

ВЛИЯНИЕ ФОРВАРДЕРОВ НА ЛЕСНЫЕ ПОЧВО-ГРУНТЫ*

В.К. Катаров¹, В.С. Сюнёв¹, Е.И. Ратькова¹, Ю.Ю. Герасимов²

¹Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, 185910 Петрозаводск, Россия. E-mail: vkatarov@psu.karelia.ru; siounev@psu.karelia.ru; dev@psu.karelia.ru.

²НИИ леса Финляндии, П.Я. 68, 80101 Йоэнсуу, Финляндия. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi

Статья поступила 01.12.2011, принята 20.12.2012, опубликована 28.12.2012

В рамках поставленного опыта выявлено, величина уплотнения зависела от числа проходов, наличия хворостяной подушки, использования гусениц и влажности почвы. В сравнении с вариантами, где использовался форвардер, не оборудованный гусеницами и не было хворостяной подушки, в случае применения гусениц уплотнение влажных и мокрых почво-грунтов происходило более равномерно. Корни, присутствующие в лесной почве, помогают формированию зоны уплотнения под звеном гусеницы, которое происходит в ходе первых проходов. С увеличением числа проходов, зона уплотнения углубляется и частично разрушается с боковым выдавливанием грунта. Затем происходит небольшое увеличение плотности, что связано с формированием вторичных зон уплотнения. Результаты применения хворостяной подушки показали, что слой лесосечных отходов снижает влияние от первого и последующих проходов форвардера. Плотность почво-грунта при этом значительно не изменялась. Увеличение плотности почво-грунта составило около 10% по сравнению с плотностью почво-грунта, покрытого слоем лесосечных отходов. Также в рамках проведенного исследования было отмечено, что эффект от устройства хворостяной подушки практически одинаков как для колесного, так и для гибридного движителя. В отношении колеобразователя сортиментный метод не отвечает экологическим требованиям для рубок прореживания (глубина колеи должна быть меньше 0,15 м). Кроме того, на мокрых почвах глубина колеи достигла величины дорожного просвета форвардера (0,67 м). Результаты применения гусениц показали, что глубина колеи не отвечает экологическим требованиям для рубок прореживания, особенно на мокрых почвах, однако ее значение оставалось меньше величины дорожного просвета форвардера. При использовании хворостяной подушки глубина колеи изменялась незначительно.

Ключевые слова: сортиментная технология, глубина колеи, плотность почвы, хворостяная подушка, гусеница

IMPACT OF WOOD FORWARDING ON FOREST SOILS

V.K. Katarov¹, V.S. Syunev¹, E.I. Ratkova¹, Y.Y. Gerasimov²

¹Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, 185910 Petrozavodsk, Russia. E-mail: vkatarov@petsu.ru; siounev@petsu.ru; dev@psu.karelia.ru.

²Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 68, 80101 Joensuu, Finland. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi.

Received: 1 December 2012 / Accepted: 20 December 2012 / Published: 28 December 2012

Mechanised CTL harvesting in thinning, clear felling, and extraction are potentially damaging harvesting sites, as operations are conducted under all weather conditions involving predominantly heavy machinery. Extreme machine sinkage has a direct influence on productivity, fuel consumption, and the cost of harvesting operations, leads to site disturbance and soil damage. This is especially true in areas with soft soils in spring and autumn, where options are used to improve the operational capability of the existing CTL system, such as “bogie tracks” and “slash reinforcement”. Regarding soil compaction, the CTL system met the ecological requirements for its use on common forest soils in northwest Russia within the bounds of this experimental design. However, an

* В статье представлены результаты исследования, опубликованного ранее в отчете по международному проекту «Лесозаготовки и логистика» [1].

increase in bulk density was found in all treatments at the silt loam soil surface (0 to 5 cm depth). The magnitude of the increase was a function of the number of passes, slash/track presence, and moisture content. In comparison with conventional wheel treatments, bogie track treatments showed that the compaction of wet and moist silt loam held irregularly. The formation of a compacted zone under the traction element, helped by the reinforcement of forest soil roots, took place in the first phase. With an increasing number of passes, the compacted zone deepened and partly collapsed, and there was a lateral bulging of the soil. Then, there was a slight increase in density because of the formation of secondary hardened zones. The results for slash reinforcement treatments indicated that a layer of slash mitigated the effect of a single forwarder pass and subsequent passes. The bulk density did not change considerably. The increased bulk density for the forest soils was nearly 10% of that of the slash-covered soils. In addition, the presence of the combination of “slash + track” made no apparent difference within the bounds of the experimental design. Regarding sinkage, the CTL system with a conventional wheel did not meet the ecological requirements for thinning (rut depth should be less than 0.15 m). Moreover, rut depth reached the forwarder clearance of the machine (0.67 m) on wet soil. The results of bogie track treatments showed that rut depth did not meet the ecological requirements for thinning (0.15 m), particularly on wet soil, but was within the forwarder clearance of the machine. In the slash treatments, rut depth changed only slightly. All mechanised harvesting systems applied in Russia cause different kinds of negative environmental impacts. When applied on sandy or sandy loam soils, all mechanised systems demonstrated almost the same impacts on the soil. However, the proportion of sandy soils is small in Russian forests in comparison with loams and clays. On loams and clays, the TL and FT systems, unlike the CTL system, resulted in significant soil compaction, but at the same time formed almost no track. Over 50% of the harvesting sites in Russia are on wet and soft soil. Therefore, the application of the CTL system has to be improved in order to reduce rut formation in most common soils. Hence, the associated CTL machine ground contact devices and slash layer must be suitably adapted for specific harvesting sites, based on terrain classification criteria.

Keywords: cut-to-length method; forest soils; rut depth; bulk density; slash; bogie track

Введение

Машинизированные системы сортиментного метода лесозаготовок, базирующиеся на применении однозахватного харвестера и колесного форвардера, стали обычными для России [2]. Переход от традиционного хлыстового метода и заготовки деревьями к таким системам объясняется многими причинами, включая уменьшение трудоемкости работ, снижение коэффициента тяжести труда, меньшую нагрузку на лесную экосреду и сокращение размеров технологических площадей. Во многих конкретных условиях сортиментный метод не уступает хлыстовому по эффективности затрат. Однако, некоторые преимущества в конкретных условиях еще не были достаточно четко выявлены, главным образом, это касается преимуществ в проходимости и влиянии на экологию.

Механизированный сортиментный метод, применяемый для рубок ухода и сплошных рубок, может нанести вред окружающей среде на лесосеках, так как лесосечные операции осуществляются при любых погодных условиях с применением, в основном, тяжелых машин [3]. Глубокое колеобразование при работе машин оказывает прямое влияние на производительность, расход топлива и себестоимость лесозаготовительных операций, а также ведет к нарушению почвенного покрова. Особенно это заметно осенью и весной на лесосеках со слабыми грунтами, где для снижения причиняемого вреда и повышения проходимости колеса машин могут оснащаться гусеницами и устраиваются и хворостяные подушки из лесосечных отходов, уложенных на волокнистые материалы (Рис. 1).

Форвардер, колеса тандемной тележки которого оснащены гусеницами, оказывает в среднем меньшее давление на почву по сравнению с обычным колесным вариантом. Как результат, на слабых грунтах достигается гораздо меньше максимальное сопротивление движению, что повышает скорость и эффективность работы машины. Одновременно, через уменьшение колеобразования и уплотнения почвы, снижается общий вред наносимый лесной экосредой [4].



Рис. 1. Колесные гусеницы и хворостяная подушка.

При обработке стволов, харвестеры могут складывать сучья и вершины деревьев на волока для создания хворостяной подушки, что позволяет избежать колееобразования и снизить негативное воздействие на пористость и капиллярную проводимость почво-грунтов [5-7]. Снижение уплотнения почво-грунта при применении хворостяной подушки было признано положительным эффектом, хотя статистически значимой разницы не было зарегистрировано [8].

Несколько исследований [9-13] продемонстрировали преимущества от применения хворостяной подушки или использования оснащения гусеницами. Однако, эти преимущества не были однозначно определены для ряда условий. Поэтому целью данного исследования было определить, как применение колесных гусениц и хворостяных подушек влияет на колееобразование и уплотнение легких суглинистых почв и как это воздействие связано с передвижением форвардера и влажностью почвы.

Данные и методы

Первое полевое исследование с применением гусениц на колесах форвардера было проведено поздней весной 2009 года на лесосеке, расположенной рядом с г. Медвежьегорск в Республике Карелия. В опытах применялся форвардер Ponsse ELK. Второе полевое исследование по изучению влияния хворостяной подушки на колееобразование и уплотнение было выполнено в начале осени 2009 года на лесосеке рядом с г. Вышний Волочек в Тверской области с применением форвардера John Deere 1410 [14,15].

В Таблице 1 приводится характеристика опытных лесосек и использованных машин.

На опытных лесосеках почвы были представлены пылеватыми суглинками с относительной влажностью 80%, 88%, и 93%. Форвардеры, оборудованные шинами размерностью 710/45×26,5 и давлением в камерах 350 кПа, двигались по участкам в одном направлении со скоростью около 4 км/ч. За один проход принимался один рейс форвардера с грузом древесины весом 13 тонн.

Шесть линейных опытных участков (30 м × 4 м) были размечены на лесосеках. На каждом участке выделялись следующие точки замеров: след от левых колес, след от правых колес и зоны забора проб для измерений свойств почво-грунтов. Глубина колеи была определена как среднее из глубин следов правых и левых колес. Для определения уплотнения почвы слой гумуса удалялся, после чего забирались почвенные образцы с помощью почвоотборника. Образцы почво-грунтов брались в выбранных точках из поверхностного слоя глубиной 0-5 см по центру колесных следов в соответствии со стандартной методологией (ГОСТ 12071-84 [16]). Затем почвенные образцы, помещенные в воздухонепроницаемые бюксы, доставлялись в лабораторию, где проводилось их взвешивание на электронных весах с точностью до 0,01 г. Также определялись гранулометрический состав грунта, число пластичности и насыпная плотность образцов.

Таблица 1. Характеристики опытных лесосек и использованных машин.

Регион	Площадь лесосеки, га	Древесные породы, %	Запас м ³ /Га	Объём ствола м ³	Форвардер	Вес груза при опытных проходах
Республика Карелия	16,5	Сосна, 30 Ель, 30 Береза и Осина, 40	162	0,215	6-колесный Ponsse ELK Полезная нагрузка: 13 т Шины: передние – 700/55×34, задние – 710/45×26,5, Давление: 350 кПа Дорожный просвет: 0,67 м Гусеницы: 700×26,5	13 т (16 м ³ древесины)
Тверская область	21,2	Ель, 30 Береза, 20 Осина, 50	252	0,314	8-колесный John Deere 1410 Полезная нагрузка: 14 т Шины: передние и задние 710/45×26,5 Давление: 350 кПа Дорожный просвет: 0,605 м Гусеницы: “Olofsfors” 700×26,5	13 т (16 м ³ древесины)

На каждом из опытных участков проводилось исследование 1 из 6 вариантов (комбинации движителей форвардеров, контактирующих с поверхностью, типа и относительной влажности почво-грунта W) при числе проходов форвардера от 1 до 10:

- Лесной почво-грунт, обычные колеса с шинами, $W = 93\%$, (KW93)
- Лесной почво-грунт, обычные гусеницы 700×26,5, $W = 93\%$, (KT93)
- Лесной почво-грунт, обычные колеса с шинами, $W = 80\%$, (KW80)
- Лесной почво-грунт, гусеницы, $W = 80\%$, (KT80)
- Хворостяная подушка 15 кг/м², обычные колеса с шинами, $W = 88\%$, (TW88)
- Хворостяная подушка 15 кг/м², комбинированные колесные гусеницы 700×26,5, $W = 88\%$, (TT88).

Количество тестовых проходов форвардера было ограничено 10, так как предыдущее исследование показало, что наиболее сильное уплотнение почво-грунта происходит при первых нескольких проходах [12].

Для каждого из представленных выше вариантов проводилось 20 замеров глубины колеи и отбирались 44 почвенных образца. Выбор количества образцов (4), забираемых после прохода форвардера для каждого варианта, был сделан на основе предыдущего полевого исследования и расчетов [17].

Лесосечные отходы укладывались на волок харвестером при выполнении сплошной рубки в смешанном древостое в Тверской области (Таблица 1). Вдоль волоков было размечено 10 линейных опытных участков (1–1,5 м). На каждом из участков, лесосечные отходы были собраны и взвешены на пружинных весах с точностью до 0,1 кг. Вес крупных отходов (тяжелее 10 кг) рассчитывался на основе диаметра, длины и плотности древесины конкретной породы. Плотность хворостяной подушки в этих условиях была около 15 кг/м², а ее толщина находилась в пределах 15-20 см, что сопоставимо со значениями, полученными в других исследованиях (например, Галактионова *и др.* [18]). Было отмечено значительное разнообразие отходов по размерам, 18% от всех отходов приходилось на крупные обрезки (диаметром более 10 см), 15% приходилось на вершины деревьев.

Уплотнение почвы было проанализировано на основе изучения изменений плотности почво-грунта, вызванных движением форвардера. Для определения плотности почво-грунта с помощью почвоотборника были отобраны цилиндрические образцы диаметром 4 см и высотой

4 см. Масса образцов, высушенных в течение 12 часов при 105 °С, использовалась для определения плотности почво-грунта через отношение веса к объему и расчета влажности.

Для определения плотности почвы было отобрано 4 почвенных образца для каждого из 11 значений глубины почвенного профиля (0-5 см), что составило 44 образца с каждого опытного участка. Такой же подход использовался в предварительном эксперименте для забора контрольных образцов (в общем 20 образцов с участка) перед первым проходом форвардера. Вместе с изменением физических свойств почво-грунта была проанализирована повреждаемость почво-грунта путем замеров глубины колеи в центре каждого опытного участка. Все образцы были взяты после проходов форвардера, образцы неповрежденной почвы брались из центра межколесного пространства колеи.

Определение типов почво-грунтов проводилось в соответствии с российским стандартом классификации грунтов (ГОСТ 25100-95 [19]) на основе числа пластичности и относительных соотношений различных почвенных фракций, включенных в классы почвенных структур. Название класса почво-грунта было адаптировано к терминологии Министерства сельского хозяйства США, используя Словарь терминов почвенных наук [20].

Обработка собранных данных проводилась с использованием статистического и регрессионного анализа с применением SPSS 15.0 для Windows.

Результаты

Эффект от оснащения колес форвардера гусеницами

Средняя относительная влажность почвы была 93% на мокрых участках и 80% на влажных участках без хворостяной подушки.

В варианте «колеса на мокрых почвах (KW93)» начальная плотность почво-грунта была 1,06 г/см³. В ходе первых 5 проходов форвардера плотность почво-грунта незначительно увеличилась до 1,15-1,17 г/см³. После 6 и 7 прохода плотность почво-грунта снизилась до 1,11 г/см³, затем выросла опять и стабилизировалась после 9 и 10 прохода на значении 1,14 г/см³. Глубина колеи быстро увеличивалась, особенно в ходе первых 5 проходов, и достигла 0,71 м. Глубина колеи превысила дорожный просвет форвардера (0,67 м) после 9 прохода.

В варианте «гусеницы на мокрых почвах (KT93)» начальная плотность почво-грунта было 1,03 г/см³. После 6 проходов плотность почво-грунта увеличилась до 1,17 г/см³ и стабилизировалась между 7 и 10 проходом на значении 1,13 г/см³. Глубина колеи постепенно увеличивалась до 0,48 м, особенно резко в ходе первых 3 проходов. Дорожный просвет форвардера не был превышен.

В варианте «колеса на влажной почве (KW80)» начальная плотность почво-грунта была 1,06 г/см³. В ходе первых 4 проходов плотность почво-грунта увеличилась до 1,33 г/см³. С 5 по 7 проход плотность почво-грунта составляла 1,29 г/см³, затем между 8 и 10 проходом ее значение снизилось и стабилизировалось на уровне 1,24 г/см³. Глубина колеи быстро увеличивалась до 0,40 м, особенно в ходе первых 7 проходов. Дорожный просвет форвардера не был превышен.

В варианте «гусеницы на влажных почвах (KT80)» начальная плотность почво-грунта была 1,05 г/см³. В ходе первых 6 проходов плотность почво-грунта увеличилась до 1,33 г/см³. С 7 до 10 прохода плотность почво-грунта снижалась и стабилизировалась на уровне 1,30 г/см³. Глубина колеи постепенно увеличивалась до 0,22 м. Дорожный просвет харвестера не был превышен.

Эффект от применения хворостяной подушки

Относительная влажность почвы в ходе исследования была 88%, плотность хворостяной подушки составляла 15 кг/м². Начальная плотность почво-грунта была 1,06 г/см³.

В варианте «обычные колеса (ТW88)» плотность почво-грунта в ходе первых 5 проходов слегка увеличилась до 1,10 г/см³. После 6 и до 10 прохода плотность почвы стабилизировалась на уровне 1,11 г/см³. Колея была незначительна (глубина меньше 0,05 м).

В варианте «гусеницы (ТТ88)» плотность почво-грунта после первого прохода увеличилась до 1,08 г/см³, затем ее значение стабилизировалось на уровне 1,10–1,11 г/см³. Колея не была отмечена (глубина меньше 0,05 м).

Кривые плотности почво-грунта и глубины колеи были получены с использованием кубической регрессионной модели со значением коэффициента детерминации равным 0,99 для глубины колеи и 0,80-0,99 для плотности почво-грунта:

$$D = b_0 + b_1 \cdot v + b_2 \cdot v^2 + b_3 \cdot v^3$$

где:

D – глубина колеи (м) или плотность почво-грунта (г/см³),

v – совокупный объем вытрепанной древесины (м³),

b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения.

В Таблице 2 приведены коэффициенты кубической модели, переменные, зависящие от условий (влажность, гусеницы, хворостяная подушка).

Таблица 2. Коэффициенты кубической модели как переменные, зависящие от условий.

Вариант	Плотность				Глубина колеи			
	b0	b1	b2	b3	b0	b1	b2	b3
KW93	1,054	0,004	-5,53E-05	2,02E-07	0,052	0,007	-3,22E-05	7,45E-08
KT93	1,023	0,004	-3,49E-05	8,30E-08	0,020	0,005	-2,457E-05	8,16E-08
KW80	1,046	0,008	-8,20E-05	2,44E-07	0,033	0,003	-2,96E-06	3,088E-08
KT80	1,038	0,005	-2,80E-05	3,65E-08	0,012	0,003	-2,01E-05	7,07E-08
TW88	1,060	0,001	-7,97E-07	-3,32E-09				
TT88	1,064	0,001	-6,15E-06	2,28E-08				

Классификация почво-грунтов

В Таблице 3 приводятся результаты по классификации почво-грунтов.

Таблица 3. Распределение образцов по размеру почвенных частиц.

	Содержание почвенных фракций, %						
	Начальное значение	Варианты					
		KW93	KT93	KW93	KT93	TW88	TT88
Песчаные частицы	27	31	32	35	35	30	29
Пылеватые частицы	55	53	51	50	50	52	53
Глинистые частицы	18	16	17	15	15	18	18
Число пластичности	11,0	10,3	10,6	9,7	9,5	11,1	11,2
Тип грунта	Пылеватый суглинок						

Разница между начальной и общей массой образцов не превысила 0,05 г (меньше 0,05%). Относительное соотношение различных почвенных фракций в изученных почво-грунтах соответствует пылеватым суглинкам.

Обсуждение и заключение

В рамках поставленного опыта сортиментный метод отвечает экологическим требованиям, предъявляемым к уплотнению почвы для этого типа почвы ($1,4 \text{ г/см}^3$). Однако, увеличение плотности в поверхностном слое (глубиной 0-5 см) пылеватого суглинка было отмечено во всех рассмотренных вариантах. Величина уплотнения зависела от числа проходов, наличия хворостяной подушки, использования гусениц и влажности почвы.

В сравнении с вариантами, где использовался форвардер, не оборудованный гусеницами и не было хворостяной подушки, в случае применения гусениц уплотнение влажных и мокрых почво-грунтов происходило более равномерно. Корни, присутствующие в лесной почве помогают формированию зоны уплотнения под звеном гусеницы, которое происходит в ходе первых проходов. С увеличением числа проходов зона уплотнения углубляется и частично обрушивается с боковым выпиранием почво-грунта. Затем происходило небольшое увеличение плотности, что связано с формированием вторичных зон уплотнения. Результаты применения хворостяной подушки показали, что слой лесосечных отходов снижает влияние от первого и последующих проходов форвардера. Плотность почво-грунта при этом не изменялась значительно. Увеличение плотности почво-грунта составило около 10% по сравнению с плотностью почво-грунта, покрытого слоем лесосечных отходов. Также в рамках проведенного исследования было отмечено, что эффект от устройства хворостяной подушки практически одинаков как для колесного, так и для гибридного движителя. В отношении колеобразования сортиментный метод не отвечает экологическим требованиям для рубок прореживания (глубина колеи должна быть меньше 0,15 м). Кроме того, на мокрых почвах глубина колеи достигла величины дорожного просвета форвардера (0,67 м). Результаты применения гусениц показали, что глубина колеи не отвечает экологическим требованиям для рубок прореживания (0,15 м), особенно на мокрых почвах, однако ее значение оставалось меньше величины дорожного просвета форвардера. При использовании хворостяной подушки глубина колеи изменялась не значительно.

Все системы лесозаготовки (хлыстовой, деревьями и сортиментный методы), применяемые в России, оказывают различное негативное воздействие на лесную экосреду. При использовании на песчаных или супесчаных грунтах все системы оказывают почти одинаковые эффекты на почву [12]. Однако, доля песчаных и супесчаных почво-грунтов в российских лесах мала по сравнению с суглинками и глинами. На таких почвах системы для заготовки древесины хлыстами и деревьями, в отличие от систем сортиментной заготовки, вызывают значительное уплотнение почвы, но почти не формируют колеи. Более 50 % лесосек в России располагаются на мокрых и слабых почвах [21,22]. Поэтому практика применения систем сортиментной заготовки должна быть улучшена, чтобы уменьшить глубину колеи на наиболее распространенных почвах. Таким образом, колеса форвардеров, гусеницы и толщина хворостяной подушки должны адаптироваться к условиям конкретных лесосек и характеристики местности. Такая адаптация требует дальнейших исследований эффекта от применения колес, гусениц и укрепления из лесосечных отходов, а также изучения давления на почво-грунт и физических характеристик хворостяной подушки, которые подвергаются воздействию при деформации почвы, что, в свою очередь, негативно влияет на проходимость систем машин для сортиментной заготовки и наносит вред лесной экосреде.

Статья подготовлена при поддержке международного проекта ППС ЕИСП «Карелия» «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике».

Литература

1. Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе научные исследования и бизнес-возможности / В. Гольцев, Т. Толонен, В. С. Сютёв, Б. Далин, Ю. Герасимов, С. Карвинен // Труды НИИ леса Финляндии. – Йоэнсуу, 2012. – Вып. 221. – 159 с.
2. Gerasimov Y., Sokolov A., Karjalainen T. GIS-based decision support program for planning and analysing short-wood transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – № 29(2). – С. 163-175.
3. Zeleke G., Owende P. M. O., Kanali C. L., Ward, S. M. Predicting the pressure–sinkage characteristics of two forest sites in Ireland using in situ soil mechanical properties // Biosystems Engineering. – 2007. – № 97(2). – С. 267–281.
4. Batelaan J. Development of an all terrain vehicle suspension with an efficient, oval track // Journal of Terramechanics. – 1998. – № 35(4). – С. 209–223.
5. Eliasson L., Wästerlund I. Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil // Forest Ecology and Management. – 2007. – № 252(1–3). – С. 118–123.
6. McMahon S., Evanson T. The effect of slash cover in reducing soil compaction resulting from vehicle passage // LIRO Report. – 1994. – № 19(1). – С. 1–8.
7. Jakobsen B. F., Moore G. A. Effects of two types of skidders and of a slash cover on soil compaction by logging of mountain ash // Australian Journal of Forest Research. – 1981. – № 11. – С. 247–255.
8. McDonald T. P., Seixas F. Effect of slash on forwarder soil compaction // International Journal of Forest Engineering. – 1997. – № 8(2). – С. 15–26.
9. Bygdén G., Eliasson L., Wästerlund I. Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks // Journal of Terramechanics. – 2003. – № 40(3). – С. 179–190.
10. Šušnjarić M., Horvat D., Šešeljić J. Soil compaction in timber skidding in winter conditions // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2006. – № 27(1). – С. 3–15.
11. Sakai H., Nordfjell T., Suadicani K., Talbot B., Bøllehuus E. Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – № 29(1). – С. 15–27.
12. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В. Сютёв, А. Соколов, А. Коновалов, В. Катаров, А. Селиверстов, Ю. Герасимов, С. Карвинен, Э. Вяльккю. – Йоэнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2008. – 126 с.
13. Галактионов О.Н., Безлатный П.В. Определение упругих свойств слоя лесосечных отходов завода // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. – 2010. – Вып. 8. – С. 26-29. – С 2013 г. загл. Resources and Technology.
14. Gerasimov Y., Katarov V. Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2009. – №31. – С. 35-45.
15. Gerasimov Y., Sokolov A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2009. – № 30(2). – С. 159-170.
16. ГОСТ 12071-84. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
17. Редькин А.К. Основы моделирования и оптимизации лесозаготовок. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 256 с.
18. Галактионов О., Кузнецов А., Пискунов М. Характеристики настила из лесосечных отходов и состояние грунта на трелевочном волоке // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2009. – № 7(101). – С. 90-95.
19. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
20. Glossary of Terms in Soil Science // Publications Canada Department of Agriculture, Research Branch. – Ottawa, 1976. – Вып. 1459. – 44 с.
21. Промежуточное пользование лесом на Северо-Западе России / Ананьев В., Асикайнен А., Вяльккю Э., Герасимов Ю., Демин К., Сиканен Л., Сютёв В., Тюкина О., Хлюстов В., Ширнин Ю. – Йоэнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2005. – 150 с.
22. Герасимов Ю. Ю., Сютёв В. С. Экологическая оптимизация технологических машин для лесозаготовок. – Йоэнсуу: Университета Йоэнсуу, 1998. – 178 с.

References

1. Goltsev, V., Tolonen, T., Syunev, V., Dahlin, B., Gerasimov, Y., Karvinen, S. (eds.), 2012: Wood harvesting and logistics in Russia - focus on research and business opportunities. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 221, 159 p.
2. Gerasimov, Y., Sokolov, A., Karjalainen, T., 2008: GIS-based decision-support program for planning and analyzing short-wood transport in Russia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2): 163–175.
3. Zeleke, G., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Ward, S. M., 2007: Predicting the pressure–sinkage characteristics of two forest sites in Ireland using in situ soil mechanical properties. *Biosystems Engineering* 97(2): 267–281.
4. Batelaan, J., 1998: Development of an all terrain vehicle suspension with an efficient, oval track. *Journal of Terramechanics* 35(4): 209–223.
5. Eliasson, L., Wästerlund, I., 2007: Effects of slash reinforcement of strip roads on rutting and soil compaction on a moist fine-grained soil. *Forest Ecology and Management* 252(1–3): 118–123.
6. McMahon, S., Evanson, T., 1994: The effect of slash cover in reducing soil compaction resulting from vehicle passage. *LIRO Report* 19(1): 1–8.
7. Jakobsen, B. F., Moore, G. A., 1981: Effects of two types of skidders and of a slash cover on soil compaction by logging of mountain ash. *Australian Journal of Forest Research* 11: 247–255.
8. McDonald, T. P., Seixas, F., 1997: Effect of slash on forwarder soil compaction. *International Journal of Forest Engineering* 8(2): 15–26.
9. Bygdén, G., Eliasson, L., Wästerlund, I., 2003: Rut depth, soil compaction and rolling resistance when using bogie tracks. *Journal of Terramechanics* 40(3): 179–190.
10. Šušnjar, M., Horvat, D., Šešelj, J., 2006: Soil compaction in timber skidding in winter conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(1): 3–15.
11. Sakai, H., Nordfjell, T., Suadicani, K., Talbot B., Bøllehuus, E., 2008: Soil compaction on forest soils from different kinds of tires and tracks and possibility of accurate estimate. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(1): 15–27.
12. Syunev, V., Sokolov, A., Konovalov, A., Katarov, V., Seliverstov, A., Gerasimov, Y., Karvinen, S., Vällky, E., 2009: Comparison of wood harvesting methods in the Republic of Karelia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 120: 117 p.
13. Galaktionov, O.N., Bezlatny, P.V. 2010. Determination of the elastic properties of a slash layer. *Research Reports of Forest Engineering Faculty of Petrozavodsk State University* 8: 26–29.
14. Gerasimov, Y., Katarov, V., 2010: Effect of Bogie Track and Slash Reinforcement on Sinkage and Soil Compaction in Soft Terrains. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(1): 35–45.
15. Gerasimov, Y., Sokolov, A., 2009: Ergonomic characterisation of harvesting work in Karelia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 30 (2): 159–170.
16. GOST 12071-84, 1984: Soils: sample collection, packing, transportation and storage. State Standard, Moscow.
17. Redkin, A. K., 1988: Basic foundation of modeling and optimisation of wood harvesting. Moscow, Timber Industry: 256 p.
18. Galaktionov, O., Kuznetsov, A., Piskunov, M., 2009: The properties of flooring made of logging waste products and ground condition of skidding road. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Science* 101(7): 90–95.
19. GOST 25100-95, 1995: Classification of soils. State Standard, Moscow.
20. Glossary of Terms in Soil Science, 1976: Canada Department of Agriculture, Research Branch, Ottawa, Publication 1459: 44 p.
21. Ananyev, V., Asikainen, A., Vällky, E., Gerasimov, Y., Demin, K., Sikanen, L., Syunev, V., Khljustov, V., Tyukina, O., Shirnin, Y., 2005: Thinnings in northwest of Russia. Metla, Joensuu: 150 p.
22. Gerasimov, Y., Syunev, V., 1998: Ecological optimisation of logging technology and machinery. University of Joensuu, Joensuu: 170 p.