

УДК 630\*114.123

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ПЛОТНОСТИ

© *В.Ю. Лисов, асп.**В.Н. Язов, ст. преп.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: lisov-vladimir@yandex.ru

Одним из путей повышения эффективности лесосечных машин является обеспечение наибольшей приспособленности тракторов к конкретным условиям эксплуатации. Основные факторы, влияющие на производительность операций в конкретных природно-производственных условиях, – проходимость трактора и работоспособность трелевочных волоков. При разработке лесосек с низкой несущей способностью влияние проходимости лесосечных машин особенно велико. В результате воздействия лесных машин почва на лесосеке значительно уплотняется, вследствие чего уменьшается объем пор и изменяется воздушно-водный режим, что также ухудшает физиологическое функционирование корневых систем растений, оказывает отрицательное влияние на водный баланс. Одной из важнейших характеристик водных свойств почвы является водопроницаемость. Нарушение гидрологического режима лесосеки приводит к заболачиванию вырубков, что влияет на проходимость лесозаготовительных машин. Цель исследования – определить, как изменяется водопроницаемость лесной почвы в зависимости от ее плотности. Исследования по определению водопроницаемости лесной почвы проводились в октябре – ноябре 2012 г. в лабораторных условиях. Для лабораторных испытаний были взяты образцы почвы с лесосеки, находящейся в квартале № 95 Морозовского лесничества (Всеволожский район Ленинградской области). В ходе эксперимента были определены коэффициенты фильтрации при разной плотности лесной почвы. На основании полученных данных были сделаны следующие выводы: коэффициент фильтрации является характерной для данного почвенного объекта величиной; с увеличением плотности почвы время фильтрации воды возрастает и водопроницаемость почвы уменьшается в десятки и сотни раз; для описания процесса можно использовать степенную функцию. Величина достоверности аппроксимации близка к единице, что свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с полученными экспериментальными данными. Практическая значимость работы состоит в том, что на основании ее результатов можно прогнозировать несущую способность почвогрунтов и планировать календарный график освоения лесосеки.

*Ключевые слова:* водопроницаемость почвы, коэффициент фильтрации почвы, проходимость, несущая способность почв.

### *Введение*

Актуальной проблемой для лесозаготовителей является выбор лесосечных машин по условию проходимости, под которой понимается количество возможных проходов трактора по волоку [2].

При эксплуатации лесозаготовительной техники, тяговых расчетах, определении проходимости и др. принято рассматривать воздействие машин на почвенно-грунтовые условия без разделения на грунты и почвы. Физико-механические свойства почвы с этой точки зрения исследованы недостаточно. Лучше изучены грунты, поэтому представляет интерес сравнить почву и грунт, установить их общие свойства и различия для того, чтобы оценить возможность использования, применительно к почвам, теоретических зависимостей и показателей физико-механических свойств грунтов.

Лесная почва – это сложная многослойная система, состоящая из нескольких органических и одного или нескольких минеральных слоев, с которыми одновременно взаимодействуют движители лесных машин.

Механизм воздействия лесозаготовительной техники на лесную почву [1] значительно сложнее, чем транспортных и сельскохозяйственных машин. Это объясняется как спецификой воздействия лесозаготовительных машин на лесную почву, так и сложностью условий эксплуатации.

Лесная почва [4] в отличие от почвы сельскохозяйственных угодий в своей структуре имеет развитую корневую систему деревьев.

Основной характеристикой почвогрунтов, определяющей их проходимость машинами, является несущая способность. Предел несущей способности почвогрунта определяет допустимое

удельное давление на почвогрунт, при котором пластичные деформации почвогрунта сменяются его разрушением. В этих условиях разрушенный почвогрунт не обеспечивает необходимую силу тяги из-за недостаточного сцепления с ним движителя машины. Происходит буксование колес или гусениц, вследствие чего машина постепенно зарывается в почвогрунт. Несущая способность зависит от его структуры, степени уплотнения и влажности [6].

В результате воздействия лесозаготовительных машин [3] почва на лесосеке значительно уплотняется, вследствие чего уменьшается объем пор и сильно меняется воздушно-водный режим. Все это ухудшает физиологическое функционирование корневой системы растений, оказывает отрицательное влияние на водный баланс.

Одной из важнейших характеристик водных свойств почвы является водопроницаемость, под которой понимают ее способность впитывать и пропускать через себя воду. Этот процесс складывается из поглощения воды почвой, прохождения ее от слоя к слою в ненасыщенной почве и фильтрации воды сквозь толщу почвы [7].

Впитывание воды почвой, еще не насыщенной до состояния влагоемкости, в первой и второй фазах происходит под влиянием сорбционных и менисковых сил, а также градиента напора. Под фильтрацией понимают прохождение воды сквозь водонасыщенные слои почвы под влиянием градиента гидравлического давления (напора)  $I$ . Впитывание характеризуют коэффициентом впитывания, фильтрацию почв – коэффициентом фильтрации  $K_f$  [5].

В природных условиях разделить процесс водопроницаемости на отдельные фазы почти невозможно. Когда поверхностные горизонты, получившие воду в первую очередь, уже насытились и начинают ее фильтровать, нижележащие горизонты только начинают впитывать воду.

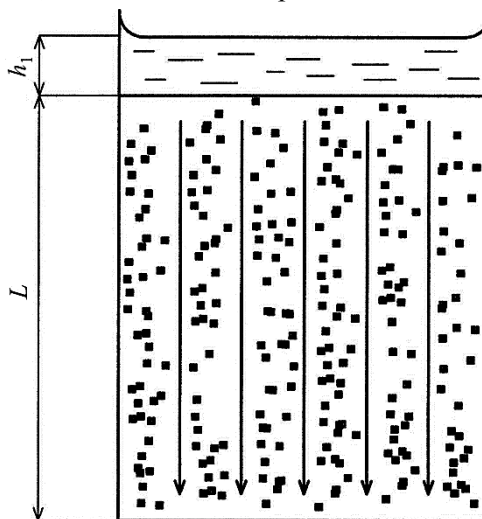


Рис. 1. Линейная фильтрация воды в вертикально расположенном почвенном монолите:  $h_1$  – уровень периода

Фильтрация воды в почве происходит в вертикальном направлении, с поверхности почвы в глубинные слои (рис. 1).

Цель исследования – определить, как изменяется водопроницаемость лесной почвы в зависимости от ее плотности.

#### Методы исследования

Исследования по определению водопроницаемости лесной почвы проводили в октябре–ноябре 2012 г. в лабораторных условиях. Для испытаний были взяты 6 образцов почвы с лесосеки, находящейся в квартале № 95 Морозовского лесничества (Всеволожский район Ленинградской области). С каждым образцом проводили четыре опыта.

После анализа образцов почвы было установлено:

почва армирована корневой системой растений;

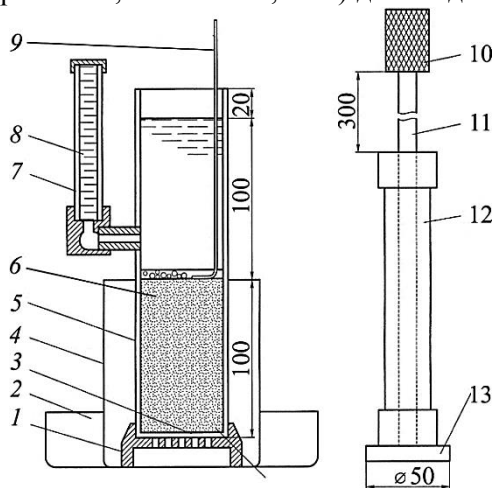
доля крупных корней (диаметр 2...5 мм) составляет 14 %, доля мелких корней (до 2 мм) – 30 %.

Остальная масса приходится на дерново-под-золистую среднесуглинистую почву. Образцы почвы помещали в сушильный шкаф и высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С.

Для определения коэффициента фильтрации почвы использовали: прибор СоюзДорНИИ (рис. 2), секундомер, термометр, линейку, технические весы, стакан, поддон.

Прибор для определения коэффициента фильтрации состоит из фильтрационной трубки, состоящей из прямого цилиндра (внутренний диаметр 50,5 мм, высота 220,0 мм), съемного перфорированного дна с отверстиями диаметром 3,0 мм и латунной сетки с размерами ячейки 0,25 мм; пьезометра с делениями от 0 до 50 мм; подставки для трубки с прорезями в боковых стенках и отверстиями в днище; стакана (диаметр 100 мм, высота 125,4 мм) для создания градиента напора, равного единице; поддона (диаметр 330,0 мм, высота 25,0 мм).

Рис. 2. Схема прибора СоюзДорНИИ для определения коэффициента фильтрации: *a* – фильтрационная трубка; *б* – трамбовка; 1 – подставка; 2 – поддон; 3 – сетка; 4 – стакан; 5 – цилиндр; 6 – образец почвы; 7 – пьезометр; 8 – шкала; 9 – линейка; 10 – ручка; 11 – штанга; 12 – гиря;



13 – наковальня

Водопроницаемость почв в сильной степени зависит от температуры воды, так как с ее изменением изменяется и вязкость воды, с чем связана и подвижность [8]. Принято водопроницаемость приводить к одной температуре, поэтому в коэффициент фильтрации ( $K_f$ , м/сут) вносят поправку на температуру, приводя ее к 10 °С по формуле Хазена:

$$K_f = \frac{L}{t_{\text{фильтр}}} \varphi \left( \frac{S}{h_0} \right) 864 \tau,$$

где  $L$  – высота образца почвы в цилиндре, см;  
 $t_{\text{фильтр}}$  – время понижения уровня воды в пьезометре, с;  
 $\varphi$  – функция, принимаемая из табл. 1;  
 $S$  – падение уровня воды в пьезометре, мм;  
 $h_0$  – первоначальный напор воды в приборе;  
 864 – коэффициент перевода (см/с в м/сут);  
 $\tau$  – температурная поправка,  $\tau = 0,7 + 0,03T$ ;  
 $T$  – температура воды, °С.

Перед испытанием почву и воду, предназначенные для определения коэффициента фильтрации, выдерживают в лаборатории до выравнивания их температуры с температурой воздуха; высушивают почву до влажности  $W_n = 0$  и просеивают на сите с отверстиями 5 мм; засыпают сухую почву в цилиндр, уплотняют ее трамбовкой до риски, расположенной на высоте  $L = 100$  мм; определяют массу почвы  $m_n$  и ее плотность в цилиндре по формуле  $\rho = \frac{4m_n}{\pi D_{\text{цил}}^2}$ ;

на поверхность почвы укладывают слой гравия (фракции 2...5 мм) толщиной 5...10 мм для предотвращения размыва почвы; цилиндр с почвой помещают в стакан, который наполняют водой до верха, а затем переставляют стакан с цилиндром в поддон, при этом происходит капиллярное насыщение образца почвы водой; замеряют температуру воды в стакане.

Наливают воду в цилиндр до верхней риски, расположенной на высоте 200 мм, и записывают время, за которое понизится уровень воды в пьезометре от 0 до 50 мм. Испытания повторяют 4 раза, рассчитывают среднеарифметическое значение  $t_{\text{фильтр}}$ .

Для уменьшения времени испытания можно в два раза увеличить напор. В этом случае градиент напора  $I = 2$ . Для этого цилиндр извлекают из стакана и ставят непосредственно в поддон.

Первоначальный напор воды в приборе, т. е. разность уровней воды в трубке и стакане,  $h_0 = 200 - 100 = 100$  мм при  $I = 1$ ;  $h_0 = 200 - 0 = 200$  мм при  $I = 2$ .

Зависимость падения уровня воды от первоначального напора  $\varphi(S/h_0)$  принимают по табл. 1. Таблица 1

$S/h_0$	$\varphi(S/h_0)$	$S/h_0$	$\varphi(S/h_0)$	$S/h_0$	$\varphi(S/h_0)$	$S/h_0$	$\varphi(S/h_0)$
0,01	0,010	0,25	0,288	0,50	0,693	0,75	1,386
0,05	0,051	0,30	0,357	0,55	0,799	0,80	1,609
0,10	0,105	0,35	0,431	0,60	0,916	0,85	1,897
0,15	0,163	0,40	0,510	0,65	1,050	0,90	2,303
0,20	0,223	0,45	0,598	0,70	1,204	0,95	2,996

Результаты исследования

Результаты эксперимента приведены в табл. 2. Зависимость коэффициента фильтрации лесной почвы от ее плотности изображена на рис. 3. Для определения вида аппроксимирующего выражения и достоверности аппроксимации  $R^2$  используют программу Excel. Как видно из графика, полученные экспериментальные данные описываются степенной функцией вида  $K_{\phi} = 0,0142\rho^{-23,784}$ .

Таблица 2

Показатель	Значение показателя для образца почвы					
	1	2	3	4	5	6
$W_n, \%$	0	0	0	0	0	0
$m_n, \text{г}$	154	160	166	168	178	186
$L, \text{см}$	10	10	10	10	10	10
$\rho, \text{г/см}^3$	0,77	0,80	0,83	0,84	0,89	0,93
$h_0, \text{см}$	10	10	20	20	20	20
$S, \text{см}$	5	5	5	5	5	5
$T, \text{°C}$	17	17	17	20	20	17
$\tau$	1,21	1,21	1,21	1,30	1,30	1,21
$S/h_0$	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25
$\varphi(S/h_0)$	0,693	0,693	0,288	0,288	0,288	0,288
Переводной коэффициент	864	864	864	864	864	864
$t_{\phi}, \text{с}$	587	1 609	1 770	2 200	13 540	17 025
$t_{\phi, \text{ср}}, \text{с}$	590	1 617	1 786	2 215	13 610	17 102
$K_{\phi}, \text{м/сут}$	608	1 623	1 815	2 225	13 650	17 121
$K_{\phi}, \text{м/сут}$	615	1 631	1 829	2 240	13 680	17 152
$K_{\phi}, \text{м/сут}$	600	1 620	1 800	2 220	13 620	17 100
$K_{\phi}, \text{м/сут}$	8,20	3,00	1,10	0,86	0,14	0,12

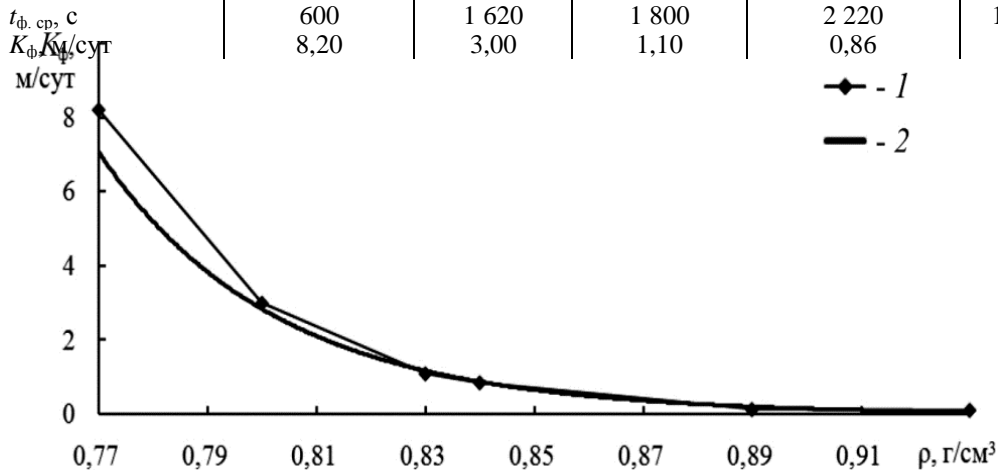


Рис. 3. Экспериментальный (1) и аппроксимирующий (2) графики зависимости коэффициента фильтрации лесной почвы от ее плотности

Достоверность аппроксимации для данного выражения  $R^2 = 0,9689$ , что

свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с полученными экспериментальными данными.

На основании полученных экспериментальных данных были сделаны следующие выводы.

1. Коэффициент фильтрации является характерной для данного почвенного объекта величиной и зависит от плотности почвы.

2. При увеличении плотности почвы увеличивается время фильтрации воды, ее водопроницаемость уменьшается в десятки и сотни раз.

3. Полученные экспериментальные данные описываются степенной функцией. Достоверность аппроксимации близка к единице, что свидетельствует о хорошей сходимости степенной модели с данными, полученными во время проведения экспериментальных исследований.

На основании результатов работы можно прогнозировать несущую способность почвогрунтов и планировать освоение лесосеки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И.* Экологическая эффективность трелевочных тракторов. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2006. 352 с.

2. *Анисимов Г.М., Кочнев А.М.* Лесотранспортные машины: учеб. пособие / Под ред. Г.М. Анисимова. СПб.: ИД «Лань», 2009. 448 с.

3. *Беккер М.Г.* Введение в теорию систем местность–машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.

4. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.

5. *Козлова А.А.* Учебная практика по физике почв: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2009. 81 с.

6. *Невзоров А.Л.* Инженерная геология и механика грунтов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: Изд-во ЛГТУ, 1998. 116 с.

7. *Роде А.А.* Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 663 с.

8. *Тюрин Н.А., Бессараб Г.А., Язов В.Н.* Дорожно-строительные материалы и машины: учеб. для вузов. М.: ИЦ «Академия», 2009. 304 с.

Поступила 10.10.13