

ВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОВ ПРИАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

О.Н. Тюкавина^{1, 2✉}, Е.А. Сурина², П.А. Феклистов^{1, 3},
Д.Н. Клевцов¹, И.Н. Болотов³

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

³ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (ФИЦКИА), Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

o.tukavina@narfu.ru

Приведены результаты исследования естественного лесовозобновления хвойных на сухопутной территории Арктической зоны Европейского Севера. Установлено, что в разных лесорастительных условиях возобновительный потенциал хвойных пород различен. Наибольшее количество подроста сосны отмечается в сосняке кустарничково-сфагновом ($4,0 \pm 0,6$ тыс. шт./га). Возобновление сосной успешно также в сосняке лишайниковом, черничном. Наибольшее количество подроста ели встречается в ельнике черничном (3,4 тыс. шт./га). Возобновление елью успешно также в сосняке папоротниково-кисличном, ельнике осоково-сфагновом. Отмечается тенденция увеличения численности подроста ели в перестойных ельниках черничных (возраст около 200 лет) с запада на восток. Выявлено, что в сосняках кустарничково-сфагновых количество подроста хвойных пород с увеличением возраста древостоя возрастает. Максимальное количество подроста хвойных пород в сосняке черничном наблюдается в древостое 4 класса возраста. Показано, что на успешность воспроизводства хвойного подроста под пологом сосняка черничного оказывает влияние возраст, высота, относительная полнота древостоя, присутствие подроста лиственных пород. Максимальное количество подроста хвойных отмечается в ельнике черничном 5 класса возраста. На успешность воспроизводства хвойного подроста под пологом ельника черничного оказывает влияние возраст, высота, относительная полнота древостоя, присутствие подроста осины. Выявлена зависимость высоты подроста от его возраста, которую можно описать линейным уравнением. Аллометрические закономерности формирования подроста ели в сосняке черничном и ельнике черничном схожи. Рекомендуются полученные данные применять в качестве информационной базы для совершенствования способов и технологий рационального ведения лесного хозяйства.

Ключевые слова: успешность лесовозобновления, сосна, ель, тип леса, высота подроста, возраст подроста, таксационная характеристика древостоя

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Сурина Е.А., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н. Возобновительный потенциал лесов приарктической зоны Европейского Севера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 5. С. 5–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-5-21

В настоящее время усилилось внимание ученых к процессам развития лесных насаждений в северных районах в связи с их промышленным освоением, а также по причине их массового усыхания [1], снижения устойчивости под влиянием изменения климата [2, 3]. Снижение толерантности естественно развивающихся лесных насаждений к возмущающим факторам может отразиться на структурном строении насаждений. По мнению авторов работы [4], улучшение структуры таежных лесов обуславливает их лесовозобновление

хозяйственно ценными породами. При эксплуатации северных лесов часто распространены смены сосны елью и березой, ели — березой и осиной [5]. Смена породного состава характерна для 45...80 % площади лесов Европейского Севера [6]. Площади высокопродуктивных сосняков и ельников постоянно сокращаются по причине их неконкурентоспособности на фоне лиственных пород последующих генераций. Упущение потенциальных возможностей выращивания продуктивных хвойных фитоценозов противоречит принципам неистощительного лесопользования. Согласно одной из концепций лесовыращивания в таежной зоне, формирование мягколиственных насаждений на месте

хвойных древостоев расценивается как негативный процесс [7].

Эффективное управление северными лесами предусматривает воспроизводство хозяйственно ценных древесных пород с наименьшими затратами. Естественное возобновление является залогом формирования лесных фитоценозов, устойчивых к болезням и вредителям [8]. Успешность лесовозобновления определяет возможность реализации, вид, технологию и лесоводственную эффективность лесохозяйственных мероприятий. При эффективном управлении северными лесами не должно быть стереотипных технологий рубок и стандартных проектов лесовосстановления [6], только эмпирическая оценка успешности лесовосстановления на стадии планирования лесохозяйственных мероприятий позволит достичь желаемого результата. Возобновление леса будет успешным при условии учета природных закономерностей и региональных особенностей в процессе проведения лесохозяйственных мероприятий [9].

Достаточно хорошо изучен лесовозобновительный процесс для таежной зоны, прежде всего южной и средней тайги. В 2000–2020 гг. лесовозобновление хвойных в таежной зоне изучали многие специалисты [8–18]. Согласно мнению, изложенному в работе [19], естественное возобновление ели в различных лесорастительных условиях протекает по-разному. С ухудшением лесорастительных условий снижается средняя высота елового подроста [16]. Наибольшее количество подроста ели в условиях южной тайги наблюдается в сосняках черничных и ельниках черничных по сравнению с брусничным, кисличным и травяно-болотным типами леса [16]. По данным работы [20], в условиях средней тайги наибольшее количество подроста встречается в сосняках лишайниковых (0,5...21,5 тыс. экз./га), далее по мере снижения — в сосняках брусничных (1,2...4,2 тыс. экз./га), сосняках сфагновых (1,7...4,1 тыс. экз./га) и сосняках черничных (0,0...1,9 тыс. экз./га). На количество подроста под пологом древостоя оказывает влияние строение полога, возраст древостоя, его полнота, для сосняков лишайниковых — давность беспожарного периода [8, 20]. Актуальными остаются вопросы лесовозобновления и лесовосстановления за рубежом [21–25].

Недостаточно изучен лесовозобновительный процесс в условиях Севера. Указом Президента Российской Федерации от 02.06.2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» установлена необходимость обеспечения национальных интересов Российской Федерации в Арктике, в том числе в

пределах северотаежных и притундровых лесов, которые активно вовлекаются в промышленное освоение [26]. Особенностью данной зоны являются суровые климатические условия, снижение скорости обменных процессов в экосистемах и восстановительного потенциала среды.

Цель работы

Цель работы — оценка естественного лесовозобновления хвойных на сухопутной территории Арктической зоны Европейского Севера.

Материалы и методы

Исследования проводились в Архангельском, Онежском, Северодвинском, Соловецком лесничествах Архангельской области, Печорском лесничестве Республики Коми, Кандалашском лесничестве Мурманской области. Объекты исследования — сосняки лишайниковые, сосняки брусничные, сосняки черничные, сосняки черничные влажные, сосняки кустарничково-сфагновые, сосняки папоротниково-кисличные, ельники черничные, ельники осоко-сфагновые. Насаждения характеризуются разными полнотой, возрастом и составом (табл. 1).

Для сбора полевого материала были заложены временные пробные площади в соответствии с ОСТ 56-69-83 и учетом методики [27], методических указаний [28]. Возраст древостоя определяли путем подсчета годичных колец по кернам, взятым на высоте 1,3 м от поверхности земли и у шейки корня. Замеры высоты деревьев проводили с помощью высотомера ВУЛ-1. Подрост лесобразующих древесных пород изучали в пределах пробной площади на пяти учетных площадках размером 2×10 м. Подрост подразделяли по категориям крупности: мелкий — высотой до 0,5 м; средний — 0,5...1,5 м; крупный — высотой более 1,5 м. Для определения количества подроста применяли коэффициенты пересчета мелкого и среднего подроста в крупный согласно [29]. Категорию состояния оценивали по шкале И.С. Мелехова [30]:

- благонадежный безукоризненный;
- благонадежный дефектный;
- сомнительный;
- ненадежный;
- сухой.

У 30 экземпляров подроста каждой категории крупности определяли рулеткой высоту от уровня корневой шейки до вершины; диаметр стволика — с помощью штангенциркуля на уровне корневой шейки.

Возраст подроста определяли путем подсчета годичных колец на спиле у шейки корня.

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика насаждений

Taxation characteristics of plantations

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки лишайниковые					
10С	11,2	10,3	IV	V	0,9
10С	7,3	6,0	III	V	1,0
10С	10,4	24,7	X	Va	0,7
10СедЕ	7,0	14,5	V	Va	0,7
Сосняки брусничные					
10С	14,7	16,7	IV	IV	0,8
10С	16,2	17,4	IV	IV	0,8
9С1Е+Б	15,8	16,5	IV	IV	0,8
10С	16,6	17,8	IV	IV	0,7
10С	15,4	16,2	IV	IV	0,8
9С1Б+Ос	14,8	16,0	IV	IV	0,8
9С1Б	16,2	17,1	IV	IV	0,8
9С1Б	16,7	16,9	IV	IV	0,8
9С1Б	17,0	16,6	IV	IV	0,8
10С+Б	16,3	17,5	IV	IV	0,8
9С2ЕедБ	8,9	14,3	IV	V	0,8
Сосняки черничные					
10СедБ	11,0	6,0	II	IV	0,7
10СедБ	8,0	6,0	II	V	0,6
10СедБ	6,8	5,4	II	V	0,6
9С1Б	8,8	7,7	III	V	0,7
9С1Б	8,3	7,5	II	V	0,6
9С1Б	7,2	6,8	II	V	0,6
10СедБ	7,1	6,2	II	V	0,6
10СедБ	6,3	5,2	II	V	0,6
9С1Б	8,6	6,7	II	V	0,6
9С1Б	11,6	13,9	III	III	0,7
9С1Бед.Е	10,0	14,2	III	III	0,8
9С1Б	10,4	16,4	IV	V	0,7
10Сед.Б	5,6	10,4	III	V	0,8
10С	11,7	17,5	IV	V	0,7
9С1Б	18,8	16,7	IV	III	0,5
9С1Бед.Е	19,1	19,8	IV	III	0,6
9С1Б	20,4	20,1	IV	III	0,5
10Сед.Б	16,8	20,6	IV	III	0,6
9С1Б	16,4	18,9	IV	III	0,6
10С	18,5	15,3	IV	III	0,5
4С3ЕЗБ	8,1	11,8	III	V	0,6
10С	16,3	22,2	VII	V	0,8
6С2Е2Б	5,0	7,8	III	V	0,4
10С	20,9	27,9	VII	IV	0,7
5С4Е1Б	8,2	9,1	III	V	0,6
8С2Б	19,1	17,5	IV	IV	0,7
6С3Е1Б	6,3	6,8	III	IV	0,5
9С1Е+Ос	20,6	24,0	VII	IV	0,6

Продолжение табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки черничные					
5С3Е2Б	23,0	25,7	VI	III	0,7
10С+Б	18,5	20,3	VII	IV	0,9
5С4Е1Б	22,0	23,2	VI	III	0,8
10С+Б	19	20,4	VII	IV	0,7
5С3Е2Б	21,9	24,8	VI	III	0,8
10С	20,8	25,7	VII	IV	0,6
4С3Е3Б	21,0	23,0	VI	III	0,8
4С3Е2Б1Ос	19,0	20,5	VI	III	0,6
4С3Е2Б1Ос	20,0	21,0	VI	III	0,7
9С1Е	24,0	29,0	VII	III	0,9
4С4Е1Б1Ос	22,0	26,3	VI	III	0,9
10С+Б+Ос	16,0	18,9	IV	V	0,8
7С2Б1Ос	17,1	18,2	IV	IV	0,7
9С1Е	17,1	17,5	IV	IV	0,6
10С	11,5	26,7	XI	V	0,7
7С2Еед.Б	9,8	25,4	VIII	IV	0,5
Сосняки черничные влажные					
10С	8,3	10,6	IV	V	0,5
10С	10,8	11,5	IV	Va	0,8
10С	11,2	13,5	IV	Va	0,6
10С	8,4	9,1	IV	Va	0,9
10С	5,8	6,5	III	V	0,5
10Сед.Е	8,9	16,3	V II	Va	0,6
Сосняки кустарничково-сфагновые					
10СедБ	5	5,1	II	Va	0,6
9С1Б	5,4	4,7	III	Va	0,6
10СедБ	5,0	5,1	II	Va	0,6
10СедБ	5,1	4,7	II	Va	0,7
9С1Б	4,4	4,4	II	Va	0,7
10С+Б	6,9	6,4	III	V	0,4
10С+Б	5,4	5,6	III	V	1,1
10С+Б	6,1	5,5	III	V	0,7
10С+Б	11,8	8,9	VI	Va	0,7
10Сед.Б	17,6	12,6	VII	Va	0,5
10С+Б	6,0	4,9	II	V	0,6
10С+Б	9,9	7,3	VI	Va	0,7
10Сед.Б	11,3	8,6	VII	Va	0,8
10С+Б	6,3	6,9	III	V	0,8
10С+Б	6,2	6,4	III	V	1,0
10С+Б	7,6	7,4	III	V	0,9
10С+Б	5,4	5,1	III	V	0,6
10С+Б	9,3	10,2	IV	V	0,5
7С3Б	10,3	10,5	IV	V	0,8
10С	9,5	9,8	IV	V	0,6
10С	10,0	9,9	IV	V	0,5
10С+Б	9,4	9,6	IV	V	0,6
10С+Б	6,2	6,8	III	V	1,4
10С	3,0	4,1	III	Va	0,5

Продолжение табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
Сосняки кустарничково-сфагновые					
10С+Б	4,6	4,1	III	V	0,6
10С+Б	7,1	6,3	III	V	0,8
10С+Б	5,7	5,3	III	V	1,2
10С+Б	5,6	5,4	III	V	1,0
Сосняки папоротниково-кисличные					
8С2Б+Еед.Ол	16,5	16,2	III	III	0,8
9С1Е1Бед.Ол	18,5	18,3	III	III	0,8
8С2Б+Еед.Ол	17,0	16,8	III	III	0,8
8С2Б+Еед.Ол	16,8	16,4	III	III	0,9
9С1Б+Ол ед.Е	17,0	16,3	III	III	0,9
9С1Б+Еед.Ол	16,4	15,9	III	III	0,9
9С1Б+Е	16,7	16,2	III	III	0,8
Ельники осоко-сфагновые					
6Е2С2Б	14,3	14,4	V	V	0,7
7Е2С1Б	14,0	14,1	V	V	0,7
8Е2Б+С	16,5	17,4	VII	V	0,7
Ельники черничные					
7Е2Б1Ос	10,9	19,1	V	V	0,8
6Е3С1Б	13,5	12,8	V	V	0,8
8Е1С1Б	15,0	16,2	VI	V	0,8
6Е3С1Б	14,5	15,3	VI	V	0,6
6Е3С1Б	15,5	17,3	VII	V	1,0
8Е1С1Б	16,0	18,6	VIII	V	0,9
6Е2С2Б	13,0	15,5	VI	V	1,0
8Е1С1Б	16,5	17,4	VII	V	0,9
6Е4С+Б	14,0	15,2	VI	V	1,0
7Е2С1Б	15,5	14,8	V	V	0,8
8Е2Б	13,3	17,0	X	V	0,3
8Е2Б	16,8	19,8	XIII	V	0,4
8Е2Б	16,2	24	XII	V	0,4
9Е1Б+С	15,1	21,0	XII	V	0,4
8Е2Б	17,9	21,5	XII	V	0,5
8Е2Б	14,5	19,6	XIII	V	0,3
7Е2С1Б	14,2	19,3	XII	V	0,5
8Е2С	14,3	21,0	XIII	V	0,4
8Е2С	15,3	19,5	XII	V	0,4
9Е1С+Б	16,8	19,9	XII	V	0,4
9Е1Б	14,3	20,2	XII	V	0,4
6Е3Б1С	16,1	23,2	IV	IV	0,8
7Е3Б+С	16,8	22,0	V	IV	0,6
6Е1С3Бед.Ос	17,7	27,8	V	IV	0,4
6Е4Б	16,5	23,2	IV	IV	0,7
9Е1С	19,7	29,7	V	IV	0,5
7Е2Б1Ос	21,9	24,6	VI	III	0,8
7Е1С2Б	22,0	25,7	VI	III	0,9
8Е1С1Б	22,1	25,2	VI	III	0,7
7Е2Б1Ос	22,0	26,2	VI	III	0,7

Окончание табл. 1

Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относи- тельная полнота
	высота, м	диаметр, см			
5Е4Б1Ос	22,1	24,9	VI	III	0,7
8Е2Б	19,8	21,6	V	III	0,7
3Е3С3Б1Ос	21,8	24,7	V	III	0,9
6Е2С2Б	21,9	24,1	VI	III	0,7
7Е1С 2Б	18,8	29,8	VI	IV	0,6
9Е1Лц+Б	18,5	27,8	VII	IV	0,7
8Е2Б	16,2	20,0	IV	IV	0,8
9Е1Лц+Б	18,6	28,3	VI	IV	0,7
8Е2Лц+Б	17,7	26,0	VI	V	0,6
6Е4Б	19,2	21,0	V	IV	0,6
7Е1С 2Б+Ос	16,2	23,1	IV	IV	0,7
7Е1С 2Б	16,8	21,9	V	IV	0,5
6Е1С3Бед.Ос	17,6	27,7	V	IV	0,4
7Е1С 2Б	19,8	29,9	V	IV	0,8
9Е1С	19,6	29,7	V	IV	0,5
8Е1С1Б	18,9	29,8	VI	IV	0,6
8Е1Лц1Б	18,8	28,1	VII	IV	0,9
9Е1Лц+Б	18,0	26,2	VI	IV	0,6
9Е1Лц+Б	18,8	28,4	VI	IV	0,7
8Е2Лц+Бед.Ос	18,6	26,1	VII	IV	0,7
8Е2Лц+Б	18,1	27,9	VI	IV	0,6

При описании напочвенного покрова оценивали видовой состав, проективное покрытие, встречаемость растений.

Результаты и обсуждение

Возобновительный потенциал сосны проявляется в широком спектре лесорастительных условий [8, 31]. Исследование возобновления сосны охватывает сосняки лишайниковые, брусничные, черничные, черничные влажные, кустарничково-сфагновые (рис. 1). В данном случае обсуждаются насаждения от 60 до 120 лет. Наибольшее количество подроста сосны отмечается в сосняках кустарничково-сфагновых ($4,0 \pm 0,6$ тыс. шт./га). Количество подроста здесь превышает сосняк лишайниковый на 122 % ($t = 4,9$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк брусничный — на 220 % ($t = 4,4$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк черничный влажный — на 185 % ($t = 3,6$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), сосняк черничный — на 67 % ($t = 2,2$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$).

Сосняк кустарничково-сфагновый и сосняк лишайниковый представлены чистыми сосняками с небольшой примесью березы. По данным работы [8], успешность возобновления сосны

в данных условиях обусловлена отсутствием конкурентов. Однако доля жизнеспособного подроста сосны в сосняке лишайниковом составляет от 77 до 86 %, а в сосняке кустарничково-сфагновом — 100 %. Появление под пологом сосняка лишайникового усыхающего и сухого подроста может обуславливаться длительными сухими периодами в июле в последние годы. На сухих бедных почвах после затяжного периода без дождей в жаркую погоду может наблюдаться массовый отпад самосева [32].

Подрост в сосняке лишайниковом представлен только сосной. Подрост ели в данных условиях может появляться, но со временем усыхает [8]. В сосняке кустарничково-сфагновом подрост представлен в основном сосной и в незначительных количествах березой.

В сосняке брусничном и сосняке черничном влажном в составе появляется ель — до 1 ед. Подрост представлен не только сосной, но и елью, иногда березой. Причем в сосняках брусничных подрост ели доминирует, а иногда подрост состоит исключительно из ели. В сосняке черничном отмечается определенное соотношение количества подроста сосны и подроста ели, в зависимости от доли участия в составе древостоя сосны. При 10 ед. сосны

в составе древостоя процент подроста сосны среди хвойных составляет $88,0 \pm 4,5 \%$, при 9 ед. — $64,8 \pm 8,6 \%$, при 5 ед. — $24,7 \pm 4,8 \%$, при 4 ед. — $11,7 \pm 5,0 \%$. При сокращении доли участия сосны в составе древостоя с 10 до 9 ед. доля сосны в хвойном подросте сокращается на $23,2 \%$ ($t = 2,4$ при $t_{st} = 2,2$; $p = 0,95$). При сокращении доли участия сосны в составе древостоя на 6 ед. доля сосны в хвойном подросте сокращается на $76,3 \%$ ($t = 11,4$ при $t_{st} = 3,4$; $p = 0,99$).

Подрост ели отмечается и под пологом сосняков, и под пологом ельников (рис. 2). Наиболее успешно возобновительный процесс ели происходит под пологом ельников.

Наибольшее количество подроста ели наблюдается в ельниках черничных ($3,4$ тыс. шт./га). В ельниках осоко-сфагновых количество подроста снижается по сравнению с ельниками черничными на 38% ($t = 3,5$ при $t_{st} = 2,7$; $p = 0,99$). В сосняке черничном количество подроста ели по сравнению с ельником черничным сокращается в $3,8$ раз ($t = 7,4$ при $t_{st} = 2,7$; $p = 0,99$). О неблагоприятных условиях для произрастания подроста ели под пологом сосняка черничного также указано в работе [16].

Среди сосняков наибольшее количество елового подроста наблюдается в сосняке папоротниково-кисличном ($1,9$ тыс. шт./га). По сравнению с ним в сосняке брусничном и сосняке черничном количество подроста снижается в 2 раза ($t = 3,0$ при $t_{st} = 2,7 \dots 2,9$; $p = 0,99$). В сосняке черничном влажном количество подроста ели снижается по сравнению с сосняком черничным свежим в $2,3$ раза ($t = 2,0$ при $t_{st} = 2,0$; $p = 0,95$).

Снижение количества подроста в черничнике влажном по сравнению с черничником свежим или сосняком кустарничково-сфагновым, ельником осоко-сфагновым может быть связано с напочвенным покровом. В напочвенном покрове черничника влажного присутствует мох политрихум обыкновенный (*Polytrichum commune* Hedw.), воздействующий на подрост как механически, так и аллелопатически, аналогично луговику извилистому (*Avenella flexuosa* (L.) Drejer.) [33, 34].

Влияние напочвенного покрова на возобновление хвойных наиболее существенное на вырубке или горельнике [25, 35, 36], в естественных насаждениях оно не столь значимо. В изученных сосняках кустарничково-сфагновых проективное покрытие напочвенного покрова травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов достаточно стабильно. В сосняках брусничных не выявлена значимая теснота связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием травяно-

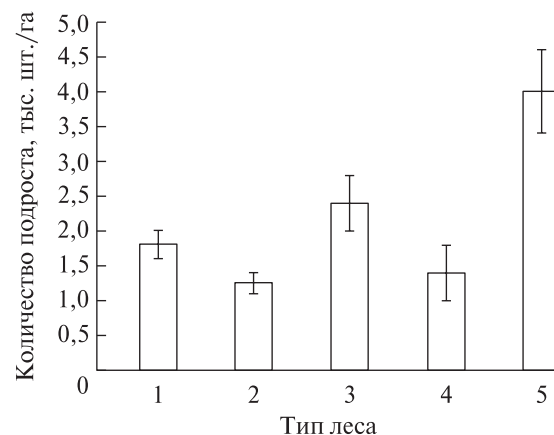


Рис. 1. Возобновительный потенциал сосны в разных типах леса: 1 — сосняк лишайниковый; 2 — сосняк брусничный; 3 — сосняк черничный; 4 — сосняк черничный влажный; 5 — сосняк кустарничково-сфагновый

Fig. 1. Regeneration capability of pine species in different forest types: 1 — lichen pine forest; 2 — lingonberry pine forest; 3 — bilberry pine forest; 4 — wet bilberry pine forest; 5 — shrub-sphagnum pine forest

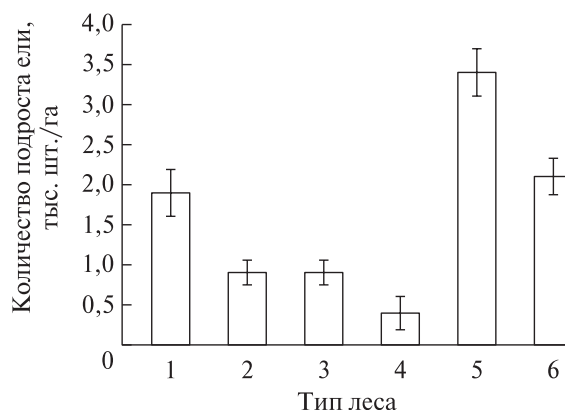


Рис. 2. Возобновление ели в разных типах леса: 1 — сосняк папоротниково-кисличный; 2 — сосняк брусничный; 3 — сосняк черничный; 4 — сосняк черничный влажный; 5 — ельник черничный; 6 — ельник осоко-сфагновый

Fig. 2. Regeneration of spruce in different forest types: 1 — fern-oxalis pine forest; 2 — lingonberry pine forest; 3 — bilberry pine forest; 4 — wet bilberry pine forest; 5 — bilberry spruce forest; 6 — sedge-sphagnum spruce forest

кустарничкового яруса ($r = -0,19$ при $t = 0,6$) и мохово-лишайникового яруса ($r = 0,37$ при $t = 1,4$). В сосняках черничных не выявлена существенная теснота связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса ($r = 0,31$ при $t = 2,2$) и мохово-лишайникового яруса ($r = -0,18$ при $t = 1,2$). В ельнике черничном при отсутствии значимой



Рис. 3. Количество хвойного подроста в насаждениях разного возраста

Fig. 3. Amount of coniferous undergrowth in stands of different ages

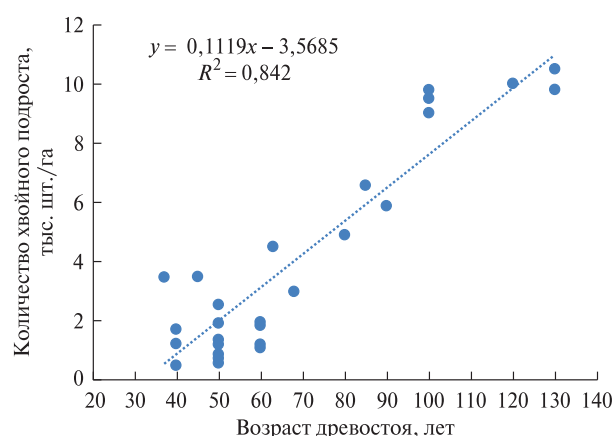


Рис. 4. Зависимость количества хвойного подроста в сосняке кустарничково-сфагновом от возраста древостоя

Fig. 4. Dependence of the amount of coniferous undergrowth in a shrub-sphagnum pine forest on the age of the stand

тесноты связи количества подроста хвойных пород с проективным покрытием мохово-лишайникового яруса ($r = 0,16$ при $t = 1,3$) отмечается обратная умеренная значимая теснота связи с проективным покрытием травяно-кустарничкового яруса ($r = -0,50$ при $t = 5,7$).

В Печорском лесничестве отмечаются сходные закономерности изменения численности подроста по типам ельников. Так, в ельниках разнотравных численность подроста ели составляет около 1 тыс. шт./га, в ельниках сфагновых — 0,3; ельниках черничных — от 2,5 до 4; ельниках кустарничково-сфагновых — от 3 до 4 тыс. шт./га.

Отмечается тенденция увеличения численности подроста ели в перестойных ельниках черничных (возраст около 200 лет) с запада на восток. Так, численность подроста ели в Кандалакшском лесничестве Мурманской области составляет в среднем $1,1 \pm 0,1$ тыс. шт./га, в Архангельском лесничестве Архангельской области — $1,9 \pm 0,4$ тыс. шт./га, в Печорском лесничестве Республики Коми — $3,1 \pm 0,6$ тыс. шт./га.

По данным работы [37], главными факторами, влияющими на жизнеспособность подроста сосны под пологом древостоев, являются возраст и сомкнутость крон древостоя. Изменение количества хвойного подроста с увеличением возраста древостоя в разных типах лесорастительных условий различно (рис. 3).

В сосняках кустарничково-сфагновых весь подрост хвойных пород представлен сосной и его количество с увеличением возраста древостоя растет. При переходе с III класса на IV класс возраста древостоя количество подроста увеличивается в 2,2 раза ($t = 7,8$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$); с VI класса на V класс — в 1,6 раза ($t = 5,9$ при $t_{st} = 4,0$; $p = 0,99$); с V класса на VI класс — в 1,6 раза ($t = 14,4$ при $t_{st} = 4,6$; $p = 0,99$); с VI класса на VII класс — на 6 % ($t = 3,8$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,95$). Таким образом, отмечается очень высокая теснота связи количества подроста сосны с возрастом древостоя ($r = 0,92$ при $t = 30,7$). Кроме того, с возрастом увеличивается дренирующая роль древостоя, что сказывается на напочвенном покрове. В связи с этим сокращается проективное покрытие сфагновых мхов и увеличивается доля зеленых мхов. Зависимость между данными показателями можно описать линейным уравнением: $y = 0,1119x - 3,5685$ (рис. 4).

Полнота древостоя не оказывает значимого влияния на количество подроста в сосняке кустарничково-сфагновом ($r = -0,23$ при $t = 1,2$).

В сосняке черничном выявлена обратная значимая теснота связи количества подроста сосны с полнотой древостоя ($r = -0,66$ при $t = 7,4$). Зафиксирована тенденция сокращения количества подроста сосны с возрастом древостоя ($r = -0,33$ при $t = 2,3$). Максимальное количество подроста хвойных пород наблюдается в сосняке черничном IV класса возраста (4,1 тыс. шт./га) (см. рис. 3). Превышение количества подроста хвойных пород в данном насаждении по сравнению с древостоем III класса возраста составляет 310 % ($t = 5,1$ при $t_{st} = 2,8$; $p = 0,99$), с древостоем V класса возраста — 32 % ($t = 1,5$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$). При переходе с V класса возраста древостоя на VI класс количество подроста хвойных пород сокращается на 29 % ($t = 2,5$ при $t_{st} = 2,4$; $p = 0,95$). Количество под-

роста хвойных пород в сосняке черничном VI и VII класса возраста значимо не различается.

С увеличением полноты древостоя средневозрастного и приспевающего древостоя (до 70 лет) отмечается сокращение количества подроста хвойных пород (рис. 5).

Если рассматривать весь подрост лесообразующих древесных пород под пологом сосняка черничного, то отмечается закономерность увеличения подроста лиственных пород в древостоях старше 70 лет, причем в этих древостоях с увеличением полноты древостоя количество подроста хвойных пород возрастает, а общее количество подроста снижается (рис. 6). При снижении полноты древостоя сосняка черничного под его пологом происходит заселение лиственных пород. Так при полноте древостоя 0,6 доля подроста лиственных пород относительно общего количества подроста составляет от 50 до 88 %, а при увеличении полноты древостоя до 0,9...16 % лиственный подрост отсутствует полностью.

В ельниках черничных полнота древостоя не оказывает значимого влияния на количество подроста ели ($r = 0,33$ при $t = 1,9$), однако отмечается умеренная обратная значимая теснота связи количества подроста ели от возраста древостоя ($r = -0,56$ при $t = 6,4$). Снижение количества подроста с увеличением возраста ельников обусловлено усложнением структуры древостоя и изменением пространственной структуры подроста. По данным работы [38], изначально куртинное расположение подроста в результате ограничения жизненного пространства и жестких конкурентных отношений с возрастом изменяется на случайный тип размещения, в том числе вследствие элиминации подроста в группах и выравнивания напряженности взаимовлияния между растениями [17, 39].

Максимальное количество подроста хвойных отмечается в ельнике черничном V класса возраста. Превышение количества подроста хвойных пород в данном насаждении по сравнению с древостоем IV класса возраста составляет 38 % ($t = 2,3$ при $t_{st} = 2,1$; $p = 0,95$). Различие в количестве подроста хвойных пород ельников черничных V и VI классов возраста, а также при сравнении ельников черничных VI и VII классов возраста незначимо. Можно отметить, что в ельниках черничных в возрасте от 100 до 140 лет происходит большой размах вариации количества подроста хвойных пород (рис. 7).

На количество подроста ели под пологом ельников черничных оказывает влияние состав подроста. При появлении подроста осины количество подроста ели резко сокращается (рис. 8), но примесь подроста березы в небольшом количестве не оказывает на него влияния.

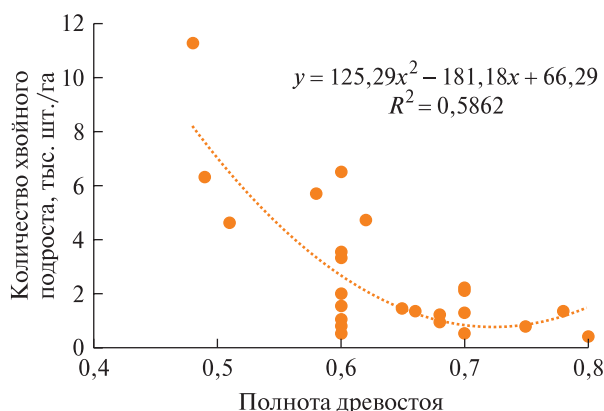


Рис. 5. Зависимость подроста хвойных пород от полноты древостоя в средневозрастных и приспевающих сосняках черничных

Fig. 5. Dependence of coniferous undergrowth on the density of the stand in middle-aged and maturing blueberry pine forests

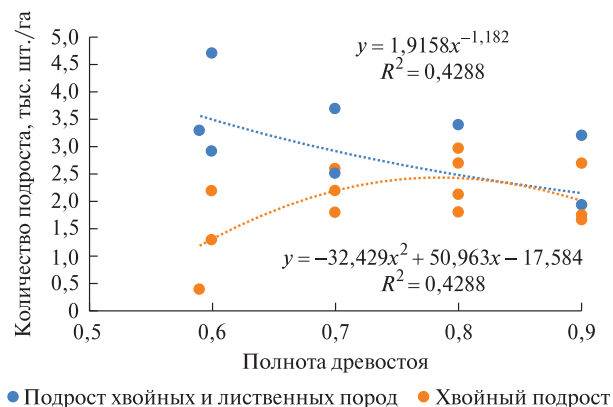


Рис. 6. Зависимость подроста лесообразующих пород от полноты древостоя сосняка черничного старше 70 лет

Fig. 6. Dependence of forest-forming species undergrowth on the stand density in a blueberry pine forest older than 70 years

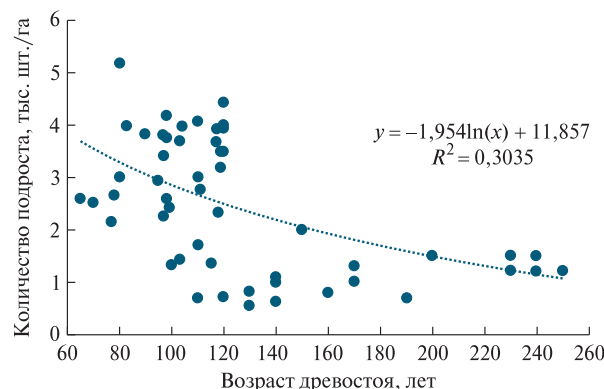


Рис. 7. Изменение количества подроста хвойных пород в ельнике черничном с возрастом

Fig. 7. Change in the amount of coniferous undergrowth in a blueberry spruce forest with age

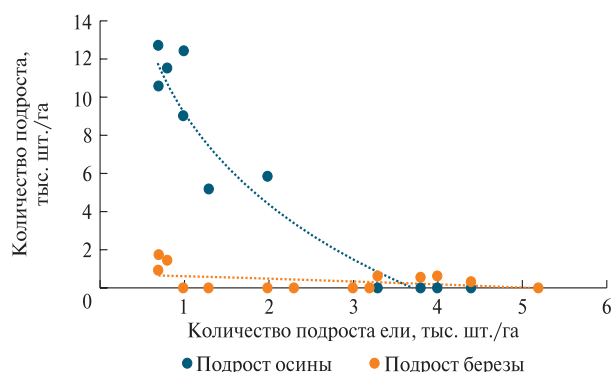


Рис. 8. Влияние подроста лиственных пород на количество подроста ели под пологом ельника черничного

Fig. 8. Effect of deciduous undergrowth on the amount of spruce undergrowth under the canopy of a blueberry spruce forest

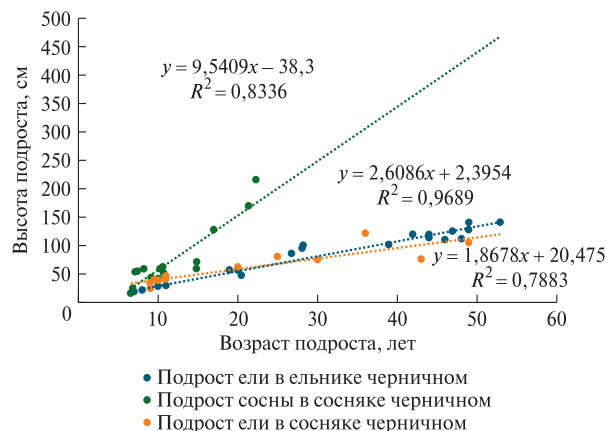


Рис. 9. Зависимость высоты подроста от его возраста

Fig. 9. Dependence of the undergrowth height on its age

Т а б л и ц а 2

Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста сосны с характеристиками древостоев сосняков черничных

Closeness correlation matrix between the pine undergrowth characteristics and blueberry pine forests

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	—	—	0,78	6,44	0,14	0,49	0,41	1,62	-0,38	1,46	-0,20	0,70	-0,33	2,30
Высота древостоя, м	0,78	6,44	—	—	-0,14	0,47	0,26	0,92	-0,61	3,22	-0,45	1,87	0,21	0,73
Относительная полнота древостоя	0,14	0,49	-0,14	0,47	—	—	0,03	0,11	0,19	0,65	0,26	0,19	-0,66	7,40
Доля березы в составе древостоя	0,40	1,62	0,26	0,92	0,03	0,11	—	—	0,12	0,40	0,08	0,26	0,14	0,49
Возраст подроста, лет	-0,38	1,46	-0,61	3,22	0,19	0,65	0,12	0,40	—	—	0,91	18,20	-0,20	0,70
Высота подроста, см	-0,20	0,70	-0,45	1,87	0,26	0,91	0,08	0,26	0,91	18,20	—	—	0,08	0,26
Количество подроста, тыс. шт./га	-0,33	2,3	0,21	0,73	-0,66	7,40	0,14	0,49	-0,20	0,70	0,08	0,26	—	—

Примечание. Здесь и далее: 1 — коэффициент корреляции; 2 — достоверность коэффициента корреляции.

Полученные результаты подтверждают утверждения, изложенные в работах [25, 36, 39], о том, что лиственные породы, в том числе береза и тополь, являются сильными конкурентами хвойных пород.

В сосняке черничном значимое влияние возраста, высоты древостоя, доли участия березы в составе древостоя на характеристики подроста сосны не выявлено (табл. 2).

С увеличением относительной полноты древостоя сосняка черничного количество подроста сосны уменьшается ($r = -0,66$ при $t = 7,4$).

В сосняке черничном отмечается тенденция влияния возраста древостоя на возраст подроста сосны ($r = -0,33$) и количество подроста ($r = -0,50$); высоты древостоя — на возраст подроста ($r = -0,61$) и возраст подроста сосны ($r = -0,45$).

Т а б л и ц а 3

**Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста ели
с характеристиками древостоев сосняков черничных**

**Closeness correlation matrix between the spruce undergrowth
and the blueberry pine forests stands**

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	–	–	0,99	124,39	0,22	0,83	–0,36	1,42	–0,63	4,01	–0,48	0,70	0,79	7,20
Высота древостоя, м	0,99	124,39	–	–	0,87	12,21	–0,33	1,27	–0,68	4,37	–0,52	2,50	0,78	7,01
Относительная полнота древостоя	0,22	0,83	0,87	12,21	–	–	–0,35	1,37	–0,78	6,98	–0,64	4,07	0,58	3,00
Доля березы в составе древостоя	–0,36	1,42	–0,33	1,27	–0,35	1,37	–	–	–0,05	0,16	–0,23	0,84	0,02	0,07
Возраст подроста, лет	–0,63	4,01	–0,68	4,37	–0,78	6,98	–0,05	0,16	–	–	0,89	14,53	–0,65	4,12
Высота подроста, см	–0,20	0,70	–0,52	2,50	–0,64	4,07	–0,23	0,84	0,89	14,53	–	–	–0,53	2,59
Количество подроста, тыс. шт./га	–0,48	0,70	0,78	7,01	0,58	3,00	0,02	0,07	–0,65	4,12	–0,53	2,59	–	–

Т а б л и ц а 4

**Корреляционная матрица тесноты связи характеристик подроста ели
с характеристиками древостоев ельников черничных**

**Closeness correlation matrix between the spruce undergrowth
and the blueberry spruce forests**

Характеристики	Возраст древостоя, лет		Высота древостоя, м		Относительная полнота древостоя		Доля березы в составе древостоя		Возраст подроста, лет		Высота подроста, см		Количество подроста, тыс. шт./га	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Возраст древостоя, лет	–	–	0,17	0,93	–0,55	4,19	–0,09	0,48	–0,53	3,90	–0,56	4,28	–0,56	4,60
Высота древостоя, м	0,17	0,93	–	–	0,07	0,35	–0,38	2,36	–0,50	3,49	–0,41	2,61	0,59	4,72
Относительная полнота древостоя	–0,55	4,19	0,07	0,35	–	–	–0,24	1,34	0,55	4,18	0,59	4,81	0,33	1,94
Доля березы в составе древостоя	–0,09	0,48	–0,38	2,36	–0,24	1,34	–	–	0,35	2,14	0,33	1,98	–0,4	2,55
Возраст подроста, лет	–0,53	3,90	–0,50	3,49	0,55	4,18	0,35	2,14	–	–	0,98	167,5	–0,35	2,11
Высота подроста, см	–0,56	4,28	–0,41	2,61	0,59	4,81	0,33	1,98	0,98	167,5	–	–	–0,26	1,46
Количество подроста, тыс. шт./га	–0,56	4,60	0,59	4,72	0,33	1,94	–0,40	2,55	–0,35	2,11	–0,26	1,46	–	–

В сосняке черничном с увеличением возраста древостоя возраст подроста ели уменьшается ($r = -0,63$ при $t = 4,0$), а количество подроста возрастает ($r = 0,79$ при $t = 7,2$) (табл. 3). Определена тенденция влияния возраста древостоя на высоту подроста ($r = -0,48$).

С увеличением высоты древостоя сосняка черничного возраст подроста ели уменьшается ($r = -0,68$ при $t = 4,4$), а количество подроста возрастает ($r = 0,78$ при $t = 7,0$). Выявлена тенденция влияния высоты древостоя на высоту подроста ($r = -0,52$).

С увеличением относительной полноты древостоя сосняка черничного возраст и высота подроста ели уменьшаются ($r = -0,78$ при $t = 7,0$; $r = -0,64$ при $t = 4,1$ соответственно). Отмечается тенденция влияния относительной полноты древостоя на количество подроста ($r = 0,58$). Рост количества хвойного подроста с увеличением полноты древостоя старше 70 лет связан со снижением количества подроста лиственных пород (см. рис. 6).

С повышением возраста подроста ели в сосняке черничном его высота повышается ($r = 0,89$ при $t = 14,5$), а количество подроста снижается ($r = -0,65$ при $t = 4,0$).

В ельнике черничном с увеличением возраста древостоя высота ($r = -0,56$ при $t = 4,3$) и количество подроста ели ($r = -0,56$ при $t = 4,6$) уменьшаются (табл. 4). Выявлена тенденция влияния возраста древостоя на возраст подроста ($r = -0,53$).

С увеличением высоты древостоя ельника черничного количество подроста возрастает ($r = 0,59$ при $t = 4,7$). Отмечается тенденция влияния высоты древостоя на возраст ($r = -0,50$) и высоту подроста ($r = -0,41$).

С увеличением относительной полноты древостоя ельника черничного возраст и высота подроста ели возрастают ($r = 0,55$ при $t = 4,2$; $r = 0,59$ при $t = 4,8$ соответственно). Отмечается тенденция влияния относительной полноты древостоя на количество подроста ($r = 0,33$).

Установлена тенденция влияния доли березы в составе древостоя ельника черничного на возраст ($r = 0,35$) и высоту подроста ели ($r = 0,33$).

Выявлено закономерное увеличение высоты подроста с возрастом ($r = 0,89 - 0,98$ при $t = 14,5 - 167,53$) (рис. 9).

Зависимость высоты подроста от его возраста можно описать линейным уравнением в сосняке черничном для подроста сосны: $y = 9,5409x - 38,3$; в сосняке черничном для подроста ели: $y = 1,8678x + 20,475$; в ельнике черничном для подроста ели: $y = 2,6086x + 2,3954$. Можно отметить, что аллометрические закономерности формирования подроста в сосняке черничном и ельнике черничном схожи.

Выводы

В разных лесорастительных условиях возобновительный потенциал хвойных пород различен. Наибольшее количество подроста сосны отмечается в сосняке кустарничково-сфагновом. Возобновление сосной успешно также в сосняке лишайниковом, черничном.

Наибольшее количество подроста ели встречается в ельнике черничном. Возобновление елью успешно также в сосняке папоротниково-кисличном, ельнике осоково-сфагновом.

В сосняках кустарничково-сфагновых количество подроста хвойных пород с увеличением возраста древостоя растет.

В сосняках черничных максимальное количество подроста хвойных пород наблюдается в древостое IV класса возраста. При повышении полноты средневозрастного и приспевающего древостоя (до 70 лет) отмечается сокращение количества подроста хвойных пород. В древостоях старше 70 лет при снижении полноты увеличивается доля подроста лиственных пород, при этом сокращается количество хвойного подроста. С ростом относительной полноты сокращается количество подроста сосны, с увеличением возраста и высоты древостоя — количество подроста ели растет, а возраст снижается. Если повышается относительная полнота древостоя, уменьшаются высота и возраст подроста ели.

В ельнике черничном V класса возраста отмечается максимальное количество подроста хвойных. При появлении подроста осины количество подроста ели резко сокращается. С увеличением возраста высота и количество подроста ели сокращаются; если высота древостоя увеличивается, количество подроста ели растет; при увеличении относительной полноты возраст и высота подроста ели повышаются.

Составлены модели роста подроста сосны и ели по пологом разных типов леса. Изменение высоты подроста хвойных пород с возрастом описывается линейным уравнением.

Полученные данные могут служить информационной базой для совершенствования способов и технологий рационального ведения лесного хозяйства.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований. Регистрационный номер: 123032700030-9, государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН. Номер государственной регистрации – FUUW-2024-0011.

Список литературы

- [1] Sumichrast L., Vencurik J., Pittner J., Kucbel S. The long term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badinsky prales // *J. Forest Science*, 2020, v. 66, no. 12, pp. 501–510.
- [2] Seidl R., Thom D., Kautz M. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*, 2017, v. 7, pp. 395–402.
- [3] Knocke H., Axer M., Hamkens H.F., Fischer Ch. Quo vadis Scots pine forestry in northern Germany: How do silvicultural management and climate change determine an uncertain future? // *European J. of Forest Research*, 2024, no. 143 (5), pp. 1477–1497. DOI:10.1007/s10342-024-01701-0
- [4] Тетюхин С.В., Павская М.В. Общая оценка естественного лесовозобновления по преобладающим породам, типам леса и типам лесорастительных условий на территории Лисинской части Учебно-опытного лесничества Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. Вып. 235. С. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [5] Дружинин Ф.Н. Лесоводственно-экологические основы восстановления ельников в производных лесах Восточно-Европейской равнины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02, 06.03.01, Вологда, 2013. 389 с.
- [6] Сунгурова Н.Р. Теория и практика искусственного лесовосстановления на севере Русской равнины: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Архангельск, 2017. 391 с.
- [7] Теринов Н.Н. Концепция трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные с целью повышения продуктивности лесов Урала: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Екатеринбург, 2014. 44 с.
- [8] Тихомирова А.А., Грязькин В.В., Гаврилова О.И. Возобновительный потенциал сосны. СПб.: Лань, 2025. 112 с.
- [9] Матвеева А.С., Беляева Н.В., Ищук Т.А. Закономерности естественного возобновления ели европейской разных фенологических форм в условиях Ленинградской области. СПб.: Изд-во ООО ИПЦ «Измайловский», 2024. 236 с.
- [10] Цветков В.Ф. Лесовосстановление. Природа, закономерности, прогноз. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 211 с.
- [11] Стороженко В.Г. Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках Европейской тайги России // *Сибирский лесной журнал*, 2017. № 3. С. 87–92.
- [12] Тараканов А.М., Симаков А.А., Капистка В.В., Дворяшин А.В., Бобушкина С.В., Сурина Е.А. Потенциал восстановления лесов на избыточно-увлажненных почвах Европейского Севера России // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы IV науч.-техн. конф.*, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 г. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2019. С. 168–172.
- [13] Волков С.Н., Мухин А.С., Чистяков С.А., Налепин В.П., Кондрашина Е.С. Особенности естественного лесовозобновления в условиях южной тайги на примере ельников заповедника «Кологривский лес» // *Лесохозяйственная информация*, 2021. № 2. С. 39–48.
- [14] Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н. Возобновление леса и возрастное строение древостоев на торфяных почвах. Вологда: Полиграф-Периодика, 2021. 118 с.
- [15] Гусев Д.В. Ландшафтные особенности влияния лесных низовых пожаров на возобновление сосны: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. 06.03.02; Санкт-Петербург, 2022. 24 с.
- [16] Зарубина Л.В., Дружинин Ф.Н., Пешин Д.А. Оценка возобновительных процессов под пологом приспевающих хвойных древостоев в Вологодской области // *Хвойные бореальной зоны*, 2022. Т. XL, № 6. С. 474–479.
- [17] Манов А.В., Кутявин И.Н. Динамика структуры и состояния древесного яруса среднетаежных коренных ельников предгорий Северного Урала // *Лесоведение*, 2023. № 6. С. 587–595.
- [18] Стороженко В.Г. Санитарное состояние коренных ельников тайги Европейской России // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 1. С. 17–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25
- [19] Исаков А.Т., Бузыкин А.И. Метод оценки естественного возобновления еловых лесов Прииссыкуля // *Хвойные бореальной зоны*, 2012. № 3–4. С. 214–219.
- [20] Кутявин И.Н. Структурная организация, рост и продуктивность древостоев сосновых экосистем Европейского Северо-Востока России: дис. ... д-ра биол. наук: 4.1.6. Сыктывкар, 2024. 448 с.
- [21] Lula M., Langvall O., Karlsson C. Regeneration methods for Scots pine and lodgepole pine: a comparison in Central Sweden // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2025, no. 11, p. 389185521. DOI:10.1080/02827581.2025.2466576
- [22] Kyrö M., Hallikainen V., Valkonen S., Hyppönen M., Puttonen P., Bergsten U., Winsa H., Rautio P. Effects of overstory tree density, site preparation, and ground vegetation on natural Scots pine seedling emergence and survival in northern boreal pine forests // *Can J. For. Res.*, 2022, v. 52(5), pp. 860–869. DOI:10.1139/cjfr-2021-0101
- [23] Huth F., Wehnert A., Wagner S. Natural Regeneration of Scots Pine Requires the Application of Silvicultural Treatments such as Overstorey Density Regulation and Soil Preparation // *Forests*, 2022, no. 13 (817), p. 360938152. DOI:10.3390/f13060817
- [24] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden // *Biological invasions*, 2020, no. 22 (7), pp. 1–11. DOI:10.1007/s10530-020-02262-0
- [25] Löf M., Dey D., Navarro R. Mechanical site preparation for forest restoration // *New Forests*, 2012, no. 5–6 (43), pp. 825–848. DOI 10.1007/s11056-012-9332-x
- [26] Бобушкина С.В., Сурина Е.А., Сеньков А.О. Лесные Арктические экосистемы: состояние и динамика // *Биосферное хозяйство: теория и практика*, 2018. № 3 (6). С. 11–18.
- [27] Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 227 с.
- [28] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. 71 с.
- [29] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в

- его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения 10.02.2025).
- [30] Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 1999. 302 с.
- [31] Чепик Ф.А. Определитель деревьев и кустарников. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ(ЛЭТИ), 2021. 239 с.
- [32] Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России). СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2001. 188 с.
- [33] Астрологова Л.Е. Типы вырубок и лесовозобновление древесных пород. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 96 с.
- [34] Данчева А.В., Залесов С.В. Влияние рубок ухода на биологическую устойчивость сосняков защитного назначения Северного Казахстана // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [35] Нгуен Ван Зинь, Шахов А.Г., Ву Ван Хунг Особенности самовозобновления сосны обыкновенной // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2017. Т. 1. С. 40–42.
- [36] McCarthy N., Bentsen N.S., Willoughby I., Balandier Ph. The state of forest vegetation management in Europe in the 21 st century // Environmental Research Letters, 2019, v. 14, no. 5, pp. 231–245. DOI:10.1007/s10342-010-0429-5
- [37] Галдина Т.Е., Хазова Е.П. Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 35–42.
- [38] Манов А.В., Кутявин И.Н. Горизонтальная структура древостоев и подростов северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье // ИзВУЗ Лесной журнал, 2018. № 6. С. 78–88.
- [39] Nilsson O., Hjelm K., Nilsson U. Early growth of planted Norway spruce and Scots pine after site preparation in Sweden // Scandinavian J. of Forest Research, 2019, no. 34 (2), pp. 1–11. DOI:10.1080/02827581.2019.1659398

Сведения об авторах

Тюкавина Ольга Николаевна✉ — д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ); вед. науч. сотр., ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), o.tukavina@narfu.ru

Сурина Елена Анатольевна — канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), surina_ea@sevniihl-arh.ru

Феклистов Павел Александрович — д-р. с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, pfeklistov@yandex.ru

Клевцов Денис Николаевич — д-р биол. наук, зав. кафедрой биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), d.klevtsov@narfu.ru

Болотов Иван Николаевич — д-р биол. наук, член-кор. РАН, директор ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, inepras@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.04.2025.

Одобрено после рецензирования 22.07.2025.

Принята к публикации 01.08.2025.

FORESTS REGENERATION CAPABILITY IN SUB-ARCTIC ZONE OF EUROPEAN NORTH

O.N. Tyukavina^{1,2✉}, E.A. Surina², P.A. Feklistov^{1,3},
D.N. Klevtsov¹, I.N. Bolotov³

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhagelsk, Russia

³Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20, Nikolsky av., 163020, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article studies natural reforestation of conifers in the Arctic zone of the European North. It has been established that the regeneration capability of coniferous species varies depending on different forest conditions. The largest amount of pine undergrowth is observed in shrubby-sphagnum pine forests ($4,0 \pm 0,6$ thousand units/ha). Pine regeneration is also successful in lichen and blueberry pine forests. The largest amount of spruce undergrowth is observed in the blueberry spruce forest (3,4 thousand units/ha). Spruce regeneration is also successful in fern-acid pine and sedge-sphagnum spruce forests. The amount of spruce undergrowth tends to increase in overgrown blueberry spruce forests (about 200 years old) from the west to the east. It was revealed that in the shrubby-sphagnum pine forests, the coniferous undergrowth increases with an increased age of the stand. The maximum amount of coniferous undergrowth in blueberry pine is observed in the stand of the 4th age class. It is shown that the reproduction of coniferous undergrowth under the canopy of blueberry pine is influenced by age, height, relative completeness of the stand, and the presence of hardwood undergrowth. The maximum coniferous undergrowth is noted in the blueberry spruce forest of the 5th grade of age. The success of coniferous undergrowth regeneration under the canopy of blueberry spruce is influenced by age, height, relative completeness of the stand, and the presence of aspen undergrowth. We have revealed the dependence of the undergrowth height on its age has been revealed, which can be described by a linear equation. The allometric patterns of spruce undergrowth formation in blueberry pine and blueberry spruce forest are similar. It is recommended that the data obtained be used as an informative base for improving the methods and techniques of rational forestry management.

Keywords: success of reforestation, pine, spruce, type of forest, height of undergrowth, age of undergrowth, taxation characteristics of a stand

Suggested citation: Tyukavina O.N., Surina E.A., Feklistov P.A., Klevtsov D.N., Bolotov I.N. *Vozobnovitel'nyy potentsial lesov priarkticheskoy zony Evropeyskogo Severa* [Forests regeneration capability in sub-arctic zone of European North]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 5, pp. 5–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-5-21

References

- [1] Sumichrast L., Vencurik J., Pittner J., Kucbel S. The long term dynamics of the old-growth structure in the National Nature Reserve Badinsky prales. *J. Forest Science*, 2020, v. 66, no. 12, pp. 501–510.
- [2] Seidl R., Thom D., Kautz M. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 2017, v. 7, pp. 395–402.
- [3] Knocke H., Axer M., Hamkens H.F., Fischer Ch. Quo vadis Scots pine forestry in northern Germany: How do silvicultural management and climate change determine an uncertain future? *European J. of Forest Research*, 2024, no. 143 (5), pp. 1477–1497. DOI:10.1007/s10342-024-01701-0
- [4] Tetiukhin S.V., Pavskaja M.V. *Obshchaia otsenka estestvennogo lesovoz-obnovleniia po preobladaiushchim porodam tipam lesa i tipam lesorastitel'nykh uslo vii na territorii Lisinskoj chasti Uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoi oblasti* [General assessment of natural reforestation by the prevailing species, types of forest and types of growing conditions on the territory of the Lisinsky part of the Leningrad Region Training and Experimental Forestry]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, iss. 235, pp. 71–83. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.71-83
- [5] Druzhinin F.N. *Lesovodstvenno-ekologicheskie osnovy vosstanovleniia elnikov v proizvodnykh lesakh vostochno-evropeiskoi ravniny* [Forestry and ecological foundations of spruce forests restoration in the derived forests of the East European plain]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)* 03.06.02, Vologda, 2013, 389 p.
- [6] Sungurova N.R. *Teoriia i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniia na severe Russkoi ravniny* [Theory and practice of artificial reforestation in the north of the Russian Plain]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)* 03.06.01. Arkhangelsk, 2017, 391 p.
- [7] Terinov N.N. *Kontseptsiiia transformatsii proizvodnykh miagkolistvennykh nasazhdenii v temnokhvoinnye s tseliu povysheniia produktivnosti lesov Urala* [The concept of transformation of soft-leaved derivatives into dark coniferous plantations in order to increase the productivity of forests in the Urals]. *Dis. Dr. Sci. (Agric.)* 03.06.02. Yekaterinburg, 2014, 44 p.
- [8] Tikhomirova A.A., Griazkin V.V., Gavrilova O.I. *Vozobnovitelnyi potentsial sosny* [The renewable potential of pine]. Saint Petersburg: Lan', 2025, 112 p.

- [9] Matveeva A.S., Beliaeva N.V., Ishchuk T.A. *Zakonomernosti estestvennogo vozobnovleniia eli evropeiskoi raznykh fenologicheskikh form v usloviakh Leningradskoi oblasti* [Patterns of natural regeneration of European spruce of various phenological forms in the conditions of the Leningrad region]. St. Petersburg: Publishing house of LLC CPI Izmailovsky, 2024, 236 p.
- [10] Tsvetkov V.F. *Lesovosstanovlenie Priroda zakonomernosti prognoz* [Reforestation. Nature, patterns, forecast]. Arkhangelsk: Publishing house of AGTU, 2008, 211 p.
- [11] Storozhenko V.G. *Estestvennoe vozobnovlenie v korennykh razno-vozrastnykh elnikakh Evropeiskoi taigi Rossii* [Natural regeneration in native unevenaged spruce forests of the European Russian taiga]. *Sibirskiy Lesnoy zhurnal* [Siberian J. of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 87–92. DOI: 10.15372/SJFS20170309
- [12] Tarakanov A.M., Simakov A.A., Kapistka V.V., Dvoriashin A.V., Bo-bushkina S.V., Surina E.A. *Potentsial vosstanovleniia lesov na izbytochno-uvlazhnennykh pochvakh Evropeiskogo Severa Rossii* [The potential of forest restoration on excessively moistened soils of the European North of Russia]. *Les Rossii politika promyshlennost nauka obrazovanie Materialy IV nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the IV scientific and technical conference], Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2023. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Technical University, 2019, pp. 168–172.
- [13] Volkov S.N., Mukhin A.S., Chistiakov S.A., Nalepin V.P., Kondrashina E.S. *Osobennosti estestvennogo lesovozobnovleniia v usloviakh tuzhnoi taigi na primere elnikov zapovednika Kologrivskii les* [Forest Regeneration in the Conditions of the Southern Taiga on the Example of the Spruce Stands of the «Kologrivsky Forest» Nature Reserve]. *Lesokhoziaistvennaia informatsiia* [Forestry information], 2021, no. 2, pp. 39–48. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2021.2.04.
- [14] Druzhinin N.A., Druzhinin F.N. *Vozobnovlenie lesa i vozrastnoe stroenie drevostoev na torfiannykh pochvakh* [Forest renewal and age structure of stands on peat soils. Vologda: Publishing House of the Publishing House PF «Polygraph Periodicals», 2021, 118 p.
- [15] Gusev D.V. *Landshaftnye osobennosti vliianiia lesnykh nizovykh pozharov na vozobnovlenie sosny* [Landscape features of the impact of forest fires on the renewal of pine trees]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. 03.06.02]. St. Petersburg, 2022, 24 p.
- [16] Zarubina L.V., Druzhinin F.N., Peshin D.A. *Otsenka vozobnovitelnykh protsessov pod pologom prispevayushchikh khvoynykh drevostoev v Vologodskoi oblasti* [Evaluation of renewable processes under canopy of flourishing coniferous forest crop in Vologda region]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2022, v. XL, no. 6, pp. 474–479. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-474-479
- [17] Manov A.V., Kutiavin I.N. *Dinamika struktury i sostoiianiia drevesnogo iarusy srednetaezhnykh korennykh elnikov predgorii Severnogo Urala* [Tree Storey Structure and Condition Dynamics in Middle-Taiga Native Spruce Forests of the Northern Ural Foothills]. *Lesovedenie* [Forestry science], 2023, no. 6, pp. 587–595. DOI: 10.31857/S0024114823050054
- [18] Storozhenko V.G. *Sanitarnoe sostoyanie korennykh el'nikov taygi Evropeyskoy Rossii* [Sanitary condition of native taiga spruce in European Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 17–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-17-25
- [19] Isakov A.T., Buzykin A.I. *Metod otsenki estestvennogo vozobnovleniia elovykh lesov Priissykulia* [A method for assessing the natural renewal of spruce forests in the Issyk-Kul region]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2012, no. 3–4, pp. 214–219.
- [20] Kutiavin I.N. *Strukturnaia organizatsiia rost i produktivnost drevostoev sosnovykh ekosistem Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossi* [Structural organization, growth and productivity of stands of pine ecosystems of the European Northeast of Russia]. *Dis. Dr. Sci. (Biol.)* 4.1.6. Syktyvkar, 2024, 448 p.
- [21] Lula M., Langvall O., Karlsson C. Regeneration methods for Scots pine and lodgepole pine: a comparison in Central Sweden. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2025, no. 11, p. 389185521. DOI:10.1080/02827581.2025.2466576
- [22] Kyrö M., Hallikainen V., Valkonen S., Hyppönen M., Puttonen P., Bergsten U., Winsa H., Rautio P. Effects of overstory tree density, site preparation, and ground vegetation on natural Scots pine seedling emergence and survival in northern boreal pine forests. *Can. J. For Res.*, 2022, no. 52(5), pp. 860–869. DOI:10.1139/cjfr-2021-0101.
- [23] Huth F., Wehnert A., Wagner S. Natural Regeneration of Scots Pine Requires the Application of Silvicultural Treatments such as Overstorey Density Regulation and Soil Preparation. *Forests*, 2022, no. 13 (817). p. 360938152. DOI:10.3390/f13060817
- [24] Jacobson S., Hannerz M. Natural regeneration of lodgepole pine in boreal Sweden. *Biological invasions*, 2020, no. 22 (7), pp. 1–11. DOI:10.1007/s10530-020-02262-0
- [25] Löf M., Dey D., Navarro R. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*, 2012, no. 5-6 (43), pp. 825–848. DOI 10.1007/s11056-012-9332-x
- [26] Bobushkina S.V., Surina E.A., Senkov A.O. *Lesnye Arkticheskie ekosistemy sostoianie i dinamika* [Arctic forest ecosystems: state and dynamics]. *Biosferne khoziaistvo teoriia i praktika* [Biosphere economy: theory and practice], 2018, no. 3 (6), pp. 11–18.
- [27] Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniia k izucheniiu tipov lesa* [Methodological guidelines for the study of forest types]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961, 227 p.
- [28] Gusev I.I. *Taksatsiia drevostoi* [Taxation of tree stands]. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 2000, 71 p.
- [29] Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 29.12.2021 №1024 «Ob utverzhdenii pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya ot-kaza v ego soglasovani, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya» [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 1024 dated 12/29/2021 «On approval of the rules of reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 10.02.2025).

- [30] Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: MGUL, 1999, 302 p.
- [31] Чепик Ф.А. *Opredelitel derev i kustarnikov* [Determinant of trees and shrubs]. St. Petersburg: SPbSETU Publishing House (LETI), 2021, 239 p.
- [32] Griazkin A.V. *Vozobnovitelnyi potentsial taezhnykh lesov na primere elnikov Severo-Zapada Rossii* [Renewable potential of taiga forests (on the example of spruce forests in Northwestern Russia)]. St. Petersburg: SPbGLTA Publ., 2001, 188 p.
- [33] Astrologova L.E. *Tipy vyrubok i lesovozobnovlenie drevesnykh porod* [Types of deforestation and reforestation of tree species]. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 2002, 96 p.
- [34] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Vliyanie rubok ukhoda na biologicheskuyu ustoychivost' sosnyakov zashchitnogo naznacheniya Severnogo Kazakhstana* [Influence of thinning on protective pineries biosustainability in Northern Kazakhstan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-5-13
- [35] Nguen Van Zin, SHakhov A.G., Vu Van KHung *Osobennosti samovozob-novleniya sosny obyknovЕННОй* [Features of self-renewal of the common pine]. *Lesa Rossii: politika promyshlennost nauka, obrazovanie: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: proceedings of the II International Scientific and Technical Conference], Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2017. St. Petersburg: SPbGLTU, 2017, v. 1, pp. 40–42.
- [36] McCarthy N., Bentsen N.S., Willoughby I., Balandier Ph. The state of forest vegetation management in Europe in the 21 st century. *Environmental Research Letters*, 2019, v. 14, no. 5, pp. 231–245. DOI:10.1007/s10342-010-0429-5
- [37] Galdina T.E., Khazova E.P. *Vliyanie klimatogeograficheskikh faktorov na adaptatsionnuyu sposobnost sosny obyknovЕННОй* [Influence of climatic and geographic factors on the scots pine adaptability]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering J.], 2020, v. 10, no. 3 (39), pp. 35–42. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
- [38] Manov A.V., Kutiaev I.N. *Gorizontálnaia struktura drevostoev i podrosta severotaezhnykh korennykh elnikov chernichno-sfagnovykh v Priural'e* [Horizontal Structure of Forest Stands and New Growth of Northern Taiga Virgin Blueberry-Sphagnum Spruce Forests in Cisurals]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 78–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.78
- [39] Nilsson O., Hjelm K., Nilsson U. Early growth of planted Norway spruce and Scots pine after site preparation in Sweden. *Scandinavian J. of Forest Research*, 2019, no. 34 (2), pp. 1–11. DOI:10.1080/02827581.2019.1659398

The work was carried out within the framework of the state assignment of the SevNIILH Foundation for applied scientific research. Registration number: 123032700030-9, State assignment of the Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. The state registration number is FUUW-2024-0011.

Authors' information

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Leading Research Associate of the Northern Research Institute of Forestry, o.tukavina@narfu.ru

Surina Elena Anatol'evna — Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Northern Research Institute of Forestry, surina_ea@sevniih-arh.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Researcher at the Laboratory of Arctic Forest Ecosystems, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic; Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pfeklistov@yandex.ru

Klevtsov Denis Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Head of the Department of Biology, Ecology and Biotechnology of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, d.klevtsov@narfu.ru

Bolotov Ivan Nikolaevich — Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, inepras@yandex.ru

Received 22.04.2025.

Approved after review 22.07.2025.

Accepted for publication 01.08.2025.

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