

УДК 630\*221.04:630\*164.3:631.466.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

## **ВЛИЯНИЕ НЕСПЛОШНОЙ РУБКИ НА ТОНКИЕ КОРНИ И МИКОРИЗНЫЕ ОКОНЧАНИЯ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ\***

*А.Ю. Карпечко, канд. с.-х. наук, науч. сотр.*

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,  
ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910;  
e-mail: yuvkarp@onego.ru

Перемещение лесохозяйственных машин под пологом леса неизбежно влечет негативные последствия, которые затрагивают в первую очередь корневые системы деревьев. В то же время при разреживании древостоя происходит снижение конкуренции между оставшимися деревьями (как для их надземной, так и подземной части), изменяется влажность почвы, улучшается световой режим. Известно, что все лесообразующие породы имеют эктомикоризы. В таежной зоне, где преобладают относительно бедные почвы с замедленным процессом минерализации органических веществ, микоризы особенно полезны, так как благодаря им корни растений получают больше элементов питания из минеральных и органических соединений. Цель работы – исследование реакции корней и микоризных окончаний, оставшихся после рубки (механизированного разреживания) деревьев, на изменившиеся условия произрастания. Изучались корневые системы елового элемента древостоя на пробных площадях в Республике Карелия (среднетаежная подзона). Оценивалось их состояние через 5 и 14 лет после рубки. Использовался метод монолитов, отбираемых в технологических коридорах и пасаках по всей площади участка. Были выделены простая и папоротниковидная формы микориз ели. Установлено, что в технологическом коридоре масса корней после рубки уменьшается и на ее восстановление в данных условиях требуется не менее 14 лет. Формирование микоризных окончаний происходит достаточно быстро. Через 5 лет после проведения рубки плотность микоризных окончаний на корнях, сохранившихся в технологических коридорах, составляет как минимум 54 % от фоновых значений на пасаках. В отдельных случаях наблюдается активное восстановление количества микоризных окончаний, и плотность их размещения в коридоре становится больше, чем в пасаке. Снижение корневой конкуренции, увеличенный световой поток, достигающий поверхности почвы в зоне технологического коридора, являются положительными факторами в процессе развития тонких корней и микоризных окончаний. Результаты работы могут быть использованы для оценки экологических последствий сплошных рубок, которые активно применяют для удовлетворения потребностей в древесине.

*Ключевые слова:* корни, микоризные окончания, сплошная рубка, технологический коридор, пасака.

### *Введение*

Разреживание является не только одним из важных лесохозяйственных мероприятий ухода за лесом, но и источником древесного сырья. В настоящее

---

\*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института леса КарНЦ РАН (0220-2017-0001).

*Для цитирования:* Карпечко А.Ю. Влияние сплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 23–32. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

время в связи со значительным истощением лесосырьевой базы ресурсная составляющая несплошных рубок становится весомере. Рубки леса приводят к изменению условий среды: освещенности, влажности, температуры, плотности и структуры почвы. Это сказывается на корневой системе, особенно на тонких корнях, как ее наиболее активной части, выполняющей поглощательную, выделительную, синтетическую, проводящую и, частично, запасающую функции.

Важная характеристика, определяющая условия жизни растений, – плотность почвы, от которой зависят воздушный, водный и тепловой режимы. Наиболее существенные изменения наблюдаются в поверхностных горизонтах почвы технологических коридоров вследствие передвижения лесохозяйственных машин [14]. Нарушение почвенной поверхности снижает функционирование корневой системы и, как следствие, уменьшает прирост древесины [7, 11–13]. Машины, перемещающиеся под пологом леса, также наносят корням механические повреждения, что приводит к ухудшению жизнедеятельности дерева [1].

Относительно низкие среднегодовые температуры и короткий вегетационный период, характерные для таежной зоны, обуславливают замедленную минерализацию органических веществ и преобладание грубогумусных почв, бедных элементами питания. Это является благоприятным фоном для симбиоза высшего растения с грибом [9]. Все основные лесобразующие породы имеют эктомикоризы, при этом корневые волоски отсутствуют и сосущие окончания корней изолированы от почвы грибным чехлом [8]. В лесных экосистемах эктомикоризные грибы ассоциированы почти со всеми всасывающими корнями древесных растений и могут составлять до 1/3 микробной биомассы в почве [15]. За счет развитого мицелия увеличивается поглощающая поверхность корня, что повышает поступление в растение воды и питательных веществ [9, 10, 16].

После рубки корневые системы оставшихся деревьев растут и формируются в изменившихся условиях, происходит снижение конкуренции за воду и питательные вещества. Минерализация органического вещества корней вырубленных деревьев дополнительно обогащает почву. Сгнившие корни нарушают ее монолитность, что облегчает освоение почвы живым корням [2]. Основным показателем, характеризующим процесс адаптации корневых систем к изменившимся условиям среды, является масса корней на единице площади (корненасыщенность). Отслеживая этот показатель, можно судить о скорости освоения почвы корневыми системами оставшихся после рубки деревьев.

В связи с широкой распространенностью, а также важным участием микоризы в питании растения необходимо изучение реакций микоризных корневых окончаний на изменение условий произрастания после разреживания. Это позволит оценить экологические последствия лесохозяйственного мероприятия и его влияние на продуктивность древостоя в длительной перспективе.

Изучение состояния корневых систем насаждений представляет собой существенный компонент оценки последствий несплошных рубок, которые активно используются для удовлетворения потребностей в древесине.

Цель работы – изучение реакции корней, а также формы и количества микоризных окончаний, их длины и плотности размещения на корне при изменении условий произрастания после разреживания.

#### *Объекты и методы исследования*

Работы проводились на пробных площадях (ПП) в южной части Карелии (среднетаежная подзона), заложенных в ельниках черничных свежих,

пройденных несплошными рубками разной давности. Площадь ПП – 0,2 га. Рубки в насаждениях, где были собраны экспериментальные данные, выполнены в производственном порядке с применением бензомоторных пил; транспортировка древесины в виде сортиментов во время лесосечных работ осуществлена по заранее подготовленным технологическим коридорам с использованием форвардера-сортиментовоза ЛТ-189. Ширина коридора – 4 м.

Почва модергумусная среднеподзолистая суглинистая. Более подробные характеристики опытных объектов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика древостоев**

ПП	Состав	Средние		Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Выборка по запасу, %	Давность рубки, лет
		диаметр, см	высота, м				
1	5E <sub>70</sub> 2C1B2Oc	16	15	0,7	238	30	14
2	5E <sub>145</sub> 2E <sub>90</sub> 1B2Oc едС	22	19	0,6	173	21	5
3	6E <sub>130</sub> 3E <sub>90</sub> 1B+Oc едС	18	17	0,6	145	20	5
4	2E <sub>110</sub> 5E <sub>170</sub> 1B2Oc+С	24	19	0,6	166	23	5

При взятии образцов для определения корненасыщенности использовали метод монолитов [4, 5], отбираемых по всей площади участка (по 10 шт. в технологическом коридоре и в пасеке). Размер монолита – 10 × 10 см, глубина образца – 20 см, поскольку это наиболее корнеобитаемый слой почвы, к тому же подвергающийся значительному воздействию лесозаготовительной техники. Из монолита (отдельно из подстилки и минерального слоя почвы) извлекали корни ели диаметром до 3 мм, сушили до абсолютно-сухого состояния, взвешивали и рассчитывали корненасыщенность. В среднем на всех ПП мощность почвенного горизонта (лесной подстилки) составляла 7 см. Дополнительно отбирали образцы, из которых отдельно извлекали корни предпоследнего порядка общей длиной с каждого образца не менее 10 см. Далее образцы корневых систем фотографировали и анализировали полученные фотографии. Учитывали микоризы, их форму, количество и длину каждой из выделенных форм. В ходе количественного анализа сосущих окончаний измеряли длину несущих корней, отобранных в каждом из образцов. В дальнейшем осуществляли пересчет числа окончаний на единицу длины несущего корня (плотность размещения микориз) [6].

*Результаты исследования и их обсуждение*

На всех изучаемых ПП при давности рубки 14 (ПП 1) и 5 (ПП 2–4) лет в 20-сантиметровом слое почвы общая масса корней ели диаметром до 3 мм больше в пасеке, чем в технологическом коридоре (табл. 2).

Таблица 2

**Масса корней (кг/м<sup>2</sup>) диаметром до 3 мм в 20-сантиметровом слое почвы**

ПП	Коридор	Пасека	Разница, %
1	0,08±0,02	0,09±0,01	–11
2	0,08±0,01	0,18±0,03	–56
3	0,08±0,01	0,26±0,03	–69
4	0,01±0,003	0,05±0,01	–80

При рассмотрении массы корней отдельно по почвенным горизонтам (табл. 3) можно отметить, что в большинстве случаев и в лесной подстилке, и в минеральном слое почвы пасека также больше насыщена корнями, чем технологический коридор.

Таблица 3

**Масса корней (кг/м<sup>2</sup>) диаметром до 3 мм в верхних почвенных горизонтах**

ПП	Лесная подстилка			Минеральный горизонт		
	Коридор	Пасека	Разница, %	Коридор	Пасека	Разница, %
1	0,07	0,05	+40	0,009	0,04	-78
2	0,05	0,07	-29	0,03	0,11	-73
3	0,03	0,15	-80	0,05	0,10	-50
4	0,006	0,04	-85	0,008	0,01	-20

Отдельно можно выделить ПП 1, где рубка была проведена 14 лет назад. Плотность почвы в технологическом коридоре, которая увеличивается во время лесохозяйственных работ, с ростом давности рубки становится близкой к фоновому значению [3]. Согласно полученным данным, на ПП 1 (давность рубки 14 лет) разница между плотностью почвы в коридоре и пасеке составляет всего 3 %, тогда как на ПП 2–4 (давность рубки 5 лет) этот показатель достигает 13 %. Снижение плотности почвы положительно сказывается на массе корней. Необходимо также отметить, что насаждение, где заложена ПП 1, является самым молодым из изучаемых древостоев – 80 лет, тогда как возраст других составляет 110–145 лет. К возрасту 110–145 лет энергия роста корней уже снижена, и они не могут быстро реагировать на изменения условий среды [2]. На ПП 1 отмечены наименьшая разница (11 %) в общей массе корней ели в 20-сантиметровом слое почвы между коридором и пасекой (см. табл. 2) и преобладание корней в лесной подстилке коридора над пасекой (табл. 3). Это объясняется тем, что корневые системы древостоев в возрасте 80 лет отличаются большей энергией роста. За время после рубки они освоили лесную подстилку, нарастив свою массу.

Таким образом, площадь технологического коридора после несплошной рубки в меньшей степени заселена корнями по сравнению с пасекой, где нет воздействия движителей лесохозяйственных машин. Со временем разница в корненасыщенности между коридором и пасекой сглаживается, корни стремятся занять коридор, где корневая конкуренция значительно ниже, освещенность выше, чем в пасеке.

В ходе исследования сосущих окончаний корней были выделены две основные формы микориз ели: простая (удлиненно-булавовидная, как правило, с округлым кончиком) и папоротниковидная (моноподиально ветвящиеся микоризные окончания). Цвет микориз варьировал от светло-коричневого до черного.

Микоризных окончаний простой формы больше, чем папоротниковидных на всех участках (табл. 4).

Таблица 4

**Плотность размещения (шт./мм) микоризных окончаний**

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	0,042	0,065	0,073	0,040	0,079	0,077	0,080	0,058
Папоротниковидная	0,019	0,042	0,042	0,025	0,028	0,035	0,036	0,035

На ПП 1 плотность размещения микориз на корне в коридоре выше по сравнению с пашкой. Это относится к микоризам простой (в 1,5 раза) и папоротниковидной (более чем в 2 раза) формы. Как уже отмечалось, ПП 1 отличается давностью рубки (14 лет). Соответственно, масса корней и микоризные окончания за этот срок успевают восстановиться. Кроме того, здесь древостой имеет меньший возраст. Дополнительным положительным фактором для развития микоризных окончаний в коридоре являются снижение корневой конкуренции и то, что почва в коридорах благодаря значительно большему световому потоку, достигающему ее поверхности, прогревается лучше.

На ПП 2–4, где давность рубки составляет 5 лет, плотность размещения микориз в большинстве случаев выше в пашке. Это характерно как в целом для 20-сантиметрового слоя почвы, так и отдельно для лесной подстилки и минерального слоя почвы (табл. 4, 5).

Таблица 5

**Плотность размещения (шт./мм) микоризных окончаний  
в лесной подстилке (числитель) и минеральном слое почвы (знаменатель)**

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор
Простая	<u>0,041</u>	<u>0,072</u>	<u>0,090</u>	<u>0,036</u>	<u>0,108</u>	<u>0,077</u>	<u>0,070</u>	<u>0,046</u>
	0,043	0,058	0,063	0,048	0,048	0,077	0,084	0,069
Папорот-никовидная	<u>0,021</u>	<u>0,035</u>	<u>0,040</u>	<u>0,025</u>	<u>0,030</u>	<u>0,041</u>	<u>0,024</u>	<u>0,027</u>
	0,017	0,041	0,044	0,068	0,025	0,028	0,045	0,042

Необходимо отметить, что в отдельных случаях во время работы было сложно отнести корни конкретно к какому-либо почвенному слою, так как они находились на стыке подстилки с нижележащим минеральным горизонтом. Этим можно объяснить некоторые отклонения от общей тенденции при рассмотрении плотности микориз отдельно по горизонтам. В то же время данные о распределении корней и микоризных окончаний по горизонтам необходимы для понимания структуры и функционирования корневых систем.

Разница в плотности размещения микориз между технологическим коридором и пашкой колеблется от 54 до 125 % в зависимости от степени поврежденности почвенной поверхности, т. е. от экологических условий (см. табл. 4).

Показатель средней длины микоризного окончания на всех изучаемых объектах варьирует: у простых микориз – от 1,50 до 2,55 мм, у папоротниковидных – от 10,45 до 17,14 мм (табл. 6).

На ПП 1 (давность рубки 14 лет) микоризы обеих форм в технологическом коридоре короче, чем в пашке. Это относится и к общему 20-сантиметровому слою почвы (простые микоризы здесь на 21 % длиннее в пашке, а папоротниковидные – на 27 %) и отдельно к подстилке и минеральному слою почвы (в подстилке простые микоризы длиннее на 21 %, папоротниковидные – на 41 %; в минеральном слое простые длиннее на 22 % в пашке, папоротниковидные – на 7 %) (табл. 7).

Таблица 6

## Средняя длина (мм) микоризных окончаний

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	2,45±0,15	1,93±0,09	1,76±0,08	2,55±0,19	1,50±0,04	1,78±0,06	2,16±0,11	2,41±0,12
Папоротниковидная	17,14±1,29	12,50±0,64	13,93±0,78	14,42±0,99	11,14±0,47	10,45±0,43	14,06±0,95	15,02±1,02

Примечание. Здесь и далее, в табл. 7, приведены данные с ошибкой определения.

Таблица 7

## Средняя длина (мм) микоризных окончаний в лесной подстилке (числитель) и минеральном слое почвы (знаменатель)

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	2,57±0,25	2,02±0,15	1,29±0,08	2,31±0,21	1,36±0,04	1,68±0,08	2,36±0,20	2,76±0,19
Папоротниковидная	2,37±0,19	1,86±0,09	2,28±0,13	2,86±0,32	1,85±0,08	1,88±0,09	2,01±0,13	2,20±0,15
	21,73±2,23	12,84±1,20	12,17±1,22	14,30±1,16	9,53±0,60	9,92±0,53	12,46±1,33	15,56±1,92
	13,18±1,12	12,32±0,75	15,14±0,99	14,84±1,85	13,26±0,73	11,28±0,70	14,79±1,23	14,38±1,18

С течением времени, когда плотность почвы приблизится к фоновому значению, в технологическом коридоре плотность микоризных окончаний становится больше при их небольшой длине. Обратная картина в пасеке, где, по-видимому, меньшее количество микоризных окончаний, увеличивая свою длину, стремится занять больший объем почвы.

На ПП 2–4 (давность рубки 5 лет), где в подавляющем большинстве случаев корней и микориз больше в пасеке, длина микоризных окончаний напротив больше в технологическом коридоре. Так, на ПП 2 в 20-сантиметровом слое почвы простые микоризные окончания длиннее на 31 % в коридоре, папоротниковидные – на 4 % (см. табл. 6). Похожая картина отмечена отдельно и в лесной подстилке, и в минеральном слое почвы (табл. 7). Почвенный слой в технологических коридорах, нарушенный во время лесохозяйственных работ, препятствует нарастанию массы корней и микоризных окончаний.

#### *Заключение*

После рубки происходит значительное снижение массы корней в зоне технологического коридора. Корневые системы деревьев вновь заселяют эту зону в течение длительного времени. Скорость процесса зависит от первоначальной степени поврежденности почвенного субстрата. При значительной поврежденности почвы восстановление занимает больше времени. Кроме того, на процесс восстановления влияет возраст древостоя, в котором проведена рубка. После 80 лет происходит снижение энергии роста корневых систем, что также замедляет восстановление корневой массы. Данное обстоятельство должно учитываться при назначении несплошных рубок в древостоях старших возрастов. В них особое значение приобретает максимально возможное сохранение корневых систем в зонах проезда техники, в том числе и путем оптимизации размещения транспортной сети, предпочтительного проведения рубки в зимний сезон с установившимся снежным покровом и промерзшей почвой.

Формирование микоризных окончаний происходит достаточно быстро. Через 5 лет после проведения рубки их плотность на корнях, сохранившихся в технологическом коридоре, составляет более 54 % от фоновых значений в пасеке. В отдельных случаях наблюдается активное восстановление количества микоризных окончаний, плотность их размещения в коридоре становится больше, чем в пасеке. Условия, создающиеся в коридоре (снижение корневой конкуренции, увеличение светового потока, достигающего поверхности почвы), являются положительными факторами для развития тонких корней и микоризных окончаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н., Копытков В.В. Оценка состояния хвойных деревьев на вырубках в условиях Европейского Севера // Вестн. САФУ. Сер. «Естественные науки». 2015. № 1. С. 85–94.
2. Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.
3. Карпечко А.Ю. Изменение плотности и корненасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66–70.

4. Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годового прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С. 64–70.
5. Рахтеенко И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск: АН БССР, 1963. 254 с.
6. Семенова Л.А. Морфология микориз сосны обыкновенной в спелых лесах // Микоризные грибы и микоризы лесообразующих пород Севера. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1980. С. 103–132.
7. 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. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
8. Шубин В.И. Микотрофность древесных пород, ее значение при разведении леса в таежной зоне. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1973. 264 с.
9. Шубин В.И. Пути использования микотрофии древесных пород в лесном хозяйстве таежной зоны. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. 40 с.
10. Bowen G.D. The Ecology of Ectomycorrhiza Formation and Functioning // Plant and Soil. 1994. Vol. 159, iss. 1. Pp. 61–67.
11. Jonsson Y. Mekaniserade metoder i gallringen // Skogs-O. Landlr.-Skad. Tidskrift. 1976. 113 p.
12. Kardell L. Traktorskadorna och tillväxtförluster hos gran – analys av ett 10-årigt försök // Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift. 1978. No. 3. Pp. 305–322.
13. Murphy G. Soil Damage Associated with Production Thinning // New Zealand Journal of Forestry Science. 1982. Vol. 12, iss. 2. Pp. 281–292.
14. Nadezhdina N., Čermak J., Neruda J., Prax A., Ulrich R., Nadezhdin V., Gaspárek J., Pokorný E. Roots under the load of heavy machinery in spruce trees // European Journal of Forest Research. 2006. Vol. 125, iss. 2. Pp. 111–128.
15. Wallander H., Nilsson L.O., Hagerberg D., Bååth E. Estimation of the Biomass and Seasonal Growth of External Mycelium of Ectomycorrhizal Fungi in the Field // New Phytologist. 2001. Vol. 151, iss. 3. Pp. 753–760.
16. Wallander H., Wickman T., Jacks G. Apatite as P Source in Mycorrhizal and Non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* Seedlings // Plant and Soil. 1997. Vol. 196, iss. 1. Pp. 123–131.

Поступила 15.12.17

UDC 630\*221.04:630\*164.3:631.466.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

### The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce

*A.Yu. Karpechko, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer*

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: yuvkarp@onego.ru

Tree root systems often are affected by the forestry machinery movement under the forest canopy. At the same time, thinning has a positive effect in decreasing competition between

---

*For citation:* Karpechko A.Yu. The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 23–32. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

remaining trees (both for their aboveground and underground parts); the soil moisture changes and the light regime improves. All forest-forming species have ectomycorrhizae. Mycorrhizas are especially useful in the taiga zone where relatively poor soils with the slow mineralization process of organic substances predominate, since plant roots receive more nutrition elements from mineral and organic compounds. The goal of research is to study the reaction of roots and mycorrhizas left after felling (mechanized thinning) to the changed conditions of growth. The root systems of the spruce element of the stand were studied in permanent sample plots in the Republic of Karelia (middle taiga subzone). Their condition was estimated in 5 and 14 years after cutting. We used the method of monoliths selected in technological corridors and swaths throughout the area of the site. Simple and ferny forms of spruce mycorrhiza were observed. The root mass was reduced significantly after felling in the technological corridor and could be restored in at least 14 years. Mycorrhiza formation occurred quickly enough. 5 years after felling, the mycorrhiza density on the roots preserved in the technological corridors reached at least 54 % of the background values in the swaths. In some cases, we observed an active restoration of mycorrhiza; their density in the technological corridor was higher than in the swath. Reduction of root competition, increased luminous flux reaching the soil surface in the zone of the technological corridor, are positive factors in the development of tender roots and mycorrhiza. The results of the study can be used to assess the environmental consequences of partial cutting, which is a remarkable wood sourcing.

*Keywords:* root, mycorrhiza, partial cutting, technological corridor, swath.

#### REFERENCES

1. Zarubina L.V., Konovalov V.N., Feklistov P.A., Klevtsov D.N., Kopytkov V.V. Otsenka sostoyaniya khvoynykh derev'ev na vyrubkakh v usloviyakh Evropeyskogo Severa [Conifers Stand Condition Assessment in the Fellings in a Climate of the European North]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2015, no. 1, pp. 85–94.
2. Kalinin M.I. *Formirovanie kornevoy sistemy derev'ev* [Formation of the Tree Root System]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 152 p. (In Russ.)
3. Karpechko A.Yu. Izmenenie plotnosti i kornenasyshchennosti pochv pod vliyaniem lesozagotovitel'noy tekhniki v elovykh lesakh yuzhnoy Karelii [Changes in Density and Root Occupation of Soils under the Influence of Logging Machines in Spruce Forests of South Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 5, pp. 66–70.
4. Orlov A.Ya. Metod opredeleniya massy korney derev'ev v lesu i vozmozhnost' ucheta godichnogo prirosta organicheskoy massy v tolshe lesnoy pochvy [Method for Determining the Mass of Tree Roots in the Forest and Accounting for the Annual Increase in the Organic Mass in the Forest Soil Depth]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1967, no. 1, pp. 64–70.
5. Rakhtenko I.N. *Rost i vzaimodeystvie kornevykh sistem drevesnykh rasteniy* [Growth and Interaction of Root Systems of Woody Plants]. Minsk, AS BSSR Publ., 1963. 254 p. (In Russ.)
6. Semenova L.A. Morfologiya mikoriz sosny obyknovennoy v spelykh lesakh [Mycorrhizal Morphology of Scots Pine in Mature Forests]. *Mikoriznye griby i mikorizy lesoobrazuyushchikh porod Severa* [Mycorrhizal Fungi and Mycorrhizas of Forest-Forming Species of the North]. Petrozavodsk, Karelian Branch AS USSR Publ., 1980, pp. 103–132. (In Russ.)
7. Syunev V.S., Sokolov A.P., Konovalov A.P., Katarov V.K., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Karvinen S., Vyal'kkyu E. Sravnenie tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyah Respubliki Kareliya [The Comparison of Logging

Technology in Lumber Companies in the Republic of Karelia]. NII lesa Finlyandii METLA [Finnish Forest Research Institute (Metla)], 2008. 126 p. (In Russ.)

8. Shubin V.I. *Mikotrofnost' drevesnykh porod, ee znachenie pri razvedenii lesa v taezhnoy zone* [Woody Plants Mycotrophy and Its Importance for the Forest Cultivation in the Taiga Zone]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 264 p. (In Russ.)

9. Shubin V.I. Puti ispol'zovaniya mikotrofii drevesnykh porod v lesnom khozyaystve taezhnoy zony [Ways to Use Woody Species Mycotrophy in the Taiga Forestry]. Petrozavodsk, Karelian Branch AS USSR Publ., 1983. 40 p. (In Russ.)

10. Bowen G.D. The Ecology of Ectomycorrhiza Formation and Functioning. *Plant and Soil*, 1994, vol. 159, iss. 1, pp. 61–67.

11. Jonsson Y. Mekaniserade metoder i gallringen. *Skogs-O. Landlr.-Skad. Tidskrift*, 1976. 113 p.

12. Kardell L. Traktorskador och tillväxtförluster hos gran – analys av ett 10-årigt försök. *Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift*, 1978, no. 3, pp. 305–322.

13. Murphy G. Soil Damage Associated with Production Thinning. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1982, vol. 12, iss. 2, pp. 281–292.

14. Nadezhdina N., Čermak J., Neruda J., Prax A., Ulrich R., Nadezhdin V., Gasparek J., Pokorný E. Roots under the Load of Heavy Machinery in Spruce Trees. *European Journal of Forest Research*, 2006, vol. 125, iss 2, pp. 111–128.

15. Wallander H., Nilsson L.O., Hagerberg D., Bååth E. Estimation of the Biomass and Seasonal Growth of External Mycelium of Ectomycorrhizal Fungi in the Field. *New Phytologist*, 2001, vol. 151, iss. 3, pp. 753–760.

16. Wallander H., Wickman T., Jacks G. Apatite as P Source in Mycorrhizal and Non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* Seedlings. *Plant and Soil*, 1997, vol. 196, iss. 1, pp. 123–131.

Received on December 15, 2017

---