста сосны, произрастающего в других лесорастительных условиях.

Ключевые слова: Республика Бурятия, сосняки, гари прошлых лет, численность и состояние подроста, средний общий прирост, мутовки

Ссылка для цитирования: Грязькин А.В., Гаврилова О.И., Климов Б.Б. Индикация состояния подроста сосны по величине прироста и количеству ветвей в мутовке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 2. С. 5–17. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-2-5-17

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) — одна из основных лесообразующих пород в лесном фонде России, занимающая в покрытой лесом площади второе место (около 120 млн га) после лиственницы (почти 275 млн га). Эта древесная порода относится к светолюбивым растениям и может произрастать в широком диапазоне почвенно-грунтовых условий как на переувлажненных и заболоченных почвах, так и на сухих песчаных почвах [1–6].

Сосна обыкновенная успешно возобновляется и наилучшие результаты успешного восстановления сосняков многими авторами отмечаются на гнях [7–15]. На вырубках естественное возобновление сосны в большинстве случаев протекает успешно [16–22]. Подрост

сосны появляется даже на участках лесных культур независимо от культивируемой древесной породы [23, 24]. На заболоченных и на бедных песчаных почвах формируются молодняки сосны, чистые по составу, поскольку конкуренты сосны, как правило, в таких условиях не произрастают [9, 25–32]. На богатых почвах сосна рано или поздно вытесняется лиственными породами и елью [1, 4, 7, 11, 19, 22].

Под пологом древостоев молодое поколение сосны чаще всего не выживает, здесь преобладает нежизнеспособный и сухой подрост [2, 3, 21, 33–37]. Исследованиями А.А. Фетисовой и др. показано, что если за точку отсчета брать стену леса, то получается симметричная картина по состоянию подроста сосны под пологом и на вырубке [1]. Кроме того, тем же автором было установлено, что на вырубке, вплоть до стены леса, преобладает жизнеспособный

подрост, а под пологом, начиная от стены леса и вглубь него — нежизнеспособный и сухой. Доля сухого подроста сосны на вырубках и гарях составляет не более 3 %, а под пологом древостоев может достигать 25...50 % [1, 7, 14, 18, 19].

К биологическим особенностям сосны как светолюбивой породы следует отнести ее низкую конкурентную способность по отношению к травяно-кустарничковому ярусу [3, 8, 23]. Мохово-лишайниковый ярус и дернина препятствуют прорастанию семян [1–3, 7, 8, 23].

Республика Бурятия характеризуется высокой долей сосновых лесов [2, 12, 25–27]. Сухие боры Бурятии чаще всего встречаются на склонах холмов разной крутизны и на сухих песчаных почвах [2, 12, 25–27, 37]. В этих условиях складываются неоднородные условия для роста молодых растений. При практически отсутствующем гумусовом горизонте интенсивная промываемость почв обуславливает быстрое уменьшение количества минеральных веществ [25–27, 37–39].

На территории Зун-Хурайского лесничества преобладают сосняки брусничные и лишайниковые. Чаще всего это чистые по составу древостои с единичными примесями березы и лиственницы. Основная часть сосняков распространена по склонам разных экспозиций и крутизны. В силу указанных особенностей сосняки в данном лесничестве регулярно подвергаются пожарам. Ежегодно выгорают большие площади сосняков [2, 25–27, 37].

Если динамика роста молодого поколения сосны исследована достаточно подробно, то о биометрических характеристиках подроста сосны сведений существенно меньше [1–3, 7–15]. Имеются единичные публикации, в которых упоминаются мутовки в связи с динамикой роста молодого поколения сосны. Т.Н. Новикова и др. отмечают, что показателем энергии роста молодняков являются не только биометрические показатели хвои, но и количество ветвей в мутовке [38]. В работе Е.Г. Парамонова и А.Н. Шульца отмечается, что количество ветвей в мутовке зависит от высоты подроста, и приводятся следующие данные о количестве ветвей в мутовке: для мелкого подроста — в среднем 1,9 шт., для среднего — 2,6 шт., для крупного подроста — 4,4 шт. [34].

Условия роста и развития молодого поколения сосны на гарях отличаются от условий на вырубках, пустырях и других категориях земель [7–15, 37]. Основное отличие состоит в том, что в результате сгорания большого объема органического вещества происходит залпо-

вый вброс элементов минерального питания в лесную экосистему. Это способствует формированию на гари за короткий период времени благоприятных условий для роста растений, включая и лесообразующие породы [2, 7, 8, 37].

Моделированию динамики роста молодняков сосны посвящено множество опубликованных работ, в которых обосновывается прогнозирование продуктивности и качественного состава древостоев, сформировавшихся из подроста [1, 6, 16, 18, 40–44].

Из опубликованных работ известно, что хвоя подроста сосны характеризуется широким варьированием длины и массы. Авторы работ [37, 39, 40] отмечают, что на открытом месте удельная масса хвои больше, чем в условиях затенения

Цель работы

Цель работы — установление зависимости между средним общим приростом и количеством ветвей в мутовках для подроста сосны, произрастающего под пологом древостоев сухих сосняков.

Материалы и методы

Сосняки на объектах исследования расположены на юге Республики Бурятия на территории Зун-Хурайского лесничества. На опытных участках сосняки произрастают на сухих песчаных почвах и представлены древостоями брусничного типа леса 4–5 классов бонитета. Древостои чистые по составу с участием единичных деревьев березы и лиственницы. Сосняки произрастают на склонах холмов северо-восточной экспозиции. Высота над уровнем моря (н. у. м.) составляет от 670 (подножие склона) до 845 м (верхняя часть склона). Возраст сосняков на объектах исследования — от 70 до 80 лет.

Сосняки в лесном фонде Республики Бурятия — особые формации, характеризующиеся преобладанием чистых по составу древостоев. Практически всегда формирование лесных фитоценозов происходит на гарях прошлых лет. Любой древостой спелого возраста за период развития, как правило, несколько раз подвергается воздействию низовых пожаров с периодичностью в 20...30 лет.

Морфологическая особенность почв на опытных участках — мощный горизонт слабо-разложившейся лесной подстилки (6...12 см). Основа верхнего горизонта почвы — хвоя сосны, шишки урожаев прошлых лет, кусочки коры и сухие побеги.

Под пологом сосняков встречается подрост сосны разной высоты и возраста, произрастающий, как правило, в окнах и прогалинах (рис. 1). Общая численность подроста не превышает 1000 экз./га. По возрасту подрост сосны представлен разными генерациями — от 3 лет до 21 года. Ступенчатая возрастная структура подроста, соответствует пов торяемости семенных лет. Урожайные годы в данных условиях наблюдаются с периодом 5...8 лет.

Биометрические характеристики подроста сосны исследовали на трех опытных участках: подножие, средняя и верхняя части склона. Учет подроста, подлеска и живого напочвенного покрова проводили методом круговых площадок (всего заложено 136 учетных площадок площадью по 10 м²). Учетные площадки закладывали по свободному маршрутному ходу поперек склона, у подножия, а также в средней и верхней частях склона [45]. На каждой учетной площадке в качестве модельных учитывали все экземпляры подроста сосны.

Для подлеска устанавливали видовой состав, численность и высоту. Для живого напочвенного покрова были определены видовой состав, величина встречаемости и проективное покрытие.

Синхронно с проведением учетных работ на площадках измеряли освещенность и температуру. Для изучения режима освещенности использовали современный люксметр «ТКА-Люкс». Измерения освещенности приходящего и отраженного света проводили на каждой учетной площадке у поверхности почвы и на высоте 1,5 м от поверхности земли. Одновременно с измерением освещенности измеряли радиационный фон, температуру воздуха (на высоте 1,5 м от поверхности земли) и почвы электронным термометром TP-101. Температуру почвы измеряли на поверхности, на глубине 5 и 10 см (рис. 2).

Результаты и обсуждение

Подрост сосны под пологом материнского древостоя в виде одиночно растущих экземпляров встречается весьма редко. Основная часть молодого поколения сосны произрастает куртинами в окнах и прогалинах. Размах варьирования общей численности подроста в куртине зависит от размеров куртины и составляет от 30 до 189 экз. В целом под пологом сосняков общая численность подроста сосны не превышает 1000 экз./га. Подрост сосны характеризуется выраженной дифференциацией по высоте и возрасту.



Рис. 1. Куртина с крупным подростом сосны в окне большого диаметра
Fig. 1. Grove with large pine undergrowth in large-diameter



Рис. 2. Измерение радиационного фона и температуры почвы под пологом сосняка брусничного
Fig. 2. Measurement of radiation background and soil temperature under the canopy of a vaccinium type pinery

Подлесок на объектах исследования практически отсутствует, встречаются единичные особи рябины сибирской (*Sorbus aucuparia* subsp. *Sibirica* (Hedl.) Krylov), можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd), жимолости Максимовича (*Lonicera maximowiczii* (Rupr. Ex Maxim.) Maxim.). Средняя высота подлеска — менее 1,3 м. Численность подлеска, в зависимости от места произрастания (подножие, средняя или верхняя часть склона), варьирует от 85 до 150 экз./га.

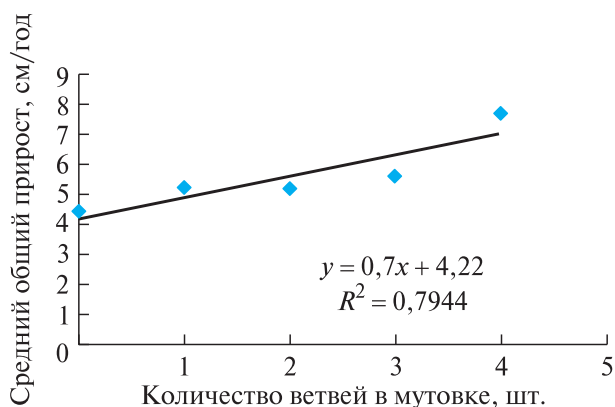


Рис. 3. Зависимость величины среднего общего прироста от количества ветвей в мутовке для подростка сосны высотой 51...100 см

Fig. 3. Dependence of average total growth on the number of branches in the whorl for pine undergrowth 51...100 cm high

Т а б л и ц а 1

Линейные уравнения связи среднего общего прироста с количеством ветвей в мутовке

Linear equations the relationship between average total growth and the number of branches

Группа подростка сосны по высоте, см	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R ²
51...100	$y = 0,7x + 4,22$	0,7944
101...150	$y = 0,66x + 6,55$	0,8575
151...200	$y = 0,74x + 9,02$	0,9422
201...250	$y = 0,49x + 11,44$	0,9528
251...300	$y = 0,5x + 13,733$	0,9494
301...350	$y = 0,15x + 17,367$	0,9643
351...400	$y = 0,9x + 17,167$	0,8322
401...450	$y = 2,35x + 15,283$	0,8874

Живой напочвенный покров представлен небольшим количеством видов — от 6 до 12, в зависимости от местоположения на склоне. В нижней части склона зафиксировано максимальное количество видов, в верхней — минимальное. Основная часть видов представлена ксерофитами и олиготрофами. По встречаемости и проективному покрытию доминируют 2–3 вида сосудистых растений (купена многоцветковая — *Polygonatum multiflorum* (L.) All., вереск — *Calluna vulgaris* (L.) Hill) и несколько видов мхов и лишайников. Встречаемость растений живого напочвенного покрова варьирует от 6 до 82 %. Проективное покрытие для большинства видов составляет менее 1,0 %.

На всем протяжении северо-восточного склона от подножия до вершины холма почвы сухие песчаные, гумусовый горизонт практически отсутствует, лесная подстилка мощная — от 7 до 15 см.

В составе моделей подрост сосны представлен особями, разными по размеру, возрасту и категориям жизнеспособности — жизнеспособными, нежизнеспособными и сухими. У каждого модельного экземпляра определяли возраст, измеряли высоту, величину прироста по годам, устанавливали возраст хвои и количество ветвей в мутовке каждого года. Общее количество модельных экземпляров жизнеспособного подростка сосны составило 195 экз. Количество нежизнеспособного подростка высотой от 10 до 150 см — 62 экз., сухого высотой менее 100 см — 8 экз.

Установлено, что динамика роста в высоту прямо зависит от высоты подростка и его возраста. О динамике роста можно судить и по количеству ветвей в мутовке. Выявлена также устойчивая связь количества ветвей в мутовке с величиной прироста и его жизнеспособностью.

Если анализировать зависимость количества ветвей в мутовке от среднего общего прироста, то можно установить определенную зависимость. Во всех группах высот с увеличением прироста количество ветвей в мутовке также увеличивается. И наоборот, с увеличением количества ветвей в мутовке величина прироста также увеличивается. При этом коэффициент детерминации во всех случаях выше 0,7. Поскольку количество ветвей в мутовке закладывается по окончании предыдущего вегетационного периода, то прирост является производной от количества ветвей в мутовке.

Выявлена зависимость прироста от количества ветвей для 52 моделей подростка сосны высотой от 51 до 100 см (рис. 3).

Для подростка сосны высотой от 51 до 100 см количество ветвей в мутовке (ось X) составляет от 0 до 4. При этом величина среднего общего прироста изменяется от 4,3 до 7,7 см/год (ось Y). Зависимость описывается линейным уравнением вида $y = 0,7x + 4,22$ с коэффициентом детерминации 0,79.

Установленные закономерности справедливы и для подростка из других групп по высоте. Во всех случаях связь описывается линейным уравнением с коэффициентом детерминации от 0,79 до 0,95 (табл. 1).

С увеличением высоты подростка количество ветвей в мутовке, как правило, увеличивается, в частности для жизнеспособного подростка высотой от 0,5 до 4,5 м. В зависимости от

Таблица 2

**Распределение величины среднего общего прироста по количеству ветвей
в мутовке для подроста сосны**

Distribution of average total growth by number of branches in whorl for pine undergrowth

Количество ветвей в мутовке, шт.	Средний общий прирост подроста сосны по группам высот, см/год							
	51...100	101...150	151...200	201...250	251...300	301...350	351...400	401...450
0	4,4	—	—	—	—	—	—	—
1	5,2	7,5	10,1	—	—	—	—	—
2	5,2	7,6	10,2	12,5	—	—	—	—
3	5,6	8,2	11,1	13	15,3	17,5	20,3	—
4	7,7	9,5	11,8	13,1	15,6	17,7	20,5	24,5
5	—	—	13	13,9	16,3	17,8	21,9	28
6	—	—	—	14,5	—	—	—	28,7

высоты подроста количество ветвей в мутовке изменяется от 0 до 6, а величина среднего общего прироста — от 4,4 до 28,7 см/год (табл. 2). Одинаковое количество ветвей в мутовке встречается у подроста любой высоты, например, по четыре ветки в мутовке отмечается у подроста высотой от 51 до 450 см (см. табл. 2).

Получены данные о связи общего среднего прироста с количеством ветвей в мутовке у подроста сосны разной высоты (рис. 4).

Из данных, представленных на рис. 4, следует, что для подроста любой высоты с увеличением количество ветвей в мутовке величина прироста растет. Если у подроста высотой до 100 см формируются мутовки без ветвей или с одной-двумя ветвями, то у подроста высотой более 200 см мутовки без ветвей или с одной ветвью не встречаются. В то же время у подроста высотой до 150 см не формируются мутовки, состоящие из пяти ветвей и более (см. рис. 4, табл. 3).

Приведенные в табл. 3 усредненные значения по основным характеристикам подроста сосны — средняя высота, средний возраст, средний общий прирост и средний возраст хвои представлены для каждой группы подроста по высоте с градацией 50 см (10...50, 51...100, 101...150 см и т. д.). Таким образом, с увеличением возраста подроста количество ветвей в мутовке увеличивается. Это характерно для всех групп по высоте.

Как показывает анализ литературных источников по данному направлению исследований, количество ветвей в мутовке для прогнозирования отдельных характеристик сосны в публикациях практически не используется. В связи с этим для установления зависимости динамики

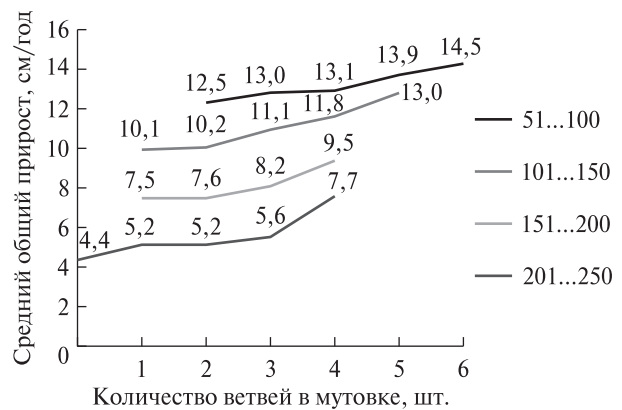


Рис. 4. Зависимость общего среднего прироста с количеством ветвей в мутовке для подроста высотой от 51 до 250 см

Fig. 4. Dependence of total average growth with the number of branches in the whorl for undergrowth from 51 to 250 cm in height

роста молодого поколения сосны и его жизнеспособности от количества ветвей в мутовке зависимость прироста и числа ветвей оказалась наиболее интересной и содержательной. Величина среднего общего прироста зависит от количества ветвей в мутовке, сформировавшейся в текущий вегетационный период (рис. 5). Зависимость тесная линейная при коэффициенте детерминации 0,97.

Рассчитаны усредненные значения среднего прироста и количество ветвей в мутовках модельных экземпляров подроста сосны (см. рис. 5). Вариационный ряд представлен экземплярами жизнеспособного подроста разной высоты (от 10 до 610 см) и разного возраста (от 4 лет до 21 года) в количестве 356 экз.

Т а б л и ц а 3

Зависимость количества растущих ветвей в мутовке от биометрических характеристик жизнеспособного подростка сосны

Dependence of the number of growing branches in a whorl on biometric characteristics of viable pine undergrowth

Средняя высота, см	Средний возраст, лет	Количество моделей, шт.	Возраст хвои, лет	Средний общий прирост, см/год	Количество ветвей в мутовке по годам формирования		
					2024	2023	2022
43,6	11,7	10	4,4	3,8	1,3	1,1	1,1
74,8	13,6	52	4,9	5,5	2,2	1,7	1,4
126,1	15,2	25	5,4	8,4	2,7	2,6	2,4
181,0	15,8	39	5,9	11,5	3,4	3,3	3,0
220,1	16,9	24	5,9	12,9	3,7	3,4	3,1
269,9	17,2	20	6	15,9	4,2	3,9	3,6
316,5	18,2	12	5,9	17,3	4,2	4,1	3,7
375,0	18	4	5,5	20,8	4,3	4,0	3,8
425,2	16,8	6	6,2	25,5	4,8	5,4	5
537,5	17,3	3	6,3	31,9	4,5	4,8	4,5

Примечание. Ошибка средней величины менее 3 %, за исключением тех случаев, когда количество моделей менее 5 экз.

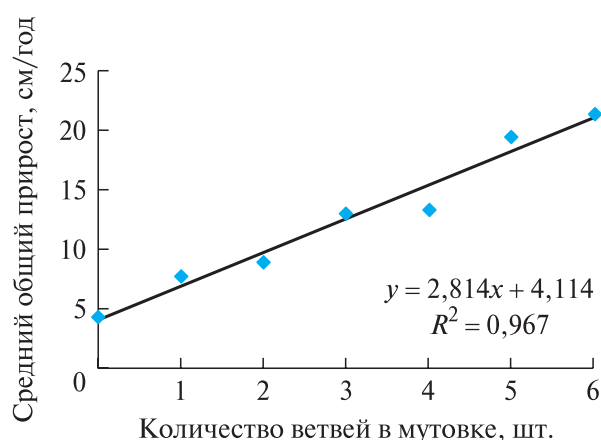


Рис. 5. Зависимость среднего общего прироста от количества ветвей в мутовке для подростка сосны любой высоты

Fig. 5. Dependence of average total growth on the number of branches in a whorl for pine undergrowth of any height

Максимальное количество ветвей в мутовке в целом — не более 6. Лишь в единичных случаях мутовка может содержать 7–8 ветвей. Чаще всего в мутовке формируется от 2 до 4 ветвей. Как видно из полученных данных ($Z_{\text{ср}}$, см. табл. 3), количество ветвей в мутовке коррелирует с величиной среднего общего прироста. Общая закономерность для жизнеспособного подростка состоит в том, что в целом количество ветвей в мутовке растет с увеличением высоты подростка и его возраста. Рост количества ветвей в мутовке сопровождается повышением

величины прироста, что является объективным показателем для оценки жизнеспособности подростка сосны.

Максимальное количество ветвей в одной мутовке характерно для жизнеспособного подростка. В кроне нежизнеспособного подростка формируется не более двух ветвей. Подрост категории «сухой» в мутовках не содержит или содержит лишь одну ветвь.

Особенность подростка сосны высотой до 30...40 см, независимо от жизнеспособности, состоит в том, что боковые ветви на таких экземплярах, как правило, не формируются. Мелкий подрост произрастает, как правило, под кроной более крупных экземпляров. Это обстоятельство приводит к уменьшению светового довольствия для мелкого подростка, вследствие чего формирование полноценной мутовки невозможно.

Нежизнеспособный подросток сосны — промежуточная категория молодого поколения между жизнеспособным и сухим. Все характеристики нежизнеспособного подростка по абсолютному значению существенно ниже, чем у жизнеспособного подростка (табл. 4).

При одинаковой высоте нежизнеспособный подросток имеет возраст на 1...4 года больше, чем жизнеспособный. Различия этих категорий состояния отмечены по количеству ветвей в мутовке. Например, для подростка высотой до 50 см среднее количество ветвей в мутовке для нежизнеспособного подростка составляет 0,2...0,3 побега, у жизнеспособного — 1,1...1,3 ветви, т. е. в 5–6 раз больше.

Т а б л и ц а 4

Зависимость количества растущих ветвей в мутовке от биометрических характеристик нежизнеспособного подроста сосны

Dependence of the number of growing branches in the whorl on the biometric characteristics of non-viable pine undergrowth

Средняя высота $H_{\text{ср}}$, см	Количество моделей, шт.	Средний возраст подроста $A_{\text{ср}}$, лет	Средний возраст хвои $A_{\text{хв}}$, лет	Средний прирост $Z_{\text{ср}}$, см/год	Количество ветвей в мутовке по годам формирования		
					2024	2023	2022
22,3 ± 0,9	56	7,1 ± 0,3	2,4 ± 0,1	3,0 ± 0,2	0,2	0,2	0,3
68,0	3	12,0	3,0	5,5	0	0,5	0,5
103,0	3	16,0	5,5	6,0	1,0	1,0	0,5

Примечание. Для случаев с минимальным количеством моделей в группе по высоте основные статистические показатели не определялись.

Т а б л и ц а 5

Световой режим, температура воздуха и почвы под пологом сосняков на опытных участках

Light regime, air and soil temperature under the canopy of pine forests in experimental plots

Место измерения	Положение в рельефе			
	Подножие склона	Средняя часть склона	Верхняя часть склона	
Освещенность, люкс				
На поверхности почвы	в куртине	1 217 ± 198	1 290 ± 172	1 422 ± 144
	под пологом	2 377 ± 314	2 418 ± 224	2 508 ± 269
На высоте 1,5 м от поверхности земли	в куртине	1 931 ± 118	1 989 ± 106	2 283 ± 129
	под пологом	6 814 ± 341	7 108 ± 292	7 25 ± 410
На открытом месте	–	66 220	66 820	67 170
Температура, °С				
На поверхности почвы	в куртине	23,7	23,9	24,5
	под пологом	28,4	29,7	29,9
На глубине 5 см от поверхности земли	в куртине	19,2	19,7	19,6
	под пологом	19,9	19,9	21,4
На глубине 10 см от поверхности земли	в куртине	15,0	15,1	15,8
	под пологом	15,5	15,4	15,9

Примечание. Освещенность и температура на поверхности почвы измерялись на площадках без растительности (на опаде хвои сосны).

Для подроста высотой 101...150 см различия достигают 270 %.

Как правило, сухой и нежизнеспособный подрост по высоте относится к мелкому и среднему. Подрост таких категорий состояния выше 1,5 м на опытных объектах не встречается. Это можно связать как с уменьшением конкуренции со стороны рядом растущего подроста, так и с увеличением освещения. На поверхности почвы освещенность в куртинах подроста сосны составляет 1,2...1,4 тыс. люкс, а на высоте 1,5 м — от 1,9 до 2,3 тыс. люкс. Вне куртин подрост освещенность под пологом древостоев достигает 7,4 тыс. люкс. При этом достаточно широки диапазоны температуры воздуха и почвы (табл. 5).

Неполноценное развитие мутовок (минимальное количество ветвей с минимальной густотой охвоения боковых побегов) является объективным показателем индикации жизненного состояния подроста и отнесения его к категории «нежизнеспособный». Переход подроста в категорию «жизнеспособный» невозможен при минимальном количестве ветвей в мутовках или при их полном отсутствии. Следовательно, количество ветвей в мутовке можно считать объективным показателем для дифференциации подроста сосны по виталитету.

Количество ветвей в мутовке связано и с высотой подроста. Количество ветвей в мутовке мелкого подроста чаще всего не более одной.

Т а б л и ц а 6

Зависимость количества растущих ветвей в мутовке от биометрических характеристик жизнеспособного подростa сосны высотой от 33 до 50 см

Dependence of the number of growing branches in a whorl on biometric characteristics of viable pine undergrowth 33 to 50 cm high

Средняя высота $H_{\text{ср}}$, см	Средний возраст $A_{\text{ср}}$, лет	Средний возраст хвои $A_{\text{хв}}$, лет	Средний прирост $Z_{\text{ср}}$, см/год	Количество ветвей в мутовке по годам				
				2024	2023	2022	2021	2020
33	10	4	3,3	0	1	1	1	1
39	10	3	3,9	1	2	1	1	1
39	9	3	4,3	0	0	0	2	–
39	12	5	3,3	2	1	–	–	–
45	12	4	3,8	3	2	1	1	3
46	12	4	3,9	2	1	1	0	–
48	12	5	4	2	1	2	1	1
48	12	5	4	1	1	2	1	1
49	13	5	3,7	1	1	1	1	1
50	15	6	3,3	1	1	2	1	1
43,6	11,7	4,4	3,75	1,3	1,1	1,1	0,9	0,9

Примечание. Здесь и далее жирным шрифтом выделены средние значения.

Т а б л и ц а 7

Зависимость количества растущих ветвей в мутовке от биометрических характеристик жизнеспособного подростa сосны высотой 50 см

Dependence of the number of growing branches in a whorl on biometric characteristics of viable pine undergrowth 50 cm high

Средняя высота подростa $H_{\text{ср}}$, см	Средний возраст подростa $A_{\text{ср}}$, лет	Средний возраст хвои $A_{\text{хв}}$, лет	Средний прирост $Z_{\text{ср}}$, см/год	Количество ветвей в мутовке по годам						
				2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018
416	18	7	23,1	5	6	5	5	4	4	5
420	15	6	28,0	6	6	5	6	5	5	–
420	15	6	28,0	5	5	3	5	4	4	–
430	18	6	23,9	4	5	6	5	6	4	4
440	18	6	24,4	4	5	6	4	4	5	–
425,2	16,8	6,2	25,5	4,8	5,4	5	5	4,6	4,4	4,5

В отдельные годы у отдельных экземпляров мелкого подростa в мутовке иногда встречается 2–3 ветви (табл. 6).

Для сравнения представлены основные характеристики крупного подростa сосны и данные по количеству ветвей в мутовке (табл. 7).

Количество ветвей в мутовке у подростa сосны высотой от 401 до 450 см составляет не менее 4 шт.

Выводы

Установлена прямая связь среднего общего прироста подростa сосны с количеством ветвей в мутовке. Величина коэффициента детерминации

для подростa разной высоты составляет от 0,79 до 0,95. Чем больше ветвей в мутовке, тем больше средний общий прирост. Такая закономерность справедлива для жизнеспособного подростa. Этот показатель вполне может служить индикатором жизненного состояния молодого поколения сосны независимо от условий места произрастания. У нежизнеспособного подростa в отдельные годы мутовка не формируется вовсе или формируется только одна боковая ветвь. Сухой подрост, как правило, содержит в мутовке не более одной ветви. Следовательно, по количеству ветвей в мутовке можно устанавливать и разряды по виталитету подростa сосны. Количество ветвей в мутовке зависит


от высоты подроста. В мутовках мелкого подроста сосны обычно формируется от одной до трех ветвей, а в мутовках подроста сосны высотой более 5 м количество ветвей в мутовке всегда больше четырех. Чем выше подрост сосны, тем выше освещение ассимиляционного аппарата, а следовательно, выше продуктивность и больше величина текущего прироста.

Список литературы

- [1] Тихомирова А.А., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Возобновительный потенциал сосны. СПб.: Лань, 2025. 112 с.
- [2] Климов Б.Б., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Особенности естественного возобновления сосны под пологом сухих сосняков Бурятии. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2024. № 248. С. 123–137.
- [3] Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кази И.А. Особенности роста подроста сосны под пологом древостоев на сухих бедных почвах // Research Science (BanskáBystrica, Словакия), 2019. № 8. С. 3–6.
- [4] Marqués L., Camarero J.J., Zavala M.A. Evaluating tree-to-tree competition during stand development in a relict Scots pine forest: How much does climate matter? // Trees, 2021, no. 35, pp. 1207–1219. DOI: 10.1007/s00468-021-02109-8
- [5] Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests // Scandinavian J. of forest research, 2021, v. 37, no. 1, pp. 14–22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133
- [6] Лебедев А.В. Динамическая модель роста сосновых древостоев европейской части России по данным повторных наблюдений // Сибирский лесной журнал, 2024. № 4. С. 72–83.
- [7] Беляева Н.В., Сергеева А.С., Кази И.А. Формирование подроста хвойных пород на гарях в зависимости от парцеллярной структуры фитоценоза // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2020. № 58. С. 6–11.
- [8] Гаврилова О.И., Грязькин А.В. Особенности восстановления лесного фитоценоза после сгоревшего сосняка на скальниках // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. № 241. С. 21–29.
- [9] Данчева А.В., Залесов С.В. Особенности лесовозобновления гарей в условиях сухих сосняков Казахского мелкосопочника (на примере Баянаульского ГНПП) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. № 224. С. 150–160.
- [10] Ильичев Ю.Н., Бушков Н.Т., Тараканов В.В. Естественное лесовосстановление на гарях среднеобских боров. Новосибирск: Наука, 2003. 195 с.
- [11] Кряжевских Н.А., Сорокин И.В. Состояние лесовосстановления после пожаров и сплошных рубок в условиях сосняков и березняков разнотравного типа леса // Леса России и хозяйство в них, 2020. № 2 (73). С. 72–78.
- [12] Санникова Н.С., Санников С.Н., Гриценюк А.П., Егоров Е.В., Петрова И.В. Экогеографические особенности семенения и естественного возобновления сосны на гарях в сосновых лесах Забайкалья // Сибирский экологический журнал, 2010. № 2. С. 231–237.
- [13] Усень В.В., Гордей Н.В., Тегленков Е.А. Оценка постпирогенного формирования естественных насаждений в сосновых фитоценозах // Труды БГТУ, 2016. № 1. С. 79–83.
- [14] Гаврилова О.И., Грязькин А.В. Особенности самовозобновления сосны на гарях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 3. С. 69–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74
- [15] Санникова Н.С., Санников С.Н., Кочубей А.А., Петрова И.В. Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири // Сибирский лесной журнал, 2019. № 5. С. 22–29.
- [16] Gryaz'kin A.V., Gurov S.V., Beliaeva N.V., Kovalev N.V., Sokolova V.A. A model of natural renewal of pine trees in taiga zone // Agriculture and Forestry, 2016, v. 62 (1), pp. 249–258. DOI: 10.17707/AgricultForest.62.1.28
- [17] 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, v. 10 (141), pp. 21–22. DOI: 10.3390/f10020141
- [18] Фетисова А.А., Ковалев Н.В., Гуталь М., Грязькин А.В. Моделирование развития подроста в Рошинском лесничестве Ленинградской области // Леса России в XXI веке: Материалы Седьмой Международ. науч.-техн. интернет-конф., Санкт-Петербург, 01–30 июня 2011 г. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2011. С. 108–112.
- [19] Фетисова А.А., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Гуталь М. Оценка успешности естественного возобновления хвойных пород на вырубках // ИзВУЗ Лесной журнал, 2013. № 6. С. 7–11.
- [20] 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.
- [21] 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 // ИзВУЗ Лесной журнал, 2024. № 4. С. 92–105.
- [22] 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, p. 461. DOI: 10.1016/j.foresco.2020.117950
- [23] Нгуен Ван Зинь, Грязькин А.В., Беляева Н.В., Фан Т.Л., Шахов А.Г. Самовозобновление хвойных на площадях лесных культур // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. № 223. С. 12–19.
- [24] Грязькин А.В., Беляева Н.В., Шахов А.Г., Нгуен Ван Зинь. Естественная смена ели сосной на участках лесных культур // Лесотехнический журнал, 2019. № 1. С. 54–61.
- [25] Рысин Л.П. Лесная растительность бассейна реки Кижинги (Бурятская АССР) // Труды Института леса и древесины АН СССР, 1962. Т. 54. С. 119–157.

- [26] Побединский А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
- [27] Бузыкин А.И. Леса Бурятской АССР // Леса СССР. В 5 т. М.: Наука, 1969. Т. 4. С. 388–437.
- [28] Frelich L.E. Boreal and Taiga Biome // Encyclopedia of the World's Biomes, 2020, pp. 103–115. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.11926-8
- [29] Gauthier S. Bernier P., Kuuluvainen T. Boreal forest health and global change // Science, 2015, v. 349, no. 6250, pp. 819–822. DOI: 10.1126/science.aaa9092
- [30] Fang Kai, Song Nai-ping, An Hui, Wei Le. Quantitative classification and ordination of plant communities in a desert steppe in Yanchi County of Ningxia, Northwest China // Chinese J. of Ecology, 2011, v. 30, iss. 12, pp. 719–2725.
- [31] Franklin J.A., Zipper C.E., Burger J.A. Influence of herbaceous ground cover on forest establishment and growth on eastern US coal surface mines // New Forests, 2012, v. 43, pp. 905–924. DOI: 10.1007/s11056-012-9342-5
- [32] Yang C., Shi L., Li H. The status quo and countermeasures for the protection and utilization of wild vegetable resources and plants in the forest mountains of Fuding Mountain Protected Area // J. of Guizhou Normal University (Natural Science Edition), 2019, v. 2, pp. 26–33.
- [33] Софронов М.А., Волокитина А.В., Мартынов А.Н. Оценка успешности лесовозобновления с учетом разновозрастности подроста и неравномерности его размещения по площади // Лесное хозяйство, 2003. № 5. С. 16–17.
- [34] Парамонов Е.Г., Шульц А.Н. Интенсивность роста подроста сосны в пригородных лесах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2012. № 9 (95). С.43–48.
- [35] Собачкин Д.С., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Особенности роста и продуктивности сосновых молодняков, сформированных из деревьев различного ценопического статуса // Сибирский лесной журнал, 2022. № 3. С. 34–39.
- [36] Демаков Ю.П., Нуреева Т.В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение, 2019. № 4. С. 274–285.
- [37] Климов Б.Б., Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Особенности естественного возобновления сосны под пологом сосняков Бурятии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2024. Вып. 248. С. 123–137. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.123-137
- [38] Новикова Т.Н., Милютин Л.И., Назимов Д.И. Климатипы сосны обыкновенной в лесосеменных объектах и природных популяциях на юге Сибири // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2010. № 25. С. 39–43.
- [39] Гаврилова О.И., Феклистов П.А., Грязькин А.В. Биометрические характеристики ассимиляционного аппарата самосева сосны на гари // Аграрный научный журнал, 2022. № 10. С. 30–33.
- [40] Грязькин А.В., Гаврилова О.И. Биометрические характеристики хвои подроста сосны, произрастающего на гари // Лесотехнический журнал, 2022. Т. 12. Вып. 45. № 1. С. 21–31.
- [41] Динамическое моделирование в лесном хозяйстве: монография / О.Г. Чертов, А.В. Грязькин, А.С. Комаров, А.П. Смирнов, Н.В. Беляева, С.В. Вавилов, С.Г. Парамонов, А.А. Смирнов, В.А. Соколова, Н.В. Ковалев, Ю.В. Павлов, А.Д. Манушина, А.А. Фетисова. СПб: Изд-во СПбГЛТА, 2011. 66 с.
- [42] Гуров С.В., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Фетисова А.А. Алгоритм и программа процесса лесовозобновления // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2011. Вып. 197. С. 256–263.
- [43] Грязькин А.В., Комаров А.С., Чертов О.Г., Ковалев Н.В. Эмпирическая модель естественного лесовозобновления // Новости МЦЛХП, 2010. Т. 1. № 11. С. 22–26.
- [44] Shang Ch., Coops N.C., Wulder M.A. Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling // International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2020, v. 84, pp. 1229–1241.
- [45] Грязькин А.В. Влияние метода на точность и достоверность результатов исследования // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 1999. Вып. 212. С. 12–18.

Сведения об авторах

Грязькин Анатолий Васильевич  — д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПБЛТУ им. С.М. Кирова), lesovod@bk.ru

Гаврилова Ольга Ивановна — д-р с.-х. наук, профессор кафедры технологии и организации лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), ogavril@mail.ru

Климов Борис Борисович — аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПБЛТУ им. С.М. Кирова), Klimov85@mail.ru

Поступила в редакцию 18.06.2025.

Одобрено после рецензирования 09.09.2025.

Принята к публикации 21.01.2026.

STATE INDICATION OF PINE UNDERGROWTH BY GAIN FIGURE AND NUMBER OF BRANCHES IN WHORL

A.V. Gryaz'kin^{1✉}, O.I. Gavrilo², B.B. Klimov¹

¹Saint-Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, 5, letter U, Institutsky lane, 194021, St. Petersburg, Russia

²Petrozavodsk State University, 33, Lenin av., 185960, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia

lesovod@bk.ru

Original data reflecting the dependence of pine undergrowth condition on the number of branches in the whorl and the gain figures are presented. The pine forests of lingonberry forest type in the forest fund of the Republic of Buryatia were studied. The pine forests at the trial plots are pure stands of 4–5 classes of bonitet. The average age of pine forests is 70–80 years. The pine forests were formed at burned areas over the last few years. The total amount of pine undergrowth does not exceed 1000 pine trees/ha under the canopy of pine forests. Undergrowth is represented by single tree species of *Sorbus aucuparia subsp. Sibirica* (Hedl.) Krylov, *Juniperus sibirica* Burgsd., *Lonicera maximowiczii* Maxim. The forest live cover consists of 12 species of vascular plants and several species of mosses and lichens. Undergrowth and forest live cover were counted using a free route on circular survey plots with a radius of 178,5 cm. In the course of field studies, the height, age, number of branches in the whorl, undergrowth viability, growth size and age of needles were determined in pine undergrowth. Species composition, occurrence and projective cover by species were determined for the forest live cover. Illumination and temperature were measured simultaneously at 12–13 hours in cloudy weather. It was shown that the maximum number of branches in a whorl in viable undergrowth reaches 6. The whorl of non-viable undergrowth contains 1–2 branches. In some cases, no lateral branches are formed in the whorl of non-viable undergrowth. The same is most often characteristic of dry undergrowth. Absolute values of the average total growth of pine undergrowth reach up to 36 cm/year in large undergrowth. In non-viable undergrowth this value varies from 1 to 4 cm/year. The results obtained can be used to compare the main characteristics of pine undergrowth growing in other forest conditions.

Keywords: Republic of Buryatia, pine forests, the area after the forest fire, number and condition of undergrowth, average total growth rate, whorls

Suggested citation: Gryaz'kin A.V., Gavrilo², Klimov B.B. *Indikatsiya sostoyaniya podrosta sosny po velichine prirosta i kolichestvu vetvey v mutovke* [State indication of pine undergrowth by gain figure and number of branches in whorl]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 2, pp. 5–17. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-2-5-17

References

- [1] Tikhomirova A.A., Gryaz'kin A.V., Gavrilo². *Vozobnovitel'nyy potentsial sosny* [Renewable potential of pine]. St. Petersburg: Lan', 2025, 112 p.
- [2] Klimov B.B., Gryaz'kin A.V., Gavrilo². *Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya sosny pod pologom sukhikh sosnyakov Buryatii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2024, v. 248, pp. 123–137.
- [3] Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V., Kazi I.A. *Osobennosti rosta podrosta sosny pod pologom drevostoev na sukhikh bednykh pochvakh* [Peculiarities of pine undergrowth growth under the canopy of stands on dry, poor soils]. *Research Science (BanskáBystrica, Slovakia)*, 2019, no. 8, pp. 3–6.
- [4] Marqués L., Camarero J.J., Zavala M.A. Evaluating tree-to-tree competition during stand development in a relict Scots pine forest: How much does climate matter? *Trees*, 2021, no. 35, pp. 1207–1219. DOI: 10.1007/s00468-021-02109-8
- [5] Mostarin A., Barbeito I., Christer R., Nilsson U. Regeneration failure of Scots pine changes the species composition of young forests. *Scandinavian J. of forest research*, 2021, v. 37, no. 1, pp. 14–22. DOI: 10.1080/02827581.2021.2005133
- [6] Lebedev A.V. *Dinamicheskaya model' rosta sosnovykh drevostoev evropeyskoy chasti Rossii po dannym povtornykh nablyudenyi* [Dynamic growth model of pine stands in the European part of Russia based on repeated observations]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forest J.]*, 2024, no. 4, pp. 72–83.
- [7] Belyaeva N.V., Sergeeva A.S., Kazi I.A. *Formirovaniye podrosta khvoynykh porod na garyakh v zavisimosti ot partsellyarnoy struktury fitotsenoza* [Formation of coniferous undergrowth on burnt-out areas depending on the parcel structure of the phytocenosis]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]*, 2020, no. 58, pp. 6–11.
- [8] Gavrilo², Gryaz'kin A.V. *Osobennosti vosstanovleniya lesnogo fitotsenoza posle sgorevshogo sosnyaka na skal'nikakh* [Features of forest phytocenosis restoration after a burnt pine forest on rocky outcrops]. *Izvestiya SPbLTA*, 2022, iss. 241, pp. 21–29.
- [9] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Osobennosti lesovozobnovleniya garey v usloviyakh sukhikh sosnyakov Kazakhskogo melkosopchnika (na primere Bayanaul'skogo GNPP)* [Features of reforestation of burnt-out areas in dry pine forests]

- of the Kazakh Uplands (using the Bayanul State National Park as an example)]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2018, iss. 224, pp. 150–160.
- [10] Il'ichev Yu.N., Bushkov N.T., Tarakanov V.V. *Estestvennoe lesovosstanovlenie na garyakh sredneobskikh borov* [Natural reforestation of burnt-out areas of the Middle Ob pine forests]. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch, 2003, 195 p.
- [11] Kryazhevskikh N.A., Sorokin I.V. *Sostoyanie lesovosstanovleniya posle pozharov i sploshnykh rubok v usloviyakh sosnyakov i bereznyakov raznotravnoogo tipa lesa* [The state of forest restoration after fires and clearcuts in pine and birch forests of mixed-grass forest type]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2020, no. 2 (73), pp. 72–78.
- [12] Sannikova N.S., Sannikov S.N., Gritsenyuk A.P., Egorov E.V., Petrova I.V. *Ekogeograficheskie osobennosti semenosheniya i estestvennogo vozobnovleniya sosny na garyakh v sosnyakh lesakh Zabaykal'ya* [Ecogeographic features of seed production and natural regeneration of pine on burnt-out areas in pine forests of Transbaikalia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological J.], 2010, no. 2, pp. 231–237.
- [13] Usenya V.V., Gordey N.V., Teglenkov E.A. *Otsenka postpirogenogo formirovaniya estestvennykh nasazhdeniy v sosnyakh fitotsenozakh* [Assessment of post-pyrogenic formation of natural stands in pine phytocenoses]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1, pp. 79–83.
- [14] Gavrilova O.I., Gryazkin A.V. *Osobennosti samovozobnovleniya sosny na gari* [Pine self-regeneration in burnt forest area]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 69–74. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-69-74
- [15] Sannikova N.S., Sannikov S.N., Kochubey A.A., Petrova I.V. *Estestvennoe vozobnovlenie sosny na garyakh v lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Natural regeneration of pine trees on burnt-out areas in the forest-steppe of Western Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry J.], 2019, no. 5, pp. 22–29.
- [16] Gryaz'kin A.V., Gurov S.V., Beliaeva N.V., Kovalev N.V., Sokolova V.A. A model of natural renewal of pine trees in the taiga zone. *Agriculture and Forestry*, 2016, v. 62 (1), pp. 249–258. DOI: 10.17707/AgricultForest.62.1.28
- [17] 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, v. 10 (141), pp. 21–22. DOI: 10.3390/f10020141
- [18] Fetisova A.A., Kovalev N.V., Gural', M., Gryaz'kin A.V. *Modelirovanie razvitiya podrosta v Roshchinskom lesnichestve Leningradskoy oblasti* [Modeling of undergrowth development in the Roshchinsky forestry of the Leningrad region]. *Lesa Rossii v XXI veke: materialy sed'moy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy internet-konferentsii* [Forests of Russia in the 21st century: Proceedings of the Seventh International Scientific and Technical Internet Conference], St. Petersburg, June 1–30, 2011. St. Petersburg: SPbGLTA, 2011, pp. 108–112.
- [19] Fetisova, A.A., Gryaz'kin A.V., Kovalev N.V., Gural' M. *Otsenka uspekhov estestvennogo vozobnovleniya khvoynnykh porod na vyrubkakh* [Evaluation of the success of natural regeneration of coniferous species in clear-cut areas]. *Russian Forestry J.*, 2013, no. 6, pp. 7–11.
- [20] Bashegurov K.N., Zalesov S.V., Morozov A.E., Popov A.S. *Nakoplenie podrosta sosny obyknovnoy na vyrubkakh v podzone severnoy taygi* [Accumulation of Scots pine undergrowth in clearings in the northern taiga subzone]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research J.], 2022, no. 2 (116), pp. 123–127.
- [21] Pridacha V.B., Pekkoev A.N., Neronova Ya.A. *Osobennosti rosta i struktury drevesiny sosny na vyrubke i pod pologom drevostoya v usloviyakh Respubliki Karelii* [Features of the growth and structure of pine wood in clearings and under the canopy of a tree stand in the Republic of Karelia]. *Russian Forestry J.*, 2024, no. 4, pp. 92–105.
- [22] Sklodowski J. Two directions of regeneration of post-windthrow pine stands depend on the composition of the undergrowth and the soil environment. *Forest ecology and management*, 2020, p. 461. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117950
- [23] Nguen V.Z., Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V., Fan T.L., Shakhov A.G. *Samovozobnovlenie khvoynnykh na ploschchadyakh lesnykh kul'tur* [Self-regeneration of conifers in areas of forest cultures]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2018, no. 223, pp. 12–19.
- [24] Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V., Shakhov A.G., Nguen Van Zin'. *Estestvennaya smena eli sosny na uchastkakh lesnykh kul'tur* [Natural succession of spruce to pine in forest crop areas]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering J.], 2019, no. 1, pp. 54–61.
- [25] Rysin L.P. *Lesnaya rastitel'nost' basseyna reki Kizhingi (Buryatskaya ASSR)* [Forest vegetation of the Kizhinga River basin (Buryat ASSR)]. *Trudy Instituta lesa i drevesiny AN SSSR* [Transactions of the Institute of Forest and Wood of the USSR Academy of Sciences], 1962, v. 54, pp. 119–157.
- [26] Pobedinskiy A.V. *Sosnyye lesa Sredney Sibiri i Zabaykal'ya* [Pine forests of Central Siberia and Transbaikalia]. Moscow: Nauka, 1965, 268 p.
- [27] Buzykin A.I. *Lesa Buryatskoy ASSR* [Forests of the Buryat ASSR]. *Lesa SSSR* [Forests of the USSR]. In 5 vol. Moscow: Nauka, 1969, t. 4, pp. 388–437.
- [28] Frelich L.E. Boreal and Taiga Biome. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 2020, pp. 103–115. DOI: 10.1016/b978-0-12-409548-9.11926-8
- [29] Gauthier S. Bernier P., Kuuluvainen T. Boreal forest health and global change. *Science*, 2015, v. 349, no. 6250, pp. 819–822. DOI: 10.1126/science.aaa9092
- [30] Fang Kai, Song Nai-ping, An Hui, Wei Le. Quantitative classification and ordination of plant communities in a desert steppe in Yanchi County of Ningxia, Northwest China. *Chinese J. of Ecology*, 2011, v. 30, iss. 12, pp. 719–725.
- [31] Franklin J.A., Zipper C.E., Burger J.A. Influence of herbaceous ground cover on forest establishment and growth on eastern US coal surface mines. *New Forests*, 2012, v. 43, pp. 905–924. DOI: 10.1007 / s11056-012-9342-5

- [32] Yang C., Shi L., Li H. The status quo and countermeasures for the protection and utilization of wild vegetable resources and plants in the forest mountains of Fuding Mountain Protected Area. *J. of Guizhou Normal University (Natural Science Edition)*, 2019, v. 2, pp. 26–33.
- [33] Sofronov M.A., Volokitina A.V., Martynov A.N. *Otsenka uspekhov lesovozobnovleniya s uchetom raznovozrastnosti podrosta i neravnovernosti ego razmeshcheniya po ploshchadi* [Assessing the success of reforestation taking into account the different ages of undergrowth and the unevenness of its distribution over the area]. *Lesnoe khozyaystvo [Forestry]*, 2003, no. 5, pp. 16–17.
- [34] Paramonov E.G., Shul'ts A.N. *Intensivnost' rosta podrosta sosny v prigorodnykh lesakh* [Intensity of pine undergrowth growth in suburban forests]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]*, 2012, no. 9 (95), pp. 43–48.
- [35] Sobachkin D.S., Sobachkin R.S., Petrenko A.E. *Osobennosti rosta i produktivnosti sosnykh molodnyakov, sformirovannykh iz derev'ev razlichnogo tsenoticheskogo statusa* [Features of growth and productivity of pine young stands formed from trees of different cenotic status]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal [Siberian Forestry J.]*, 2022, no. 3, pp. 34–39.
- [36] Demakov Yu.P., Nureeva T.V. *Zakonomernosti izmeneniya rangovogo polozheniya derev'ev po ikh razmeram v tsenopopulyatsiyakh sosny obyknovnoy* [Patterns of changes in the rank position of trees by their size in Scots pine cenopopulations]. *Lesovedenie [Forest Science]*, 2019, no. 4, pp. 274–285.
- [37] Klimov B.B., Gryaz'kin A.V., Gavrilova O.I. *Osobennosti estestvennogo vozobnovleniya sosny pod pologom sosnyakov Buryatii* [Features of natural regeneration of pine under the canopy of pine forests in Buryatia]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy]*, 2024, iss. 248, pp. 123–137. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.123-137
- [38] Novikova T.N., Milyutin L.I., Nazimov D.I. *Klimatipy sosny obyknovnoy v lesosemennykh ob'ektakh i prirodnykh populyatsiyakh na yuge Sibiri* [Climatypes of Scots pine in forest seed sites and natural populations in the south of Siberia]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex]*, 2010, no. 25, pp. 39–43.
- [39] Gavrilova O.I., Feklistov P.A., Gryaz'kin A.V. *Biometricheskie kharakteristiki assilyatsionnogo apparata samoseva sosny na gari* [Biometric characteristics of the assimilation apparatus of self-seeding pine on a burnt-out area]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal [Agrarian Scientific J.]*, 2022, no. 10, pp. 30–33.
- [40] Gryaz'kin A.V., Gavrilova O.I. *Biometricheskie kharakteristiki khvoi podrosta sosny, proizrastayushchego na gari* [Biometric characteristics of the needles of pine undergrowth growing on a burnt-out area]. *Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering J.]*, 2022, v. 12, iss. 45, no. 1, pp. 21–31.
- [41] Chertov O.G., Gryaz'kin A.V., Komarov A.S., Smirnov A.P., Belyaeva N.V., Vavilov S.V., Paramonov S.G., Smirnov A.A., Sokolova V.A., Kovalev N.V., Pavlov Yu.V., Manushina A.D., Fetisova A.A. *Dinamicheskoe modelirovanie v lesnom khozyaystve* [Dynamic modeling in forestry]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2011, 66 p.
- [42] Gurov S.V., Gryaz'kin A.V., Kovalev N.V., Fetisova A.A. *Algoritm i programma protsessa lesovozobnovleniya* [Algorithm and program of the reforestation process]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy]*, 2011, iss. 197, pp. 256–263.
- [43] Gryaz'kin A.V., Komarov A.S., Chertov O.G., Kovalev N.V. *Empiricheskaya model' estestvennogo lesovozobnovleniya* [Empirical model of natural reforestation]. *Novosti MTsLKhP [News of the Moscow Center for Forestry and Agricultural Production]*, 2010, v. 1, no. 11, pp. 22–26.
- [44] Shang Ch., Coops N.C., Wulder M.A. Update and spatial extension of strategic forest inventories using time series remote sensing and modeling. *International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, v. 84, pp. 1229–1241.
- [45] Gryaz'kin A.V. *Vliyaniye metoda na tochnost' i dostovernost' rezul'tatov issledovaniya* [Influence of the method on the accuracy and reliability of research results]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy]*. SPb.: LTA, 1999, pp. 12–18.

Authors' information

Gryaz'kin Anatoliy Vasil'evich ✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor, Saint-Petersburg State Forest Technical University, lesovod@bk.ru

Gavrilova Olga Ivanovna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Technology and Organization of the Forestry Complex of PetSU, ogavril@mail.ru.

Klimov Boris Borisovich — pg. of the Saint-Petersburg State Forest Technical University, Klimov85@mail.ru

Received 18.06.2025.

Approved after review 09.09.2025.

Accepted for publication 21.01.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest