

Исследование коэффициента фильтрации лесной почвы (случай дерново-подзолистой почвы)

А.В. Калистратов^{1 a}, В.А. Иванов^{2 b}, Р.К. Коротков^{2 c}, Е.Г. Хитров^{1 d}, Г.В. Григорьев^{1 e}

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия

²Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

^avtl-lta@mail.ru, ^bivanovva55@mail.ru, ^civanovamv1977@mail.ru, ^dyegorkhitrov@gmail.com, ^evtl-lta@mail.ru

Статья получена 15.04.2014, принята 21.05.2014

В статье приводятся результаты лабораторных исследований зависимости коэффициента фильтрации лесной дерново-подзолистой почвы в зависимости от ее плотности. Исследования выполнены в лаборатории кафедры технологии лесозаготовительных производств совместно с кафедрой сухопутного транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова на ста образцах почвы, отобранной летом 2013 года с лесосеки ООО «Кириши-Леспром» в Ленинградской области. Опыты проводились по стандартной методике, регламентированной государственным стандартом РФ. По результатам обработки опытных данных получена зависимость для определения коэффициента фильтрации лесной почвы при изменении ее плотности, а также установлены доверительные границы изменения значения исследуемой величины (коэффициента фильтрации).

Ключевые слова: лесная почва, коэффициент фильтрации, плотность.

Studies of filtration coefficient of sod-podzolic forest soils

A.V. Kalistratov^{1 a}, V.A. Ivanov^{2 b}, R.K. Korotkov^{2 c}, E.G. Hitrov^{1 d}, G.V. Grigoriev^{1 e}

¹St. Petersburg State Forestry Engineering University under name of S.M. Kirov, 5 Institutsky lane, St. Petersburg, Russia

²Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^avtl-lta@mail.ru, ^bivanovva55@mail.ru, ^civanovamv1977@mail.ru, ^dyegorkhitrov@gmail.com, ^evtl-lta@mail.ru

Received 15.04.2014, accepted 21.05.2014

The article presents the results of laboratory studies of filtration coefficient of sod-podzolic forest soils, depending on its density. The studies have been performed in the laboratory of the Department of Timber Production Technology together with the Department of Forest Land Transport of Saint-Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov. The studies have been carried out on hundred samples of soil, selected from the felling of LLC «Kirishi-Lеспrom» in Leningrad Region in summer, 2013. Experiments have been carried out with the use of standard procedures, regulated by state standard of Russian Federation. The results of processing of experimental data have revealed the dependence for determining filtration coefficient of forest soil under changing its density and have shown trust boundaries of changing the variable under study (filtration coefficient).

Keywords: forest soil, filtration coefficient, density.

Введение. Переуплотнение почвогрунтов лесосек под воздействием движителей лесных машин оказывает негативное воздействие на лесную экосистему [1]. В современных условиях этим обстоятельством нельзя пренебрегать, поэтому уже на стадии планирования мероприятий по заготовке и первичному транспорту древесины следует проводить оценку экологической эффективности предполагаемого способа заготовки и транспорта древесины к погрузочному пункту [2].

Оценку экологической эффективности процесса трелевки проводят, как правило, с использованием моделей, прогнозирующих уплотнение почвогрунта лесосеки в зависимости от числа проходов машины по участку волока. Примем во внимание, что развитие корневой системы подростка зависит не только от плотности почвогрунта, но и от его фильтрационных свойств [2]. В этой связи для оценки экологичности процесса трелевки с точки зрения последующего лесовосстановления, помимо моделей, описывающих уплотнение почвогрунтов в результате движения техники, нужно также располагать сведениями об изменении фильтрационных характеристик почвогрунтов при изменении их плотности.

Анализ современных работ по этой тематике, выполненных для условий северо-запада России, например [3, 4], показал, что сравнительно мало изучены вопросы вариативности фильтрационных свойств лесных почвогрунтов при их уплотнении, вызванном движением лесных машин. Известные данные представлены без указания доверительных границ, что, с учетом изменчивости свойств почвогрунтов, сужает область применения этих результатов.

Целью настоящего исследования является получение диапазона изменения коэффициента фильтрации лесной дерново-подзолистой почвы при изменении ее плотности.

Материалы и методы. Определение коэффициента фильтрации проводилось согласно ГОСТ-25584 в лаборатории кафедры технологии лесозаготовительных производств совместно с кафедрой сухопутного транспорта леса, всего было исследовано 100 навесок почвы, отобранной с лесосеки в ООО «Кириши-Леспром» (Ленинградская область), масса каждой навески в абсолютно сухом состоянии приблизительно 400 гр.

Результаты исследования. На рис. 1 в виде графика представлено изменение измеренного экспериментально коэффициента фильтрации в зависимости от плотности почвы.

Из графика видно, что зависимость нелинейная, и для дальнейших исследований применим следующий подход.

Рассмотрим натуральный логарифм коэффициента фильтрации. Из графика на рис. 2

видно, что натуральный логарифм коэффициента фильтрации изменяется по линейному закону, значит, к его исследованию можно легко применить методы статистики, позволяющие определить доверительные границы изменения исследуемой величины [5]. Отметим, что и для нелинейных зависимостей такое возможно, однако значительно увеличивает объем вычислений [6]. В случае линейных зависимостей все расчеты проводятся в программе *Excel*.

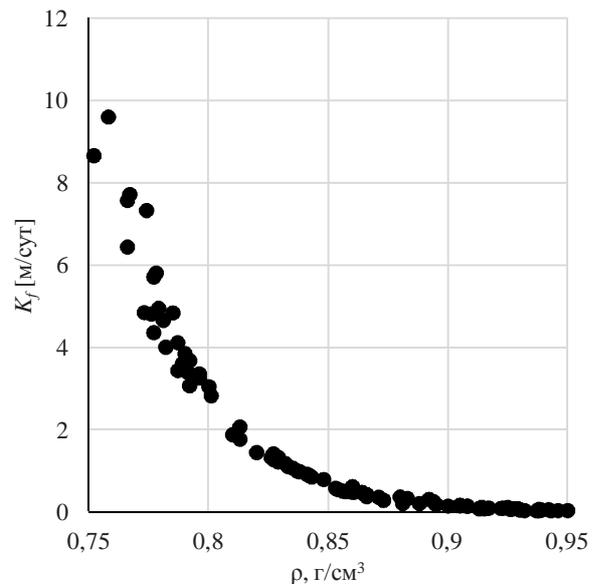


Рис. 1. Изменение коэффициента фильтрации лесной почвы в зависимости от ее плотности (результаты лабораторных опытов)

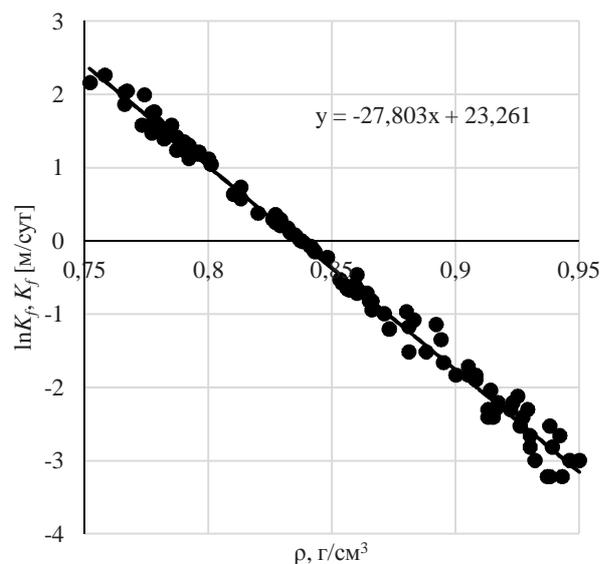


Рис. 2. Изменение натурального логарифма коэффициента фильтрации лесной почвы в зависимости от ее плотности в абсолютно сухом состоянии

Прямая на рис. 2 описывается регрессионным уравнением:

$$\ln K_f = -27,803\rho + 23,261. \quad (1)$$

Уравнение (2) показывает доверительные границы изменения исследуемой величины:

$$\ln K_f = \ln K_f \pm t_\alpha S_{YY}. \quad (2)$$

Для его применения нужно рассчитать ряд вспомогательных величин по формулам (3) – (6) [5], [6]:

$$S_{y|x} = \sqrt{\frac{n-1}{n-2} \cdot (S_Y^2 - b^2 S_X^2)} \quad (3)$$

$$S_{YY} = S_{y|x} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{X})^2}{(n-1) \cdot S_X^2}} \quad (4)$$

$$y = \hat{y} \pm t_\alpha S_{YY} \quad (5)$$

$$t_\alpha S_{YY} = 0,2918 \sqrt{1,01 + 3,175 \cdot (\rho - 0,8535)^2} \quad (6)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Необходимые статистические характеристики результатов опытов

Параметр	Обозначение	Значение
Выборочное отклонение коэффициента фильтрации	S_Y	0,0564
Выборочное отклонение плотности образцов	S_X	1,5749
Число наблюдений	n	100
Среднее значение плотности образцов		0,8535
Критическое значение t-критерия Стьюдента при числе степеней свободы $\nu = n - 2 = 98$	t_α	1,9845
Коэффициент в уравнении (1) при плотности	b	-27,803
Свободный член в уравнении (1)	a	23,261
Стандартное отклонение коэффициента фильтрации относительно плотности	$S_{y x}$	0,1471

Последнее выражение (6) содержит в себе переменную величину плотности, что усложняет расчеты. Если рассчитать среднее значение по известной формуле для среднего значения функции:

$$\varepsilon = \frac{\int_{0,75}^{0,95} 0,2918 \sqrt{1,01 + 3,175 \cdot (\rho - 0,8535)^2} d\rho}{0,95 - 0,75} = 0,295 \quad (7)$$

то получим постоянное значение искомой поправки $\varepsilon = 0,295$. Тогда после подстановки в формулу (2)

вместо произведения $t_\alpha S_{YY}$ значения ε по формуле (7) получим выражение (8) для определения доверительных границ интервала изменения натурального логарифма коэффициента фильтрации почвы:

$$\ln K_f = -27,803\rho + 23,261 \pm 0,295. \quad (8)$$

От натурального логарифма перейдем к значению исследуемой величины:

$$K_f = \exp(-27,803\rho + 23,261 \pm 0,295). \quad (9)$$

Формула (9) проиллюстрирована в виде графика на рис. 3.

В проведенных исследованиях подход с логарифмами позволил сравнительно просто исследовать границы значений, определяемых по нелинейной зависимости.

Отметим, что в работах [3, 4] приводится формула для определения коэффициента фильтрации дерново-подзолистых почв в условиях северо-запада России, однако без указания границ изменения коэффициента фильтрации (поправка ε):

$$K_f = 0,0137\rho^{23,78}. \quad (10)$$

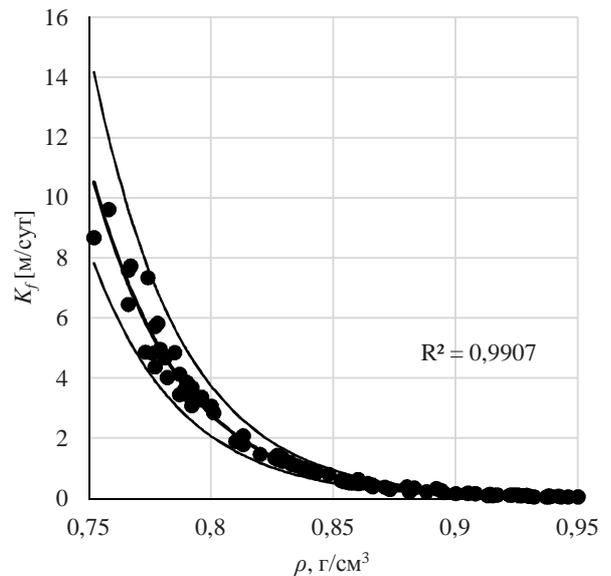


Рис. 3. Диапазон изменения коэффициента фильтрации лесной почвы в зависимости от ее плотности в абсолютно сухом состоянии

Результаты расчетов по формуле (9) без поправки $\pm \varepsilon$ практически полностью соответствуют результатам по формуле (10). Однако при использовании поправки ε расчетное значение коэффициента фильтрации по формуле (9) варьируется относительно расчетного значения по формуле (10) в пределах $\pm 30\%$.

На практике полученную формулу (9) можно использовать при прогнозировании фильтрационных свойств почвогрунтов лесосеки и их изменения в результате работы лесозаготовительной техники при реализации моделей уплотнения почвогрунта под

воздействием движителей лесных машин. При этом следует учитывать вариативность коэффициента фильтрации.

Выводы

1. Коэффициент фильтрации дерново-подзолистой лесной почвы нелинейно зависит от ее плотности в абсолютно сухом состоянии, зависимость по результатам статистической опытных данных имеет вид уравнения (9) ($R^2 = 0,9507$).

2. Результаты расчетов по уравнению (9) показывают, что коэффициент фильтрации варьируется относительно расчетного значения без учета поправки в пределах $\pm 30\%$.

3. При использовании формулы (9) при прогнозировании фильтрационных свойств почвогрунтов лесосеки и их изменения в результате работы лесозаготовительной техники следует учитывать вариативность коэффициента фильтрации.

Литература

1. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: Изд-во ЛТА., 2006. 236 с.
2. Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптирующие технологии разработки лесосек в условиях

Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: Изд-во ЛТА, 2008. 176 с.

3. Язов В.Н. Воздействие лесных машин на многослойный массив почвогрунта: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: ЛТУ, 2013. 141 с.

4. Lisov V.Yu. Grigoriev I. Determination coefficient filtration of forest soil // International Conference on European Science and Technology-Munich, Germany: Vela Verlag Waldkraiburg, 2013. № 1. P. 268-27.

5. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1998. 459 с.

6. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. Кн. 2. М.: Финансы и статистика, 1987. 351 с.

References

1. Grigoriev I.V. Reduction of negative influence of skidding tractors on soil by justifying their motion mode and technological equipment. SPb.: Izd-vo LTA, 2006. 236 p.

2. Grigoriev I.V., Zhukova A.I., Grigorieva O.I., Ivanov A.V. Environmentally-friendly technologies for cutting areas of North-Western region of the Russian Federation. SPb.: Izd-vo LTA, 2008. 176 p.

3. Yazov V.N. Impact of timber machinery on multi-layered soil. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. SPb.: LTU, 2013. 141 p.

4. Lisov V.Yu. Grigoriev I. Determination coefficient filtration of forest soil / International Conference on European Science and Technology-Munich, Germany: Vela Verlag Waldkraiburg, 2013. № 1. P. 268-270.

5. Glants S. Medical and biological statistics. M.: Praktika, 1998. 459 p.

6. Dreyper N., Smit G. Applied regressive analysis: in 2 vol. Vol. 2. M.: Finansy i statistika, 1987. 351 p.