

НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ЛЕСОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ НА ВЫРУБКЕ ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНИКА В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.С. Ильинцев^{1, 2✉}, И.Б. Амосова²

¹ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), Россия, 163062,
г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002,
г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

a.ilintsev@narfu.ru

Представлены материалы изучения трехлетней динамики формирования растительного покрова на ранних этапах восстановительной сукцессии. Показана динамика всходов, подроста, подлеска, травяно-кустарничкового и мохового ярусов. Установлены увеличения общего проективного покрытия ярусов, внедрение новых видов, наиболее явно проявляющееся в колеях, межколеяном пространстве и в пределах переувлажненной пасаки. Определено повышение фитоценотической значимости основных фоновых видов данного типа леса и видов сочетающихся виолентную и эксплерентную стратегии. Выявлено преобладание типичных бореальных групп среди ценоотических групп при увеличении доли водно-болотной группы на третий год наблюдений. Установлено, что на 1–2-й годы после вырубki наблюдается обильное появление всходов березы — в 15–30 раз больше, чем всходов ели и сосны. Получены данные, что на 3-й год учета большая часть отмеченных всходов и самосева перешли в стадию подроста, а густота подроста в пасаках увеличилась с 800 до 7233 шт./га вследствие наличия мелкого подроста березы, в колеях количество подроста при четырех проходах форвардера было в 10 раз меньше, нежели в пасаках, при восьми проходах форвардера — в 7 раз, при десяти проходах — в 17 раз меньше. Отмечена схожая динамика в возобновлении подлеска. Рекомендуется, согласно принципам устойчивого лесопользования, ограничение и минимизация отрицательных экологических последствий при многократном проезде лесозаготовительной техники с помощью совершенствования технологий лесосечных работ.

Ключевые слова: сплошная рубка, форвардер, количество проездов, живой напочвенный покров, всходы, подрост, подлесок

Ссылка для цитирования: Ильинцев А.С., Амосова И.Б. Начальные этапы лесовосстановительной сукцессии на вырубке ельника черничника в северотаежных лесах европейской части России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 6. С. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-6-5-17

Концепция устойчивого лесопользования [1–4] направлена на способы проведения лесоводственной практики применительно к различным типам леса и формирование управляемых целей. Для устойчивого лесопользования важное значение имеет обеспечение успешного восстановления лесных экосистем, возобновление коммерческих древесных пород после различных видов рубок [5], а также сохранение и поддержание биологического разнообразия.

В бореальных лесах практически повсеместно применяются сплошные рубки, которые приводят к существенным изменениям экологических характеристик, процессов и функций [6, 7]. Используемая современная лесозаготовительная техника в результате многократных проездов изменяет свойства почвы [8], количество проездов техники значительно влияет на степень и масштаб повреждения почвы. В большинстве исследований [9–11] указывается, что уплотнение почвы в течение первых нескольких проездов техники

становится самым высоким, после чего плотность почвы характеризуется определенным значением, постепенно возрастающим в зависимости от дальнейшего количества проездов и их глубины. Таким образом, рубка древостоя наряду с прямым (механическим, техническим) воздействием, например, на нижние ярусы растительности, оказывает влияние на их дальнейшую сохранность и рост через абиотические факторы, к которым относятся в первую очередь микроклиматические. Все это придает большое теоретическое и практическое значение изучению воздействия рубок леса на стабильность лесных экосистем.

Усиление механизации процесса лесосечных работ, которое связано с расширением площадей для заготовки древесины, поднимает вопросы об экологическом воздействии применяемой лесозаготовительной техники на лесную среду и ее последующем влиянии на продуктивность участков лесного фонда [12]. Степень и масштабы нарушений напочвенного покрова зависят от интенсивности лесозаготовок, применяемого оборудования и методов по снижению негатив-

ных воздействий лесозаготовок на лесную среду [13, 14]. Нарушения различаются по затронутому пространству, по интенсивности — от таких обширных и тяжелых, как дороги и лесопогрузочные площадки до других — более ограниченных и относительно легких, в частности трелевочных волоков (технологических коридоров) и открытых окон [14]. Трелевочные волоки покрывают в среднем около 10 % площади лесосек в умеренных и тропических лесах [15–17]. В некоторых случаях площадь покрытия трелевочных волоков превышает 20 % [18]. В бореальных лесах площадь магистральных и пасечных волоков может достигать 30 % при использовании многооперационной техники [19].

Аутоэкология древесных пород разнообразна, а их реакция на нарушения неспецифическая [14]. По этой причине затруднительно найти равновесие между минимизацией последствий рубок, которые наносят ущерб некоторым экосистемным функциям и видам, и содействием естественному возобновлению древесных пород, которое необходимо для долгосрочной экономической жизнеспособности лесов и устойчивого лесопользования. Для понимания воздействия рубок важно знать масштаб и степень повреждения почвы, как они влияют на возобновление растительного покрова и как долго их воздействие сохраняется.

Цель работы

Цель работы — определение динамики восстановления нижних ярусов растительности на волоках с разным количеством проездов груженого форвардера и не покрытых порубочными остатками в черничном типе леса северотаежного лесного района европейской части Российской Федерации.

Объекты и методы исследования

В соответствии с лесорастительным районированием объекты исследования расположены в северотаежном районе европейской части Российской Федерации на территории Емецкого лесничества Архангельской области. До сплошной рубки исходный участок леса имел следующие характеристики: состав древостоя — 8Е2Б+С, класс возраста — 8, полнота — 0,6, запас древесины — 115 м³/га, тип леса — черничный (местами черничный влажный), класс бонитета — V, почва — подзол грубогумусный поверхностно-осветленный иллювиально-железистый контактно-осветленный на двучленных моренных отложениях (тяжелосуглинистая морена, перекрытая покровными супесями).

В летний период 2020 г. на действующей лесосеке заложили опытно-производственный участок с вариантами разного количества проездов груженого восьмиколесного форвардера Ponsse

Buffalo King [8]. Опыт был поставлен в трех повторностях на пройденных рубкой 18-метровых пасеках без покрытия мест проезда форвардера порубочными остатками. Количество проездов составило 4, 8 и 10. За один проход принимался один рейс форвардера с грузом древесины массой 13 т. Максимальное количество проездов было ограничено свойствами почвы и подстилающих грунтов. Заложили 12 постоянных пробных площадей (далее ПП) размером 20×5 м, охватывающих как варианты количества проездов форвардера — волока, так и пасеки, где не было проездов техники. Таким образом, в пределах участка заложено по три ПП в пределах пасек, 4-х кранового прохода форвардера, 8-ми и 10-ти кратного, соответственно.

В каждой ПП выделили четыре учетные площадки размером 5×5 м. Варианты опыта сгруппировали следующим образом: П — пасека, ДПК — часть волока до колеи и после колеи, МК — часть волока между колеями, К — колеи на волоке. Далее для обозначения количества проездов форвардера ставили соответствующие цифры перед вариантами опыта: 4ДПК/8ДПК/10 ДПК, 4МК/8МК/10 МК, 4К/8К/10К.

В полевой период 2020–2022 гг. на данных учетных площадках проводили эколого-биологическую оценку живого напочвенного покрова с помощью современных методических подходов [20], идентификацию видового состава сосудистых растений и мхов — с помощью определителей [21, 22]. Латинские названия таксонов приведены по С.К. Черепанову [23] с уточнениями (по отдельным видам) согласно сайту [24].

Для всех сосудистых растений по всем вариантам опыта указывали проективное покрытие в процентах в пределах каждой учетной площадки и рассчитывали коэффициент встречаемости по формуле

$$B = (N_{\text{уч}} / N_{\text{об}}) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где B — встречаемость;

$N_{\text{уч}}$ — число учетных площадок, на которых отмечен вид;

$N_{\text{об}}$ — общее число учетных площадок.

Константность видов определяли по шкале постоянства видов (в пределах одного варианта опыта):

1-й класс — вид встречается в 1...20 %;

2-й класс — 21...40 %;

3-й класс — 41...60 %;

4-й класс — 61...80 %;

5-й класс — 81...100 % описаний.

Для того чтобы учесть проективное покрытие и встречаемость видов напочвенного покрова, использовался фитоценотический индекс (индекс Понятовской — Сырокомской, индекс

фитоценотической значимости) [25, 26], его рассчитывали по формуле

$$D = B \cdot P_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где D — индекс фитоценотической значимости (ИФЗ);

B — встречаемость;

$P_{\text{ср}}$ — среднее проективное покрытие по всем учетным площадкам, в пределах одного варианта опыта.

Для более наглядной интерпретации данных ИФЗ логарифмировали и присваивали ему класс [26]:

1-й класс — $\log D < 0,4$;

2-й класс — $0,4 < \log D < 1,3$;

3-й класс — $1,3 < \log D < 2,4$;

4-й класс — $2,4 < \log D < 3,0$;

5-й класс — $\log D > 3,0$.

Сравнительную флористическую оценку проводили с использованием индекса П. Жаккара

$$IJ = c / a + b - c \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где a — общее число видов в первом описании;

b — число видов во втором описании;

c — число видов, общих для двух сравниваемых сообществ.

Если $J < 50 \%$, то сходство невелико, если $J > 50 \%$, то сходство велико.

Для дополнительной интерпретации собранных данных использовали элементы экологического анализа. Определяли жизненные стратегии видов по системе Раменского — Грайма [27, 28] и эколого-ценотические группы по Л.Б. Заугольной [29].

Учет всходов, самосева, подроста и подлеска провели на тех же учетных площадках. К подросту относили все растения с диаметром ствола на высоте 1,3 м от поверхности земли < 6 см, который при учете классифицировали по древесным породам, жизнеспособности и категориям крупности с разделением на мелкие (высота до 0,5 м), средние (высота от 0,51 м до 1,5 м), крупные (высота более 1,51 м). Для подлеска учитывали видовой состав, количество и категории крупности. По материалам учета определяли количество подроста и подлеска на 1 га, состав по породам и размещение по площади.

Результаты и обсуждение

Видовой состав растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов в целом типичен для хвойных лесов зеленомошного типа. Преобладает бореально-евразийская группа наиболее характерная для лесной таежной зоны европейской части РФ [30].

В динамике общего проективного покрытия за трехлетний период можно выделить некоторые изменения (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Динамика общего проективного покрытия живого напочвенного покрова за 2020–2022 гг., %

Dynamics of the total projective coverage of the living ground cover, %

Вариант опыта*	Травяно-кустарничковый ярус			Моховый ярус		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
П	15	20	51	80	65	30
4ДПК	10	20	37	9	10	20
4МК	25	30	37	15	19	20
4К	0,1	0,2	5	10	6	22
8ДПК	10	20	34	8	8	15
8МК	10	30	34	9	11	15
8К	0	0,2	6	5	2	10
10ДПК	10	20	33	10	9	13
10МК	10	20	33	10	10	17
10К	0	0,1	1	0,1	1	18

*Цифры 4, 8, 10 обозначают количество подходов форвардера.

По травяно-кустарничковому ярусу во всех вариантах опыта прослеживается плавное увеличение проективного покрытия. Наиболее резко покрытие возрастает в пределах колеи, где отличается вариант опыта с 10 проходами форвардера по наиболее обводненным участкам. Только на третий год наблюдений по стенкам колеи появились сосудистые растения и разрослись мхи. Моховый ярус не имеет четких изменений в проективном покрытии между вариантами опыта. Так, в пределах пасеки происходит снижение покрытия мхами, в остальных вариантах опыта — плавное увеличение или последовательная динамика не наблюдалась. На 3-й год наблюдений зафиксированы максимальные значения проективного покрытия.

Необходимо отметить, что скорее всего, ярко выраженной динамики в каком-либо одном из направлении в последующие два года не будет. Полевой сезон 2022 г. отличался высокими значениями температуры воздуха небольшим количеством осадков. Это отразилось прежде всего на моховом покрове — местами сильно высохшем ярусе. Вследствие таких погодных условий снизилось количество воды в колеях, и на данные участки внедрились новые виды растений.

В течение трехлетнего мониторинга видовой состав на изучаемых учетных площадках изменялся незначительно, внедрение новых видов было единичным, что подтверждает высокий индекс флористического сходства между вариантами опыта (табл. 2).

Большая часть видов, не типичных для зеленомошных типов леса, появилась в пределах колеи,

Т а б л и ц а 2

**Оценка сходства видового состава травяно-кустарничкового яруса
между вариантами опыта в динамике (индекс Жаккара)**

Assessment of the similarity of the species composition of the grass-shrub storey
between the variants of the experiment in dynamics (Jacquard index)

Вариант опыта	П	4ДПК	4МК	4К	8ДПК	8МК	8К	10ДПК	10МК	10К
П	58	40	30	8	28	31	0	60	28	0
	77	56	37	44	35	36	33	54	47	30
	51	54	42	58	31	32	36	49	49	45
4ДПК		56	33	20	70	36	0	47	31	0
		81	70	68	52	55	58	54	65	53
		50	61	65	75	57	57	64	65	52
4МК			53	20	54	46	0	47	42	0
			78	67	58	61	75	59	63	59
			50	60	68	71	65	65	59	59
4К				14	29	22	0	13	29	0
				48	75	69	73	65	81	56
				10	65	50	63	76	64	64
8ДПК					50	45	0	47	40	0
					71	80	73	74	81	56
					47	75	72	71	74	57
8МК						57	0	41	33	0
						73	79	60	69	60
						47	71	62	63	55
8К							0	0	0	0
							65	63	69	92
							0	68	70	55
10ДПК								70	38	0
								67	70	58
								64	70	78
10МК									47	0
									65	53
									32	71
10К										0
										53
										0

Примечание. В каждой ячейке приведены три значения индекса Жаккара, представленные по годам мониторинга. Желтым цветом выделены ячейки, где представлены значения индекса в пределах одного варианта опыта: одно значение — между 1-м и 2-м годами мониторинга, два — между 2-м и 3-м годом, три — между 1-м и 3-м годом. Полу жирным выделены минимальные и максимальные значения индекса Жаккара.

а также в пределах переувлажненной пасеки, расположенной в естественном понижении рельефа, между волоками 8-го и 10-го вариантов опыта. Сравнивая индекс Жаккара между вариантами опыта можно отметить некоторые особенности.

Минимальные значения индекса Жаккара в большинстве вариантов опыта наблюдаются в первый год мониторинга. Самые низкие значения зафиксированы по сравнению с вариантом опыта 4К. Для первого года мониторинга расчет индекса не проводился для вариантов 8К и 10К, так как не

было зафиксировано ни одного растения (сильное механическое воздействие форвардером и обильные осадки не позволили заселиться ни одному растению). Данные участки волока (в пределах вариантов опыта 8К и 10К) были значительно обводнены, чему способствовало большое количество осадков в этом вегетационном сезоне.

Пасека имеет наиболее низкие значения по сравнению с вариантами при восьми и десяти проходах форвардера — менее 50 практически все три года мониторинга. Это указывает на более

Т а б л и ц а 3

Процентное соотношение классов встречаемости в течение трех лет

Percentage of occurrence classes over three years

Год наблюдения	Класс встречаемости	Вариант опыта										
		П	4ДПК	4МК	4К	8ДПК	8МК	8К	10ДПК	10МК	10К	Ср.
1	1	54	40	22	50	16	56	0	47	57	0	34
	2	14	10	11	50	28	22	0	20	0	0	16
	3	25	10	2	0	28	0	0	13	0	0	10
	4	0	20	11	0	0	0	0	7	15	0	5
	5	7	20	34	0	28	22	0	13	28	0	15
2	1	41	50	37	43	36	46	50	52	27	100	48
	2	16	17	6	43	21	15	33	15	27	0	19
	3	31	5	25	14	28	24	17	11	27	0	18
	4	3	17	16	0	0	0	0	11	6	0	5
	5	9	11	19	0	15	15	0	11	13	0	9
3	1	41	45	30	61	33	15	32	43	33	56	39
	2	8	5	12	4	27	0	38	10	11	22	14
	3	32	20	23	26	13	38	12	14	11	11	20
	4	5	15	12	9	0	7	12	14	28	11	11
	5	14	15	23	0	27	38	6	19	17	0	16

Примечание. Ср. — среднее значение каждого класса встречаемости по всем вариантам опыта.

медленное восстановление видового состава по сравнению с другими вариантами опыта.

Во второй год мониторинга колеи при восьми и десяти проходах форвардера показали высокие значения индекса Жаккара — в большинстве случаев выше 50. По нашим наблюдениям, видов максимально распространялись по стенкам колеи, заходя на учетные площади с прилегающих вариантов опыта. Данные виды относятся к длиннокорневищным, дерновинным корнеотпрысковым биоморфам, имеющим вторичные типы стратегии (по системе Раменского — Грайма), например, *Equisetum sylvaticum*, *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis epigeios*, *Luzula pilosa*, *Chamaenerion angustifolium*. Большинство из них отличается вегетативной подвижностью и широкой экологической валентностью.

Динамика флористического сходства в пределах одного варианта опыта имеет схожую тенденцию по годам наблюдений во всех вариантах. На 2-й год мониторинга индекс Жаккара повысился, на 3-й — его значения стали наиболее низкими, что указало на внедрение новых видов растений в пределах освободившихся и вновь появившихся экологических ниш.

Расчет встречаемости видов показал, что во всех вариантах опыта встречаются все классы встречаемости — 1–5 (табл. 3).

Практически все три года наблюдений преобладает 1-й класс встречаемости с тенденцией к понижению к третьему году. Наблюдается повышение разнообразия растений с разными классами встречаемости к третьему году мониторинга. Такой ход является классическим для начальных этапов вторичной сукцессии.

Высокий класс встречаемости, а также индекс фитоценотической значимости на протяжении трех лет наблюдений фиксировался для основных доминантов зеленомошного типа леса — *Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium vitis-idaea*. Класс встречаемости возрастал в первую очередь у растений, имеющих высокую вегетативную подвижность — *Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum sylvaticum*, *Trientalis europaea*, *Linnaea borealis*. Такие виды первыми заселяли незанятые пространства, увеличивая свое проективное покрытие.

Таким образом, наблюдается типичная тенденция вторичной сукцессионной динамики в первые годы после рубки. Внедрение новых видов, которые в первые один–два года имеют низкую встречаемость (классы 1–2-й), повышение встречаемости видов (переход на 2–4-й классы) и новую волну внедрения видов. Фоновые виды на 2–3-й год повышают класс встречаемости или вновь появляются на территории из почвенного банка семян и с прилегающих участков леса (например, *Oxalis acetosella*, *Solidago virgaurea*, *Melampyrum pratense*). Доминанты коренного типа леса (*Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium vitis-idaea*) сохраняют высокий класс встречаемости, а на 3-й год наблюдений он повышается до 5-го класса практически во всех вариантах опыта.

Вслед за повышением встречаемости возрастает проективное покрытие вида, что отражается на индексе фитоценотической значимости (рис. 1).

В 1-й год наблюдений класс ИФЗ составлял не выше трех, за исключением пасеки. Разнообразие классов ИФЗ росло вслед за количеством видов в пределах варианта опыта. 5-го класса ИФЗ достиг

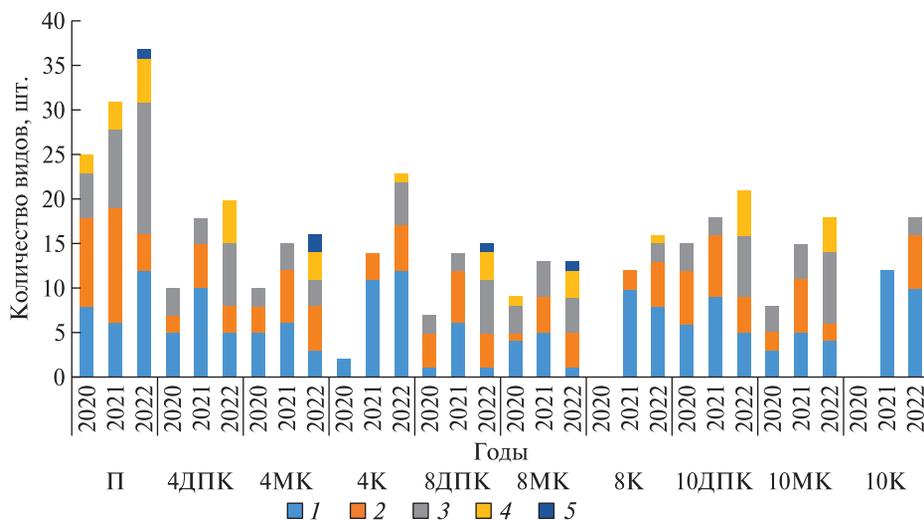


Рис. 1. Динамика индекса фитоценотической значимости по годам в вариантах опыта: 1, 2, 3, 4, 5 — класс индекса фитоценотической значимости
Fig. 1. Dynamics Index of phytocenotic significance by years in the variants of experience

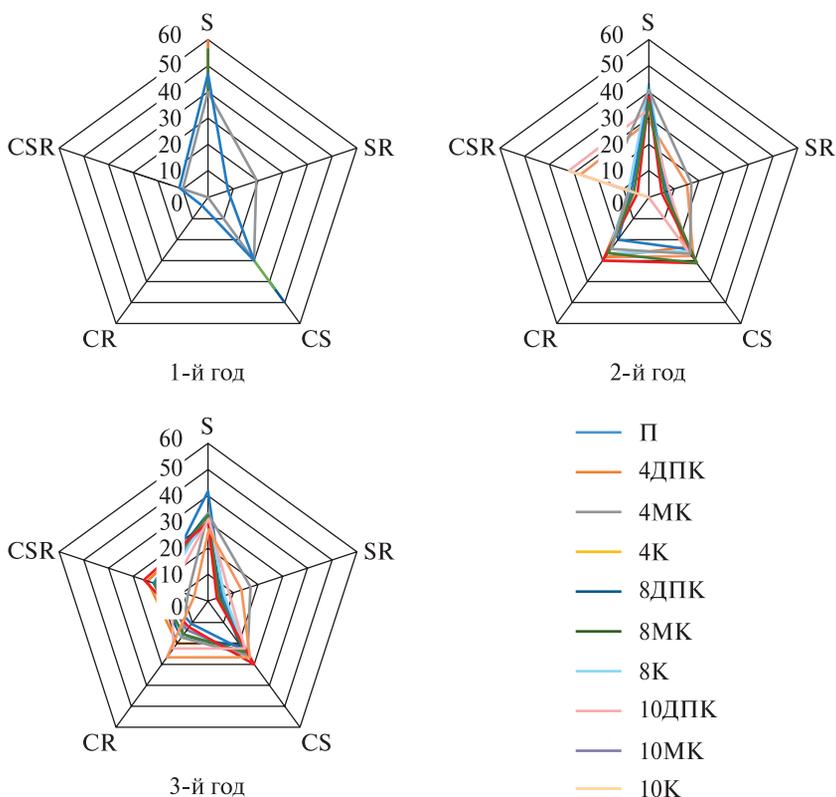


Рис. 2. Процентное соотношение видов по типам экологических стратегий (по Раменскому — Грайму)
Fig. 2. Percentage of species by types of life strategies (according to Ramensky — Grime)

доминант зеленомошного типа леса *Vaccinium myrtillus* и *Chamaenerion angustifolium*. На 3-й год наблюдений 4-й класс ИФЗ практически во всех вариантах опыта достигают следующие виды — *Chamaenerion angustifolium*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Deschampsia cespitosa*, *Equisetum sylvaticum*.

В составе травяно-кустарничкового яруса выделены растения со следующими типами экологических стратегий:
S — пациенты;
SR — с сочетанием свойств пациентности и эксплерентности;

Динамика ценоотических групп по Л.Б. Заугольной на учетных площадках

Dynamics of cenotic groups according to L.B. Zauginovain the study areas

Год учета	Соотношение ценоотических групп, %	Ценоотическая группа	Особенности динамики по видам
2020	43Br_m27Br_k11H 11Nm4Ogl4Wt	Br_k	<i>Orthilia secunda</i> и <i>Pyrolarotundi folia</i> , р. <i>Lycopodium</i> — преимущественно только в пределах пазек. Остальные виды данной ценоотической группы встречаются во всех вариантах
		Br_m	<i>Goodyera repens</i> — только в 1-й год мониторинга на пазеке. Остальные виды данной ценоотической группы встречаются во всех вариантах
		Ogl	<i>Carexglo bularis</i> — во всех вариантах опыта
2021	30Br_m22Br_k18Wt15H 6Pn6Nt3Ogl	H	Группа характерна преимущественно для пазеки, сохраняется на протяжении трех лет. <i>Cirsium heterophyllum</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i>
		Nt	<i>Galium palustre</i> и <i>Ranunculus repens</i> — на сильно увлажненном участке пазеки, в обводненной колее
		Nm	<i>Platanthera bifolia</i> и <i>Vicia sylvatica</i> — в 1-й год на пазеке. <i>Milium effusum</i> — на 3-й год в межколеинном пространстве
2022	26Br_m23Wt18Br_k15H 7Pn5Nt2Md2Nm2Ogl	Md	<i>Deschampsia cespitosa</i> — на 3-й год мониторинга, во всех вариантах
		Pn	<i>Avenella flexuosa</i> и р. <i>Hieracium</i> — на 2–3 года во всех вариантах.
		Wt	<i>Ranunculus subborealis</i> — в 1-й год на пазеке, в микропонижениях. Остальные виды данной ценоотической группы появляются на 2–3 года в обводненных колеех, межколеинном пространстве и сильно увлажненной пазеки

CR — с сочетанием свойств виолентности и эксплерентности;

CS — с сочетанием свойств виолентности и пациентности;

CSR — с сочетанием свойств первичных типов стратегий (рис. 2).

Исследованные виды растений представлены преимущественно пациентами ($S = 20$), второе место занимают виды с сочетанием виолентных и пациентных свойств ($CS = 11$), третье — виды с сочетанием трех первичных жизненных стратегий ($CSR = 8$). В остальные три типа стратегий входят по 2–3 вида. В преобладающую группу входят преимущественно фоновые растения темнохвойного зеленомошного леса. Например, такие виды, как *Linnaea borealis*, *Lycopodium annotinum*, *Maianthemum bifolium*. К стратегии CS относятся наиболее широко распространенные виды в бореальных лесах, часто выступающие доминантами — *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*. К видам, сочетающим три типа стратегий (CSR), относятся *Avenella flexuosa*, *Equisetum sylvaticum*, *Calamagrostis epigeios*, *Carex globularis*, *Ranunculus repens*. Вегетативно подвижные неприхотливые виды быстро распространяются по нарушенным территориям.

Схожий тип лесорастительных условий, который обуславливает близкий флористический состав, во всех вариантах опыта показывает схожее распределение по типам экологических стратегий (см. рис. 2). На 2-й год наблюдений происходит

снижение доли растений с типами стратегий S и CS. В эти группы входят наиболее уязвимые виды представителей семейства *Orchidaceae*. Во всех вариантах опыта возрастает доля стратегий CR и CSR. На год раньше это проявилось в пределах вариантов опыта десятью проходами форвардера.

Преобладание пациентов с последующим возрастанием роли вторичных стратегии среди растений разных вариантов опыта свидетельствует о дестабилизированной среде произрастания, характерной для начала вторичной сукцессии.

Анализ соотношения ценоотических групп, по Л.Б. Заугольной, показал схожие тенденции за три года наблюдений (табл. 4). Количество ценоотических групп возрастало с каждым годом. Преобладают фоновые группы зеленомошных типов леса (Br_m — бореальное мелкотравье и Br_k — вечнозеленые кустарнички и травы). На 2–3-й год наблюдений в доминирующие группы вошла водно-болотная группа растений, заселяющих обводненные колее и переувлажненную часть пазеки.

Травяно-кустарничковый ярус включает в себя большое количество видов из разных ценоотических групп, что в целом характерно для начальных этапов сукцессии [31, 32]. Колейность на волоках сформировала новые экологические ниши для видов, произрастающих на переувлажненных участках. Открытые участки дали возможность появиться луговому и борovому группам. Резкая смена микроклимата в свою очередь повлекла

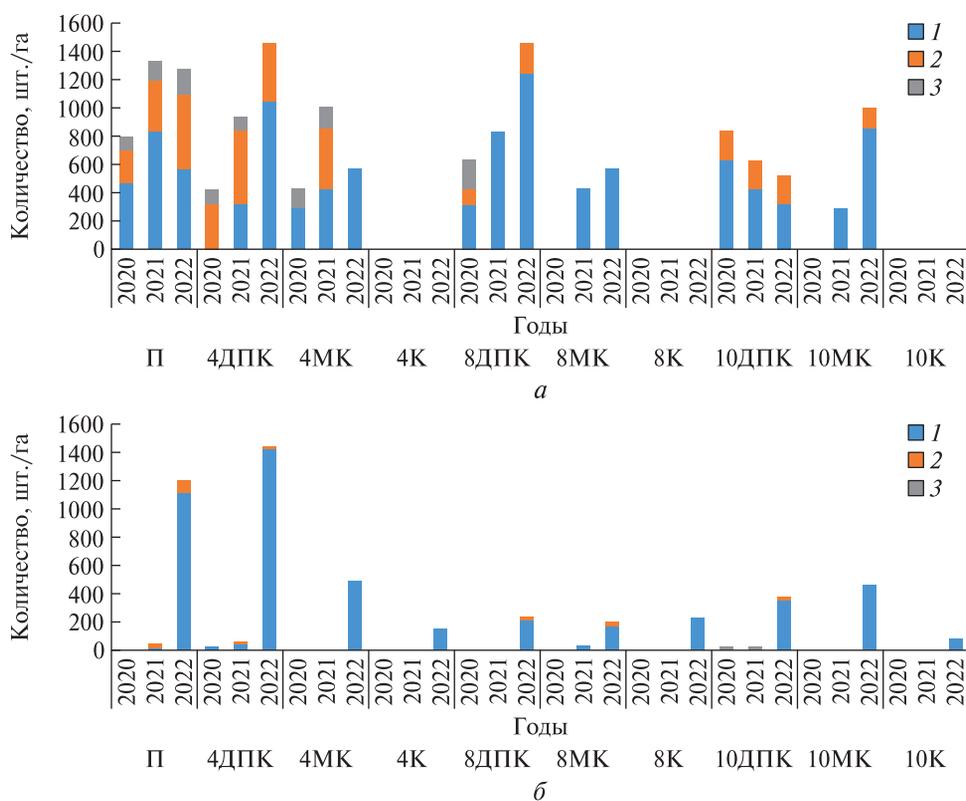


Рис. 3. Динамика подроста различных категорий крупности на участках исследования, шт./га: *a* — *Picea abies*; *б* — *Betula pendula*; 1 — мелкий; 2 — средний; 3 — крупный
Fig. 3. Dynamics of undergrowth of different size categories in the study areas, pcs/ha: *a* — *Picea abies*; *б* — *Betula pendula*; 1 — small; 2 — medium; 3 — large

исчезновение наиболее чувствительных видов из неморальной ценотической группы, в первую очередь представителей семейства *Orchidaceae*.

В 1-й год исследований всходы древесных пород отсутствовали на всех учетных площадках (табл. 5).

В 1-й год учета подрост во всех вариантах опыта отсутствовал. Спустя год после рубки практически во всех вариантах опыта отмечается появление всходов ели и березы, причем количество всходов березы в 15 раз больше. Больше всего всходов березы отмечено при четырех проходах форвардера при наименьших повреждениях, с неглубокими колеями и перемешанным слоем почвы. При восьми проходах форвардера наблюдается некоторое снижение численности всходов березы, при большем количестве всходов в колеях, по сравнению с межколейным пространством и в вариантах опыта до и после колеи. При десяти проходах форвардера количество всходов ели и березы также снижается, при этом количество всходов в колеях меньше 2–11 раз по сравнению с межколейным пространством и вариантах опыта до и после колеи.

На 2-й год после рубки (3-й год учета) также наблюдается обильное появление всходов ели

Т а б л и ц а 5
Динамика всходов на учетных площадках, шт./га
Dynamics of young seed lings in the study areas, pcs./ha

Вариант опыта	Год учета					
	2021			2022		
	Е	Б	С	Е	Б	С
П	167	1633	0	33	100	0
4ДПК	313	8750	0	0	15313	417
4МК	417	6583	0	0	6833	83
4К	0	5143	0	0	8429	143
8ДПК	313	1667	0	0	3333	0
8МК	417	4583	0	0	10750	583
8К	143	143	0	0	4857	143
10ДПК	313	2188	0	104	3854	104
10МК	167	583	0	83	2833	417
10К	286	6714	0	0	3857	0

Примечание. Е — ель *Picea abies*; Б — береза *Betula pendula*; С — сосна *Pinus sylvestris*.

и сосны практически во всех вариантах опыта. Появление всходов ели отмечено только в пасаках и в вариантах с десятью проходами форвардера. Аналогичная тенденция в 2022 г. прослеживается, как и в 2021 г., со снижением среднего количества

Т а б л и ц а 6

Динамика подлеска различных категорий крупности на учетных площадках, шт./га

Dynamics of underscrub of different size categories in the study areas, pcs./ha

Год учета	Вариант опыта	<i>Sorbus aucuparia</i>				<i>Rosa acicularis</i>				<i>Juniperus communis</i>				<i>Salix caprea</i>				Итого
		м	ср	к	все-го	м	ср	к	все-го	м	ср	к	все-го	м	ср	к	все-го	
2020	П	167	100	0	267	833	900	0	1733	33	33	33	100	33	0	0	33	2134
	4ДПК	208	208	313	729	729	0	0	729	0	0	0	0	0	0	0	0	1458
	4МК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4К	0	0	286	286	286	0	0	286	0	0	0	0	0	0	0	0	571
	8ДПК	0	0	0	0	0	208	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	208
	8МК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8К	0	143	0	143	0	0	0	0	0	143	0	143	0	0	0	0	286
	10ДПК	208	208	0	417	0	104	0	104	0	0	0	0	0	0	0	0	521
	10МК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10К	1429	286	0	1714	0	143	0	143	0	0	0	0	0	0	0	0	1857	
2021	П	200	133	0	333	2267	800	0	3067	33	33	33	100	0	100	0	100	3600
	4ДПК	1146	313	104	1563	4792	0	0	4792	0	0	104	104	0	0	0	0	6458
	4МК	83	0	0	83	4833	0	0	4833	0	0	0	0	0	0	0	0	4917
	4К	714	0	286	1000	5429	143	0	5571	0	0	0	0	0	0	0	0	6571
	8ДПК	729	0	0	729	208	417	0	625	0	0	0	0	0	0	0	0	1354
	8МК	0	0	0	0	333	0	0	333	0	0	0	0	0	167	0	167	500
	8К	143	143	0	286	0	0	0	0	0	143	0	143	0	0	0	0	429
	10ДПК	2500	0	0	2500	1979	208	0	2188	0	0	0	0	0	0	0	0	4688
	10МК	0	0	0	0	83	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	83
10К	143	0	0	143	143	143	0	286	0	0	0	0	0	0	0	0	429	
2022	П	167	367	0	533	1333	2933	67	4333	33	33	0	67	100	67	0	167	5100
	4ДПК	1250	625	0	1875	6354	1875	0	8229	0	104	0	104	0	0	0	0	10208
	4МК	0	0	0	0	1333	83	0	1417	0	0	0	0	83	0	0	83	1500
	4К	286	429	286	1000	2286	714	0	3000	0	0	0	0	0	0	0	0	4000
	8ДПК	938	208	0	1146	104	200	104	408	0	0	0	0	0	0	0	0	1554
	8МК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	167	0	167	167
	8К	286	286	0	571	0	0	0	0	0	143	0	143	143	0	0	143	857
	10ДПК	2708	1563	0	4271	3438	313	0	3750	0	0	0	0	208	0	0	208	8229
	10МК	0	0	0	0	150	33	0	183	0	0	0	0	167	0	0	167	350
10К	286	0	0	286	714	429	0	1143	0	0	0	0	0	0	0	0	1429	

Примечание. Подлесок: м — мелкий; ср — средний; к — крупный.

всходов березы и сосны в вариантах опыта с большим количеством проездов форвардера, что, скорее всего, связано с неблагоприятными физическими свойствами почвы и застойными явлениями поверхностной влаги [8].

В пасеке после рубки сохранилось 800 шт./га жизнеспособного елового подроста, который наполовину был представлен мелкой категорией крупности (рис. 3). При четырех проходах форвардера сохранился еловый подрост различных категорий крупности в вариантах 4ДПК и 4МК. При восьми и десяти проходах форвардера сохранился мелкий и средний еловый подрост в вариантах 8ДПК и 10ДПК. Березовой подрост был отмечен только в вариантах опыта до и после колеи при четырех проходах форвардера.

Через год после рубки наблюдается пополнение подроста всходами и изменение доли участия

категорий крупности подрост ели и березы практически на всех учетных площадках. Часть подроста, которая была представлена сомнительными и неблагонадежными экземплярами перешла в стадию сухостоя. В колеях при четырех, восьми и десяти проходах форвардера подрост полностью отсутствовал, несмотря на то что на данных участках были отмечены всходы как ели, так и березы (см. табл. 5). В пасеках густота подрост увеличилась до 1567 шт./га за счет ели и березы.

Более динамичные процессы отмечены на 3-й год мониторинга, когда большая часть отмеченных всходов и самосева перешли в стадию подроста. В пасеках густота подрост увеличилась до 7233 шт./га, который был представлен на 80 % березовым мелким подростом, что свидетельствует о классической смене пород [33]. Только в варианте 4ДПК отмечено больше подроста, чем

в пасаках. В колеях отмечается появление мелкого подроста березы, но подрост ели отсутствует, что, скорее всего, связано с гибелью всходов в весенний и осенний периоды. В колеях при четырех проходах форвардера количество подроста в 10 раз меньше, чем в пасаках. При восьми проходах форвардера количество подроста в колеях в 7 раз меньше, чем в пасаках. При десяти проходах форвардера количество подроста в колеях меньше в 17 раз по сравнению с пасаками.

В пасаках после рубки сохранилось 2134 шт./га жизнеспособного подлеска, который был представлен *Sorbus aucuparia* на 13 %, *Rosa acicularis* — 81 %, *Juniperus communis* — 5 % и *Salix caprea* — 1 % (табл. 6). В вариантах до и после колея, а также в межколейном пространстве сохранилось от 286 до 1857 шт./га подлеска, представленного в основном шиповником и рябиной. В колеях подлесок отсутствовал.

Через год после рубки наблюдается пополнение количества подлеска и изменение категорий крупности. В пасаках густота подлеска увеличилась до 3600 шт./га в основном за счет шиповника, доля которого составила 85 %. При четырех проходах форвардера во всех вариантах опыта подлеска было больше в 1,4–1,8 раза, чем в пасаках. В колеях появился мелкий подлесок, состоящий преимущественно из шиповника. При восьми проходах форвардера количество подлеска в вариантах опыта заметно меньше — в 2,7–8,4 раза по сравнению с пасаками. В колеях появились только шиповник и ива. При десяти проходах форвардера в варианте 10ДПК количество подлеска больше в 1,3 раза по сравнению с пасаками. В остальных вариантах количество подлеска в 8,4–43 раза меньше, чем в пасаках. В колеях присутствовал только шиповник.

На 2-й год после рубки в пасаках насчитывается 5100 шт./га подлеска, который был представлен следующим составом: 85Шип1Ряб3Ив1Мож. При четырех проходах форвардера в варианте 4ДПК наблюдается увеличение подлеска до 10 208 шт./га за счет шиповника и рябины. В колеях наблюдается снижение общей численности подлеска в 3,2 раза по сравнению с предыдущим годом. В межколейных пространствах также отмечено снижения численности.

В 2022 г. при восьми проходах форвардера отмечено небольшое увеличение подлеска в вариантах 8ДПК и 8МК по сравнению с 2021 г. В колеях наблюдается снижение численности подлеска в 3 раза и сохраняется только ива.

При десяти проходах форвардера также отмечено увеличение количества подлеска на всех учетных площадках за счет шиповника и рябины. В колеях подлеска в 14,6 меньше по сравнению с пасаками.

Выводы

В северотаежных лесах в условиях черничного типа леса на 2-й год после рубки отмечаются динамичные процессы восстановления живого напочвенного покрова и древесно-кустарничковой растительности на волоках, не покрытых порубочными остатками. Анализ динамики видового состава указывает на классические тенденции начальных этапов сукцессии в лесном фитоценозе.

Волока с минимальным числом проходов груженого форвардера оказываются более благоприятными для восстановления древесно-кустарничковой растительности. На 3-й год мониторинга густота подроста в колеях, где наблюдаются неблагоприятные физические свойства почвы и застойные явления поверхностной влаги, ниже в 9,6–17,3 раза по сравнению с пасекой. Густота подлеска в колеях также ниже 3,4–14,6 раза по сравнению с пасекой.

Таким образом, при проведении лесозаготовительных работ необходимо применять эффективные примеры из практики для ограничения уплотнения и колеобразования, которые влияют на последующие лесовозобновление и продуктивность будущих лесов.

Результаты исследования вносят вклад в понимание пространственно-временных закономерностей формирования, функционирования и прогноза развития послерубочных лесных экосистем.

Исследование выполнено за счет гранта Российской научной фонды № 23-76-01014, <https://rscf.ru/project/23-76-01014/>

Список литературы

- [1] Wang S. One hundred faces of sustainable forest management // *Forest Policy Econ.*, 2004, v. 6, no. 3–4, pp. 205–213.
- [2] Zimmerman B., Kormos C. Prospects for sustainable logging in tropical forests // *Bioscience*, 2012, v. 62, no. 5, pp. 479–487.
- [3] d'Oliveira M.V.N., Reutebuch S.E., McGaughey R.J., Andersen H. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon // *Remote Sens. Environ.*, 2012, v. 124, pp. 479–491.
- [4] Marchi E., Chung W., Visser R., Abbas D., Nordfjell T., Mederski P.S., McEwan A., Brinkh M., Laschi A. Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate // *Science of the Total Environment*, 2018, v. 634, pp. 1385–1397.
- [5] Fredericksen T.S., Pariona, W. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest // *For. Ecol. Manage.*, 2002, v. 171, pp. 223–230.
- [6] Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Boreal forest health and global change // *Science*, 2015, v. 349, no. 6259, pp. 819–821.

- [7] Wei X., Giles-Hansen K., Spencer S. A., Ge X., Onuchin A., Li Q., Burenina T., Ilintsev A., Hou Y. Forest harvesting and hydrology in boreal Forests: Under an increased and cumulative disturbance context // *For. Ecol. Manage.*, 2022, v. 522, id. 120468.
- [8] Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н. Образование колейности при проходе лесозаготовительной техники в ельниках на двучленных породах // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 2021. № 237. С. 168–182.
- [9] Han H.-S., Page-Dumroese D.S., Han S.-K., Tirocke J. Effect of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting // *International J. of Forest Engineering*, 2006, v. 17, pp. 11–24.
- [10] Gerasimov Yu., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2010, v. 31, no. 1, pp. 35–45.
- [11] Катаров В.К., Сюнев В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // *Resources and Technology*, 2012. Т. 9. № 2. С. 73–81.
- [12] DeArmond D., Ferraz J.B.S., Higuchi N. Natural recovery of skid trails: a review // *Can. J. For. Res.*, 2021, v. 51, pp. 948–96.
- [13] Putz F.E., Blate G.M., Redford K.H., Fimbel R., Robinson J.G. Biodiversity conservation in the context of tropical forest management // *Conserv. Biol.*, 2001, v. 15, pp. 7–20.
- [14] Karsten R.J., Meilby H., Larsen J. Regeneration and management of lesser known timber species in the Peruvian Amazon following disturbance by logging // *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 327, pp. 76–85.
- [15] Jourgholami M., Majnounian B., Abari M.E. Effects of treelength timber skidding on soil compaction in the skid trail in Hyrcanian forests // *For. Syst.*, 2014, v. 23, no. 2, pp. 288–293.
- [16] Arevalo B., Valladarez J., Muschamp S., Kay E., Finkral A., Roopsind A., Putz F.E. Effects of reduced-impact selective logging on palm regeneration in Belize // *For. Ecol. Manage.*, 2016, v. 369, pp. 155–160.
- [17] de Carvalho, A.L., d'Oliveira, M.V.N., Putz, F.E., de Oliveira, L.C. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia // *For. Ecol. Manage.*, 2017, v. 392, pp. 36–44.
- [18] Aust W.M., Bolding M.C., Barrett S.M. Silviculture in forested wetlands: summary of current forest operations, potential effects, and long-term experiments // *Wetlands*, 2020, v. 40, pp. 21–36.
- [19] Об утверждении видов лесосечных работ, порядка и последовательности их выполнения, формы технологической карты лесосечных работ, формы акта заключительного осмотра лесосеки и порядка заключительного осмотра лесосеки: утверждены Приказом Минприроды России от 17.01.2022 № 23. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409531/ (дата обращения 01.10.2022).
- [20] Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х. Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ). СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2015. 166 с.
- [21] Флора северо-востока европейской части СССР. В 4 т. Л.: Наука. 1974. Т. I. 276 с.; 1976. Т. II. 316 с.; Т. III. 296 с.; 1977. Т. IV. 312 с.
- [22] Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России. В 2 т. М.: КМК. 2003. Т. I. 608 с.; 2004. Т. II. 960 с.
- [23] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- [24] Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений 2007–2022. URL: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения: 10.09.2022).
- [25] Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах. Борок: Изд-во ВИНТИ, 1987. 63 с.
- [26] Парина Т.А., Волков А.Г. Методы изучения луговых экосистем: учебное пособие. Архангельск: КИРА, 2017. 141 с.
- [27] Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 333 с.
- [28] Grime J.P., Rinkon E.R., Wickerson B.E. Bryophytes and plant strategy theory // *Botanical J. of the Linnean Society*, 1990, v. 104, pp. 175–186.
- [29] Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В. Современные представления о структуре и динамике растительного покрова как основа для разработки методов сохранения видового разнообразия // Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России. М.: Научный мир, 2000. С. 9–14.
- [30] Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2005. 346 с.
- [31] Roberts M.R., Zhu L.X. Early response of the herbaceous layer to harvesting in a mixed coniferous-deciduous forest in New Brunswick, Canada // *For. Ecol. Manage.*, 2002, v. 155, pp. 17–31.
- [32] Ильинцев А.С., Амосова И.Б., Третьяков С.В. Эколого-биологический анализ влияния различных видов рубок на структуру травяно-кустарничкового яруса черничных типов леса // *Лесотехнический журнал*, 2019. Т. 9. № 1(33). С. 31–43.
- [33] Мелехов И.С. Лесоводство. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.

Сведения об авторах

Ильинцев Алексей Сергеевич  — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), доцент кафедры лесоводства и лесостроительства, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), a.ilintsev@narfu.ru

Амосова Ирина Борисовна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), i.amosova@narfu.ru

Поступила в редакцию 08.08.2023.

Одобрено после рецензирования 14.09.2023.

Принята к публикации 23.08.2023.

FOREST PROGRESSIVE SUCCESSION EARLY STAGES IN BLUEBERRY SPRUCE FELLING SITE IN NORTHERN TAIGA FORESTS OF EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.S. Ilintsev^{1, 2✉}, I.B. Amosova²

¹Northern Research Institute of Forestry, 13, Nikitova st., 163062, Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

a.ilintsev@narfu.ru

The article presents the materials of the three-year vegetation development dynamics at the early stages of progressive succession. We have shown the dynamics of young seedlings, undergrowth and forest understorey, as well as grass-shrub and moss stories at the trial plots. The total projective coverage of the stories increases. We noted the introduction of new species, which most clearly appears in the ruts, between the ruts and within the waterlogged cutting strip. Phytocenotic significance increases in the main common species of this forest type, but along with them, the species combining the violentic and explorer types of strategies. Typical boreal groups predominate among cenotic groups, with an increase in the proportion of the wetland group in the third year of monitoring. We found that for 1–2 years after logging, there is an abundant appearance of birch young seedlings, which are 15–30 times more than spruce and pine young seedlings. In the 3rd year, the density of undergrowth increased from 800 to 7233 pcs./ha in cutting strips due to small birch undergrowth. At this stage, most of the noted young seedlings have passed into the undergrowth stage. In ruts with 4 forwarder passes, the amount of undergrowth is 10 times less than in cutting strips, with 8 forwarder passes — 7 times less, with 10 forwarder passes — 17 times less. A similar dynamic is noted in the regeneration of understorey. Following the principles of sustainable forest management, it is necessary to limit and minimize the negative environmental consequences of repeated passage of logging machinery. The results of this study contribute to the understanding of the spatial and temporal patterns of formation, functioning and prognosis of the development of post-harvest forest ecosystems.

Keywords: final harvesting, forwarder, number of passages, living ground cover, young seedlings, undergrowth, understorey

Suggested citation: Ilintsev A.S., Amosova I.B. *Nachal'nye etapy lesovosstanovitel'noy suksessii na vyrubke el'nika chernichnika v severotaezhnykh lesakh evropeyskoy chasti Rossii* [Forest progressive succession early stages in blueberry spruce felling site in Northern Taiga forests of European part of Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 6, pp. 5–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-6-5-17

References

- [1] Wang S. One hundred faces of sustainable forest management. *Forest Policy Econ.*, 2004, v. 6, no. 3–4, pp. 205–213.
- [2] Zimmerman B., Kormos C. Prospects for sustainable logging in tropical forests. *Bioscience*, 2012, v. 62, no. 5, pp. 479–487.
- [3] d'Oliveira M.V.N., Reutebuch S.E., McGaughey R.J., Andersen H. Estimating forest biomass and identifying low-intensity logging areas using airborne scanning lidar in Antimary State Forest, Acre State, Western Brazilian Amazon. *Remote Sens. Environ.*, 2012, v. 124, pp. 479–491.
- [4] Marchi E., Chung W., Visser R., Abbas D., Nordfjell T., Mederski P.S., McEwan A., Brinkh M., Laschi A. Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate. *Science of the Total Environment*, 2018, v. 634, pp. 1385–1397.
- [5] Fredericksen T.S., Pariona, W. Effect of skidder disturbance on commercial tree regeneration in logging gaps in a Bolivian tropical forest. *For. Ecol. Manage.*, 2002, v. 171, pp. 223–230.
- [6] Gauthier S., Bernier P., Kuuluvainen T., Shvidenko A.Z., Schepaschenko D.G. Boreal forest health and global change. *Science*, 2015, v. 349, no. 6259, pp. 819–821.
- [7] Wei X., Giles-Hansen K., Spencer S.A., Ge X., Onuchin A., Li Q., Burenina T., Ilintsev A., Hou Y. Forest harvesting and hydrology in boreal forests: Under an increased and cumulative disturbance context. *For. Ecol. Manage.*, 2022, v. 522, id. 120468.
- [8] Ilintsev A.S., Nakvasina E.N. *Obrazovanie koleynosti pri prokhode lesozagotovitel'noy tekhniki v el'nikakh na dvuchlennykh porodakh* [Rut formation after the passage of logging machinery in spruce forests on binomial soils]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2021, no. 237, pp. 168–182.
- [9] Han H.-S., Page-Dumroese D.S., Han S.-K., Tirocke J. Effect of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length harvesting. *International J. of Forest Engineering*, 2006, v. 17, pp. 11–24.
- [10] Gerasimov Yu., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian J. of Forest Engineering*, 2010, v. 31, no. 1, pp. 35–45.
- [11] Katarov V.K., Syunev V.S., Rat'kova E.I., Gerasimov U.U. *Vliyaniye forvarderov na lesnyye pochvo-grunty* [Impact of forwarders on forest soils], *Resources and Technology*, 2012, no. 9 (2), pp. 73–81.
- [12] DeArmond D., Ferraz J.B.S., Higuchi N. Natural recovery of skid trails: a review. *Can. J. For. Res.*, 2021, v. 51, pp. 948–96.
- [13] Putz F.E., Blate G.M., Redford K.H., Fimbel R., Robinson J.G. Biodiversity conservation in the context of tropical forest management. *Conserv. Biol.*, 2001, v. 15, pp. 7–20.
- [14] Karsten R.J., Meilby H., Larsen J. Regeneration and management of lesser known timber species in the Peruvian Amazon following disturbance by logging. *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 327, pp. 76–85.
- [15] Jourgholami M., Majnounian B., Abari M.E. Effects of treelength timber skidding on soil compaction in the skid trail in Hyrcanian forests. *For. Syst.*, 2014, v. 23, no. 2, pp. 288–293.

- [16] Arevalo B., Valladarez J., Muschamp S., Kay E., Finkral A., Roopsind A., Putz F.E. Effects of reduced-impact selective logging on palm regeneration in Belize. *For. Ecol. Manage.*, 2016, v. 369, pp. 155–160.
- [17] de Carvalho, A.L., d'Oliveira, M.V.N., Putz, F.E., de Oliveira, L.C. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia. *For. Ecol. Manage.*, 2017, v. 392, pp. 36–44.
- [18] Aust W.M., Bolding M.C., Barrett S.M. Silviculture in forested wetlands: summary of current forest operations, potential effects, and long-term experiments. *Wetlands*, 2020, v. 40, pp. 21–36.
- [19] *Ob utverzhdenii vidov lesosechnykh rabot, poryadka i posledovatel'nosti ikh vypolneniya, formy tekhnologicheskoy karty lesosechnykh rabot, formy akta zaklyuchitel'nogo osmotra lesoseki i poryadka zaklyuchitel'nogo osmotra lesoseki: utverzhdeny Prikazom Minprirody Rossii ot 17.01.2022 № 23* [On the approval of the Types of logging operations, the order and sequence of their execution, the form of the technological map of logging operations, the form of the act of final inspection of the cutting area and the order of final inspection of the cutting area: Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated January 17, 2022 No. 23]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409531/ (accessed 01.10.2022).
- [20] Tichodeeva M.Yu., Lebedeva V.H. *Prakticheskaya geobotanika (analiz sostava rastitel'nykh soobshchestv)* [Practical geobotany (analysis of the composition of plant communities)]. St. Petersburg: St. Petersburg University, 2015, 166 p.
- [21] *Flora severo-vostoka evropeyskoy chasti SSSR: v 4-kh tomakh* [Flora of the North-East of the European part of the USSR: in 4 volumes]. Ed. A.I. Tolmacheva. Leningrad: Nauka, v. I. 1974. 276 p.; v. II. 1976. 316 p.; v. III. 1976. 296 p.; v. IV. 1977. 312 p.
- [22] Ignatov M.S., Ignatova E.A. *Flora mkhov sredney chasti Evropeyskoy Rossii. V 2-kh tomakh* [Flora of mosses of the middle part of European Russia. In 2 volumes]. Moscow: KMK, 2003, v. I, 608 p.; 2004, v. II, 960 p.
- [23] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i soprodel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)]. St. Petersburg: Peace and family, 1995, 992 p.
- [24] Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2007–2022. Available at: <https://www.plantarium.ru/> (accessed 10.09.2022).
- [25] Bakanov A.I. *Kolichestvennaya otsenka dominirovaniya v ekologicheskikh soobshchestvakh* [Quantitative assessment of dominance in ecological communities]. Borok: VINITI, 1987, 63p.
- [26] Parinova T.A., Volkov A.G. *Metody izucheniya lugovykh ekosistem* [Methods of studying meadow ecosystems]. Arkhangelsk: KIRA, 2017, 141p.
- [27] Ramenskiy L.G. *Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova* [Problems and methods of studying vegetation cover]. Leningrad: Science, Leningrad Branch, 1971, 333p.
- [28] Grime J.P., Rinkon E.R., Wickerson B.E. Bryophytes and plant strategy theory. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1990, v. 104, pp. 175–186.
- [29] Zaugol'nova L.B., Smirnova O.V. *Sovremennyye predstavleniya o strukture i dinamike rastitel'nogo pokrova kak osnova dlya razrabotki metodov sokhraneniya vidovogo raznoobraziya* [Modern ideas about the structure and dynamics of vegetation cover as a basis for the development of methods of conservation of species diversity]. *Otsenka i sokhraneniye bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh Evropeyskoy Rossii* [Assessment and conservation of forest biodiversity in European Russia reserves]. Moscow: Scientific world Publ., 2000. pp. 9–14.
- [30] Shmidt V.M. *Flora Arkhangel'skoy oblasti* [Flora of the Arkhangelsk region]. St. Petersburg: St. Petersburg University, 2005, 346 p.
- [31] Roberts M.R., Zhu L.X. Early response of the herba-ceous layer to harvesting in a mixed coniferous-deciduous forest in New Brunswick, Canada. *For. Ecol. Manage.*, 2002, v. 155, pp. 17–31.
- [32] Ilintsev A.S., Amosova I.B., Tretyakov S.V. *Ekologo-biologicheskii analiz vliyaniya razlichnykh vidov rubok na strukturu travyano-kustarnichkovogo yarusy chernichnykh tipov lesa* [The effect of different cuttings on the ecological-biological structure of the grass-shrub layer in the blueberry forest]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], 2019, v. 9, no. 1(33), pp. 31–43.
- [33] Melehev I.S. *Lesovodstvo* [Silviculture]. Moscow: MSFU, 2003, 320 p.

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-76-01014, <https://rscf.ru/project/23-76-01014/>

Authors' information

Ilintsev Aleksey Sergeevich  — Cand. Sci. (Agriculture), Senior Research of the Northern Research Institute of Forestry, Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, a.ilintsev@narfu.ru

Amosova Irina Borisovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forestry and Forest Management of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, i.amosova@narfu.ru

Received 08.08.2023.

Approved after review 04.09.2023.

Accepted for publication 23.08.2023.

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