

О ВЛИЯНИИ СЕЗОНА ПРОВЕДЕНИЯ РУБКИ НА СТЕПЕНЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ ВЫРУБОК

П. А. Тарасов, А. В. Тарасова

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: avyatar@yandex.ru

Приведены результаты исследований почвы на двух свежих вырубках, образовавшихся в результате сплошной рубки смешанных сосновых древостоев в зимний и летний периоды года. Выявлены негативные изменения почвенного покрова обеих вырубок, степень которых определяется интенсивностью воздействия машин, применяемых на различных технологических элементах лесосек, а также сезоном проведения рубки. Данные изменения проявляются в уничтожении подстилки на погрузочных площадках и трелевочных волоках обеих вырубок, а также ухудшении структуры верхних минеральных слоев, увеличении их плотности и уменьшении общей пористости при одновременном возрастании мелких капиллярных пор, что сильно снижает водопроницаемость почвы. При этом на пасаках обеих вырубок данные изменения выражены слабее.

Кроме того, более негативные количественные изменения физических свойств почвы наблюдаются при летних рубках, что в дальнейшем соответствующим образом отразится на ходе естественного возобновления образующихся вырубок. Исходя из этого, в эколого-экономическом аспекте основной объем сплошных рубок целесообразно проводить в зимний период года.

Ключевые слова: сезон проведения сплошной рубки, пасека, трелевочный волок, погрузочная площадка, дерново-подзолистая среднесуглинистая почва, лесная подстилка, плотность, пористость, структура и водопроницаемость почвы.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 4, P. 306–315

ON THE INFLUENCE OF THE CUTTING SEASON ON THE DEGREE OF TRANSFORMATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF THE CUTTING SOIL

P. A. Tarasov, A. V. Tarasova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: avyatar@yandex.ru

The results of soil studies on two fresh cuttings formed as a result of continuous cutting of mixed pine stands in the winter and summer periods of the year are presented. Negative changes in the soil cover of both cuttings were revealed, the degree of which is determined by the intensity of the impact of machines used on various technological elements of cutting areas, as well as the season of logging. These changes are manifested in the destruction of the litter on the loading areas and skidding portages of both cuttings, as well as the deterioration of the structure of the upper mineral layers, an increase in their density and a decrease in overall porosity with a simultaneous increase in small capillary pores, which greatly reduces the water permeability of the soil. At the same time, these changes are less pronounced in the apiaries of both cuttings.

In addition, more negative quantitative changes in the physical properties of the soil are observed during summer logging, which in the future will appropriately affect the course of natural regeneration of the resulting cuttings. Based on this, in the ecological and economic aspect, it is advisable to carry out the bulk of clear-cuttings in winter.

Keywords: clear-cuttings season, apiary, skidding portage, loading area, sod-podzolic medium loamy soil, forest litter, density, porosity, structure and water permeability of the soil.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время специфика функционирования бореальных лесов, широко представленных в России, с одной стороны, определяется сложившимися природными механизмами, а с другой – продолжительным и интенсивным воздействием антропогенных

факторов, наиболее важными из которых являются рубки леса (Лукина и др., 2008).

В лесной промышленности и лесном хозяйстве применяют самые различные способы рубок, существенно изменяющих лесные почвы (Ремезов, Погребняк, 1965; Мелехов, 1966; Орфанитский, Орфанитская, 1971; Иль-

инский, 1972; Карпачевский, 1981; Стефин, 1981; Рубки леса..., 1987; Дымов, Лаптева, 2006; Лукина и др., 2008; Ершов, 2015). При этом наибольшие изменения наблюдаются при сплошных рубках, в результате которых полностью удаляется древостой и существенно трансформируются не только свойства почв, но и условия их формирования и развития (Карпачевский, 1981; Рожков, Карпачевский, 2006; Дымов, 2017). Поэтому применительно к бореальным лесам, как наиболее подверженным сплошным рубкам, последние рассматриваются, как начальный этап техногенной трансформации лесных почв в антропогенные (Richter, Yaalon, 2012). При этом они существенно отличаются от ненарушенных лесных почв по многим важнейшим свойствам и, прежде всего, физическим, что соответствующим образом сказывается на процессах как естественного возобновления вырубков, так и их искусственного лесовосстановления (Сапожников, 1996).

Технологически при таких рубках обособляются участки, различающиеся характером воздействия на экосистемы. Наименее нарушенные участки принято называть пасечными или пасаками. Участки же со значительными нарушениями почвенного покрова, возникающими при трелевке и складировании древесины, представлены трелевочными волоками и погрузочными площадками. При этом площадь пасечных участков составляет 59–71, трелевочных волоков – 18–29 и погрузочных площадок – 6–15 % от общей площади лесосеки (Паутов, Ильчуков, 2001).

В ходе проведения рубок почвы пасечных участков не испытывают прямого воздействия тяжелой агрегатной техники, тогда как на трелевочных волоках и погрузочных площадках ее влияние приводит к уничтожению лесной подстилки, а также существенному переуплотнению верхних минеральных слоев почвы (Росновский, 2001; Иванов, 2005; Williamson, Neilsen, 2000). Так, по данным И. М. Бартенева и Г. А. Одноралова (1999), даже один холостой проход трактора уплотняет почву на 10,3 %, два – на 15 %, а после десяти – остается колей глубиной в 10 см, плотность на дне которой составляет 1,58 г/см³.

Столь значительное уплотнение почвы резко ухудшает ее водно-физические свойства, что, в зависимости от рельефа, приводит к усилению поверхностного стока и развитию эрозийных процессов или же, напротив, к заболачиванию.

Среди многих факторов, определяющих степень изменения почвенных условий вырубков (рельеф, почвенно-грунтовые условия, тип леса, способ трелевки древесины и др.), большое значение также имеет сезон проведения лесозаготовительных работ (Ткаченко, 1952). Исходя из этого, основная цель данной работы состояла в количественной и качественной оценке физических свойств почвенного покрова вырубков после проведении сплошных рубок в летний и зимний периоды.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на территории Чунского лесничества, относящегося к Приангарскому лесному району Таежной лесорастительной зоны (Приказ..., 2007). Изучаемые объекты, выбранные на основе мето-

дик Ю. А. Орфанитского и В. Г. Орфанитской (1971), были представлены двумя свежими вырубками, возникшими в результате сплошной рубки смешанных сосновых древостоев зимой и летом 2018 года. Контролем служило расположенное рядом насаждение, которое согласно таксационным описаниям, близко вырубленным по своим основным показателям: тип леса – зеленомошно-разнотравный; состав древостоя – 5С2Л2Ос1Б; средний возраст главной породы – 110 лет (VI класс возраста); средняя высота и диаметр – соответственно 22 м и 28 см; класс бонитета – III; полнота – 0,8; запас стволовой древесины – 270 м³.

С целью полевой диагностики почвы на контрольном участке леса и пасаках обеих вырубков по общепринятой методике (Практикум..., 1980) было заложено по почвенному разрезу и сделано несколько прикопок до глубины 50 см. Анализ их морфологических признаков выявил относительно однородный характер почвенного покрова всех исследуемых объектов, сформированного глубокодерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвой на элювиальной бескарбонатной глине (Классификация..., 2004). Данная почва имеет мощный, отчетливо дифференцированный профиль, состоящий из следующих генетических горизонтов:

О – серовато-бурая лесная подстилка мощностью до 4 см, состоит из отмерших наземных частей деревьев и живого напочвенного покрова средней степени разложения. Граница ровная, переход резкий.

АУ 4–25 см – серо-гумусовый (дерновый) горизонт темно-серого цвета, сухой, среднесуглинистый, структура – зернисто-крупнокомковатая, сложение рыхлое, тонкопористое, тонкотрещиноватое. Содержит единичные биологические новообразования в виде червоточин и многочисленные включения корней, с НС1 не реагирует, граница неровная, переход ясный.

ЕЛ 25–37 см – элювиальный горизонт белесовато-светло-серого цвета, свежий, легкосуглинистый, структура – пластинчатая, сложение уплотненное. Содержит единичные новообразования в виде червоточин и включения мелких частиц угля. Граница неровная, переход ясный.

ВТ 37–68 см. Текстуальный горизонт коричневатобурого цвета, влажный, тяжелосуглинистый. Структура – ореховато-призматическая, сложение – плотное, тонкопористое, тонкотрещиноватое. Содержит единичные включения корней, с НС1 не реагирует. Граница неровная, переход ясный.

С 68–100 см и глубже. Почвообразующая порода, влажная, красновато-коричневого цвета. Представлена плотной глиной элювиального происхождения. Содержит включения древесных корней, с кислотой не реагирует.

Технология лесозаготовки на обеих рубках включала в себя следующие процессы: валку деревьев бензопилами, обрубку сучьев и трелевку хлыстов за вершину трактором ТТ-4 на погрузочную площадку. Известно (Пятецкий, 1959; Пятецкий, Морозова, 1962; Ремезов, Погребняк, 1965; Карпачевский, 1981; Росновский, 2001; Дымов, 2017), что разные технологические элементы лесосек (пасаки, трелевочные волока, погрузочные площадки) испытывают различную сте-

пень воздействия применяемых лесозаготовительных машин. Поэтому все виды исследований проводились на всех указанных технологических элементах обеих вырубок. Исходя из того, что влияние лесозаготовительной техники на физические свойства почвы наиболее заметно проявляется до глубины 20 см (Карпачевский, 1981), изучались лесная подстилка и два расположенных под ней минеральных слоя (0–10 и 10–20 см), составляющих серо-гумусовый горизонт АУ.

Для определения основных характеристик подстилки на контрольном участке леса и пасаках обеих вырубок с помощью металлической рамки размером 25х20 см в десяти точках каждого объекта отбирались образцы подстилки, и измерялась ее мощность. При этом на других технологических элементах вырубок данные исследования не проводили по причине практически полного уничтожения подстилки в процессе лесозаготовок.

В лаборатории образцы высушивали при температуре 90–100 °С до абсолютно сухой массы и взвешивали. Плотность подстилки вычисляли делением массы ее образца на объем, рассчитываемый, как произведение площади рамки (500 см²) на мощность подстилки (Растворова, 1983). Используя найденные значения указанных характеристик подстилки, ее запас вычисляли по следующей формуле:

$$M = 1000d_v h,$$

где М – запас подстилки, г/м²; d_v – плотность подстилки, г/см³; h – мощность подстилки, см.

Плотность минеральных слоев почвы определяли с помощью бура Качинского (n = 10), а плотность их твердой фазы – пикнометрическим методом (n = 3) (Растворова, 1983). По соотношению данных показателей рассчитывали общую пористость минеральных слоев почвы, используя следующую формулу (Практикум..., 1980):

$$P_{\text{общ.}} = 100(d - d_v)/d,$$

где P_{общ.} – общая пористость, % от объема почвы; d – плотность твердой фазы почвы, г/см³; d_v – плотность почвы, г/см³.

Показатели, характеризующие водопроницаемость почвы, определяли методом трубок в трехкратной повторности (Растворова, 1983). При этом данные иссле-

дования, как и определение плотности, проводили не только на контрольном участке леса и пасаках, но и на трелевочных волоках и погрузочных площадках.

Капиллярную пористость определяли методом насыщения почвенных образцов, а, вычитая ее величину из общей пористости, находили пористость некапиллярную (Практикум..., 1980).

Исследования почвенной структуры проводили в трехкратной повторности для каждого слоя методом сухого просеивания в модификации Н. И. Савинова (Практикум..., 1980; Растворова, 1983).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно литературным данным (Пятецкий, 1959; Мелехов, 1966; Карпачевский, 1981; Росновский, 2001; Дымов, 2017), результатом использования лесозаготовительной техники, в первую очередь, является практически полное уничтожение лесной подстилки на погрузочных площадках и трелевочных волоках и изменения ее основных характеристик на пасаках. Это в полной мере подтверждают результаты исследований подстилки на пасаках вырубок и контрольном участке леса, представленные в табл. 1.

Анализ табл. 1 выявил определенные различия основных характеристик лесной подстилки на пасаках вырубок и контрольным участком леса. Так, несмотря на частичный вынос подстилки в ходе трелевки срубленных деревьев на волок, ее запас на пасаках летней и зимней вырубках возрос, соответственно, на 14 и 16 %. Основной причиной этого является однократное поступление в процессе валки и трелевки деревьев большого количества свежего опада, в составе которого преобладают фракции, отличающиеся высокой плотностью (ветви, шишки, кора) (Карпачевский, 1981; Дымов, 2017). Последнее, главным образом, и обусловило некоторое увеличение плотности подстилки, поскольку уплотняющее воздействие технологических процессов на пасаках проявляется слабо, особенно, при зимней рубке из-за защитного эффекта снежного покрова.

Более существенные различия отмечаются при сравнении плотности верхних минеральных слоев почвы, результаты исследований которой на разных технологических элементах вырубок и контрольном участке леса приведены в табл. 2.

Таблица 1
Основные характеристики подстилки на пасаках вырубок и контрольном участке

Характеристики	$\bar{X}$	$\pm m_x$	$\pm \sigma, \%$	V, %	P, %	t _x
Пасака летней вырубки						
Мощность, см	3,42	0,390	1,2312	36,0	11,4	8,8
Плотность, г/см ³	0,070	0,0093	0,02954	42,2	13,4	7,5
Запас, г/м ²	2394	312,9	988,7	44,5	13,1	8,0
Пасака зимней вырубки						
Мощность, см	4,44	0,254	0,802	18,1	5,71	17,5
Плотность, г/см ³	0,056	0,0079	0,0025	44,4	14,0	7,1
Запас, г/м ²	2439	318,8	1008,0	41,3	13,1	7,7
Контрольный участок леса						
Мощность, см	4,12	0,323	1,023	24,8	7,9	12,7
Плотность, г/см ³	0,051	0,0072	0,0226	44,4	14,1	7,1
Запас, г/м ²	2101	274,6	867,7	41,3	13,1	7,7

Таблица 2
Плотность минеральных слоев почвы

Слой, см	$\bar{X}$	$\pm m_x$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	t_x
ЛЕТНЯЯ ВЫРУБКА						
Погрузочная площадка						
0–10	1,61	0,183	0,580	36,0	11,4	8,9
10–20	1,56	0,165	0,523	33,5	10,6	9,2
Волок						
0–10	1,49	0,128	0,405	27,2	8,6	11,6
10–20	1,45	0,136	0,431	29,7	9,4	10,7
Пасека						
0–10	1,24	0,105	0,331	26,7	8,5	11,8
10–20	1,15	0,111	0,350	30,4	9,6	10,5
ЗИМНЯЯ ВЫРУБКА						
Погрузочная площадка						
0–10	1,37	0,098	0,310	22,6	7,2	14,0
10–20	1,35	0,094	0,299	22,2	7,0	14,3
Волок						
0–10	1,30	0,106	0,335	25,8	8,2	12,3
10–20	1,26	0,095	0,299	23,7	7,5	13,3
Пасека						
0–10	1,11	0,068	0,217	19,5	6,2	16,2
10–20	1,08	0,073	0,231	21,4	6,8	14,8
КОНТРОЛЬНЫЙ УЧАСТОК ЛЕСА						
0–10	0,88	0,064	0,201	22,8	6,8	14,7
10–20	1,02	0,065	0,207	20,3	6,9	14,6

Анализ табл. 2 выявил существенное увеличение плотности верхних слоев почвы на обеих вырубках, причем на летней – в большей степени. При этом максимальные величины данного показателя (1,61–1,56 г/см³), почти в 1,5–2 раза превышающие контрольные значения (0,88–1,02 г/см³), отмечены на ее погрузочной площадке, где уплотняющее воздействие тяжелой лесозаготовительной техники (тракторов, погрузчиков, лесовозов) проявляется наиболее сильно. Несколько меньше, но также довольно заметно увеличилась плотность верхних слоев на волоках, где в результате многократных проходов тяжелых трелевочных тракторов, к тому же груженых хлыстами, даже образовались колеи глубиной до 30 см.

По сравнению с летней, на волоках зимней вырубке увеличение плотности почвы оказалось почти на 15 % меньше. С одной стороны, это связано с защитным эффектом снежного покрова, ослабляющим уплотняющее влияние, а с другой – очень слабой сжимаемостью замерзшей почвы (Воронин, 1986). Тем не менее, несмотря на это, плотность двух верхних слоев 0–10 и 10–20 см на волоке, по сравнению с контролем, возросла соответственно на 48 и 24 % (с 0,88 и 1,02 г/см³ до 1,30 и 1,26 г/см³). Кроме того, здесь так же, как и на летней вырубке, образовалась колея, правда, вдвое меньшей (до 15 см) глубины.

На пасаках же обеих вырубках, на которые трелевочные трактора практически не заезжают, а уплотняющее воздействие на почву заключается в передвижении вальщиков и чокеровщиков, а также падении спиленных деревьев и их вытаскивании на волок, увеличение плотности верхних минеральных слоев оказалось наименьшим. При этом на пасеке летней вырубке средняя плотность слоев 0–10 и 10–20 см (соответственно, 1,24 и 1,15 г/см³) несколько больше

превышала контрольные значения (0,88 и 1,02 г/см³), чем на зимней (1,11 и 1,08 г/см³).

Однако, исходя из низких величин критерия Стьюдента (1,039 и 0,523), различия между данными показателями пасаек летней и зимней вырубков не являются значимыми ($p > 0,3$). Напротив, на погрузочной площадке и волоках обеих вырубков, а также верхнем слое 0–10 см пасаек средние значения плотности почвы достоверно отличаются от аналогичных показателей контрольного участка леса ($t_{\Phi} > 2,101$; $p < 0,05$). В то же время, в менее подверженном уплотнению слое 10–20 см пасаек обеих вырубков различия средней плотности с контролем не являются значимыми ($t_{\Phi} < 1,067$; $p > 0,3$) (Дмитриев, 1995).

Уплотнение сопровождается уменьшением общего количества почвенных пор и их размеров, во многом определяющих важнейшие физические свойства и режимы почвы (водные, воздушные, тепловые), тем самым, оказывая существенное влияние на гидротермический баланс территории и круговорот химических элементов в ландшафтах (Карпачевский, 1981; Дымов, 2017).

Почвенные поры имеют различные размеры и конфигурацию, а их суммарный объем составляет общую пористость, рассчитываемую по соотношению плотности почвы и плотности ее твердой фазы (Практикум..., 1980; Растворова, 1983). При этом, исходя из одинакового гранулометрического состава почв всех объектов, главным фактором, определяющим различия плотности твердой фазы исследуемых слоев, является разное содержание в них органического вещества (Вадонина, Корчагина, 1986; Воронин, 1986). В ненарушенных почвах оно с глубиной закономерно уменьшается, что обуславливает соответствующее увеличение плотности твердой фазы (Воронин, 1986).

Это наблюдается не только на контрольном участке, но и на пасаках обеих вырубок, различия данного показателя между исследуемыми слоями которых составляют 0,12–0,13 г/см³ (табл. 3).

На волоках же и погрузочных площадках вырубок, где верхние, самые богатые органическим веществом, слои почвы были частично удалены движителями лесозаготовительных машин, различия плотности твердой фазы заметно меньше. Так, на погрузочной площадке летней вырубки, наиболее сильно испытывающей данное воздействие, особенно, в период дождей, эти различия между слоями 0–10 и 10–20 см составляют всего 0,03 г/см³, т.е. чуть более 1 % (табл. 3).

В зависимости от величин плотности твердой фазы и плотности почвы, значения общей пористости варьируют в довольно широком диапазоне – от 39 до 63,6 % (табл. 3). Данная физическая характеристика в сочетании с плотностью положена в основу предложенной Н. А. Качинским (1965) шкалы оценки сложения почв. На важность такой оценки указывали еще В. Н. Сукачев (1938) и Г. Ф. Морозов (1949), которые писали, что лесоводственной науке и практике необходимо знать параметры плотности сложения почвы, оптимальные и критические для основных лесобразующих пород.

Согласно указанной шкале, сложение верхних слоев погрузочной площадки и волока летней вырубки, соответственно, характеризуется, как очень плотное и плотное, а зимней – как среднеплотное. Менее же уплотненные слои пасаки зимней вырубки, а также слой 10–20 см летней имеют рыхлое сложение, что сопоставимо с контрольным участком леса (табл. 3).

Вместе с тем, знания только общей пористости недостаточно для того, чтобы получить полное представление о физическом состоянии почвы. Это обусловлено тем, что разные по величине поры выпол-

няют в почве различные функции. Так, поры капиллярного размера, общий объем которых составляет капиллярную пористость почвы, главным образом, удерживают почвенную влагу. Основными же функциями крупных некапиллярных пор, составляющих некапиллярную пористость, являются фильтрация воды в почву и аэрация. При этом известно (Качинский, 1965; Воронин, 1986), что для создания в почве благоприятных физических условий, обеспечивающих оптимальное соотношение в поровом пространстве воды и воздуха, капиллярная и некапиллярная пористость должны быть примерно равны, составляя порядка 25–30 % от общего объема почвы.

Однако данные табл. 4 показывают, что на волоках и, особенно, погрузочных площадках обеих вырубок больший объем порового пространства приходится на капиллярную пористость. Прежде всего, это относится к летней вырубке, где доля мелких капиллярных пор составляет от 88 до 76 % общего порового пространства почвы и в несколько раз превышает объем крупных некапиллярных пор, обеспечивающих поступление воды в почву. Это является главной причиной крайне низкой водопроницаемости почвенных слоев погрузочной площадки и волока, характеризующихся минимальными значениями коэффициентов впитывания и фильтрации, которые многократно уступают аналогичным показателям контрольного участка леса (0,95–1,62 против 10,58–7,42 мм/мин. и 0,08–0,32 против 3,28–2,27 мм/мин.) (табл. 4). Вследствие этого, в период снеготаяния и затяжных дождей на указанных технологических элементах летней вырубки наблюдается длительное переувлажнение почвы, а в понижениях (например, в колеях волока) даже застаивание воды, что приводит к формированию анаэробных условий и развитию поверхностного оглеения (Пятецкий, 1959; Орфанитский, Орфанитская, 1971).

Таблица 3
Общие физические свойства минеральных слоев почвы

Элемент вырубки	Слой, см	Плотность, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	Общая пористость, %	Оценка плотности сложения
Летняя вырубка					
Погрузочная площадка	0–10	1,61	2,64	39,0	очень плотное
	10–20	1,56	2,67	41,6	
Волок	0–10	1,49	2,58	42,2	плотное
	10–20	1,45	2,63	44,9	
Пасека	0–10	1,24	2,50	50,4	среднеплотное рыхлое
	10–20	1,15	2,62	56,1	
Зимняя вырубка					
Погрузочная площадка	0–10	1,37	2,57	46,7	среднеплотное
	10–20	1,35	2,65	49,1	
Волок	0–10	1,30	2,52	48,4	
	10–20	1,26	2,60	51,5	
Пасека	0–10	1,11	2,48	55,2	рыхлое
	10–20	1,08	2,61	58,6	
Контрольный участок					
Лес	0–10	0,88	2,42	63,6	очень рыхлое
	10–20	1,02	2,58	56,6	рыхлое

На зимней же вырубке диспропорция между указанными видами пористости в исследуемых слоях погрузочной площадки и волока выражена слабее (доля капиллярных пор составляет от 62 до 55 % общего порового пространства), а на пасаках, причем обеих вырубок, отмечается даже небольшое преобла-

дание крупных некапиллярных пор (табл. 4). Благодаря этому коэффициенты впитывания и фильтрации исследуемых почвенных слоев пасек не столь значительно уступают соответствующим показателям контроля – 4,85–6,47 против 10,58–7,42 мм/мин. и 1,57–2,16 против 3,28–2,27 мм/мин.

Таблица 4
Физические свойства минеральных слоев почвы

Объект	Слой, см	Плотность, г/см ³	Пористость, % от общего объема почвы			Коэффициенты, мм/мин.	
			общая	капиллярная	некапиллярная	впитывания	фильтрации
Летняя вырубка							
Погрузочная площадка	0–10	1,61	39,0	34,3	4,7	0,95	0,08
	10–20	1,56	41,6	36,0	5,6	1,03	0,11
Волок	0–10	1,49	42,2	35,5	6,7	1,27	0,19
	10–20	1,45	44,9	34,1	10,8	1,62	0,32
Пасека	0–10	1,24	50,4	26,4	24,0	4,85	1,57
	10–20	1,15	56,1	24,0	32,1	6,34	1,85
Зимняя вырубка							
Погрузочная площадка	0–10	1,37	46,7	28,3	16,4	3,20	1,02
	10–20	1,35	49,1	30,5	18,5	3,34	1,15
Волок	0–10	1,30	48,4	28,1	20,3	3,82	1,31
	10–20	1,26	51,5	28,3	23,2	3,90	1,43
Пасека	0–10	1,11	55,2	25,0	30,2	5,12	1,94
	10–20	1,08	58,6	25,4	33,2	6,47	2,16
Контрольный участок							
Лес	0–10	0,88	63,6	23,1	40,5	10,58	3,28
	10–20	1,02	56,6	25,6	31,0	7,42	2,27

По мнению А. Г. Дояренко (1963), распределение пор по размерам, главным образом, определяется размером и формой почвенных агрегатов. Из этого следует, что разное соотношение между капиллярной и некапиллярной видами пористости исследуемых слоев обусловлено соответствующими различиями их структуры (Качинский, 1965; Растворова, 1983; Воронин, 1986).

В зависимости от размеров выделяют три группы структурных отдельностей: микроагрегаты – менее 0,25 мм; мезоагрегаты – от 0,25 до 10 мм; макроагрегаты – более 10 мм (Практикум..., 1980). Обычно любая почва содержит все три группы агрегатов. Однако при различном их количественном соотношении почвы, даже относящиеся к одному зональному типу, будут существенно отличаться по уровню плодородия. Поэтому важной характеристикой почвы является ее структурный состав, т.е. процентное содержание агрегатов разной величины (Качинский, 1965; Растворова, 1983; Воронин, 1986).

Большинство почвоведов относит к агрономически ценным структурные отдельности размером от 10 до 0,25 мм (мезоагрегаты), поскольку они обеспечивают оптимальное соотношение между капиллярной и некапиллярной видами пористости (Качинский, 1965; Растворова, 1983; Воронин, 1986). Исходя из этого, именно содержание мезоагрегатов используется для оценки структурного состава почвы (Практикум..., 1980). Вместе с тем, наряду с размерами, при определении агрономической ценности агрегатов учитывается их форма. В полной мере, агрономически ценными принято считать лишь мезоагрегаты зернистой и комковатой формы (Воронин, 1986).

Как видно из табл. 5, максимальное содержание мезоагрегатов наблюдается в наименее плотных слоях контрольного участка (85,9–81,3 %), структурный состав которых оценивается, как отличный. При этом доля наиболее ценных зернистых (3–1 мм) и крупнокомковатых (10–3 мм) мезоагрегатов в слоях 0–10 и 10–20 см составляет соответственно 29,7 и 42,5 % и 35 и 39 %, на основании чего их структура характеризуется, как зернисто-крупнокомковатая.

Известно (Тарасов, Тарасова, 2018), что уплотнение почвы приводит к ухудшению структуры, обусловленному переорганизацией первоначального сложения, которое заключается в деформировании и укрупнении агрегатов. При этом чем плотнее почва, тем больших размеров агрегаты образуются (Ревут, 1972).

Это во многом объясняет максимальное содержание макроагрегатов в наиболее плотных слоях волока (78,3 и 72,6 %) и, особенно, погрузочной площадки летней вырубки (88,2 и 85,7 %). При этом часть данных агрегатов относится к мелкоглыбистому виду, но большинство их в результате деформации стало сланцеватыми. Исходя из этого, структуру данных слоев следует охарактеризовать, как мелкоглыбисто-сланцеватую (Практикум..., 1980). Содержание же мезоагрегатов в них минимально и составляет от 11,6 до 26,0 %, что соответствует плохой и неудовлетворительной оценке структурного состава почвы (табл. 5). Кроме того, большая часть мезоагрегатов, особенно в слоях погрузочной площадки и волока летней вырубки, в результате уплотняющей деформации приобрели плитовидную форму, тем самым утратив свою агрономическую ценность.

На аналогичных же технологических элементах зимней вырубке, где почва уплотнена слабее, доля макроагрегатов в слоях 0–10 и 10–20 см несколько меньше (соответственно 77,4 и 76,6 % и 63,7 и 59,3 %). При этом, в отличие от летней вырубке, доля сланцеватых макроагрегатов здесь, напротив, меньше, чем мелкоглыбистых. Следовательно, структуру данных почвенных слоев можно назвать сланцевато-мелкоглыбистой. Содержание же мезоагрегатов в почве

погрузочной площадки составляет около 23 %, что соответствует неудовлетворительной оценке структурного состава (табл. 5). Несмотря на аналогичную оценку слоя 0–10 см волока зимней вырубке, содержание мезоагрегатов в нем заметно больше – 35,7 %. В слое же 10–20 см данного объекта их доля немногим превышает 40 %, вследствие чего его структурный состав оценивается удовлетворительно.

Таблица 5
Структурный состав исследуемых слоев почвы

Слой, см	Размер агрегатов, мм, и их содержание, %									Мезоагрегаты (10–0,25 мм), %	Качественная оценка
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25		
ЛЕТНЯЯ ВЫРУБКА											
Погрузочная площадка											
0–10	88,2	4,1	2,6	2,2	1,1	0,5	0,8	0,3	0,2	11,6	плохая
10–20	85,7	5,0	3,3	2,8	1,3	0,7	0,8	0,2	0,2	14,1	
Волок											
0–10	78,3	4,5	5,0	2,1	2,0	3,2	2,5	1,8	0,6	21,1	неудовлетворительная
10–20	72,6	3,8	4,2	3,0	2,5	4,4	5,2	2,9	1,4	26,0	
Пасека											
0–10	39,3	7,6	8,6	12,3	9,0	6,0	6,1	5,5	5,6	55,1	удовлетворительная
10–20	31,2	7,5	9,0	14,7	10,5	6,3	7,3	5,1	8,4	60,4	хорошая
ЗИМНЯЯ ВЫРУБКА											
Погрузочная площадка											
0–10	77,4	5,9	5,8	3,4	2,8	2,0	2,2	0,3	0,2	22,4	неудовлетворительная
10–20	76,6	7,2	4,3	5,5	2,7	1,4	1,7	0,3	0,3	23,1	
Волок											
0–10	63,7	7,3	7,1	8,7	5,5	3,3	2,9	0,9	0,6	35,7	неудовлетворительная
10–20	59,3	10,2	7,8	9,1	5,7	3,2	2,9	1,3	0,5	40,2	удовлетворительная
Пасека											
0–10	27,2	11,3	6,5	14,0	6,3	11,2	10,8	5,3	7,4	65,4	хорошая
10–20	26,0	8,1	9,3	17,3	12,8	5,7	7,8	5,2	7,8	66,2	
КОНТРОЛЬНЫЙ УЧАСТОК ЛЕСА											
0–10	12,0	8,2	8,4	25,9	18,7	11,0	7,6	6,0	2,1	85,9	отличная
10–20	17,3	12,6	10,4	16,0	20,1	14,9	5,3	2,0	1,4	81,3	

Еще большее содержание данной группы почвенных агрегатов (55,1–66,2 %) отмечается в менее уплотненных слоях пашек обеих вырубок и, особенно, зимней. Здесь доля мезоагрегатов составляет 65–66 %, что соответствует хорошей оценке структурного состава (табл. 5). При этом от 27,8 до 34,7 % мезоагрегатов относятся к крупнокомковатым (10–3 мм), т. е. наиболее агрономически ценным. Это сопоставимо с содержанием макроагрегатов мелкоглыбистого вида, которое в слоях 0–10 и 10–20 см пашек летней и зимней вырубок составляет соответственно 39,3 и 31,2 % и 27,2 и 26,0 %. Следовательно, исходя из соотношения различных видов агрегатов, структура слоев пашки летней вырубке характеризуется, как крупнокомковато-мелкоглыбистая, а зимней – как мелкоглыбисто-крупнокомковатая (Практикум..., 1980; Растворова, 1983).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований, проведенных на двух свежих вырубках, возникших в результате сплошной рубки смешанных сосновых древостоев в зимний и летний периоды года, указывают на негативные изменения важнейших физических свойств почвы. При этом степень данных изменений определяется не только интенсивностью воздействия машин, применяемых на различных технологических элементах лесосек, но и сезоном проведения рубки.

Прежде всего, на погрузочных площадках и трелевочных волоках обеих вырубок практически полностью уничтожена лесная подстилка, а на пашках ее запасы и плотность несколько возросли. Существенно уплотнились и верхние минеральные слои почвы (0–10 и 10–20 см), особенно, на погрузочных площадках и трелевочных волоках. При этом максимальное

уплотнение наблюдается на летней вырубке, где плотность возросла до 1,45–1,61 г/см³. Общая пористость почв здесь, напротив, сократилась в среднем на 65–30 %. Намного меньше уплотнилась почва на погрузочной площадке и волоке зимней вырубке, что связано с защитным эффектом снежного покрова и очень низкой сжимаемостью замерзшей почвы. На пасаках же, особенно, зимней вырубке, плотность и общая пористость гораздо меньше отличаются от контрольных показателей.

Анализ распределения общего порового пространства по величине пор выявил, что на волоках и, особенно, погрузочных площадках обеих вырубок основной объем пор составляют мелкие капиллярные. Прежде всего, это относится к летней вырубке, где на их долю приходится от 88 до 76 % общего порового пространства, что в несколько раз превышает объем крупных некапиллярных пор, обеспечивающих поступление воды в почву.

Это является главной причиной более низких фильтрационных характеристик почвенных слоев обеих вырубок. При этом минимальные коэффициенты впитывания и фильтрации отмечаются на погрузочной площадке (0,95–1,03 и 0,08–0,11 мм/мин.) и волоке летней вырубке (1,27–1,62 и 0,19–0,32 мм/мин.). На зимней же вырубке, где диспропорция между указанными видами пористости в слоях погрузочной площадки и волока выражена слабее, а также на обеих пасаках коэффициенты впитывания и фильтрации уступают контрольным значениям не столь существенно (4,85–6,47 и 1,57–2,16 мм/мин. против 7,42–10,58 и 2,27–3,28 мм/мин.).

Причиной резкого увеличения капиллярной пористости в уплотненных слоях погрузочных площадок и волоков является ухудшение структурного состава почвы, которое также наиболее сильно проявляется на летней вырубке. Эти негативные изменения заключаются в укрупнении и деформировании почвенных агрегатов, что обусловило резкое увеличение доли макроагрегатов и уменьшение содержания агрономически ценных мезоагрегатов. На пасаках же, особенно, зимней вырубке, плотность верхних слоев которых отличается от контроля не столь значительно, слабее проявляются и различия в структурном составе почвы.

Таким образом, негативное влияние технологических процессов на физические свойства исследуемой почвы в большей степени проявляется при летних рубках, что соответствующим образом отразится на ходе естественного возобновления образующихся вырубок и их искусственном лесовосстановлении. Исходя из этого, в эколого-экономическом аспекте более целесообразно проводить основной объем сплошных рубок в зимний период года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бартенев И. М., Одноралов Г. А. Влияние машинной трелевки на почвы лесных экосистем // Социально-эконом. и эколог. проблемы лесного комплекса : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 1999. Екатеринбург, 1999. С. 61–62.

2. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.

3. Воронин А. Д. Основы физики почв. М. : Изд-во МГУ, 1986. 244 с.

4. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М. : Изд-во МГУ, 1995. 320 с.

5. Дояренко А. Г. Избранные сочинения. М. : Изд-во сельскохозяйств. литературы, журналов и плакатов, 1963. 495 с.

6. Дымов А. А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798.

7. Дымов А. А., Лаптева Е. М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. 2006. № 3. С. 42–49.

8. Ершов Ю. И. Теоретические проблемы лесного почвообразования. Новосибирск, 2015. 319 с.

9. Иванов В. В. Экологические последствия механизированных лесозаготовок в южной тайге Красноярского края // Лесоведение. 2005. № 2. С. 3–8.

10. Ильинский В. В. Изменение свойств почв на вырубках // Научные труды МЛТИ. 1972. Вып. 40. С. 124–133.

11. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесная промышленность, 1981. 264 с.

12. Качинский Н. А. Физика почвы. М. : Высшая школа, 1965. 322 с.

13. Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев [и др.]. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.

14. Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.

15. Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.

16. Мелехов И. С. Рубки главного пользования. М. : Лесная промышленность, 1966. 372 с.

17. Морозов Г. Ф. Учение о лесе. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1949. 453 с.

18. Орфанитский Ю. А., Орфанитская В. Г. Почвенные условия таежных вырубок. М. : Лесная промышленность, 1971. 96 с.

19. Паутов Ю. А., Ильчуков С. В. Пространственная структура производных насаждений на сплошных концентрированных вырубках в Республике Коми // Лесоведение. 2001. № 2. С. 27–32.

20. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Странович [и др.] ; под ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.

21. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 28.03.2007 № 68 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации».

22. Пятецкий Г. Е. Водный режим и физические свойства почв на сплошных концентрированных вырубках южной Карелии // Труды Карельского филиала АН СССР. Вып. 17. Петрозаводск, 1959. С. 16–24.

23. Пятецкий Г. Н., Морозова Р. М. Изменение физических и химических свойств лесных почв южной

Карелии в связи с вырубкой леса // Лесные почвы Карелии и изменение их под влиянием лесохозяйственных мероприятий. Труды Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1962. С. 71–93.

24. Растворова О. Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : Изд-во ЛГУ, 1983. 196 с.

25. Ревут И. Б. Физика почв. Л. : Колос, 1972. 368 с.

26. Ремезов Н. П., Погребняк П. С. Лесное почвоведение. М. : Лесная промышленность, 1965. 324 с.

27. Рожков В. А., Карпачевский Л. О. Лесной покров России и охрана почв // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1157–1164.

28. Росновский И. Н. Повреждение почвы при летних лесозаготовках в Западной Сибири // Лесоведение. 2001. № 2. С. 22–26.

29. Рубки леса и свойства горно-лесных буроподзолистых почв Среднего Урала / В. С. Дедков, Т. С. Павлова, Е. В. Прокопович [и др.]. // Антропогенное воздействие на свойства почв. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 21–35.

30. Сапожников А. П. Некоторые проблемы лесного почвоведения // Почвоведение. 1996. № 4. С. 512–516.

31. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1981. 169 с.

32. Сукачев В. Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л. : Гослестехиздат, 1938. 576 с.

33. Тарасов П. А., Тарасова А. В. Оценка физических свойств почвы на тропях в березняках красноярского Академгородка // Вестник КрасГАУ. Красноярск : Изд-во КрасГАУ. 2018. № 5. С. 268–274.

34. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. 599 с.

35. Richter D. de B., Yaalon D. H. «The changing model of soil» Revisited // Soil Sci Soc. Am. J. 2012. V. 76. P. 766–778.

36. Williamson J. R., Neilsen W. A. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid during ground-based harvesting // Canad. J. Forest Res. 2000. № 8. P. 1196–1205.

REFERENCES

1. Bartenev I. M., Odnoralov G. A. Vliyaniye mashinnoy trelevki na pochvy lesnykh ekosistem // Sotsialno-ekonom. i ekolog. problemy lesnogo kompleksa : Tez. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ekaterinburg. 1999. Ekaterinburg. 1999. S. 61–62.

2. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. M. : Agropromizdat. 1986. 416 s.

3. Voronin A. D. Osnovy fiziki pochv. M. : Izd-vo MGU. 1986. 244 s.

4. Dmitriyev E. A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M. : Izd-vo MGU. 1995. 320 s.

5. Doyarenko A. G. Izbrannyye sochineniya. M.: Izd-vo selskokhoz. literatury. zhurna-lov i plakatov. 1963. 495 s.

6. Dymov A. A. Vliyaniye sploshnykh rubok v borealnykh lesakh Rossii na pochvy (ob-zor) // Pochvovedeniye. 2017. № 7. S. 787–798.

7. Dymov A. A., Lapteva E. M. Izmeneniye podzolistykh pochv na dvuchlennykh otlo-zheniyakh pri rubkakh // Lesovedeniye. 2006. № 3. S. 42–49.

8. Ershov Yu. I. Teoreticheskiye problemy lesnogo pochvoobrazovaniya. Novosibirsk. 2015. 319 s.

9. Ivanov V. V. Ekologicheskkiye posledstviya mekhanizirovannykh lesozagotovok v yuzhnoy tayge Krasnoyarskogo kraya // Lesovedeniye. 2005. № 2. S. 3–8.

10. Ilinskiy V. V. Izmeneniye svoystv pochv na vyrubkakh // Nauchnyye trudy MLTI. 1972. Vyp. 40. S. 124–133.

11. Karpachevskiy L. O. Les i lesnyye pochvy. M. : Lesnaya promyshlennost. 1981. 264 s.

12. Kachinskiy N. A. Fizika pochvy. M. : Vysshaya shkola. 1965. 322 s.

13. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii / sost. L. L. Shishov, V. D. Tononogov, I. I. Lebedev [i dr.]. Smolensk : Oykumena. 2004. 342 s.

14. Krasnoshchekov Yu. N. Pochvozashchitnaya rol gornyykh lesov basseyna ozera Baykal. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 2004. 224 s.

15. Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatelnyy rezhim pochv severo-tayezhnykh lesov. M. : Nauka. 2008. 342 s.

16. Melekhov I. S. Rubki glavnogo polzovaniya. M. : Lesnaya promyshlennost. 1966. 372 s.

17. Morozov G. F. Ucheniye o lese. M.-L. : Goslesbuzmizdat. 1949. 453 s.

18. Orfanitskiy Yu. A., Orfanitskaya V. G. Pochvennyye usloviya tayezhnykh vyrubok. M. : Lesnaya promyshlennost. 1971. 96 s.

19. Pautov Yu. A., Ilchukov S. V. Prostranstvennaya struktura proizvodnykh nasazh-deniy na sploshnykh kontsentriruyemykh vyrubkakh v Respublike Komi // Lesovedeniye. 2001. № 2. S. 27–32.

20. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stranovich [i dr.]. Pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos. 1980. 272 s.

21. Prikaz Ministerstva prirodnyykh resursov Rossiyskoy Federatsii ot 28.03.2007 № 68 «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitelnykh zon i lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii».

22. Pyatetskiy G. E. Vodnyy rezhim i fizicheskiye svoystva pochv na sploshnykh kontsentriruyemykh vyrubkakh yuzhnoy Karelii // Trudy Karelskogo filiala AN SSSR. vyp. 17. Petrozavodsk. 1959. S. 16–24.

23. Pyatetskiy G. N., Morozova R. M. Izmeneniye fizicheskikh i khimicheskikh svoystv lesnykh pochv yuzhnoy Karelii v svyazi s vyrubkoy lesa // Lesnyye pochvy Karelii i izmeneniye ikh pod vliyaniyem lesokhozyaystvennykh meropriyatiy. Trudy Karelskogo filiala AN SSSR. Petrozavodsk. 1962. S. 71–93.

24. Rastvorova O. G. Fizika pochv (prakticheskoye rukovodstvo). L. : Izd-vo LGU. 1983. 196 s.

25. Revut I. B. Fizika pochv. L. : Kolos. 1972. 368 s.

26. Remezov N. P., Pogrebnyak P. S. Lesnoye pochvovedeniye. M. : Lesnaya promyshlennost. 1965. 324 s.

27. Rozhkov V. A., Karpachevskiy L. O. Lesnoy pokrov Rossii i okhrana pochv // Pochvovedeniye. 2006. № 10. S. 1157–1164.
28. Rosnovskiy I. N. Povrezhdeniye pochvy pri letnikh lesozagotovkakh v Zapadnoy Sibiri // Lesovedeniye. 2001. № 2. S. 22–26.
29. Rubki lesa i svoystva gorno-lesnykh buropodzolistykh pochv Srednego Urala / V. S. Dedkov, T. S. Pavlova, E. V. Prokopovich [i dr.]. // Antropogennoye vozdeystviye na svoystva pochv. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR. 1987. S. 21–35.
30. Sapozhnikov A. P. Nekotoryye problemy lesnogo pochvovedeniya // Pochvovedeniye. 1996. № 4. S. 512–516.
31. Stefin V. V. Antropogennyye vozdeystviya na gorno-lesnyye pochvy. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-niye. 1981. 169 s.
32. Sukachev V. N. Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki. L. : Goslestekhizdat. 1938. 576 s.
33. Tarasov P. A., Tarasova A. V. Otsenka fizicheskikh svoystv pochvy na tropakh v be-reznyakakh krasnoyarskogo Akademgorodka // Vestnik KrasGAU. Krasnoyarsk : Izd-vo Kras-GAU. 2018. № 5. S. 268–274.
34. Tkachenko M. E. Obshcheye lesovodstvo. M.-L. : Goslesbumizdat. 1952. 599 s.
35. Richter D. de B., Yaalon D. H. «The changing model of soil» Revisited // Soil Sci Soc. Am. J. 2012. V. 76. P. 766–778.
36. Williamson J. R., Neilsen W. A. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid during ground-based harvesting // Canad. J. Forest Res. 2000. № 8. P. 1196–1205.

© Тарасов П. А., Тарасова А. В., 2023

Поступила в редакцию 15.03.2023
Принята к печати 14.07.2023