

А.С. Ильинцев, Е.Н. Наквасина

**ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЕЙНОСТИ
ПРИ ПРОХОДЕ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
В ЕЛЬНИКАХ НА ДВУЧЛЕННЫХ ПОРОДАХ**

Введение. Колейность, образуемая при проходе лесозаготовительной техники во время разработки лесосек при рубке леса, является одним из негативных экологических последствий, связанных с нарушениями почвенно-растительного покрова вырубок, определяющим дальнейшую их реновацию. Формирующиеся колеи обуславливают образование мозаики микрорельефных форм, которые меняют экологические условия, связанные с оптимум произрастания типичных лесных растений, участвующих в восстановлении напочвенного покрова в нарушенных местах.

Размеры колеи (глубина и ширина) зависят от технологии разработки лесосек, марки техники и особенностей ее движителей, непосредственно контактирующих с почвой, но в то же время большое значение для формирования колейности оказывают почвенные условия лесосеки [Григорьев и др., 2008; Катаров и др., 2012; Лисов, Язов, 2013; Вадбольская, Азаренок, 2015; Shabani, 2017; Sirén et al., 2019; Uusitalo et al., 2020], в том числе тип почвы и строение почвенного профиля, гранулометрический состав, увлажненность. При этом определяющим с точки зрения ученых, становится такой показатель, как число проездов и уклон местности [Solgi et al., 2015; Cambi et al., 2015; Shabani, 2017; Naghdi et al., 2016]. Число проездов, особенно более двух, на различных почвах усиливают образование колейности и уплотнение почв, которые возрастают при уклонах местности более 20%.

Формирующиеся колеи создают рельефоидную мозаику, прежде всего, на волоках за счет формирования мелких понижений и повышений при продавливании почвы, выдавливании ее на края колеи и формировании валиков (своеобразных брустверов) по ее сторонам. Происходит перемешивание почвенных горизонтов между собой, растительности, порубочных остатков, пневого детрита и т. п. При разной длительности воздействия техники, ее типах, наличия цепей противоскольжения и др., дно колеи, брустверы и межколейное пространство могут состоять или быть отсыпаны почво-грунтом различного вещественного состава [Катаров и др., 2012]. С одной стороны, это будет приводить к их различной увлажненно-

сти, к застою влаги в понижениях с тяжелыми породами, подверженных дополнительному уплотнению, с другой – создается комплекс условий с различным плодородием и физико-механическими свойствами, от которых будет зависеть поселение растительности при восстановлении напочвенного покрова и древесных пород.

Наиболее заметно подобная невыравненность почвенного покрова после разработки лесосек может наблюдаться при длинных гонах техники, где усиливается частота проездов на участках волоков, расположенных на стыке с магистральными.

Несомненно, что все технические и природные факторы действуют комбинативно и проявляются в различных условиях по-разному. Поэтому в настоящее время становится важным проводить подбор техники и технологий относительно природно-климатических условий [Мохирев, 2016]. Особенно это важно для северных регионов, отличающихся избыточным увлажнением почв как результат промывного типа водного режима, а также особенностями почвообразующих пород и мелкими почвами.

При недостатке лесного фонда разработка лесосек на севере Русской равнины в последние годы часто ведется в насаждениях V бонитета, произрастающих в условиях избыточного поверхностного увлажнения, что связано с двучленными почвообразующими породами, широко распространенными в регионе¹. Особенностью подзолистых почв, формирующихся на двучленных наносах, является сложное и неоднозначное строение по гранулометрическому составу: верхняя часть профиля представлена супесью, нижняя (почвообразующая порода) в процессе эволюции и развития глеевых процессов – средним суглинком, подстилаемым тяжелосуглинистой мореной. Глубина колеи отражает то, какой почво-грунт будет определять условия восстановления. При проезде техники вынос на дневную поверхность разных по гранулометрическому составу слоев почвы или ее сдвиг движетелями не только усилит мозаичность почвенного покрова в зоне воздействия техники, но и будет приводить к ее пробуксовке на тяжелых породах, усиливая негативное воздействие для лесовосстановления. Занос тяжелого грунта поверх смешанных органогенных или минерально-органогенных слоев может оказать пагубное воздействие на свойства почвы через нарушение строения ее профиля, что может сказаться на длительности восстановления нарушенного почвенного покрова [Ezzati et al., 2012].

¹ Сляров Г.А., Шарова А.С. Почвы лесов Европейского Севера. М.: Наука, 1970. 269 с.

Цель наших исследований – изучить формирование колеяности и ее воздействие на нарушенность почвенно-растительного покрова при различном числе проездов груженой техники по не покрытой порубочными остатками почве в ельнике черничном (влажном) в северотаежном лесном районе (Архангельская область).

Объект и методы исследования. На лесосеке арендного участка ООО «Двинлеспром», территориально расположенном в междуречье С. Двины и Пинеги (Архангельская область, северотаежный лесной район европейской части РФ) в 2020 г. заложили опытно-производственный участок с вариантами разного числа проходов форвардера Ponsse Buffalo King (рис. 1), груженого 20 м³ еловых и березовых сортиментов (масса достигала около 39 т): 4, 8, 10 проходов. Опыт поставлен в трех повторностях на пройденных рубкой 18-метровых пасаках, без покрытия мест проезда форвардера порубочными остатками. Число проходов было ограничено свойствами почвы и подстилающих грунтов.

Планируется использовать опытно-производственный участок для мониторинговых наблюдений с целью изучения реновации почвенно-растительного покрова.

Исходный участок леса представлен ельником черничным (черничным влажным) V класса бонитета, состава 8Е2Б+С. Для участка характерен мезорельеф с перепадами до 3–4 м. Почва – подзол грубогумусный поверхностно-осветленный иллювиально-железистый контактно-осветленный на двучленных моренных отложениях (тяжелосуглинистая морена, перекрытая покровными супесями). В морфотипах рельефа могут наблюдаться ее модификации: на возвышенных участках формируются типичные автоморфные почвы, в нижних частях склона – ее полугидроморфные аналоги как результат поверхностного временного избыточного заболачивания. В последнем случае в элювиальном горизонте появляются признаки оглеения (скользящие пятна). Подобная мозаичность почв проявляется и в растительности живого напочвенного покрова. В понижениях рельефа на фоне основных индикаторов – черники и зеленых мхов разрастаются синузии сфагновых мхов.

Заложили постоянные пробные площадки размером 20 × 5 м, охватывающие полную ширину образованных форвардером колея. Провели детальное изучение строения колея при различном числе проходов груженой техники (рис. 2), измеряя расстояние и просадку каждой точки перепада от условного уровня 30 см, маркируемого колышками и натянутой металлической лентой. В дне каждой колеи вскрыли почвогрунт и сделали описание горизонтов/слоев почвы, взяли ненарушенные образцы почвы с глубины 0–10 и 10–20 см для определения влажности и плотности сложения [Полевой практикум, 2007]. Всего обработали 72 точки опробования.



Рис. 1. Прохождение техники с грузом при постановке эксперимента

Fig. 1. The passage of forwarder with a load when setting up an experiment



Рис. 2. Замеры колеи на пробном участке с 4 проходами техники

Fig. 2. Track measurements on a test section with 4 passes of forwarder

Для установления различий между показателями (средняя ширина и глубина колеи, ширины межколейного пространства) при различном числе проходов груженой техники применили критерий Kruskal-Wallis ANOVA с последующим множественным сравнением средних рангов. Двусторонние уровни значимости были скорректированы поправкой Бонферрони. Все данные анализировались с помощью программы Statistica 12 (StatSoft Inc.).

Результаты исследования. Строение колеи при различном числе проходов техники остается достаточно близким: проминается собственно колея, с обеих сторон которой формируются валики (брустверы), как правило, состоящие из смеси лесной подстилки, растительности и выдавленной минеральной почвы различных горизонтов. Число проходов определяет, прежде всего, глубину колеи, но не их ширину (табл. 1).

Таблица 1

Средняя ширина и глубина колеи (см) при различном числе проходов груженой техники

Average width and depth of tracks (sm) with different number of passes of loaded vehicles

Показатель	4 прохода		8 проходов		10 проходов	
	X ± m	CV, %	X ± m	CV, %	X ± m	CV, %
Средняя ширина колеи	81,4±3,3	18,4	93,7±3,8	18,6	95,9±4,1	18,7
Средняя глубина колеи	9,6±2,2	111,4	11,0±2,3	99,3	26,8±2,8	46,7
Ширина межколейного пространства	146,1±17,2	17,5	134,1±4,4	14,9	132,9±4,2	13,8

При 4 проходах форвардера ширина колеи наименьшая, а межколейное пространство с сохраненной растительностью между парами брустверов – максимальное. При 8 проходах груженого форвардера ширина колеи увеличивается на 15%, за счет неровностей при продвижении движетеля, межколейное пространство сужается. При большем числе проходов (в нашем случае 10) изменений в ширине колеи не происходит, движетель проходит по постоянно накатанной трассе.

Аналогичная картина наблюдается и с глубиной колеи. При наименьшем числе проходов средняя глубина колеи (от уровня пасеки) составляет 9,6 см. Обращает на себя внимание неровность формирования дна колеи, что влияет на изменчивость показателя. Так, при переезде через пни или в результате проседания задней груженой части машины могут образовываться неровности глубиной до 32 см или, наоборот, микроповышения выше уровня пасеки за счет натаскивания почвы гусеницами и цепями. За счет подобных технических воздействий с грунтом средняя глубина колеи при 8 проходах форвардера на подзолистой почве увеличилась незначительно и составила в среднем 11 см, с колебаниями микроповышений и микропонижений от 9 до 32 см (от уровня пасеки). Ранее [Сравнение технологий..., 2008] отмечалось, что наибольшее повреждение происходит при первых нескольких проходах техники.

С увеличением числа проходов дно колеи относительно выравнивается и изменчивость глубины колеи снижается вдвое (см табл. 1). Статистически различия по ширине и глубине колеи доказаны между вариантами 4 и 10 проходов форвардера ($p < 0,05$). Однако не установлены различия между 4 и 8 проходами форвардера ($p > 0,05$). Превышение числа проходов техники более 8 раз повышает уровень повреждения почвенного покрова на вырубках.

Однако на мозаичность и реальную глубину колеи большое влияние оказывают их брустверы, формирующиеся при проходе техники. Они возвышаются над уровнем пасеки и способствуют увеличению ее глубины, но со временем будут оседать, обрушиваться и способствовать снижению колеиности. Реальная глубина колеи от уровня пика (верхней точки) бруствера в среднем может достигать 23 см, 29 см, 52 см при числе проходов 4, 8, 10 соответственно. Высота бруствера сильно колеблется от наличия пней, корневых лап, которые объезжает форвадер при трелевке, а также может быть связана с переувлажнением почвы. В этих местах резко возрастает глубина колеи, усиливая мозаичность в наиболее экологически напряженном участке лесосеки – дне колеи. В отдельных локациях глуби-

на колеи достигала величины дорожного просвета гусениц, что наблюдалось на сырых участках ранее [Катаров и др., 2012].

Провели почвенно-грунтовое опробование дна колеи для уточнения формирующихся особенностей, определяющих их последующее сглаживание, разрастание растительности и перспективы застойных явлений поверхностной влаги в осенне-зимний период. Выявили типы нарушений строения исходной подзолистой почвы в месте непосредственного контакта с ней движителя форвардера, в сравнении с исходной почвой на контрольной площади (пасеке), где нет повреждений почвенно-растительного покрова. Почвенный профиль мелкий, всего 30 см, далее лежит оглеенный суглинок (исходный гранулометрический состав супесчаный) и тяжелосуглинистая морена. В верхней части профиля почвы, испытывающей действие техники при первых же проездах, лежит органогенный горизонт Оао (по традиционной терминологии – лесная подстилка, включая грубогумусный горизонт), ниже – супесчаный подзолистый (элювиальный горизонт Е) мощностью 8 см (2–12 см) и легкосуглинистый иллювиальный горизонт ВГН.

При проезде техники происходит уплотнение, перемешивание, сдвиг или выдавливание поверхностных горизонтов почвы на брустверы колеи. В результате дно колеи, подверженное непосредственному соприкосновению с гусеницами ходовой части форвардера, может иметь различное строение.

Тип I – органогенный горизонт Оао перемешан с растительностью и порубочными остатками, толща смешенного горизонта составляет в среднем 5–6 (местами 2...12) см и лежит на подзолистом горизонте, слабо задетым перемешиванием в верхней части (толща его на обследованных точках опробования составляет 4–8 см, что соответствует неповрежденным почвам на пасеках) .

Тип II – горизонт Оао полностью перемешан с горизонтами Е и ВНФ, а также к нему примешана растительность и порубочные остатки, имеющиеся на пасеке. Перемешанный горизонт может лежать на неперемененных горизонтах ВНФ и С. Горизонт Е полностью затронут перемешиванием гусеницами и не просматривается.

Тип III – тип повреждения связан с привнесением сдвинутой гусеницами и цепями почвы с других участков при проходе техники, с сохранением перемешенного горизонта, состоящего из фрагментов органогенного (Оао) и минеральных (Е, ВНФ) горизонтов. При этом сдвинутая почва, чаще среднесуглинистого гранулометрического состава (горизонт Сg), может слоем до 4 см покрывать перемешанный слой или быть смешена с ним.

Тип IV – сформирован горизонт, состоящий из смеси горизонтов Oao, E, BHF и привнесенной (сдвинутой) почвы различного гранулометрического состава (преимущественно среднесуглинистого, горизонт Cg), мощностью до 12 см.

Тип V – дно колеи оголено до минеральной почвы за счет сдвигания или выдавливания верхних горизонтов на брусчатки колеи; на дневную поверхность дна колеи вынесен смещенный горизонт (до 9 см), состоящий из горизонтов E, BHF, Cg.

Тип VI – дно колеи оголено и на поверхность вынесен горизонт Cg (средний суглинок).

При разном числе проходов техники на дне борозды встречаются различные комбинации типов нарушений строения почвы (табл.2). То, какие горизонты по гранулометрическому и вещественному составам вынесены на дневную поверхность дна борозды, будет сказываться на физико-механических свойствах, определяющих порозность, увлажненность и наличие питательных веществ, то есть все те свойства, которые связывают с расселением растительности. Именно это может определять снижение содержания азота, фосфора и калия в дне борозд при увеличении кратности проходов, отмеченное ранее [Cambi et al., 2015].

Таблица 2

Распределение (%) и мощность поврежденной толщи (см) почвы в дне колеи при различном числе проходов техники

Distribution (%) and thickness of the damaged soil thickness (cm) in the bottom of the ruts with a different number of passes of equipment

Тип повреждения	Пасека		4 прохода		8 проходов		10 проходов	
	%	см	%	см	%	см	%	см
Без нарушений	100	<u>6,4</u> 4–11	16,7*	<u>5,8</u> 1–9	–	–	–	–
Тип I	–	–	54,2	<u>4,6</u> 2–12	37,5	<u>5,6</u> 2–10	–	–
Тип II	–	–	16,7	<u>4,5</u> 3–6	–	–	–	–
Тип III	–	–	12,4	<u>11,3</u> 9–14	45,8	<u>7,7</u> 2–13	16,6	<u>6</u> 3–8
Тип IV	–	–	–	–	–	–	33,3	<u>8,3</u> 4–12
Тип V	–	–	–	–	12,5	–	25,0	<u>6,5</u> 3–12
Тип VI	–	–	–	–	4,2	–	25,0	–

* Придавленная лесная подстилка.

При 4 проходах техники на дне колеи чаще всего (54% случаев) образуется смешанный горизонт (2–12 см), состоящий из лесной подстилки, иногда с примешанным подзолистым горизонтом, а также с растительностью и имевшимися на поверхности почвы сучьями и порубочными остатками. Этот новообразованный слой рыхлый, насыщен органикой и лежит на подзолистом горизонте. В ряде случаев колея формируется простым придавливанием лесной подстилки и растительности с порубочными остатками.

При 8 проходах возрастает вариабельность вариантов строения дна колеи, что связано с формированием турбированных горизонтов. На 1/3 точек опробования на дне колеи также встречается смешанный органо-минеральный горизонт (лесная подстилка + подзолистый), к которому может примешиваться и масса иллювиального горизонта ВФН. Часто (почти половина случаев) отмечено привнесение почвы, чаще среднесуглинистого гранулометрического состава (горизонт Сg), который налипает на гусеницы и переносится на другие участки, покрывая смешанный или исходный минеральный горизонт (Е, ВФН) толщиной до 4 см. Более 15% точек опробования дна колеи представлены оголенной минеральной толщиной перемешанных горизонтов или оголенным горизонтом Сg со среднесуглинистым гранулометрическим составом.

При 10 проходах техники на дне колеи преобладают (50%) оголенные минеральные горизонты (Сg или смесь ВФН, Е и Сg). Кроме того, заметно чаще встречаются покрытия перемешанных горизонтов разного состава привнесенной гусеницами движателя толщиной минеральной почвы (липкий горизонт Сg среднесуглинистого гранулометрического состава).

Такое устройство дна колеи имеет самый негативный экологический эффект, будет провоцировать застой влаги в осеннее и весеннее время, а при наличии склона и расположения волоков вдоль него – эрозийные процессы. На оголенных минеральных участках дна борозды, лишенных органической массы и детрита, увеличивается плотность сложения почвы, влагообеспеченность и снижается пористость, что ухудшает рост растений.

Несомненно, часть почвы оплывет в дно колеи с брустверов, насыщенных органикой и смешанных с остатками растительности, в дождливое время года. Типаж дна колеи будет меняться. Но застой влаги в первые годы более обеспечен при большем числе проходов техники, особенно при 10 проходах, что связано с мелкими почвами севера.

Одним из важнейших показателей, связанным с уплотнением почвы в дне колеи и определяющим ее физико-механические свойства, является

плотность сложения. Воздействие уплотнения сказывается на глубину не менее 20 см [Hintsev et al., 2020], определяет водно-воздушные свойства, но по сравнению с другими показателями, восстанавливается медленнее и не снижается даже через 20 лет, при восстановлении колеи [Ezzati et al., 2012]. Однако при изменении плотности сложения на разных глубинах дна колеи, не учитывается строение почво-грунта. В то же время при разном числе проходов техники, как указано выше, дно колеи может быть представлено различными комбинациями органической и минеральной массы горизонтов исходной почвы.

При 4 проходах форвардера (табл. 3) небольшое уплотнение почвы (+ 6% по сравнению с нативной почвой на уровне горизонта E) наблюдается в верхнем слое (0–10 см), представленном смесью верхних горизонтов почвы (лесная подстилка, супесь и легкий суглинок). При большем числе проходов в этом слое уплотнение возрастает, абсолютные величины плотности сложения почвы выше, чем плотность сложения горизонта E на контроле и плотность сложения почвообразующих пород C_г и D (1,52 и 1,74 г/см³, соответственно), определенных авторами при выкопке почвенного разреза.

Таблица 3

Плотность сложения почвы в дне колеи при различном числе проходов техники

The density of the addition of soil in the bottom of the track with a different number of passes of equipment

Вариант	Слой 0–10 см		Слой 10–20 см	
	Плотность сложения, г/ см ³	Полевая влажность, %	Плотность сложения, г/ см ³	Полевая влажность, %
Контроль	1,45	27,90	1,41	29,09
4 прохода	<u>1,54</u> +6,2	<u>29,29</u> +5,0	<u>1,65</u> +13,8	<u>24,83</u> –14,6
8 проходов	<u>1,74</u> + 20,0	<u>35,07</u> +25,7	<u>1,74</u> +23,4	<u>20,07</u> –31,0
10 проходов	<u>1,69</u> +16,6	<u>21,49</u> +77,0	<u>1,81</u> +28,4	<u>18,04</u> –38,0

Примечание: в числителе – среднее значение, в знаменателе – % относительно контроля/пасеки.

В толще 10–20 см почво-грунта дна колеи сохраняются закономерности увеличения плотности сложения при увеличении числа проходов техники, однако уровень превышения по сравнению с исходной почвой значительно ниже. Превышение по плотности сложения составляет от 13 до 28,4%, причем уже при 8 проходах почва уплотняется так же, как и при десяти.

Уплотнение почвы нарушает систему пор, прежде всего уменьшается доля крупных пор, что приводит к уменьшению водопроницаемости почвы в десятки и сотни раз [Лисов, Язов, 2014]. В нашем эксперименте полевая влажность дна колеи ближе к поверхности (слой 0–10 см) с увеличением числа проходов повышается, достигая 77% в варианте 10 проходов, в связи с выносом на дневную поверхность глееватого горизонта Сg. В то время как в толще дна 10–20 см происходит снижение увлажненности почвы при увеличении числа проходов, по сравнению с контрольной почвой на пасеке. Создается эффект выдавливания влаги из нижних горизонтов в верхние, что и повышает увлажненность почвы в поверхности дна колеи. Такое явление провоцирует увеличение липкости почвы и ее налипание на гусеницы форвардера, что приводит к перетаскиванию почвы и нанесению ее поверх других горизонтов. Особенно это связано с формированием дна колеи по типам нарушений III – VI и проявляется при большом числе проходов, когда оголяются или задеваются гусеницами почвообразующие породы среднесуглинистого гранулометрического состава (горизонт Сg).

Выводы. Таким образом, при проведении лесозаготовительных работ, выборе технологии и подборе техники, необходимо обращать внимание на почвенные условия, в том числе характер почвообразующих пород, толщину и строение почвенного профиля. Этим будет определяться максимально допустимое число проездов техники, а следовательно, размер лесосек и протяженность волоков.

Проезд по волоку, не покрытому порубочными остатками, на подзолистых почвах, формирующихся на двучленных отложениях в северотаежном лесном районе, не должен превышать восьми раз. Супесчаные и легкосуглинистые почвы противостоят давлению, и воздействие на почву оказывается близким при проезде форвардера с пакетом сортиментов как при четырех, так и при восьмикратных проездах. Увеличение числа проездов провоцирует захват гусеницами оглеенного горизонта, вынос его на дневную поверхность и способствует нарушению водно-воздушного режима почв, что будет ограничивать восстановление растительности при реновации почвенного покрова.

Для снятия негативных аспектов от проезда тяжелой техники по волокам следует продумывать превентивные защитные меры по всем элементам лесосек.

Благодарности. Авторы благодарят начальника отдела лесопользования ООО «Регион-лес» А. Студенцова, инженера по лесопользованию ООО «Двинлеспром» А. Лябзина и работников ООО «Двинлеспром», принимавших участие в планировании и постановке эксперимента на участке лесопользования, а также С.А. Рай и Е.А. Рай за помощь в постановке эксперимента и обследовании опытного участка.

Финансовая поддержка. Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук в рамках проекта МК-2622.2021.5 «Закономерности изменения лесорастительной среды под влиянием антропогенных факторов (рубок леса) в бореальных лесах Севера».

Библиографический список

Вадбольская Ю.Е., Азаренок В.А. Снижение воздействия лесных машин на почву при рубках ухода // Леса России и хозяйство в них. 2015. № 3 (54), С. 36–40. (Электронный архив УГЛТУ)

Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средооащадящие технологии разработки лесосек в условиях Северо-25 Западного региона Российской Федерации: монография. СПб.: Изд-во СПбГЛТА, 2008. 317 с.

Катаров В.К., Сюньев В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // Resources and Technology. 2012. 9(2). С. 73–81. ISSN: 2307-0048 <http://rt.petsu.ru>

Лисов В.Ю., Язов В.Н. Экспериментальное определение максимальной плотности и осадки лесной почвы // Вестник ПГТУ. 2013. № 4(20). С. 50–56.

Лисов В.Ю., Язов В.Н. Экспериментальное определение водопроницаемости лесной почвы в зависимости от ее плотности // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 5. С. 89–96.

Мохирев А.П. Методика выбора лесозаготовительных машин под природно-климатические условия // Лесотехнический журнал. 2016. № 4. С. 208–216. DOI: 10.12737/23459.

Полевой практикум по почвоведению / Е.Н. Наквасина, В.С. Серый, Б.А. Семенов. Архангельск: АГТУ, 2007. 124 с.

Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В. Сюньев, А. Соколов, А. Коновалов, В. Катаров, А. Селиверстов, Ю. Герасимов, С. Карвинен, Э. Вяльккю. Йёэнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2008. 126 с.

Cambi M., Certini G., Fabiano F., Foderi C., Laschi A., Picchio R. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand // iForest. 2015. No. 9. P. 89–94. DOI: 10.3832/ifer1382-008 [online 2015-05-22]

Ezzati S., Najafi A., Rab M.A., Zenner E.K. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran // *Silva Fennica*. 2012. No 46 (4). P. 521–538.

Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia // *iForest*. 2020. Vol. 13. P. 531–540. DOI: 10.3832/ifer3371-013

Naghdi R., Solgi A., Labelle E. R., Zenner E. K. Influence of ground-based skidding on physical and chemical properties of forest soils and their effects on maple seedling growth // *European Journal of Forest Research*. 2016. No 135. P. 949–962.

Shabani S. Modelling and mapping of soil damage caused by harvesting in Caspian forests (Iran) using CART and RF data mining techniques. *Journal of Forest Science*, 2017, No 63, pp. 425–432.

Sirén M., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., Uusitalo J., Kiilo K.E.K., Salmivaara A., Rynnänen A. Soil disturbance by cut-to-length machinery on mid-grained soils // *Silva Fennica*. 2019. Vol. 53(2). P. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10134>

Solgi A., Naghdi R., Tsioras P.A., Nikooy M. Soil Compaction and Porosity Changes Caused During the Operation of Timberjack 450C Skidder in Northern Iran // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2015. No 36, vol. 2. P. 217–225.

Uusitalo J., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., & Toivio J., Siren M. Predicting rut depth induced by an 8-wheeled forwarder in fine-grained boreal forest soils // *Annals of Forest Science*. 2020. Vol. 77(42). P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00948-y>

References

Vadbol'skaya Yu.E., Azarenok V.A. Snizhenie vozdeystviya lesnyh mashin na pochvu pri rubkah uhoda. *Lesn Rossii i hozyajstvo v nih*, 2015, no. 3 (54), pp. 36–40. (In Russ.)

Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyah Severo- Zapadnogo regiona Rossijskoj Federacii: monografiya. SPb.: Izd-vo SPbGLTA, 2008. 317 p. (In Russ.)

Katarov V.K., Syunyov V.S., Rat'kova E.I., Gerasimov YU.YU. Vliyanie forvarderov na lesnye pochvo-grunty. *Resources and Technology*, 2012, no. 9 (2), pp. 73–81. (In Russ.)

Lisov V.Yu., Yazov V.N. Eksperimental'noe opredelenie maksimal'noj plotnosti i osadki lesnoj pochvy. *Vestnik PGTU*, 2013, no. 4(20), pp. 50–56. (In Russ.)

Lisov V.Yu., Yazov V.N. Eksperimental'noe opredelenie vodopronicaemosti lesnoj pochvy v zavisimosti ot ee plotnosti. *IVUZ. Lesnoj zhurnal*, 2014, no. 5, pp. 89–96. (In Russ.)

Mohirev A.P. Metodika vybora lesozagotovitel'nyh mashin pod prirodno-klimaticheskie usloviya. *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2016, no. 4, pp. 208–216 DOI: 10.12737/23459. (In Russ.)

Polevoj praktikum po pochvovedeniyu / E.N. Nakvasina, V.S. Seryj, B.A. Semenov. Arhangel'sk: AGTU, 2007. 124 p. (In Russ.)

Sravnienie tekhnologij lesosechnyh rabot v lesozagotovitel'nyh kompaniyah Respubliki Kareliya / V. Syunyov, A. Sokolov, A. Kononov, V. Katarov,

A. Seliverstov, YU. Gerasimov, S. Karvinen, E. Vyal'kkyu. Joensuu: NII Lesa Finlyandii, 2008. 126 p. (In Russ.)

Cambi M., Certini G., Fabiano F., Foderi C., Laschi A., Picchio R. Impact of wheeled and tracked tractors on soil physical properties in a mixed conifer stand. *iForest*, 2015, no 9, pp. 89–94. DOI: 10.3832/ifer1382-008 [online 2015-05-22]

Ezzati S., Najafi A., Rab M.A., Zenner E.K. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. *Silva Fennica*, 2012, no 46 (4), pp. 521–538.

Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia. *iForest*, 2020, vol. 13, pp. 531–540. DOI: 10.3832/ifer3371-013

Naghdi R., Solgi A., Labelle E. R., Zenner E. K. Influence of ground-based skidding on physical and chemical properties of forest soils and their effects on maple seedling growth. *European Journal of Forest Research*, 2016, no 135, pp. 949–962.

Shabani S. Modelling and mapping of soil damage caused by harvesting in Caspian forests (Iran) using CART and RF data mining techniques. *Journal of Forest Science*, 2017, no 63, pp. 425–432.

Sirén M., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., Uusitalo J., Kiilo K.E.K., Salmivaara A., Ryyänänen A. Soil disturbance by cut-to-length machinery on mid-grained soils. *Silva Fennica*, 2019, vol. 53(2), pp. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.10134>

Solgi A., Naghdi R., Tsioras P. A., Nikooy M. Soil Compaction and Porosity Changes Caused During the Operation of Timberjack 450C Skidder in Northern Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, no 36, vol. 2, pp. 217–225.

Uusitalo J., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., & Toivio J., Siren M. Predicting rut depth induced by an 8-wheeled forwarder in fine-grained boreal forest soils. *Annals of Forest Science*, 2020, vol. 77(42), pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00948-y>

Материал поступил в редакцию 04.06.2021

Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н. Образование колеиности при проходе лесозаготовительной техники в ельниках на двучленных породах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 168–182. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.168-182

Колейность, образующаяся при проходе лесозаготовительной техники во время разработки лесосек при рубке леса, является одним из негативных экологических последствий, связанных с нарушениями почвенно-растительного покрова вырубок, определяющим дальнейшую их реновацию. Негативное влияние от формирования колеиности зависит от числа проходов техники и связано с почвенно-климатическими условиями. На опытно-производственном участке ООО «Двинлеспром», территориально расположенном в междуречье С. Двины и Пинеги (Архангельская область, северотаежный лесной район европейской части РФ), изучено влияние разного числа проходов (4, 8, 10) груженого форвадера Ponsse Buffalo King по волоку, не покрытому порубочными

остатками. Исходный участок леса представлен ельником черничным V класса бонитета, произрастающим на подзолистой почве на двучленных отложениях, широко распространенных в регионе. На постоянных учетных площадках (20 × 5 м), заложенных в 3 повторениях, провели детальное изучение строения колеи, в дне каждой колеи вскрыли почвогрунт и сделали описание горизонтов/слоев почвы, взяли ненарушенные образцы почвы с глубины 0–10 и 10–20 см для определения влажности и плотности сложения. Установлено, что число проходов более определяет глубину, чем ширину колеи. Выявлено 6 типов нарушений почвенного покрова по строению почво-грунта на дне колеи, связанных с перемешиванием, сдвиганием и выносом на дневную поверхность оглеенных почвообразующих пород. Показана представленность типов строения дна колеи в зависимости от числа проездов груженого форвардера, а также различия в плотности сложения и влажности почво-грунта. Плотность сложения в толще 0–20 см при увеличении числа проходов техники закономерно увеличивается до значений, соответствующих почвообразующим породам. При этом доля влаги в толще 0–10 см при увеличении числа проходов повышается, а в толще 10–20 см снижается. Заметные изменения изученных показателей достигаются при восьмикратном проезде груженого форвардера, что позволяет считать это число проездом максимально допустимым на подзолистых почвах на двучленных отложениях в северотаежном лесном районе.

Ключевые слова: лесозаготовка, колеиность, число проходов, влияние, почва, прогноз восстановления.

Ilyintsev A.S., Nakvasina E.N. Rut formation after the passage of logging machinery in spruce forests on binomial soils. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 168–182 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.168-182

The ruts formed after the passage of logging machinery during logging operations are one of the negative environmental consequences associated with disturbances of the soil and vegetation cover of deforestation, which determines their further renovation. The negative impact of the formation of ruts depends on the number of passes of machinery and is associated with soil and climatic conditions. We studied the effect of different number of passes (4, 8, 10) of a loaded Ponsse Buffalo King forvader on a skid trail that is not covered by felling residues. The experimental logging site of LLC Dvinlesprom is located in the watershed between of the Northern Dvina and Pinega (Arkhangelsk region, North Taiga forest region of the European part of the Russian Federation). The original site is represented by a blueberry spruce forest of the V class of bonity, which grows on podzolic soil on binomial deposits and is widely distributed in the region. We laid the permanent accounting pads (20 × 5 m) in 3 repetitions. We conducted a detailed study of the structure of the ruts, at the bottom of each rut, we opened the soil and made a description of the horizons/layers of the soil, took undisturbed soil samples from a depth of 0–10 and 10–20 cm to determine the soil bulk density and moisture content. It was found that the number of passes determines the

depth more than the width of the ruts. We identified 6 types of disturbances of the soil cover on the structure of the soil at the bottom of the ruts, associated with mixing, shifting and removal of the gleying soil-forming parent soil to the day surface. We have given the types of the structure of the bottom of the ruts depending on the number of passes of the loaded forwarder, as well as the differences in the soil bulk density and moisture content. The soil bulk density in the thickness of 0–20 cm with an increase in the number of passes of the forwarder naturally increases to the values corresponding to the soil-forming parent soil. At the same time, the proportion of moisture in the thickness of 0–10 cm increases with an increase in the number of passes, and in the thickness of 10–20 cm decreases. Noticeable changes in the studied indicators are achieved with an eight-fold passage of a loaded forwarder, which allows us to consider this number as the maximum permissible passage on podzolic soils on binomial deposits in the north taiga forest area.

Key words: logging, rut formation, number of passes, impact, soil, recovery forecast.

ИЛЬИНЦЕВ Алексей Сергеевич – старший научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства; доцент Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат сельскохозяйственных наук. WoS ResercherID: N-6286-2019, ORCID: 0000-0003-3524-4665, SPIN-код: 1299-7037, AuthorID: 849116.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия.

ILINTSEV Aleksey S. – PhD (Agriculture), Senior researcher, Northern Research Institute of Forestry; Associate professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, WoS ResercherID: N-6286-2019, ORCID: 0000-0003-3524-4665, SPIN-код: 1299-7037, AuthorID: 849116.

163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia.

НАКВАСИНА Елена Николаевна – профессор Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор сельскохозяйственных наук. WoS ResercherID: A-5165-2013 ORCID: 0000-0002-7360-3975, ScopusID: 35389250000, SPIN-код: 6797-9434 AuthorID: 132027.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия.

NAKVASINA Elena N. – DSc (Agriculture), Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, WoS ResercherID: A-5165-2013, ORCID: 0000-0002-7360-3975, ScopusID: 35389250000, SPIN-code: 6797-9434, AuthorID: 132027.

163002. Severnoj Dviny emb. 17. Arkhangelsk. Russia.