

УДК 630*114:630*31

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ НА ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ И МАССУ КОРНЕЙ

А. Ю. Карпечко

*Институт леса – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11*

E-mail: yuvkar@onego.ru

Поступила в редакцию 15.12.2018 г.

Передвижение любых лесохозяйственных машин под пологом леса наносит вред древостою. Их движители сдирают подстилку, нарушают очередность горизонтов, изменяют плотность, порозность и влажность почвы. Вышеперечисленное негативно сказывается на корненасыщенности. Особенно уязвимой является ель, корни которой сосредоточены близ поверхности почвы. Для минимизации негативного воздействия рубки на насаждение необходим выбор технологии и лесозаготовительной техники, наносящих наименьший вред лесной среде. В Карелии широко используется трелевка хлыстов гусеничными тракторами, а также сортиментная лесозаготовка. Данная работа проведена с целью выявить, как использование различной техники при выполнении несплошных рубок влияет на плотность почвы и массу корней ели диаметром до 3 мм в условиях подзоны средней тайги Республики Карелия. Плотность почвы и масса корней оценивались в технологических коридорах (волоках) и пасаках. Применялся метод монолитов, извлекаемых на всей площади участка. Выявлено, что использование многооперационных машин харвестер + форвардер первоначально уплотняет почву сильнее, чем применение связки бензопила + форвардер или трелевка хлыстами. Через 12 лет после разреживания сохраняется меньшая корненасыщенность в коридоре по сравнению с пасакой. Однако оценить, насколько этот факт объясняется технологией заготовки лесоматериалов, представляется достаточно сложным. Непосредственно после разреживания различие в массе корней между этими зонами достигает максимального значения, затем наблюдается его постепенное уменьшение. Процесс снижения плотности почвы в коридоре после разреживания имеет большую скорость, чем процесс восстановления корневой массы.

Ключевые слова: *плотность почвы, масса корней, лесозаготовительная техника, технология работ, несплошная рубка.*

DOI: 10.15372/SJFS20190505

ВВЕДЕНИЕ

Использование лесохозяйственных машин при проведении разреживаний нарушает лесную среду: уплотняется почва, изменяются ее свойства, смещаются почвенные горизонты. Эти процессы негативно отражаются на росте деревьев (Jonsson, 1976; Moskalik, Sadowski, 1998; Декатов и др., 1999). Массовое использование агрегатных лесозаготовительных машин в Республике Карелия обуславливает значимость изучения экологических последствий их применения. Чтобы выявить и оценить негативные последствия работы многооперационных ма-

шин, должно пройти время. Изучение влияния использования техники во время лесозаготовительных работ на корневую систему как часть дерева, благодаря которой оно получает воду, минеральные вещества и выполняет еще ряд жизненно важных функций, представляется очень актуальным. Ель имеет поверхностное залегание корневых систем. Это обуславливает их сильную повреждаемость при рубке.

Плотность почвы является важной характеристикой, определяющей условия жизни растений. При уплотнении радикально уменьшаются объем пор и содержание кислорода почвы (Буш, Иевинь, 1984). Необходимым условием

роста корневых окончаний является содержание кислорода в почве не менее 5–10 %, а при его снижении до 1 % корни значительно теряют массу (Сюнёв и др., 2008). Резкое увеличение плотности почвы является результатом работы лесозаготовительной техники. Наиболее существенные изменения наблюдаются в верхней части почвенного профиля в зоне проезда техники (Moskalik, Sadowski, 1998; Nadezhdina et al., 2006). Установлено, что уменьшение корневых насыщенных и снижение пригодности почвы для выполнения корнями своих функций могут существенно сокращать продуцирующую площадь насаждения (Калинин, 1983; Банева, 1990).

Степень уплотнения различна в зависимости от применяемых машин, механического состава и влажности почвы, сезонности заготовки. После работы машин свойства почвогрунтов восстанавливаются, что занимает десятилетия (Murphy, 1982; Серый и др., 1991; Карпечко, 2008). Имеются данные, что для восстановления структуры почвы в различных условиях может потребоваться до 40 лет (Буш, Иевинь, 1984).

Хлыстовая технология, широко распространенная в Республике Карелия, включает операцию трелевки хлыстов, при которой часто применяются трактора с гусеничным движителем.

С появлением и постепенным увеличением количества харвестеров и форвардеров с последнего десятилетия XX в. началось использование сортиментной заготовки (Шегельман, Галактионов, 2001), которая получила к настоящему моменту широкое распространение. Следует отметить, что использование лесозаготовительных машин позволяет увеличить производительность труда в 1.5–2 раза. При этом экологические последствия использования техники подлежат изучению и оценке.

Цель настоящей работы – изучить последствия применения разных технологий несплошных рубок и их влияние на плотность почвы и массу корней диаметром до 3 мм в среднетаежной подзоне Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучали разреженные древостои через 1–12 лет после рубки. Таксационные характеристики указаны в табл. 1.

Всего исследовали 6 древостоев, 5 из которых относятся к еловой формации зеленомошной группы типов леса и 1 – к березовой формации также зеленомошной группы типов леса. Древостои произрастают на супесчаных почвах.

Таблица 1. Таксационные показатели древостоев на пробных площадях (ПП) (числитель – до рубки, знаменатель – на момент исследования)

№ ПП	Состав (возраст)	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Относительная полнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Выборка по запасу, %	Давность рубки, лет
<i>Хлыстовая механизированная (бензопила + трелевочный трактор ТДТ-55)</i>							
1	$\frac{4E_{150}3E_{105}1C2B}{4E_{105}3E_{150}1C2B}$	$\frac{26.0}{22.0}$	$\frac{23.0}{20.0}$	$\frac{0.9}{0.8}$	$\frac{330}{248}$	25	1
	2	$\frac{6E_{80}3B1Oc}{7E_{90}2B1Oc}$	$\frac{13.8}{16.1}$	$\frac{14.0}{16.2}$	$\frac{1.2}{1.1}$		
<i>Сортиментная механизированная (бензопила + форвардер)</i>							
3	$\frac{4E_{67}2C1B3Oc}{5E_{70}2C1B2Oc}$	$\frac{16.7}{16.5}$	$\frac{15.7}{15.5}$	$\frac{1.1}{0.7}$	$\frac{341}{238}$	35	2.5
	4	$\frac{9E_{80}1B}{9E_{90}1B}$	$\frac{13.5}{15.2}$	$\frac{13.3}{14.4}$	$\frac{1.1}{0.9}$		
<i>Сортиментная машинизированная (харвестер + форвардер)</i>							
5	$\frac{5E_{150}2C_{150}1B2Oc}{5E_{150}2C_{150}1B2Oc}$	$\frac{28.0}{24.0}$	$\frac{23.0}{21.0}$	$\frac{0.7}{0.6}$	$\frac{320}{256}$	20	1
	6	I ярус $6B_{70}4Oc$	14.9	17.6	0.8		
II ярус $10E_{80}$		$\frac{13.7}{20.0}$	$\frac{14.2}{20.5}$	$\frac{0.6}{0.5}$	$\frac{129}{146}$		
I ярус $6B_{80}4Oc$	20.0	20.5	0.5	146			
II ярус $10E_{90}$	$\frac{14.6}{15.3}$	$\frac{15.3}{15.3}$	$\frac{0.4}{0.4}$	$\frac{84}{84}$			

Примечание. Е – ель обыкновенная; С – сосна обыкновенная; Б – береза пушистая; Ос – осина.

Рубка проводилась в зимний период. Вывозка заготовленных лесоматериалов (сортименты, хлысты) на погрузочную площадку выполнялась по предварительно подготовленным технологическим коридорам, поверхность которых была укреплена порубочными остатками.

Для заготовки древесины использовались: хлыстовая механизированная технология лесозаготовки, заключающаяся в валке и удалении сучьев бензопилой и дальнейшей трелевке чокерным трелевочным трактором ТДТ-55, сортиментная механизированная, отличающаяся от предыдущей тем, что транспортировка древесины осуществлялась форвардером, и сортиментная машинизированная, т. е. выполнение всех операций связкой многооперационных машин в составе харвестера и форвардера.

Массу корней в верхних горизонтах почвы определяли с использованием метода монолитов (Рахтеенко, 1963; Орлов, 1967). Их извлекали со всей ПП отдельно для коридоров и пасаек (по 10 шт.). Размер отбираемых монолитов составлял $0.1 \times 0.1 \times 0.2$ м. Глубина образца принята 0.2 м, поскольку слой 0–0.2 м является наиболее корнеобитаемым. Из почвенных горизонтов извлекали еловые корни диаметром до 3 мм, которые сортировали на группы до 1 и 3 мм. Далее проводили их сушку до абсолютно сухого состояния и определяли массу.

В технологических коридорах (10 шт.) и пасаках (10 шт.) из верхнего слоя почвы, исключая подстилку, режущим кольцом отбирали образцы ненарушенного сложения (Шваров и др., 2012; ГОСТ 5180-2015). Образцы высушивали и определяли плотность почвы.

В дальнейшем в пределах каждого древостоя сравнивали показатели корненасыщенности и плотности почвы технологических коридоров с аналогичными показателями в пасаках, куда не было заезда лесозаготовительной техники.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значения плотности почвы на исследуемых участках в естественном состоянии (в пасеке) варьируют от 1.00 до 1.39 г/см³ (табл. 2).

Увеличение плотности почвы после рубки в коридорах на исследуемых участках колеблется от 32 до 5 % (см. рисунок).

Этот разброс связан со временем, прошедшим с момента рубки до начала исследования, и использованной технологией лесосечных работ. Независимо от используемых машин по истечению 2.5 лет после рубки отмечено увеличение плотности почв.

Кроме того, применение связки машин харвестер + форвардер (колесные движители) может приводить к полному разрушению лесной подстилки, что было отмечено на ПП 5.

С увеличением длительности периода времени после рубки есть тенденция к снижению плотности почвы в коридоре.

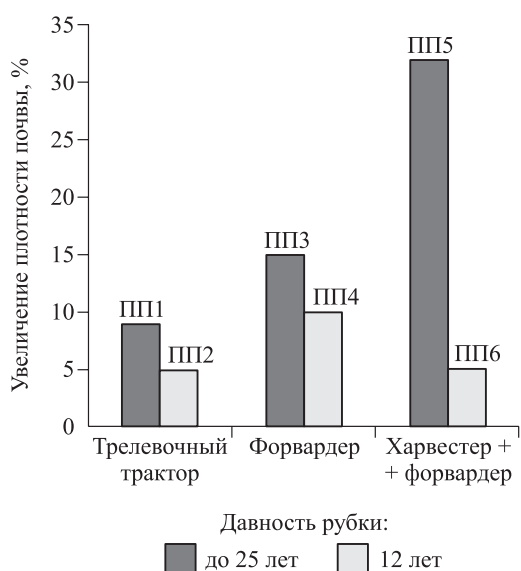
При использовании харвестера + форвардера и бензопилы + трелевочного трактора значение плотности почвы в коридоре через 12 лет, прошедших после рубки, отличается от фонового на 5 % (см. табл. 2 и рисунок). Несколько выше разница между этими показателями при использовании для транспортировки древесины форвардера – различие достигает 10 %.

Таким образом, сразу после рубки негативное воздействие машинизированной технологии рубок на состояние лесной среды является наиболее значительным. Только при ее использовании отмечены тотальное разрушение лесной подстилки и наиболее сильное уплотнение почвы. Использование трелевочного трактора обеспечивает лучшее сохранение лесной подстилки и несколько меньше уплотняет почву по сравнению с технологиями, предусматривающими транспортировку сортиментов. Похожие результаты приведены в работах К. К. Буша и

Таблица 2. Плотность верхнего горизонта почвы в коридорах и пасаках

№ ПП	Технология лесосечных работ	Давность рубки, лет	Плотность, г/см ³	
			Коридор	Пасека
1	Бензопила + трелевочный трактор (хлыстовая)	1	1.09 ± 0.03	1.00 ± 0.04**
2		12	1.37 ± 0.03	1.30 ± 0.03**
3	Бензопила + форвардер (сортиментная)	2.5	1.58 ± 0.05	1.37 ± 0.08*
4		12	1.53 ± 0.05	1.39 ± 0.04*
5	Харвестер + форвардер (сортиментная)	1	1.39 ± 0.06	1.05 ± 0.05*
6		12	1.43 ± 0.09	1.36 ± 0.10

Примечание. * Различия достоверны при $P \leq 0.05$; ** различия достоверны при $P \leq 0.1$.



Увеличение плотности почвы в коридорах для различных лесозаготовительных машин после разреживания.

И. К. Иевиня (1984), а также Н. Н. Декатова и др. (1999). По этому же показателю влияние сортиментной механизированной технологии занимает промежуточное положение. За 12-летний период, прошедший после разреживания, происходит снижение плотности почвы, однако даже такой достаточно длительный срок не обеспечивает полного восстановления поврежденного при разреживании почвенного субстрата до фоновых показателей (пасеки), что согласуется с работой К. К. Буша и И. К. Иевиня (1984). Тем не менее связывать влияние исключительно использованной технологии лесосечных работ на восстановительную динамику за изучаемый период времени нельзя. С удлинением периода времени после разреживания влияние используемой техники ослабевает (сглаживается).

Получено, что масса корней до 3 мм в течение изучаемого периода времени в технологическом коридоре меньше, чем в пасеке (табл. 3).

Причиной ухудшения роста корней в зоне технологического коридора является воздействие лесозаготовительных машин. При использовании любой лесозаготовительной техники за период в 12 лет после рубки наблюдается постепенное восстановление массы корней в зоне технологического коридора. Оно обусловлено первоначальным резким увеличением плотности почвы в зоне проезда техники сразу после рубки и постепенным понижением этого показателя в последующие годы. По мере уменьшения плотности почвы коренасыщенность в коридоре увеличивается. При этом плотность почвы может рассматриваться как первоначальный фактор при восстановлении корневой массы. Сначала происходит снижение плотности почвы, а лишь после этого – восстановление массы корней. Однако коренасыщенность определяется не только плотностью почвы, но и другими процессами, связанными с воздействием движителей лесозаготовительных машин, в частности формированием колеи, перемешивании и смещении почвенных горизонтов.

По истечении 12-летнего периода все еще прослеживается различие в массе корней между пасекой и технологическим коридором (волоком) независимо от технологии лесозаготовок (см. табл. 3). Использование трелевочного трактора при транспортировке древесины обеспечивает несколько лучшее сохранение корней по сравнению с другими технологиями лесозаготовок, что согласуется с исследованиями К. К. Буша и И. К. Иевиня (1984), а также Н. Н. Декатова и др. (1999), по которым гусеничный трактор в меньшей степени нарушает почвенный покров. Тем не менее изучаемый временной промежуток является недостаточным для восстановления массы корней в зоне передвижения машин независимо от технологии лесосечных работ, использованных при проведении разреживания.

Таблица 3. Масса корней диаметром до 3 мм в верхнем 20-сантиметровом слое почвы

№ ПП	Технология лесосечных работ	Давность рубки, лет	Масса корней, т/га		
			Пасека	Коридор	Разница, %
1	Бензопила + трелевочный трактор	1	2.86 ± 0.50	1.58 ± 0.30	-45*
2		12	0.97 ± 0.19	0.68 ± 0.16	-30
3	Бензопила + форвардер	2.5	1.89 ± 0.15	0.96 ± 0.12	-49*
4		12	2.72 ± 0.38	1.68 ± 0.18	-38*
5	Харвестер + форвардер	1	3.23 ± 0.49	1.44 ± 0.25	-55*
6		12	1.00 ± 0.31	0.52 ± 0.30	-48

Примечание. * Различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Таблица 4. Масса корней диаметром до 1 мм в верхнем 20-сантиметровом слое почвы

№ ПП	Давность рубки, лет	Масса корней диаметром до 1 мм, т/га		Разница, %
		Пасека	Коридор	
1	1	1.00 ± 0.19	0.44 ± 0.08	-56*
2	12	0.17 ± 0.04	0.13 ± 0.04	-24
3	2.5	0.46 ± 0.07	0.35 ± 0.06	-24
4	12	0.22 ± 0.03	0.20 ± 0.02	-11
5	1	0.87 ± 0.12	0.24 ± 0.05	-72*
6	12	0.26 ± 0.06	0.11 ± 0.05	-58

Примечание. * Различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Отдельно изучили корни диаметром до 1 мм. Они обеспечивают поглощение питательных веществ (сосущие корни). Не все полученные результаты являются достоверными (табл. 4). Однако изменение массы этих корней с увеличением периода после рубки в целом соответствует рассмотренным выше общим закономерностям изменения массы корней диаметром до 3 мм. Отмечено снижение массы сосущих корней в коридоре в пределах всего изучаемого периода времени независимо от использованной лесозаготовительной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При передвижении лесозаготовительных машин под пологом леса происходит повреждение почвенной поверхности и лесной подстилки (в некоторых случаях до обнажения минерального горизонта), верхние горизонты перемещиваются, почва уплотняется. Все это неблагоприятно влияет на лесорастительные свойства почвы.

Существует зависимость степени уплотнения почвы от применяемой технологии рубки. Наибольшее уплотнение почвы связано с использованием системы многооперационных машин (харвестер + форвардер). 12-летний период после рубки характеризуется значительным снижением массы корней в зоне технологического коридора. Оно может достигать 30–55 % по сравнению с массой корней в пасеке.

Со временем происходит восстановление плотности почвы, однако масса корней изучаемых фракций не восстанавливается. Независимо от используемой лесозаготовительной техники в изучаемых условиях происходит нарушение почвенных характеристик, которое приводит к значительному снижению содержания корней диаметром до 3 мм.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института леса КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Банева Н. А. Влияние проходных рубок на массу корней деревьев в почве волоков // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛЛТА, 1990. С. 38–40.
- Буш К. К., Иевинь И. К. Экологические и технологические основы рубок ухода. Рига: Зинатне, 1984. 172 с.
- ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Издание официальное. Дата введения 2016-04-01 (Переиздание. Февраль 2019 г.). М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
- Декатов Н. Н., Книзе А. А., Пирогов Н. А., Аникин А. С., Минаев В. Н. Скандинавская лесозаготовительная техника и технология. История развития, лесоводственная оценка // Таежные леса на пороге XXI века. СПб: СПбНИИЛХ, 1999. С. 103–116.
- Калинин М. И. Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.
- Карпечко А. Ю. Изменение плотности и корненасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах Южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66–70.
- Орлов А. Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С. 64–70.
- Рахтеенко И. Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск, 1963. 254 с.
- Серый В. С., Аникеева В. А., Вялых Н. И., Кубрак Н. И. Изменение лесорастительных условий вырубок при современных лесозаготовках // Экологические исследования в лесах европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. С. 3–15.
- Сюнёв В. С., Соколов А. П., Коновалов А. П., Катаров В. К., Селиверстов А. А., Герасимов Ю. Ю., Карвинен С., Вяльккю Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Хельсинки: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.

- Шваров А. П., Смагин А. В., Дембовецкий А. В., Умарова А. Б., Поздняков А. И., Фаустова Е. В. Полевые методы определения физических свойств торфяных и минеральных почв: учеб. пособ. Тула: Гриф и К°, 2012. 144 с.
- Шегельман И. Р., Галактионов О. Н. Производительность лесосечных машин и оборудования: учеб. пособ. Петрозаводск: Петрозавод. гос. ун-т, 2001. 72 с.
- Jonsson Y. Mekaniserade metoder I gallringen. Stockholm, Skogs-O. Landlr.-Skad. Todskrift. 1976. 113 p.
- Moskalik T., Sadowski J. Einfluss von Holzernte und Ruckemaschinen auf den Waldboden und den verbleibenden Bestand: Vortr. FORMEC 98: 32. Int. Symp. Mech. Waldarbeit, Freising, Oct., 1998. Forstl. Forschungsbea. Munchen. 1998. N. 174. S. 74–81.
- Murphy G. Soil damage associated with production thinning // N. Z. J. For. Sci. 1982. V. 12. P. 281–292.
- Nadezhdina N., Čermak J., Neruda J., Prax A., Ulrich R., Nadezhdin V., Gasperek J., Pokorny E. Roots under the load of heavy machinery in spruce trees // Europ. J. For. Res. 2006. V. 125. Iss. 2. P. 111–128.

EFFECTS OF DIFFERENT LOGGING PRACTICES ON SOIL DENSITY AND ROOT MASS

A. Yu. Karpechko

*Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
Federal Research Center Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences
Pushkinskaya str., 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910 Russian Federation*

E-mail: yuvkarp@onego.ru

Any movements of forest machines under the forest canopy are harmful for the stand. Their tracks and wheels damage the soil surface: strip off the litter, disturb the sequence of horizons, alter soil hydro-physical properties. These impacts affect the root content of soils. Especially sensitive in this sense is the spruce, whose roots are mostly concentrated in the topsoil which is disturbed by vehicles. To address the problem of stand damage, it is essential to wisely choose the logging technology and machinery. The widely used practices in Karelia are tree-length skidding by crawler tractors, as well as cut-to-length harvesting. The study aimed to assess the effect of various partial cut practices on soil density and the mass of spruce roots up to 3 mm thick in the middle taiga of Karelia. Soil density was studied in skid trails and in the interior of forest blocks not accessed by machines; root masses were compared. The method of soil monoliths sampled from skid trails and blocks throughout the logging area was used. Cutting to length by machines (harvester + forwarder) was found to cause the heaviest topsoil compaction, as compared to mechanized cut-to-length harvesting (chain-saw + forwarder) or tree-length skidding. Root mass in the trail and inside the block, where machines did not reach, remained different for 12 subsequent years whichever practice was used. The difference was the greatest in the first several years after logging. Soil density in the trail recovered at a faster rate than the root mass.

Keywords: *soil density, root mass, logging machinery, operation technology, partial cut.*

How to cite: *Karpechko A. Yu. Effects of different logging practices on soil density and root mass // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2019. N. 5. P. 37–42 (in Russian with English abstract).*