

Научная статья
УДК 630.24+630.114
EDN AEVJRL
DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.3.01

Состояние почвенно-растительного покрова после рубок ухода в сухих сосняках

Елена Николаевна Наквасина¹
доктор сельскохозяйственных наук

Алексей Сергеевич Ильинцев²
кандидат сельскохозяйственных наук

Аннотация. В статье рассматривается влияние трелёвочной техники при рубках ухода на почву и растительный покров в сосновых насаждениях подзоны северной тайги (Архангельская обл.) в брусничном и лишайниковом типах леса. В брусничном типе леса на волоках через 15 лет после рубок ухода видовое разнообразие ниже, чем в пасаках (коэффициент Жаккара – 57,1%). Отмечается подсушивание верхних горизонтов почвы, из состава ценофлоры исчезают некоторые виды. На волоках лишайникового типа леса ценофлора заметно отличается от видового состава растительности на волоках в брусничном типе леса (коэффициент Жаккара – 31%). При этом высокая освещённость и иссушение почвы способствуют возрастанию встречаемости лишайников, имеющих мелкие талломы и пока не разросшихся по площади волока. В обоих типах леса свойства лесной подстилки на волоках и пасаках различаются. Воздействие техники приводит к долговременным изменениям в структуре растительности и почв. Через 15 лет после прохождения техники, даже при небольшом числе повторных проездов, на песчаных почвах наблюдается только частичное восстановление свойств почвенного покрова. В лишайниковом типе леса под пологом древостоя и на волоках появляется мелкий подрост и самосев сосны, ели, берёзы. В брусничном типе леса подрост сосны не отмечен, но возрастает доля мелкого подроста ели, берёзы и осины. Естественное возобновление сосной происходит локально, однако высокая инсоляция и недостаточное увлажнение почв препятствуют её удовлетворительному возобновлению на всей площади.

Ключевые слова: рубки ухода, сосняк брусничный, сосняк лишайниковый, живой напочвенный покров, лесовозобновление, плотность сложения почвы, пористость почвы.

Для цитирования: Наквасина Е.Н., Ильинцев А.С. Состояние почвенно-растительного покрова после рубок ухода в сухих сосняках. – Текст : электронный // Лесохозяйственная информация. 2025. № 3. С. 5–17. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.3.01. <https://elibrary.ru/aevjrl>.

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства, профессор (Архангельск, Российская Федерация), nakvasina@yandex.ru

² Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, начальник научно-исследовательского отдела (Архангельск, Российская Федерация), a.ilintsev@narfu.ru

Original article

EDN AEVJRL

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.3.01

The State of Soil and Vegetation Cover after Thinning in Dry Pine Forests

Elena N. Nakvasina¹

Doctor of Agricultural Sciences

Aleksey S. Ilintsev²

Candidate of Agricultural Sciences

Abstract. The article discusses the effects of skidding techniques after thinning on soil and vegetation cover in pine stands within the northern taiga subzone of the Arkhangelsk region. In the lingonberry forest type in the skid trails, 15 years post-thinning, species diversity is lower compared to the cutting strips, with a Jacquard coefficient of 57.1%. The drying of the upper horizons of the soil has been observed, leading to the disappearance of certain species from the composition of the cenoflora. In the skid trails of lichen forest type, the cenoflora differs markedly from that in the skid trails of lingonberry forest type, as indicated by a Jacquard coefficient of 31%. At the same time, high illumination in the skid trails and soil desiccation contribute to an increase in the occurrence of lichens, which still have small thalli and have not yet spread across the skid trail area. There is no complete restoration of the forest floor properties in the skid trails of either type of forest. Sandy soils partially recover after 15 years, however, the impact of technology results in long-term changes to the structure of vegetation and soil. In the lichen forest type, small undergrowth and self-seedlings of pines, spruces, and birches have emerged beneath the canopy and along the skid trails. In the lingonberry forest type, post-harvest pine is not observed, however, the proportion of small spruces, birches, and aspens has increased. Natural regeneration of pine occurs locally during the seed year, however, high insolation and minimal soil moisture do not guarantee satisfactory renewal across the entire area.

Key words: thinning, cowberry pine forest, lichen pine forest, living ground cover, tree regeneration, soil bulk of density, soil porosity

For citation: Nakvasina E., Ilintsev A. The State of Soil and Vegetation Cover after Thinning in Dry Pine Forests. – Text : electronic // Forestry Information. 2025. № 3. P. 5–17. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2025.3.01. <https://elibrary.ru/aevjrl>.

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Professor of the Department of Forestry and Forest Management, Professor (Arkhangelsk, Russian Federation), nakvasina@yandex.ru

² Northern Research Institute of Forestry, Head of Research Department (Arkhangelsk, Russian Federation), a.ilintsev@narfu.ru

Введение

При проведении лесозаготовительных и лесохозяйственных работ применяют тяжёлую технику массой от 5 до 40 т [1], которая оказывает негативное влияние на почву и растительный покров в местах технологических проездов: сдирание и перемешивание почвы, образование колеи или уплотнение почвы, – что ухудшает физические свойства, прежде всего, корнеобитаемого слоя почвы. Наибольшее уплотняющее воздействие отмечается в 20–30-сантиметровом слое [2, 3]. В то же время именно физические свойства лесных почв определяют их плодородие, а также появление и рост растительности при лесовозобновлении [4].

Безусловно, наибольшее влияние на почву оказывают современные тяжёлые лесозаготовительные комплексы [5]. Однако и при применении относительно лёгкой тракторной техники, например при рубках ухода, повреждение почвы может быть настолько сильным, что почвенный покров не восстанавливается даже за 50 лет [6].

Нарушение почвенного покрова происходит при использовании любой техники, но особенно значительное в случаях, когда масса техники превосходит несущую способность почвы [7], что обусловлено её типом и гранулометрическим составом. Одни почвы уплотняются слабо, другие – сильно, что связано с взаимным расположением частиц, структурностью, содержанием органических веществ и др.

Техника оказывает наибольшее воздействие на глинистые почвы, наименьшее – на песчаные и супесчаные [8, 9]. Так, считается, что на песчаных почвах можно применять любые современные технологии лесозаготовок [10]. При этом несущая способность почв в большой степени зависит от их влажности, связанной с сезоном проведения работ [11]. В период весенней и осенней распутицы несущая способность песчаных и супесчаных почв резко снижается.

Для усовершенствования лесозаготовительных и лесохозяйственных технологий важно иметь информацию по воздействию различной

техники в разных почвенно-климатических условиях с учётом того, что почва является важнейшим компонентом лесных экосистем, обеспечивает продуктивность лесов и сохранение биоразнообразия, регулирует циклы воды и питательных веществ [12, 13]. К сожалению, исследований состояния и восстановления почв после рубок ухода значительно меньше, чем после сплошных рубок, которым уделяется повышенное внимание из-за использования тяжёлой техники. Поэтому цель нашего исследования – изучить остаточное влияние тракторной техники при проведении рубок прореживания в сосновых насаждениях на песчаных почвах в северотаёжных лесах.

Методы и объекты исследований

Исследования проводили в Исакогорском участковом лесничестве Архангельского лесничества на выделе площадью 10 га, где в 2006 г. проведены рубки ухода (прореживание) под руководством А.П. Фомина.

До рубки на выделе произрастало сосново-берёзовое насаждение (10С+Б) III класса бонитета с полнотой 0,9 и запасом 222 м³/га (табл. 1). Интенсивность рубки на волоках и пасеках составила 46% по числу деревьев, 33% по запасу. Выбирали в основном ослабленную сосну и берёзу с низкими диаметрами ствола, что привело к увеличению среднего диаметра по сосне с 13 до 16 см. Полнота древостоя после рубки составила 0,7. На выделе представлены два участка – с брусничным и лишайниковым типами леса.

Рубку проводили пасечным способом с шириной пасеки до 30 м, волока – 4–5 м. Использовали трелёвочный трактор ТДТ-55, валку деревьев осуществляли бензопилой. Часть деловой древесины вывозили, часть оставляли на волоках вместе с порубочными остатками. Согласно данным лесничества, объём отходов был достаточно большим – 17,3 пл. м³/га, в основном сосновой древесины.

Сосняк занимает песчаную гриву, узкую, вытянутую в сторону реки Чёрной и окружённую

ТАБЛИЦА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВОСТОЯ НА ВЫДЕЛЕ

СОСТАВ	ПОРОДА	ВЫСОТА, м	ДИАМЕТР, см	КЛАСС БОНИТЕТА	Полнота	Запас, м³/га	Количество деревьев, шт./га
<i>До рубки</i>							
10С+Б	С	15	13	III	0,9	219	2 005
	Б	12	15			3	44
ИТОГО						222	2 049
<i>После рубки</i>							
10С+Б	С	16	16	III	0,7	145	933
	Б	16	16			3	17
ИТОГО						148	950

пониженными участками сосняков черничных свежих и влажных. Такие сосняки на песчаных почвах в подзоне северной тайги встречаются локально и представляют особый интерес. Почвы – мелкоподзолистые иллювиально-железистые песчаные.

Форма и расположение выдела относительно водной магистрали привели к изменениям в водно-воздушном режиме почв, что обусловило закономерную смену видового состава в живом напочвенном покрове. Около реки, где близко к поверхности залегает капиллярная кайма грунтовых вод, в нижних горизонтах почвы наблюдаются признаки застоя воды, а живой напочвенный покров характеризуется обильным распространением брусники как доминанты, определяющей тип леса. На удалённом от реки участке сухость почвы выше, что способствовало широкому распространению лишайников и позволило выделить лишайниковый (бруснично-лишайниковый) тип леса. Коэффициент Жаккара по живому напочвенному покрову для этих участков составил 50%.

В каждом типе леса (в лишайниковом – летом 2021 г., в брусничном – осенью 2022 г.) заложили по три пробные площади, охватывающие пасаеку и волок, на которых проводили однотипные исследования по общепринятым лесоводственным и почвенным методикам [14]. Подрост учитывали на 5-ти площадках 2×5 м с разделением по категориям высоты и жизненного состояния. На этих же площадках осуществляли учёт подлеска.

Живой напочвенный покров изучали на 10-ти площадках по 1 м² каждая с определением видового состава и проективного покрытия видов. Рассчитывали встречаемость (%) и коэффициент Жаккара для сравнения ценофлоры на волоках и пасаеках [15]. Номенклатуру видов приводили по С.К. Черепанову [16].

Образцы почвы (по 10 шт. в пределах каждой пробной площади) отбирали в ненарушенном сложении с глубины 0–10 и 10–20 см на волоках (в колеях и межколежном пространстве) и в пасаеках. Для отбора образцов лесной подстилки использовали шаблон деревянной рамки. В камеральных условиях определяли полевую влажность (%) и плотность сложения (г/см³) подстилки и почвы. Для образцов почвы устанавливали плотность твёрдой фазы и рассчитывали пористость общую и аэрации [17].

Для сравнения физических свойств почвы между вариантами применяли односторонний дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса (ANOVA). После получения статистически значимого результата в ANOVA проведены множественные сравнения (post hoc анализ) средних рангов для всех пар групп, включённых в анализ. Уровни двусторонней значимости скорректированы с использованием поправки Бонферрони. Все сравнения сделаны в пределах одного и того же типа леса на 0,05-м уровне значимости. Данные анализировали с помощью программы Statistica версии 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Результаты и обсуждение

В брусничном типе леса живой напочвенный покров в основном представлен брусникой обыкновенной (проективное покрытие – 44%), равномерно распространённой по площади

(табл. 2). Полог брусники негустой из-за слабой ветвистости кустарничка. В состав ценофлоры входит также черника обыкновенная, однако она имеет синузальное распространение со средним проективным покрытием 15%. Моховой покров сплошной, с преобладанием плеуроэриума

ТАБЛИЦА 2. ВСТРЕЧАЕМОСТЬ И ПРОЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ ВИДОВ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ПАСЕКАХ И НА ВОЛОКАХ (СРЕДНЕЕ ПО ТРЁМ ПРОБНЫМ ПЛОЩАДЯМ)

Вид	Лишайниковый тип леса				Брусничный тип леса			
	ПАСЕКА		ВОЛОК		ПАСЕКА		ВОЛОК	
	В, %	ПП, %	В, %	ПП, %	В, %	ПП, %	В, %	ПП, %
<i>Травы и кустарнички</i>								
Черника <i>Vaccinium myrtillus</i> L.	27	9,0	20	0,1	13	15,0	-	-
Брусника <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	100	12,9	100	6,0	100	43,5	100	11,3
Щучка извилистая <i>Lerchenfeldia flexuosa</i> L.	-	-	13	1,7	-	-	-	-
Щучка дернистая <i>Deschampsia cespitosa</i> L.	-	-	7	0,03	-	-	-	-
Иван-чай <i>Chamerion angustifolium</i> L.	13	0,1	7	0,03	-	-	-	-
Водяника чёрная (шикша) <i>Empetrum nigrum</i> L.	13	1,03	7	0,03	-	-	-	-
Ожика волосистая <i>Luzula pilosa</i> L.	7	0,03	-	-	-	-	-	-
Марьянник <i>Melampyrum pratense</i> L.	7	0,03	-	-	-	-	-	-
Хвощ луговой <i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	7	0,3	-	-	7	0,3	-	-
<i>Мхи и лишайники</i>								
Плеуроэриум Шребера <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	100	47,7	100	75,9	100	92,5	100	78,5
Кукушкин лён <i>Polytrichum commune</i> Hedw.	80	1,4	87	3,7	60	1,4	-	-
Дикранум метловидный <i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	80	7,4	80	4,1	70	7,4	80	2,1
Кладония оленья <i>Cladonia rangiferina</i> L.	47	7,2	27	1,2	-	-	-	-
Кладония лесная <i>Cladonia sylvatica</i> L.	80	13,8	93	7,2	70	4,7	90	1,6
Кладония стройная <i>Cladonia turbinata</i> L.	7	0,03	67	0,9	-	-	-	-
Кладония изящная <i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.	13	0,07	20	0,1	-	-	-	-

Примечание: В – встречаемость, %; ПП – среднее проективное покрытие вида, %.

Шребера. Лишайники представлены кладонией лесной фрагментарно с общим проективным покрытием в ярусе не более 5%. На освещённых волоках через 15 лет после рубок ухода видовое разнообразие ниже, чем в пасаках в этом типе леса (коэффициент Жаккара составляет 57,1%). Из-за подсушивания верхних горизонтов почвы из состава ценофлоры пропали черника и кукушкин лён. Живой напочвенный покров редкий и представлен брусникой (проективное покрытие – 11%). Оставленная неликвидная древесина в межколейном пространстве мешает её разрастанию, но не препятствует распространению зелёных мхов, в основном плеуроциума Шребера.

При снижении увлажнённости почвы по мере удаления от реки в живом напочвенном покрове соснового насаждения число видов увеличивается, хотя доминанты травяно-кустарничкового яруса остаются те же (брусника и черника), но с меньшей встречаемостью и проективным покрытием. Единично представлены лесные травы – иван-чай, ожика волосистая, марьянник и хвощ луговой. В моховом покрове, наряду с широким распространением плеуроциума Шребера, много лишайников, общее проективное покрытие которых составляет более 21% при встречаемости отдельных видов от 7 до 80%. Увеличение числа видов здесь связано с разнообразием лишайников, расселением лесных трав (участок расположен близко к дорожно-тропичной сети, что могло привести к заносу видов).

На волоках лишайникового типа леса ценофлора заметно отличается от растительности на волоках в брусничном типе леса, различия подтверждаются низким коэффициентом сходства Жаккара (31%). Ценофлора волока определяется видами,

распространёнными в пасаках (коэффициент Жаккара 69%). При этом высокая освещённость на волоках и иссушение почвы приводят к увеличению встречаемости лишайников, имеющих мелкие таломы и пока не разросшихся по площади волока. Проективное покрытие плеуроциума Шребера повышается в 1,5 раза по сравнению с пасекой.

Разрастание живого напочвенного покрова и его видовой состав обеспечивают восстановление волоков после рубок ухода. Именно живой напочвенный покров играет ведущую роль в формировании лесной подстилки [18], представляющей собой буферный горизонт, который защищает почву и выполняет многообразные функции [19]. В нашем случае, через 15 лет после воздействия техники на почву и растительный покров, волокны почти полностью покрыты лесной подстилкой, включая и крупные остатки лесного детрита, на которых поселяются зелёные мхи.

Мощность лесной подстилки в лишайниковом типе леса ниже по сравнению с брусничным вследствие сухости почвы и большей инсоляции. Закономерно запасы лесной подстилки увеличиваются с нарастанием степени увлажнения [20]. В обоих типах леса полного восстановления толщи лесной подстилки не происходит (табл. 3). На антропогенно нарушенных участках в условиях прямого освещения и иссушения почвы, особенно в летние месяцы, опад быстро минерализуется [18, 21], что и ведёт к снижению мощности лесной подстилки и замедлению темпов её восстановления.

В лишайниковом типе леса мощность лесной подстилки в колее проезда техники по сравнению с пасекой достоверно меньше – на 31% ($p = 0,040$, табл. 4). Отсутствует достоверное различие

Таблица 3. Характеристики лесной подстилки после рубок прореживания

Место отбора образцов	Лишайниковый тип леса		Брусничный тип леса	
	Мощность, см	Плотность сложения, г/см ³	Мощность, см	Плотность сложения, г/см ³
Пасека	2,75±0,549	0,10±0,011	3,22±0,229	0,09±0,009
Волок-колея	1,89±0,222	0,14±0,016	2,62±0,171	0,18±0,017
Волок-межколейное пространство	2,02±0,132	0,14±0,018	2,71±0,280	0,10±0,007

**Таблица 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА И АПОСТЕРИОРНЫХ СРАВНЕНИЙ
ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ**

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	МЕСТО ОТБОРА ОБРАЗЦОВ			ПАРНЫЕ (АПОСТЕРИОРНЫЕ) СРАВНЕНИЯ					
				ПАСЕКА VS ВОЛОК-КОЛЕЯ		ПАСЕКА VS ВОЛОК- МЕЖКОЛЕЙНОЕ ПРОСТРАНСТВО		ВОЛОК-КОЛЕЯ VS ВОЛОК- МЕЖКОЛЕЙНОЕ ПРОСТРАНСТВО	
	Н	d.f.	P	Z	P	Z	P	Z	P
<i>Лишайниковый тип леса</i>									
Мощность, см	6,15	2	0,046	2,47	0,040	1,41	0,479	0,85	1
Плотность сложения, г/см ³	2,00	2	0,365	-	-	-	-	-	-
<i>Брусничный тип леса</i>									
Мощность, см	3,30	2	0,191	-	-	-	-	-	-
Плотность сложения, г/см ³	18,73	2	0,001	3,68	0,001	0,24	1	3,40	0,002

Примечание: vs – сокр. от лат. *versus* – против; Н – значение критерия Крускала–Уоллиса; d.f. – число степеней свободы; Z – значение критерия при парных сравнениях; p – уровень значимости.

между колеёй и межколейным пространством ($p = 1$), а также между пасекой и межколейным пространством ($p = 0,479$).

В брусничном типе леса мощность лесной подстилки в местах отбора образцов незначительно варьировала ($p = 0,191$). Так, в пасеках мощность подстилки колеблется от 1 до 4 см (коэффициент изменчивости 40%), что связано с пестротой живого напочвенного покрова. В условиях северной тайги парцелярная структура живого напочвенного покрова влияет на свойства лесной подстилки [22].

В лишайниковом типе леса плотность сложения подстилки на волоках на 40% выше, чем в пасеке. Различия статистически не значимы ($p = 0,365$). В брусничном типе леса плотность сложения лесной подстилки в колеях на технологических волоках по сравнению с пасекой и межколейным пространством достоверно выше – на 100% ($p = 0,001$) и 80% ($p = 0,002$) соответственно. В межколейном пространстве волока подстилка в силу меньшей поврежденности в процессе лесосечных работ соответствует по плотности сложения показателю в пасеке, по крайней мере в местах, не покрытых отходами неликвидной древесины, оставленной после рубки. Нужно отметить, что большее количество отходов было оставлено на волоках именно в брусничном типе леса. Крупный детрит (в

данном случае лесосечные отходы), с одной стороны, создаёт пожароопасную обстановку в лесах, а с другой, играет ключевую роль в сохранении биоразнообразия и углеродного баланса [23].

Через 15 лет после прохождения техники на коротких волоках (не более 100 м длиной) и небольшом числе повторных проездов на песчаных почвах наблюдается частичное восстановление свойств почвенного покрова (табл. 5).

Различия между показателями в пасеке и на волоках (колея и межколейное пространство) в обоих типах леса в большинстве случаев несущественны на 95%-м уровне значимости (табл. 6). В то же время есть тенденция сохранения уплотнённости почвы в нижнем слое (10–20 см), где плотность сложения в колеях на 5–10% выше, чем в пасеках.

В брусничном типе леса, благодаря уплотнённости и лучшей оводнённости почв, влажность на глубине 10–20 см в колеях, по крайней мере на уровне статистической тенденции, на 2,2% выше, чем в пасеке ($p = 0,057$). Кроме того, в колеях общая пористость и пористость аэрации на 6,5–9,0% ниже, чем в пасеках ($p = 0,002$; $p = 0,007$) и межколейном пространстве ($p = 0,008$; $p = 0,006$).

Общая пористость снижается до значений ниже или на пределе оптимума (50–55%) для роста растений. Но в то же время песчаные почвы за

Таблица 5. Физические свойства почв после рубок прореживания

Показатель	Лишайниковый тип леса			Брусничный тип леса		
	Пасека	Волок		Пасека	Волок	
		Колея	Межколейное пространство		Колея	Межколейное пространство
Слой 0–10 см						
Плотность сложения, г/см³	1,12±0,030	1,07±0,031	1,11±0,114	1,20±0,076	1,12±0,033	1,11±0,101
Влажность, %	6,75±0,760	8,35±0,953	7,08±1,111	5,09±0,410	7,31±0,614	6,77±1,080
Пористость, %	55,2±1,19	61,5±1,14	55,6±1,54	52,6±0,77	54,8±1,31	56,3±2,43
Пористость аэрации, %	47,6±1,31	52,7±1,28	47,7±1,92	46,5±1,09	46,6±1,39	48,8±2,36
Слой 10–20 см						
Плотность сложения, г/см³	1,12±0,027	1,18±0,022	1,18±0,033	1,17±0,027	1,29±0,015	1,18±0,031
Влажность, %	6,54±0,595	6,37±0,335	6,55±0,258	7,36±1,419	6,76±0,434	6,63±0,671
Пористость, %	57,4±1,03	50,4±0,90	55,5±1,25	53,0±1,07	44,4±0,62	52,4±1,25
Пористость аэрации, %	50,1±0,84	42,9±1,09	47,8±1,68	42,2±0,88	35,7±0,79	44,6±1,36

Таблица 6. Результаты дисперсионного анализа и апостериорных сравнений основных физических свойств лесной подстилки

Физические свойства	Место отбора образцов			Парные (апостериорные) сравнения					
				Пасека vs Волок-колея		Пасека vs Волок- межколейное пространство		Волок-колея vs Волок- межколейное пространство	
	Н	d.f.	P	Z	P	Z	P	Z	P
Лишайниковый тип леса									
Слой 0–10 см									
Плотность сложения, г/см ³	1,49	2	0,476	-	-	-	-	-	-
Влажность, %	3,66	2	0,160	-	-	-	-	-	-
Пористость, %	15,35	2	0,001	3,32	0,003	0,13	1	3,00	0,008
Пористость аэрации, %	6,96	2	0,031	2,49	0,038	0,70	1	1,60	0,326
Слой 10–20 см									
Плотность сложения, г/см ³	1,42	2	0,492	-	-	-	-	-	-
Влажность, %	0,03	2	0,998	-	-	-	-	-	-
Пористость, %	20,52	2	0,001	4,02	0,001	0,62	1	3,29	0,003
Пористость аэрации, %	19,51	2	0,001	4,13	0,001	1,31	0,773	2,82	0,014
Брусничный тип леса									
Слой 0–10 см									
Плотность сложения, г/см ³	2,41	2	0,301	-	-	-	-	-	-
Влажность, %	5,73	2	0,057	2,39	0,050	1,26	0,621	0,82	1
Пористость, %	1,72	2	0,420	-	-	-	-	-	-
Пористость аэрации, %	0,69	2	0,708	-	-	-	-	-	-
Слой 10–20 см									
Плотность сложения, г/см ³	1,39	2	0,497	-	-	-	-	-	-
Влажность, %	0,12	2	0,941	-	-	-	-	-	-
Пористость, %	15,37	2	0,001	3,37	0,002	0,27	1	2,98	0,008
Пористость аэрации, %	14,15	2	0,001	3,03	0,007	0,11	1	3,09	0,006

Примечание: vs – сокр. от лат. *versus* – против; Н – значение критерия Крускала–Уоллиса; d.f. – число степеней свободы; Z – значение критерия при парных сравнениях; p – уровень значимости.

счёт высокой фильтрации даже в осеннее время не могут обеспечить достаточное увлажнение растений, сохраняя влажность в корнеобитаемом слое 6–8% благодаря высокой некапиллярной пористости. Лесная подстилка малой толщины не удерживает влагу и не способна защитить от инсоляции на открытых волоках.

При разработке лесосек тракторами на небольшие различия (в пределах 10%) в плотности сложения песчаных почв, сохраняющиеся длительное время, указывалось ранее [10]. Исследования, проведённые в подзоне средней тайги [9] на аналогичных почвах, показали, что через 18 лет после рубки физические свойства почв на лесосеках восстанавливаются частично, происходит так называемое разуплотнение за счёт поселения растительности, особенно древесной. Корнеобитаемый слой (0–20 см) разрыхляется, но остаточные явления уплотнения могут наблюдаться в нижнем иллювиальном горизонте. Такие условия не могут обеспечить качественное и достаточное естественное возобновление на волоках. По материалам лесничества, до рубок ухода под пологом сосняка преобладал еловый подрост средней категории крупности, распространённый по площади выдела куртинами. Численность подраста составляла 199 шт./га.

После рубок ухода и разреживания древостоя общая численность подраста в обоих типах леса увеличилась до 2,5–3,2 тыс. шт./га (табл. 7). В лишайниковом типе леса под пологом древостоя появился мелкий подрост и самосев сосны, ели, берёзы. На волоках структура подраста такая же, как в пасаке, но с преобладанием самосева сосны (82%).

В брусничном типе леса в пасаках подрост сосны не отмечен, но увеличилась доля мелкого подраста и самосева ели, берёзы, появилась осина. Вероятно, этому способствовал налёт семян с окружающих сосняков смешанного состава, включающих эти виды. В то же время на волоках устойчиво преобладают всходы/самосев и мелкий подрост сосны, другие породы не отмечены. Подлесочные породы в структуре насаждения отсутствуют.

Таким образом, на волоках в обоих типах леса отмечается естественное возобновление сосны, появившееся после семенного года, что подтверждается почти одинаковым возрастом самосева. Подобный импульсный характер возобновления характерен для сосны [24].

Однако численность подраста (в пересчёте на крупный) не обеспечивает удовлетворительного возобновления. Это может быть связано с тем, что в северной тайге периодичность семеношения составляет 8–10 лет [25] и ко времени наступления семенного года минерализованная часть почвы на волоках оказалась покрыта мхами и лишайниками, вследствие чего семена сосны зависали и не смогли прорасти.

Учитывая недостаточность возобновительных процессов, появление в сосновом насаждении полосно-мозаичной [23] структуры биогеоценоза, а также сохраняющееся антропогенное воздействие на почву на трелёвочных волоках, следует прислушаться к мнению Н.М. Дебкова [24], который предлагает проводить в сухих сосняках 2 приёма некоммерческих рубок ухода в возрасте 6–7 и 10–11 лет. В этом случае не потребуются пасечная технология, нарушающая

Таблица 7. Характеристика жизнеспособного подраста в пасаках и на волоках

Место произрастания	Лишайниковый тип леса				Брусничный тип леса				
	Сосна	Ель	Берёза	Итого	Сосна	Ель	Берёза	Осина	Итого
Пасака	$\frac{910}{37}$	$\frac{560}{23}$	$\frac{980}{40}$	$\frac{2\,450}{100}$	-	$\frac{1\,206}{38}$	$\frac{1\,675}{52}$	$\frac{335}{10}$	$\frac{3\,216}{100}$
Волок	$\frac{2\,240}{82}$	$\frac{140}{5}$	$\frac{350}{13}$	$\frac{2\,730}{100}$	$\frac{2\,600}{100}$	-	-	-	$\frac{2\,600}{100}$

Примечание: в числителе – шт./га, в знаменателе – %.

экологические условия на волоках и не всегда обеспечивающая достаточное количество естественного возобновления.

Заключение

Влияние тракторной техники на почвенный и растительный покров при проведении рубок ухода по пасечной технологии в сосняках лишайниковых и брусничных минимально. Однако через 15 лет после прохождения техники даже при небольшом числе повторных проездов

наблюдается только частичное восстановление свойств почвенного покрова. Лесная подстилка формируется фрагментарно, имеет большую вариабельность по толщине и плотности сложения. Различия с пасекой наблюдаются в 10–20-сантиметровом слое почвы, где сохраняется уплотнение, повышена влажность и снижена пористость и пористость аэрации. Естественное возобновление сосной начинается после семенного года. Восстановление живого напочвенного покрова на повреждённых технологических волоках происходит мозаично с сохранением исходного типа леса.

*Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства.
Регистрационный номер темы: 125021202048-9.*

Благодарности. Авторы статьи благодарят студентов В. Васильеву, И. Ажгибкова, аспирантку А.-А.П. Дунаеву, принимавших участие в полевых работах и обработке материала.

Список источников

1. Eliasson, L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction / L. Eliasson // Silva Fennica. – 2005. – Vol. 39. – № 4. – P. 549–557. doi: 10.14214/sf.366.
2. The Impacts of Ground-Based Logging Equipment on Forest Soil / A.E. Akay, A. Yuksel, M. Reis [et al.] // Polish Journal of Environmental Studies. – 2007. – Vol. 16. – № 3. – P. 371–376.
3. Influence of ruts on the physical properties of Gleyic Retisols after logging machinery passage / A. Ilintsev, A. Bogdanov, E. Nakvasina [et al.] // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2022. – Vol. 37. – № 4. – P. 254–263. doi: 10.1080/02827581.2022.2085785.
4. Osman, K.T. Forest Soils: Properties and Management / K.T. Osman. – Switzerland : Springer Science & Business Media, 2013. – 217 p. doi: 10.1007/978-3-319-02541-4.
5. Ilintsev, A.S. Methods of Protection Forest Soils during Logging Operations (Review) / A.S. Ilintsev, E.N. Nakvasina, L. Högbom // Лесной журнал. – 2021. – № 5. – P. 92–116. doi: 10.37482/0536-1036-2021-5-92-116.
6. Наквасина, Е.Н. Восстановительные сукцессии повреждений почвенного покрова при проведении рубок ухода в ельнике черничном северной тайги / Е.Н. Наквасина, А.С. Ильинцев, А.-А.П. Дунаева // Лесной вестник. – 2021. – Т. 25. – № 6. – С. 11–19. doi: 10.18698/2542-1468-2021-6-11-19.
7. Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review / M. Cambi, G. Certini, F. Neri [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2015. – Vol. 338. – P. 124–138. doi: 10.1016/j.foreco.2014.11.022.
8. Impacts of logging-associated compaction on forest soils: a meta-analysis / M. Nazari, M. Eteghadipour, M. Zarebanadkouki [et al.] // Frontiers in Forests and Global Change. – 2021. – Vol. 4. – P. 1–15. doi: 10.3389/ffgc.2021.780074.
9. Ильинцев, А.С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании / А.С. Ильинцев, А.П. Богданов, Ю.С. Быков // Лесной журнал. – 2019. – № 5. – С. 70–82. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70.
10. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В. Сюнёнв, А. Соколов, А. Коновалов [и др.]. – Йёэнсуу : НИИ Леса Финляндии, 2008. – 126 с.
11. Засухин, Д.П. Рекомендации по защите лесных почв от повреждения при проведении лесозаготовительных работ в Республике Коми / Д.П. Засухин, В.С. Серый, Н.С. Минин. – Сыктывкар, 2004. – 17 с.
12. Dominati, E. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils / E. Dominati, M. Patterson, A.A. Mackay // Ecol. Econ. – 2010. – Vol. 69. – P. 1858–1868. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.
13. Hume, A.M. Intensive Forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss / A.M. Hume, H.Y.H. Chen, A.R. Taylor // Journal of Applied Ecology. – 2017. – Vol. 1 (10). doi: 10.1111/1365-2664.12942.
14. Лесная таксация. – Часть 4. Закладка, таксация и описание пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ : учебное пособие / С.В. Третьяков, С.В. Коптев, Е.Н. Наквасина [и др.] ; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ, 2023. – 119 с.
15. Розенберг, С.В. Поль Жаккар и сходство экологических объектов / С.В. Розенберг // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2012. – Т. 21. – № 1. – С. 190–202.
16. Черепанов, С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов. – Санкт-Петербург : Мир и семья, 1995. – 992 с.
17. Наквасина, Е.Н. Почвоведение : учебное пособие / Е.Н. Наквасина, С.В. Любова. – Архангельск : САФУ, 2016. – 146 с.
18. Дымов, А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) / А.А. Дымов // Почвоведение. – 2017. – № 3. – С. 787–798. doi: 10.7868/S0032180X17070024.

19. Лесные подстилки и диагностика современной направленности гумусообразования в различных географических зонах / Л.Г. Богатырев, И.А. Свентицкий, Р.Н. Шарафутдинов, А.А. Степанов // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 864–876.

20. Ефремова, Т.Т. Строение и пространственно-временная изменчивость накопления подстилки в болотных березняках западной Сибири / Т.Т. Ефремова, С.П. Ефремов, А.Ф. Аврова // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – № 2 (6). – С. 84–94.

21. Биологические свойства почв антропогенно-нарушенных бореальных лесов Приамурья. – Текст : электронный / Е.Р. Абрамова, А.В. Кондратова, Л.П. Шумилова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 5 (95). doi: 10.23670/IRJ.2020.95.5.030. – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/5-95-2020-may/biologicheskie-svojstva-pochv-antropogenno-narushennykh-borealnykh-lesov-priamurya> (дата обращения: 20.05.2024).

22. Волков, А.Г. Геостатистическое моделирование пространственной структуры ельника черничного / А.Г. Волков, Е.Н. Наквасина, Е.С. Молокова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 1. – С. 72–80.

23. Влияние выборочных рубок на образование детрита и сохранение биоразнообразия в хвойных древостоях / А.М. Иванов, В.Г. Сергиенко, О.И. Антонов, Р.В. Власов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – № 214. – С. 68–79.

24. Дебков, Н.М. Нужны ли рубки ухода в сосновых молодняках в типичных для них условиях местопроизрастания? / Н.М. Дебков // Сибирский лесной журнал. – 2020. – № 1. – С. 28–37. doi: 10.15372/SJFS20200103.

25. Наквасина, Е.Н. Семенные плантации северных экотипов сосны обыкновенной / Е.Н. Наквасина, Т.В. Бедрицкая. – Архангельск : изд-во Поморского госуниверситета, 1999. – 143 с.

References

1. Eliasson, L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction / L. Eliasson // Silva Fennica. – 2005. – Vol. 39. – № 4. – P. 549–557. doi: 10.14214/sf.366.

2. The Impacts of Ground-Based Logging Equipment on Forest Soil / A.E. Akay, A. Yuksel, M. Reis [et al.] // Polish Journal of Environmental Studies. – 2007. – Vol. 16. – № 3. – P. 371–376.

3. Influence of ruts on the physical properties of Gleyic Retisols after logging machinery passage / A. Ilintsev, A. Bogdanov, E. Nakvasina [et al.] // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2022. – Vol. 37. – № 4. – P. 254–263. doi: 10.1080/02827581.2022.2085785.

4. Osman, K.T. Forest Soils: Properties and Management / K.T. Osman. – Switzerland : Springer Science & Business Media, 2013. – 217 p. doi: 10.1007/978-3-319-02541-4.

5. Ilintsev, A.S. Methods of Protection Forest Soils during Logging Operations (Review) / A.S. Ilintsev, E.N. Nakvasina, L. Högbom // Lesnoj zhurnal. – 2021. – № 5. – P. 92–116. doi: 10.37482/0536-1036-2021-5-92-116.

6. Nakvasina, E.N. Vosstanovitel'nye sukcessii povrezhdenij pochvennogo pokrova pri provedenii rubok uhoda v el'nike chernichnom severnoj tajgi / E.N. Nakvasina, A.S. Il'incev, A.-A.P. Dunaeva // Lesnoj vestnik. – 2021. – T. 25. – № 6. – S. 11–19. doi: 10.18698/2542-1468-2021-6-11-19.

7. Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review / M. Cambi, G. Certini, F. Neri [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2015. – Vol. 338. – P. 124–138. doi: 10.1016/j.foreco.2014.11.022.

8. Impacts of logging-associated compaction on forest soils: a meta-analysis / M. Nazari, M. Eteghadipour, M. Zarebanadkouki [et al.] // Frontiers in Forests and Global Change. – 2021. – Vol. 4. – P. 1–15. doi: 10.3389/ffgc.2021.780074.

9. Il'incev, A.S. Dinamika fizicheskikh svoystv podzolistoy pochvy na vyrubkah pri estestvennom zarastanii / A.S. Il'incev, A.P. Bogdanov, Yu.S. Bykov // *Lesnoj zhurnal*. – 2019. – № 5. – S. 70–82. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70.
10. Sravnenie tekhnologij lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyah Respubliki Kareliya / V. Syunyov, A. Sokolov, A. Konovalov [i dr.]. – Joensuu : NII Lesa Finlyandii, 2008. – 126 s.
11. Zasuhin, D.P. Rekomendacii po zashchite lesnykh pochv ot povrezhdeniya pri provedenii lesozagotovitel'nykh rabot v Respublike Komi / D.P. Zasuhin, V.S. Seryj, N.S. Minin. – Syktyvkar, 2004. – 17 s.
12. Dominati, E. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils / E. Dominati, M. Patterson, A.A. Mackay // *Ecol. Econ.* – 2010. – Vol. 69. – P. 1858–1868. doi: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002.
13. Hume, A.M. Intensive Forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss / A.M. Hume, H.Y.H. Chen, A.R. Taylor // *Journal of Applied Ecology*. – 2017. – Vol. 1 (10). doi: 10.1111/1365-2664.12942.
14. Lesnaya taksaciya. – Chast' 4. Zakladka, taksaciya i opisaniye probnykh ploshchadej pri provedenii nauchnykh issledovaniy i podgotovke vypusknnykh kvalifikacionnykh rabot : uchebnoye posobie / S.V. Tret'yakov, S.V. Koptev, E.N. Nakvasina [i dr.]; Sev. (Arktich.) feder. un-t im. M.V. Lomonosova. – Arhangel'sk : SAFU, 2023. – 119 s.
15. Rozenberg, S.V. Pol' Zhakkar i skhodstvo ekologicheskikh ob'ektov / S.V. Rozenberg // *Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*. – 2012. – T. 21. – № 1. – S. 190–202.
16. Cherepanov, S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) / S.K. Cherepanov. – Sankt-Peterburg : Mir i sem'ya, 1995. – 992 s.
17. Nakvasina, E.N. Pochvovedenie : uchebnoye posobie / E.N. Nakvasina, S.V. Lyubova. – Arhangel'sk : SAFU, 2016. – 146 s.
18. Dymov, A.A. Vliyanie sploshnykh rubok v boreal'nykh lesakh Rossii na pochvy (obzor) / A.A. Dymov // *Pochvovedenie*. – 2017. – № 3. – S. 787–798. doi: 10.7868/S0032180X17070024.
19. Lesnye podstilki i diagnostika sovremennoj napravlenosti gumusobrazovaniya v razlichnykh geograficheskikh zonah / L.G. Bogatyrev, I.A. Sventickij, R.N. Sharafutdinov, A.A. Stepanov // *Pochvovedenie*. – 1998. – № 7. – S. 864–876.
20. Efremova, T.T. Stroenie i prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' nakopleniya podstilki v bolotnykh bereznyakakh zapadnoj Sibiri / T.T. Efremova, S.P. Efremov, A.F. Avrova // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2009. – № 2 (6). – S. 84–94.
21. Biologicheskie svoystva pochv antropogenno-narushennykh boreal'nykh lesov Priamur'ya. – Tekst : elektronnyj / E.R. Abramova, A.V. Kondratova, L.P. Shumilova [i dr.] // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. – 2020. – № 5 (95). doi: 10.23670/IRJ.2020.95.5.030. – Rezhim dostupa: <https://research-journal.org/archive/5-95-2020-may/biologicheskie-svoystva-pochv-antropogenno-narushennykh-borealnykh-lesov-priamurya> (data obrashcheniya: 20.05.2024).
22. Volkov, A.G. Geostatisticheskoe modelirovaniye prostranstvennoj struktury el'nika chernichnogo / A.G. Volkov, E.N. Nakvasina, E.S. Molokova // *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. – 2013. – № 1. – S. 72–80.
23. Vliyanie vyborochnykh rubok na obrazovanie detrita i sohraneniye bioraznoobraziya v hvoynykh drevostoyakh / A.M. Ivanov, V.G. Sergienko, O.I. Antonov, R.V. Vlasov // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. – 2016. – № 214. – S. 68–79.
24. Debkov, N.M. Nuzhny li rubki uhoda v sosnovykh molodnyakakh v tipichnykh dlya nih usloviyakh mestoproizrastaniya? / N.M. Debkov // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – 2020. – № 1. – S. 28–37. doi: 10.15372/SJFS20200103.
25. Nakvasina, E.N. Semennyye plantacii severnykh ekotipov sosny obyknovЕННОj / E.N. Nakvasina, T.V. Bedrickaya. – Arhangel'sk : izd-vo Pomorskogo gosuniversiteta, 1999. – 143 s.